



Systemstudie rörande insamling och behandling av lättnedbrytbart organiskt avfall i Malmö

Erik Kärrman
Andras Baky
Mats Edström
Ylva Magnusson
Per-Arne Malmqvist
Ola Palm
Gustav Rogstrand

ecoloop

Rapport 2005004

Ecoloop i samarbete med JTI
- Institutet för jordbruks- och miljöteknik
och CIT Urban Water Management AB

Sammanfattning

Regeringens proposition 2004/05:150 "Svenska miljömål – ett gemensamt uppdrag" innehåller delmålet att minst 35 % av matavfallet från hushåll, restauranger, storkök och butiker senast år 2010 skall återvinnas genom biologisk behandling. I den nuvarande hanteringen av avfall från hushåll i Malmö sker ingen utsortering av matavfall, men vid sidan av den konventionella hanteringen genomför VA-verket, i samarbete med bland annat Sydsåskånes avfallsbolag (SYSAV) och med stöd från det Lokala Investeringsprogrammet (LIP) försök med insamling av matavfall i området Västra Hamnen. Två system har prövats:

- Utsortering av matavfall med hjälp av avfallskvarnar
- Utsortering av matavfall i papperspåsar som samlas in med hjälp av sopsugsystem.

Därutöver är VA-verket involverat i försök och utvärdering rörande fastighetsnära kompostering, framförallt i Ekostaden Augustenborg.

Syftet med denna utredning är att belysa konsekvenserna och nyttan av, samt potentialen för olika system för insamling och behandling av lättnedbrytbart organiskt hushållsavfall samt restavfall från hushåll i Malmö.

I den första delen av utredningen sammanställs erfarenheter kring olika typer av system i form av Kärlsystem med central kompostering, Kärlsystem med central rötning, Sopsug med central rötning, Avfallskvarn med central rötning och Fastighetsnära kompostering.

Utredningen visar att tre system skulle kunna uppfylla målet om 35 % återvinning via biologisk behandling till år 2010: Kärlsystem med central kompostering, Kärlsystem med central rötning och Fastighetsnära kompostering.

Samma typ av insamlingssystem med papperspåsar och kärl förutsätts i systemen Kärlsystem med central kompostering och Kärlsystem med central rötning. De svenska erfarenheterna från detta system är positiva, då man uppmätt höga utsorteringsgrader och god renhet på det insamlade materialet. Vad gäller behandling så finns det positiva erfarenheter av kompostering av matavfall, åtminstone från de anläggningarna som har styrd luftning. Det finns idag inga erfarenheter av rötning av ett substrat som till största delen består av matavfall och som samlats in med papperspåsar. Nya anläggningar är dock under byggnation i några svenska städer.

Erfarenheterna av fastighetsnära kompostering i Malmö är blandade. Processen fungerar väl periodvis men fungerar inte vintertid då temperaturen i miljöhusen understiger +6°C. Utgångspunkten med fastighetsnära kompostering är att kompostjorden kan nyttogöras lokalt. I Augustenborg sker idag ingen lokal avsättning utan kompostjorden samlas in och används inblandat i avloppsslam som fyllnadsmassor.

Kostnaderna för dessa system är relativt lika. Kärlsystem med central rötning respektive central kompostering uppskattas medföra likvärdiga årskostnader för insamling och behandling av matavfall och restavfall per anslutet hushåll (ca 600 kr), medan fastighetsnära kompostering medför en något högre (ca 720 kr) årskostnad. Orsaken till att systemen med central behandling har lägre kostnader än Fastighetsnära kompostering är stordriftsfördelar i de centrala behandlingsanläggningarna.

De system som prövats i Västra Hamnen i Malmö (avfallskvarn och sopsug) är betydligt mer kostnadskrävande än övriga system och är endast rimliga att införa i samband med nybyggnation. Avfallskvarnssystemet har upplevts positivt av hushållen. Vid en eventuell utbyggnad av en central rötningssystem finns det inga praktiska hinder för att kombinera olika insamlingssystem, så även om merparten av Malmös hushåll får ett kärlsystem med utsortering i papperspåsar så kan avfallskvarnssystem och sopsugsystem byggas ut parallellt i nya områden.

I den andra delen av utredningen genomfördes en scenarioanalys för de tre system som har potential att klara kretsloppsmålet. Dessutom studerades ett nollalternativ med scenariot att källsortering inte införs. Scenarioanalysen genomfördes med substansflödesmodellen ORWARE. Kärssystem med central kompostering och Kärssystem med central rötning visar sig vara mest fördelaktiga ur kretsloppssynpunkt eftersom en relativt stor andel av näringsämnen från avfallet kan recirkuleras. Andelen potentiellt återförda näringsämnen i fastighetsnära kompostering är lägre beroende på att systemet kan införas i högst 50 % av Malmös hushåll.

Rötresten är den restprodukt som beräknas ha lägst innehåll av tungmetaller per kg torrsubstans. Systemet Källsortering med central rötning beräknas också ge lägst påverkan på växthuseffekten och ha fördelen att biogas utvinns. Den biogas som utvinns ur matavfallet beräknas uppgå till 60 kWh per person och år. För insamling av avfall förbrukas idag ca 15 kWh naturgas per person i Malmö. En fjärdedel av den producerade biogasen räcker alltså för att täcka energibehovet för insamling av avfall. Resterande del har potential att täcka ca 20 % av energibehovet för Malmös lokalbussar.

Projektgruppen rekommenderar att Malmö stad inför källsortering av matavfall via kärssystem med papperspåsar och anlägger en central biologisk behandlingsanläggning. Matavfallet kan behandlas biologiskt genom kompostering eller rötning, men vi förordar rötning eftersom biogas kan utvinnas och rötresten nyttjas som gödselprodukt. Vid en eventuell utbyggnad av en central röttningsanläggning finns det inga praktiska hinder för att kombinera olika insamlingssystem, så även om merparten av Malmös hushåll får ett system med utsortering i papperspåsar så kan avfallskvarnssystem och sopsugsystem byggas ut parallellt i nya områden.

Förord

Denna rapport redovisar en utredning åt Malmö VA-verk och SYSAV Utveckling AB utförd i samarbetet mellan EcoLoop AB, JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik och CIT Urban Water Management AB.

Projektgruppen bestod av Erik Kärrman (projektledare) och Ylva Magnusson från EcoLoop, Andras Baky, Mats Edström, Ola Palm och Gustav Rogstrand från JTI samt Per-Arne Malmqvist från CIT Urban Water Management AB.

Uppdraget följdes av en styrgrupp från beställarna bestående av Henrik Aspegren, Bengt Andersson och Mimmi Bissmont från Malmö VA-verk samt Stig Edner och Martin Hallmer från SYSAV.

Vi i projektgruppen vill rikta ett tack till styrguppen för stort engagemang, hjälp med information och värdefulla synpunkter. Vi vill också tacka tjänstemän, produktleverantörer, konsulter och forskare som generöst har delat med sig av information och erfarenheter.

Erik Kärrman

Stockholm, augusti 2005

Innehållsförteckning

| | |
|---|----|
| Sammanfattning..... | 2 |
| Förord | 3 |
| 1. Bakgrund | 5 |
| 2. Syfte..... | 5 |
| 3. Avgränsning | 5 |
| 4. Metod..... | 6 |
| 4.1. Erfarenhetssammanställning..... | 6 |
| 4.2. Scenarioanalys | 6 |
| 4.3. Kostnader..... | 6 |
| 5. Beskrivning av system..... | 6 |
| 5.1. Kärlsystem med central kompostering | 6 |
| 5.2. Kärlsystem med central rötning | 7 |
| 5.3. Sopsug med central rötning | 7 |
| 5.4. Avfallskvarn med central rötning..... | 7 |
| 5.5. Fastighetsnära kompostering..... | 7 |
| 6. Erfarenhetssammanställning | 8 |
| 6.1. Kärlsystem med central kompostering | 8 |
| 6.2. Kärlsystem med central rötning | 12 |
| 6.3. Sopsug med central rötning | 14 |
| 6.4. Avfallskvarn med central rötning..... | 15 |
| 6.5. Fastighetsnära kompostering..... | 17 |
| 7. Scenarioanalys | 19 |
| 7.1. Urval av scenarier..... | 19 |
| 7.2. Förutsättningar | 20 |
| 7.3. Scenarier..... | 21 |
| 7.4. Resultat | 23 |
| 8. Kostnader | 26 |
| 8.1. Årskostnad per hushåll | 26 |
| 8.2. Uppfyllande av Införande av miljömålet - Årskostnad per scenario | 26 |
| 9. Slutsatser och rekommendationer..... | 27 |
| 10. Referenser..... | 29 |
| 10.1. Muntliga källor | 29 |
| Bilaga 1: Beräkningsförutsättningar för scenarioanalys..... | 30 |
| Bilaga 2: Beskrivning av antagen röttningsanläggning..... | 30 |
| Biogasanläggningen | 30 |
| Ekonomi..... | 31 |
| Bilaga 3: Principskiss över antagen röttningsanläggning..... | 33 |

1. Bakgrund

Frågeställningen kring omhändertagande av lättnedbrytbart organiskt avfall har nyligen aktualiseras genom regeringens proposition 2004/05:150 "Svenska miljömål – ett gemensamt uppdrag", där ett delmål är att minst 35 % av matavfallet från hushåll, restauranger, storkök och butiker senast år 2010 skall återvinnas genom biologisk behandling. Målet avser källsorterat matavfall till såväl hemkompostering som central behandling. Målet har tidigare beslutats av riksdagen (bet 2003/04: MJU4, rskr. 2003/04:13) och i den nya propositionen fogas målet om återvinnig av matavfall samman med några nya förslag kring bl.a. mål om återföring av fosfor från VA-sektorn.

För att klara det nationella målet om 35 % återvinning av matavfall från hushåll krävs att de stora kommunerna aktivt arbetar med frågan.

Vid den konventionella hanteringen av avfall från hushåll i Malmö sker ingen utsortering av matavfall. Blandat hushållsavfall samlas in i kärl och transporteras med sopbilar till förbränning vid SYSAVs kraftvärmeverk.

Vid sidan av den konventionella hanteringen genomför VA-verket, Malmö stad, i samarbete med bland annat Sydsånes avfallsbolag (SYSAV) och med stöd från det Lokala Investeringsprogrammet (LIP) försök med insamling av matavfall i området Västra Hamnen. Två system har prövats:

- utsortering av matavfall med hjälp av avfallskvarnar anslutna till en lokal avskiljnings-tank som töms med hjälp slamsugbil
- utsortering av matavfall i papperspåsar som samlas in via sopsugsystem med separata nerkast för matavfall och restavfall.

Därutöver är VA-verket involverat i försök och utvärdering rörande fastighetsnära kompostering, framförallt i Ekostaden Augustenborg.

Vid SYSAV pågår också planering för att uppfylla behovet på utökad behandlingskapacitet för källsorterat matavfall.

2. Syfte

Syftet med denna utredning är att belysa konsekvenserna och nyttan av samt potentialen för olika system för insamling och behandling av lättnedbrytbart organiskt hushållsavfall. Även behandling av restavfall från hushåll ingår i utredningen. Aspekter som studeras är:

- Erfarenheter från olika system
- Beskrivning av miljövinster och risker
- Brukaraspekter i samband med systemens utnyttjande
- Ekonomiska uppskattningar

3. Avgränsning

Utredningen omfattar två delar: *erfarenhetssammanställning* och *scenarioanalys*. Erfarenhetssammanställningen avgränsades till insamling och behandling av lättnedbrytbart organiskt hushållsavfall i följande system:

- Kärlsystem med central kompostering
- Kärlsystem med central rötning
- Avfallskvarn med central rötning
- Sopsug med central rötning
- Fastighetsnära kompostering

De erfarenheter som samlats in har avgränsats till svenska, danska och norska projekt.

Scenarioanalysen har avgränsats till insamling och behandling av lättnedbrytbart organiskt hushållsavfall och restavfall från hushåll i Malmö kommun. Med restavfall menas här

brännbart hushållsavfall exklusive matavfall och avfall som omfattas av producentansvaret. Systemgränserna för scenarioanalysen finns redovisade i kapitel 7.

4. Metod

4.1. Erfarenhetssammanställning

I erfarenhetssammanställning sammanfattas erfarenheter kring de utvalda systemen. Sammanställningen baseras på artiklar, rapporter och annat skrivet material samt på muntliga uppgifter från driftspersonal eller andra berörda personer.

4.2. Scenarioanalys

I scenarioanalysen jämförs olika systemlösningar för Malmö stad år 2010 med avseende på miljöaspekter, energianvändning och kostnader. Förutsättningarna för scenarierna är kretsloppsmålet om att 35 % av matavfallet skall återvinnas genom biologisk behandling. Undantaget är referensalternativet där ingen källsortering av matavfall sker utan allt hushållsavfall går till förbränning.

För miljö- och energiaspekter används simuleringsmodellen ORWARE som ursprungligen är utvecklad av JTI, SLU, IVL och KTH. Modellen har använts i ett stort antal FoU-projekt och uppdrag. ORWARE beskriver transporten av ämnen till mark, vatten och luft som har påverkan på miljön. De ämnen som ingår är framförallt tungmetaller, växthusgaser, övergödande ämnen och försurande ämnen. ORWARE uppskattar också kvaliteten på restprodukter som är intressanta för utnyttjande som gödselmedel såsom rötrest och kompost. Slutligen beräknar ORWARE energianvändningen i scenariot (energi för transporter och drift av anläggningar) och energiutvinningen i scenariot (biogasproduktion och värmeutvinning). Miljöbedömning och energianalys görs endast för driftsfasen av systemen. Miljöbelastningen från produktionsfasen av systemen (tillverkning av kärl, insamlingsfordon, behandlingsanläggningar o.s.v.) ingår ej i scenarioanalysen.

4.3. Kostnader

Årskostnader bestående av insamling, kärlhyra och papperspåsar har beräknats. I insamlingssystemen för "avfallskvarn" och "sopsug" har även årskostnader för investeringar i fastighetens installationer (kvarn, rörsystem, tankar) medtagits. Årskostnaden har beräknats med annuitet för en livslängd på 15 år och 5 % kalkylränta.

5. Beskrivning av system

I detta kapitel har fem olika system för insamling av lättnedbrytbart organiskt hushållsavfall studerats. Erfarenheter, hämtade från framförallt Sverige men också från Danmark och Norge har sammanställts i kapitel 6.

5.1. Kärlsystem med central kompostering

Detta system innebär att matavfall sorteras ut i papperspåsar som läggs i separata kärl. Kärlen hämtas med sopbil och avfallet transporteras till central komposteringsanläggning. Varken insamlingssystem eller behandlingsanläggning finns i Malmö idag. Erfarenheter har istället hämtats främst från VAFAB-regionen men också från andra anläggningar i Sverige och Norge. Systemet är schematiskt beskrivet i Figur 1.



Figur 1. Schematisk beskrivning av kärlsystem med central kompostering.

5.2. Kärlsystem med central rötning

Systemet förutsätter ett identiskt insamlingsystem som i 5.1 men avfallet rötas i en central anläggning. Någon anläggning för rötning av matavfall finns inte utbyggd i Malmö utan erfarenheter har hämtats från andra anläggningar i Sverige och Danmark. Systemet är schematiskt beskrivet i Figur 2.



Figur 2. Schematisk beskrivning av kärlsystem med central rötning

5.3. Sopsug med central rötning

Matavfallet sorteras ut i papperspåsar. De boende lämnar påsarna med matavfallet i inkastningsluckor som är placerade utomhus i närheten av fastigheten. Påsarna hamnar i separata tankar under jord som är anslutna via ett nedgrävt ledningssystem till dockningspunkter där tömning sker med vakuumsugbilar. Systemet prövas i området Västra Hamnen i Malmö. I systemet förutsätts transport till en central rötningsanläggning som idag inte finns i Malmö. Systemet är schematiskt beskrivet i Figur 3.



Figur 3. Schematisk beskrivning av sopsugsystem med central rötning

5.4. Avfallskvarn med central rötning

Att använda köksavfallskvarnar för insamling av källsorterat matavfall via en separat ledning är ett unikt system som prövats i Västra Hamnen i Malmö. Kvarnen är placerad i den vanliga diskhon. Avfallet leds via ett separat tryckavloppssystem till en avskiljartank bestående av en sedimentationsdel och en fettavskiljardel. Det sedimenterade slammet sugs upp av en slamsugbil och transporteras till en anläggning för rötning. I systemet förutsätts en central rötningsanläggning som idag inte finns i Malmö. Systemet är schematiskt beskrivet i Figur 4.



Figur 4. Schematisk beskrivning av system avfallskvarn med central rötning

5.5. Fastighetsnära kompostering

De boende sorterar ut en komposterbar fraktion som de lämnar i komposter som finns i miljöhus inom kvarteret. Miljöhusen är placerade så att de boende har en gångväg på max 130 m. Matavfallet komposteras alltså på plats i en automatiserad behållare och det utgående materialet förutsätts bli utnyttjat som jordförbättringsmedel i bostadsområdet. Erfarenheter finns från Augustenborg i Malmö. Systemet är schematiskt beskrivet i Figur 5.



Figur 5. Schematisk beskrivning av fastighetsnära kompostering

6. Erfarenhetssammanställning

6.1. Kärssystem med central kompostering

Regelverk

Matavfall från hushåll innehåller normalt en viss andel animaliskt avfall och hantering och behandling regleras därför av animaliska biproduktsförordningen (ABP-förordningen, (EG) 1774/2002). Förordningen anger dock att hantering och behandling av matavfall från hushåll får bestämmas av kommunen. Matavfall eller livsmedelsavfall med animaliskt innehåll (från t.ex. storkök, restauranger, handel etc.) regleras av ABP-förordningen. Sådant avfall får, efter uppvärmning till minst 70 °C i minst 1 timme, behandlas i en komposterings- eller biogasanläggning och därefter användas som gödsel- eller jordförbättringsmedel.

Naturvårdsverket kom 2002 ut med allmänna råd till 2 kap. 3 § miljöbalken (1998:808) om metoder för yrkesmässig lagring, rötning och kompostering av avfall (NFS 2003:15). Råden gäller för anläggningar som bl.a. behandlar matavfall. När det gäller den så kallade huvudprocessen vid behandling av matavfall anges att:

- den ska ske i slutna form på ett sådant sätt att insamling av bildad gas och vätska är möjlig
- frånluft innehållande luktämnen eller andra miljöstörande ämnen bör renas så att utsläppen reduceras till en godtagbar nivå
- styrningen av huvudprocessen vid kompostering och rötning bör vara sådan att tiden i huvudprocessen understiger sex månader
- bildad gas vid huvudprocess genom rötning bör nyttiggöras eller, om detta inte är rimligt, facklas av eller behandlas på annat miljömässigt likvärdigt sätt
- i de fall kompost avses användas i samband med jordförbättring, bör en hög mognadsgrad eftersträvas

I råden finns även angivet olika temperaturkrav och uppehållstider för en hygienisk säkerhet vid behandlingen.

För rötrest och kompost finns sedan några år tillbaka ett frivilligt certifieringssystem utarbetat under ledning av RVF (SP, 2004). Hittills har sex röttningsanläggningar certifierats och ett par komposteringsanläggningar har inlett sitt kvalificeringsår. Anläggningsjord kan sedan nyligen certifieras enligt SP's certifieringsregler för P-märkning av anläggningsjord - SPCR 148 (SP, 2005).

Systemet Kärssystem med central kompostering har möjlighet att uppfylla kraven ovan om komposteringen är slutna och att lakvattnet behandlas.

Insamling

Insamling av matavfall med papperspåse används av många kommuner i Sverige. Ett exempel är Falu kommun, där man förut har använt sig av plastpåse för insamling av matavfall och där man nu gått över till papperspåsar. Vid en enkätundersökning uppgav 93 % att papperspåsen var ett bra alternativ till plastpåsen. Erfarenheterna tyder på att det blir något mindre felsorterat vid användning av papperspåse istället för plast (Marthinsen och Bjørn, 2005). Separata kärl är den vanligaste lösning för insamling av matavfall men även flerfackskärl finns i flera kommuner, bl.a. i Helsingborg. Marthinsen och Bjørn (2005) anger att potentialen för insamling av matavfall är 4,8 kg per villahushåll och vecka och 3,5 kg per lägenhetshushåll. Uppgifterna kommer från en sammanställning av 9 undersökningar i Norge, Sverige och Danmark.

I Lund pågår ett försök med utsortering och insamling av matavfall från 260 villahushåll. Materialet utsorteras i papperspåse som sedan läggs i 140 liters kärl, vilka töms varannan

vecka. Matavfallet transporteras till en röttningsanläggning i Kristianstad. Plockanalyser har genomförts och dessa indikerar att 99,5 % av materialet är korrekt sorterat. Insamlade mängder ligger på 3,2 – 3,5 kg matavfall per hushåll och vecka (Petersen, 2005). Detta innebär att utsorteringen är ca 70 % av potentialen som Marthinsen och Bjørn har angett. De reaktioner man fått från brukarna är positiva. I provprojektet används separata kärl men tanken är att fyrfackskärl skall användas vid ett eventuellt storskaligt införande (Wilhelmsson Göthe, personlig kommunikation).

De flesta kommuner med kärl är nöjda med insamling av papperspåsar eftersom den inte ger några väsentliga problem med lukt och ingen försämring av kvalitén på materialet (Marthinsen och Bjørn, 2005).

I det danska huvudstadsprojektet fick man en renhetsgrad på 96 % vilket betyder att brukarna förstod och följde uppsatta sorteringskriterier (Haugstad Petersen m fl 2003). I genomsnitt sorterades 1,4 kg matavfall ut per hushåll och vecka. Författarna anger att potentialen för utsortering av matavfall är 4,4 kg per hushåll och vecka, men försöken visar alltså att utsorteringen endast är ca 30 % av potentialen. Av den insamlade mängden blev ca 0,4 kg avskilt i förbehandlingen och ca 1 kg gick till rötning. Försöket visade att det fanns en del problem med insamlingsystemet. Bland annat var papperspåsar för små för större föremål som skulle kastas.

Behandling

I en teknisk utvärdering som genomförts av 11 svenska och norska komposteringsanläggningar (Starberg 2005) har anläggningarna indelats i tre grupper:

K1) Enkel kompostering utan styrd luftning (komposten vänds manuellt),

K2) Kompostering med styrd luftning, enkel utformning och

K3) Kompostering med styrd luftning, mer komplex utformning av typen automatisk kompostering i box.

Anläggningar av typen K1 finns Uppsala, Västerås och norska Elverum. Gemensamt för dessa anläggningar är organiskt hushållsavfall inom snar framtid kommer att tas ur drift och ersättas av nya anläggningar. K2-anläggningar finns i Borås, Göteborg, Karlskrona, Sala och norska Bodö. Dessa anläggningar har bättre drifts- och miljöförutsättningar än K1-anläggningarna. Bland annat så medför de mindre lukt, har bättre processmässig driftsstabilitet och leder till lägre luftemissioner. Den tredje typen av anläggningar, K3, fann Starberg (2005) i Borlänge och i tre norska anläggningar Kristiansand och Stavanger. K3-anläggningarna har de bästa drifts- och miljöförutsättningarna av de tre kategorierna men har också högst investeringskostnader.

Eftersom det finns relativt mycket erfarenheter kring K2-anläggningar samt att kostnaderna för investering och drift är betydligt lägre än K3 -anläggningarna så har fokus i denna utredning lagts på erfarenheter kring K2-anläggningar. Ett exempel är Sala där matavfallet samkomposteras med trädgårdsavfall från Enköpings, Sala och Heby kommuner (som ingår i VAFAB-regionen). Komposteringen i Sala sker i moduler med betongväggar och överbyggnad med tak av GoreTex-membran, vilket gör komposteringsprocessen lätt att kontrollera och minskar den negativa miljöpåverkan. En elektronisk styr- och mätutrustning kontrollerar processen och lufttillförseln. Behandlingstiden är ca 8 veckor. Efter en mognadsfas fraktas den färdiga komposten till Västerås där den används vid tillverkning av anläggnings- och planteringsjord tillsammans med torv, sand och mineraljord.

Matavfallet läggs i papperspåsar som distribueras fritt till invånarna i VAFAB-regionen. Påsar med avfall samlas in och transporteras efter omlastning till Sala med lastbil. Den färdiga komposteringsprodukten körs sedan tillbaka till Västerås i returtransporten för att användas vid jordtillverkning. Komposteringsanläggningen hanterar totalt 8 000 ton material per år (6 000 ton matavfall och 2 000 ton trädgårdsavfall) och består av fyra inten-

sivboxar med membrantäckning och fyra ej täckta eftermognadsboxar. Alla boxar är utrustade med luftningskanaler. Membrantäckningen är konstruerad som ett mobilt tak för enkel i- och urlastning. De viktigaste funktionerna av membranet är att det skyddar mot nederbörd och hindrar förlust av värme från systemet vilket gör komposteringsprocessen lättare att kontrollera och förkortar behandlingstiden (Ånger, 2005). Kompostering under semipermeabelt membran har även miljömässigt positiva bieffekter då membranet inneslänger illaluktande ämnen och miljöstörande emissioner medan syre och koldioxid kan passera relativt fritt.

Till komposteringsanläggningen hör även en omlastningsyta och en grovsikt där plast och beståndsdelar över 40 mm sorteras ut från den mogna komposten. Lakvattnet leds bort via luftningskanalerna till en pumpbrunn och vidare till den angränsande avfallsstationen där ett system för lakvattenrening (anaerob/aerob) finns installerat.

Komposttemperaturen i det intensiva steget varierar mellan 60 och 80°C. Luftningsbehovet är ungefär 1 m³ luft per 1 m³ substrat och timme. Den sammanlagda uppehållstiden i det intensiva steget och eftermognadssteget är ungefär 21 dagar. Anläggningen producerar årligen 4 000 ton mogen kompost, vilket innebär en halvering av ingående vikt.

Erfarenheter av drift

Erfarenheterna av driften av komposteringsanläggning är goda enligt Torbjörn Ånger på VAFAB, som ansvarar för anläggningen i Sala. Speciellt flexibiliteten i modulsystemet gör att anläggningen är och kommer att vara anpassningsbar vid ökade materialmängder och stramare miljökrav.

Starberg (2005) konstaterade att Sala-anläggningen efter en inkörningstid fungerar väl. Framförallt har man med kortare lagringstid av avfall fått bukt med luktproblem som man tidigare haft.

Miljö/Energi

Membransystemets tillverkare, det tyska företaget Biodegma, anger att membranet reducerar luktintensiteten med 90 %. Inga emissioner av växthusgaserna lustgas eller metan har kunnat uppmätas (Ånger, personlig kommunikation). Inga mätningar har gjorts i Sverige vad gäller membranets kvantitativa reduktion av eutrofierande och försurande emissioner.

Energiåtgången för att driva fläktarna är 7 kWh per ton behandlat substrat. Drivmedelsåtgången för lastmaskin och blandarvagn är beräknad till 3 liter per ton behandlat substrat. Resterande energiåtgång härrör från belysning och uppvärmning av personalutrymmen men de är försumbara i sammanhanget. Ingen återanvändning av den energi som frigörs i komposteringsprocessen sker (Ånger, personlig kommunikation).

Ekonomi

Sala-anläggningen nyanlades år 1999. Den totala investeringskostnaden blev då 9,5 miljoner kr, vilket inte inkluderar den reningsanläggning för lakvattnet som redan fanns på den intilliggande avfallsstationen. Själva membranduken har en livslängd på ungefär 5 år och kostar 500 kr per m². Anläggningen täcker idag ett område på 1,1 ha varav 1 000 m² upptas av komposteringsboxarna. Den totala årskostnaden är 350 kr/ton behandlat substrat, vilket inkluderar fasta kostnader och löner. Personalen består av en heltidsanställd som kompletteras med en person från avfallsstationen vid underhållsarbeten och reparationer.

Den mogna kompostprodukten går igenom ytterligare ett siktningsteg i Västerås varefter den blandas med torv, sand och mineraljord för att sedan säljas som jordförbätt-

ringsmedel eller blomjord. Det är inga problem med att få avsättning för komposten men priset varierar med vilket inblandningsmaterial som finns tillgängligt. En produkt som består av 25 % kompost och resten mineraljord säljs för 125 kr/ton medan en blandning av torv och sand med 45 % kompost säljs för 210 kr/ton. Förädlingskostnaden i Västerås (dvs. tillverkningen av jord) är ej inräknad i driftskostnaden för komposteringsanläggningen i Sala.

Arbetsmiljö/hygien

Något som kan påverka arbetsmiljön vid kompostering och rötning är förekomsten av damm, mikroorganismer (levande och döda bakterier samt mögelsvampar) och buller. Förekomsten av luftföroreningar varierar beroende på processteknik, avfallssammansättning och anläggningsutformning. Generellt föreligger det skillnader mellan halterna mikroorganismer vid varje processdel för respektive anläggning. Bakteriehållnaden är oftast högre än mögelsvamphalten. Rötning och kompostering av källsorterat hushållsavfall innebär risk för emissioner av ett flertal gaser, som t ex ammoniak, ättiksyra, myrsyra och koldioxid. Lukt är ett annat problem, och ofta luktar det i hela anläggningarna. Ett visst buller förekommer.

Arbetsmiljömässigt är systemet en förbättring gentemot öppen strängkompostering i och med att processgaserna till största delen hålls instängda under komposteringen. Membranet gör att temperaturdistributionen i substratet blir jämnare, vilket medför en enhetligare hygienisering. Det minskar också spridningen av svampsporer och bakterier till omgivningen (Andersson, 2001). Merparten av hanteringen sker med lastmaskin, vilket ytterligare förbättrar luftkvaliteten för driftspersonalen.

En annan erfarenhet som är värd att notera är att det är viktigt att det finns tillräckligt med utrymme vid anläggningen för mottagning, omlastning och korttidslagring. För liten yta medför att materialet måste staplas högre, vilket ökar risken för syrefri miljö i materialet och därmed ökar även risken för luktproblem. Dessutom kan logistiken inom anläggningen fungera mycket smidigare om utrymmet är större. Ytan för anläggningen i Sala, d.v.s. 1,1 ha är ur den aspekten lite snålt tilltagen enligt Torbjörn Ånger.

Driftsmässigt har man störst problem med hög koncentration av organiskt material i lakvattnet. Eftersom lakvattenkanalen även används som luftningskanal måste den rengöras mellan komposteringsomgångarna för att inte sätta igen. Annars fungerar anläggningen mycket bra och membranet beskrivs som effektivt.

Brukarperspektiv

Vid en jämförelse mellan avfallskvarns- och sopsugsystem i Västra Hamnen i Malmö (Åberg, 2004) framstod avfallskvarnssystemet som det mest bekvämliga för hushållen. Sortering av matavfall i påsar är förenat med visst besvär. Fukt och kladd på påsen beskrivs som ett problem av merparten av de undersökta hushållen sorterar matavfall i påse. Påshållaren måste rengöras när påsen byts. Man är också rädd för att påsen skall smutsa ner kläder och annat när man bär ut den eller att botten rent av skall gå sönder. Dessa problem, oavsett om de är upplevda eller befarade, kräver lösningar för att hanteringen skall fungera. Även i det danska huvudstadsprojektet vittnar brukarna om problem med att påsarna läcker vätska och även att lukt har uppstått under varmare perioder (Haugsted Petersen et al 2003).

I Västerås har en undersökning gjorts som visar att felsorteringsgraden är ungefär 2 viktsprocent (Ånger, personlig kommunikation). Utsorteringen av matavfall är i stort sett fullt utbyggd i hela regionen. Som exempel kan nämnas att 87 % av hushållen i Västerås har valt utsortering med central kompostering, 9 % utsortering med lokal kompostering och hemkompostering och 4 % har valt sophämtning utan utsortering. Enkätundersök-

ningar visar att hushållen genomgående är mycket nöjda med källsorteringssystemet som innebär att man abonnerar på papperspåsar som samlas upp i ett ventilerat uppsamlingskärl, som i sin tur töms var fjortonde dag. Även storkök och matvaruaffärer är anslutna till systemet.

Återföring av näringsämnen

Vid en enkätundersökning genomförd inom BUS-projektet framgick att komposten från svenska anläggningar i drift framförallt avsätts som anläggningsjord (Starberg, 2005).

Skaleffekter

Exemplet från Sala med satsvis kompostering under membran är till sin natur ett flexibelt modulsystem som kan växa med verksamheten. Detta förutsätter dock att det finns tillgång till mark, både för ytterligare komposteringsmoduler men också för större omlastningsutrymme. De flesta kostnader med detta system är troligen linjära i förhållande till skalan. Det som kan ge en effekt är att anläggningens layout möjliggör en hög effektivitet så att personalkostnaden kan optimeras.

6.2. Kärlsystem med central rötning

Regelverk

Texten kring regelverk i avsnitt 6.1 omfattar även detta system.

Insamling

Detta system medför samma typ av insamlingssystem som i 6.1.

Behandling

Elva befintliga och fem planerade svenska rötningsanläggningar har utvärderats inom ramen för BUS-projektet (Starberg, 2005). Ingen av anläggningarna motsvarar dock systemet med central rötning i den här studien. Det finns endast en anläggning i drift i Sverige där merparten av inkommande mängd avfall utgörs av matavfall från hushåll nämligen Trestadsregionens avfallsaktiebolag TRAABs anläggning i Vänersborg. Systemet avviker dock från det system som här har förutsatts genom att matavfallet samlas in med plastpåsar och sorteras optiskt. Även i Borås byggs en ny rötningsanläggning som skall ta emot en stor andel matavfall från hushåll, men matavfallet samlas in i plastpåsar som sedan sorteras ut med optisk sortering och avvikelserna är lika stora som för TRAABs anläggning.

Kristianstads anläggning stämmer överens med det förutsatta systemet i denna rapport ur aspekten att matavfall samlas in med papperspåsar. Däremot är förhållandena helt annorlunda eftersom fraktionen från hushåll endast är ca 5 % (merparten utgörs av slakteriavfall och flytgödsel).

Det finns däremot några planerade anläggningar som har en utformning som stämmer överens med det förutsatta systemet i denna rapport: Västerås, Skellefteå och Jönköping.

Summan av detta blir att de erfarenheter som hämtas från befintliga anläggningar i Sverige måste hanteras med varsamhet eftersom skillnaderna är stora jämfört med utredningens förutsättningar.

I Danmark genomfördes ett fullskaleförsök i huvudstadsområdet under perioden 2000 - 2002 (Haugsted Petersen *et al.* 2003). Försöket som stödfinansierades av Miljöstyrelsen omfattade insamling av matavfall från hushåll från drygt 16000 lägenheter. Matavfallet samlades in i papperspåsar precis som förutsatt i denna utredning. Avfallet blev insamlat och transporterat till Energigruppen Jyllands (EGJs) rötningsanläggning i Herning. Anledningen till att inte behandlingen skedde på Själland eller Fyn berodde på att förbehandlingskapacitet saknades där.

Erfarenhet av drift

Vad gäller själva rötningen så framhåller Starberg (2005) att de svenska befintliga an-

läggningarna som tar emot hushållsavfall befinner sig i ett utvecklingskede. De största drift- och intrimningsproblemen är koncentrerade till det processteg i anläggningen som har till funktion att avskilja föroreningar i inkommande material före röt-kammaren. Svårigheten ligger bland annat i balansen mellan avskiljning av föroreningar och förlust av organiskt material. I och med att papperspåsar förutsätts i det i denna utredning så kan man dock anta att förlusterna av organiskt material blir små och att föroreningar i form av sönderrivna plastpåsar kan undvikas.

Miljö/energi

Rötning har fördel jämfört med kompostering genom att biogas utvinns som kan användas som fordonsbränsle eller för att tillverka el och utvinna värme. En miljörisk finns dock om metangas släpps ut; eftersom metangas bidrar till växthuseffekten. I ett delprojekt inom BUS har mätning av metanutsläppen från ett par rötning-anläggningar genomförts. Det visade sig att metanförlusterna låg mellan 0,5-1 %. Starberg (2005) menar dock att utvecklingen går mot att utforma helt gastäta anläggningar, vilket då medför marginella utsläpp till luft. En större källa till metanutsläpp är öppna långtidslager, men vid de anläggningar som har en väl fungerande rötning-process, ett väl utrotat material, en god värmeåtervinning med en väl kyld rötrest, samt täta gaslager bör metanförlusterna kunna hållas mycket små.

Ekonomi

I det danska fullskaleförsöket i huvudstadsområdet gjordes kostnadsberäkningar för Köpenhamns och Fredriksbergs kommuner och här fann man att driftskostnaden per lägenhet var 576-650 kr per år. I kostnaderna ingick insamling, administration, information, transport och behandling (inkl. förbehandling). Kostnaderna blev mer än dubbelt så stora jämfört med vad som kalkylerats, men ligger å andra sidan ungefär i nivå med vad som beräknats i denna utredning (se kapitel 8).

I BUS-projektet finns inga totalkostnader redovisade (Starberg, 2005). Istället redovisas investeringskostnaderna för behandling som ett spann från 150 till 570 kr/ton (beräknat på konstant mängd avfall under anläggningarnas livslängd som antas vara 15 år) för K2-anläggningar. Underhållskostnaderna beräknas också varierar kraftigt, från 10-140 kr/ton. Driftskostnaderna är beroende av hur stor driftspersonal som behövs.

Arbetsmiljö/hygien

Arbetsmiljöaspekter för rötning beskrivs översiktligt i avsnitt 6.1.

Brukarperspektiv

Se kapitel 6.1.

Återföring av näringsämnen

Rötning-anläggningar har goda förutsättningar att uppfylla mer allmänt formulerade miljömål för resursutnyttjande och återföring av näringsämnen till jordbruket (ersättning av handelsgödsel). Enligt Starberg (2005) så går ca 80 % av rötresten från de utvärderade anläggningarna tillbaka till jordbruket vilket innebär att ett väl fungerande kretslopp mellan stad och land i de flesta fall erhålls.

Skaleffekter

Enligt JTIs erfarenheter så är investeringsbehovet för en biogasanläggning som rötar avfall delvis beroende på skalan. Inom rimliga storleksintervall kan man säga att investeringsbehovet för förbehandlingsutrustning (gäller framförallt mottagning av avfall, separation av främmande föremål och eventuell emballerande plast, sönderdelning) är relativt oberoende av skalan på biogasanläggningen.

Investeringsbehov för byggnader och markarbete liksom pumpar och omrörare påverkas något mer av skalan på biogasanläggningen. Investeringar för röt-kammare, sub-

stratlager och andra tankar vid biogasanläggningen påverkas av skalan, men den är inte linjär. Investeringsbehov för rötrestlager på gårdarna påverkas mest av skalan. Antalet rötrestlager som måste byggas utgör en multipel av volymflödet. Vissa rabatter per uppfört rötrestlager kan säkert fås om antalet rötrestlager dubblas.

De rörliga kostnaderna påverkas också av skalan. Dubblas storleken på biogasanläggningen behövs ej dubbelt så mycket personal för att driva anläggningen. Den årliga underhållskostnaden ansätts oftast som en procentandel av investeringsbehovet. Eftersom transportavståndet från biogasanläggningen ut till lantbrukets rötrestlager ökar med mängden rötat material (mer växtnäring ska ut till åkern) kommer transportkostnaderna öka snabbare än den ökade mängden avfall som rötas.

6.3. Sopsug med central rötning

Regelverk

Texten kring regelverk i avsnitt 6.1 omfattar även detta system.

Insamling

I området Västra Hamnen i Malmö är 300 lägenheter med i ett försök där matavfallet utsorteras i papperspåsar. Hushållen lämnar matavfallet och restfraktion i olika inkastningsluckor som är placerade utomhus i närheten av fastigheten. I detta försök hamnar påsarna i separata tankar under jord. När dessa är fulla leds materialet via ett nedgrävt ledningssystem till anslutningspunkter i utkanterna av bostadsområdet där det töms med sopsugbilar.

Sopsug är ett automatiskt system för insamling av avfall och kombineras med någon typ av sopnedkast (i trapphus eller på gården). Sopsugsystemet är alltså placerat under sopnedkast och avfallet transporteras genom undertryck i rören, etablerat av vakuumturbiner. Sopsugar kan vara stationära eller mobila. I fallet Västra Hamnen används ett mobilt system. I det mobila systemet finns ett mellanlager i form av en tank för avfallet. Vakuumturbinen finns i tömningsfordonet, som kan jämföras med en gigantisk dammsugare. Avfallet transporteras från mellanlagringsutrymmet via en transportör till en dockningsstation.

Sopsugsystemet är betydligt mindre beprövat än kärssystem. På de håll där de prövats har de positiva effekterna varit att det inte är arealkrävande samt att man undviker luktproblem. I Århus kommun i Danmark har erfarenheterna kring sopsugsystemet varit en omfattande felsortering och man förordar därför att inkastet ska utformas så att annat typ av avfall undviks samt att information sätts vid inkasten (Marthinsen och Bjørn, 2005).

Behandling

Detta sker på analogt sätt som i avsnitt 6.2.

Erfarenheter av drift

Drifterfarenheter från Västra Hamnens sopsugsystem har visat att det varit stora problem med att anvisningar och information som givits till de boende inte följts, vilket har medfört att allt från strykjärn till trädgårdsavfall har påträffats i sopsugsystemet och medfört stopp i rör etc. Problemet finns både vid insamling av restavfall och vid insamling av matavfall. När väl utsortering sköts fungerar systemet mycket väl. (Hallmer, personlig kommunikation).

Miljö/Energi

Utsgugning av tanken tar 10 min enligt Ragn-Sells för 300 lägenheter. Dieselförbrukningen är ca 25 liter per timme. (Karlhålt, personlig kommunikation).

Ekonomi

En mobil sopsugbil kostar ungefär tre gånger så mycket som ett konventionellt insamlingsfordon. Fördelen med ett mobilt system jämfört med ett stationärt sopsugsystem är att man kan använda samma vakuumpurbin till flera bostadsområden och kan därmed sänka investeringskostnaderna och behovet av underhåll. (Berg & Mattson, 2001).

I Malmö investerades 9 756 000 kr i de fasta komponenterna i sopsugsystemet för totalt 293 lägenheter (Malmö LIP-rapport). Investeringskostnaden per lägenhet blir således 33 300 kr/lägenhet.

Arbetsmiljö/hygien

Sopsugar innebär en minimering av tunga lyft och obekväma arbetsställningar som ofta uppkommer om insamlingen sker enligt referenssystemet. Ljudnivån kan vara hög i närheten av vakuumpurbinen, vid normal tömning behöver dock inte renhållningsarbetarna vistas i närheten av turbinen. Tömningen går förhållandevis snabbt och man slipper ha en bil som står på tomgång medan renhållningsarbetarna hämtar kärl, vilket är positivt både för boende- och arbetsmiljön (Berg & Mattsson, 2001).

Arbetsmiljöaspekter för rötning beskrivs översiktligt i avsnitt 6.1.

Brukarperspektiv

Pedagogiken i ett sopsugsystem kan ifrågasättas eftersom avfallet "bara försvinner". Om två fraktioner eller fler källsorteras ut och slängs via sopsugsystemet kan det lätt bli misstolkningar om att avfallsfraktionerna ändå blandas i slutändan. (Berg och Mattsson, 2001).

Papperspåssystemet anses som besvärligare än avfallskvarn, påsar läcker igenom och man måste gå ut för att slänga enligt Åberg (2004).

Återföring av näringsämnen

Principen är densamma som i avsnitt 6.2. Ett problem som uppstått vid pilotförsöken i Malmö är att utfallet har blivit en ganska låg utsorteringsgrad (Appelquist et al. 2004). Detta medför att det också blir förluster av näringsämnen och därmed en låg återföringsgrad.

Skaleffekter

Flaskhalsen är framförallt att det är svårt att bygga ut systemet snabbt i stor skala. Det är endast praktiskt/ekonomiskt rimligt att införa systemet i samband med nybyggnation.

6.4. Avfallskvarn med central rötning

Regelverk

Texten kring regelverk i avsnitt 6.1 omfattar även detta system.

Insamling

I Västra Hamnen pågår unika försök med avfallskvarnar. System är infört i 60 bostäder. Kvarnen är placerad i den vanliga diskhon. Avfallet leds via ett separat tryckavloppssystem till en avskiljartank bestående av en sedimentationsdel och en fettavskiljardel (Norlander & Lövestedt, 2002). Det sedimenterade slammet sugs upp av en slamsugbil och transporteras till röttningsanläggningen vid Sjölunda avloppsreningsverk.

Behandling

Erfarenheter kring behandling är delvis samma som i 6.2. Fördelen med avfallskvarnarna är att man slipper förbehandling eftersom inga påsar måste malas sönder. En nackdel som erfarenheter från Malmö visar är att avfallet blir väldigt utspätt och måste avvattnas före rötning (Appelquist et al. 2004).

Erfarenhet av drift

I de flerbostadshus där man installerat avfallskvarnar har det fungerat bra rent tekniskt och endast några få incidenter som t ex att fuktarmen har gått igång har inträffat. Dock har ett annat problem dykt upp istället och det är vem som är ansvarig det vill säga vart ska husvärdarna vända sig när de det uppstår problem. (Ohlsson K, personlig kommunikation).

För brukaren uppstår ofta problem i början av användningen, och avfallet blir en tjock smet. Detta beror nästan alltid på att man spolat för lite vatten. Kvarnen har emellertid den pedagogiska finessen att man "lär sig snabbt" hur mycket vatten som krävs samt vad som går att köra i kvarnen etc eftersom det blir stopp om man gör fel (Ohlsson K, personlig kommunikation).

Miljö/Energi

Fördelen med avfallskvarnar är att miljöbelastningen från insamling av avfallet med sopbil undviks. Den negativa sidan är att kvarnar med tillhörande uppsamlingssystem med tankar måste införas i varje hushåll, vilket betyder att stora mängder råvaror framförallt i form av stål åtgår för att tillverka systemen. Driften av kvarnarna är energieffektivt, uppskattat till endast 4 kWh per hushåll och år (Kärrman et al., 2001).

Ekonomi

Investeringskostnaden i Västra Hamnen var 696 500 kr för 75 st kvarnar år 2001, d.v.s. ca 9 300 kr/hushåll. Detta inkluderar förutom kvarnar och installation även ett trycksatt ledningssystem.

Insamlings- och transportkostnader är 340 kr/år och hushåll (Ohlsson R, personlig kommunikation). Observera att dessa kostnader gäller för ett småskaligt försök. Vid en mer storskalig utbyggnad kan kostnaderna bli lägre.

Arbetsmiljö/hygien

Systemet har den fördelen att matavfallet kräver minimalt med hantering eftersom inga kärl ingår i systemet.

Arbetsmiljöaspekter för rötning beskrivs översiktligt i avsnitt 6.1.

Brukarperspektiv

Systemet med avfallskvarn upplevs som mycket positivt ur bekvämlighetssynpunkt. Nackdelarna är att större material måste delas för att kunna slängas, förpackade matrester slängs inte i kvarnen utan i restfraktionen tillsammans med sin förpackning. Enligt Åberg (2004) uppfattar hushållen kvarnen som miljöteknik d.v.s. teknik som stödjer miljöriktig hantering.

Återföring av näringsämnen

Principen är densamma som i avsnitt 6.2. Ett problem som uppstått vid pilotförsöken i Malmö är att utfallet har blivit en ganska låg utsorteringsgrad (Appelquist et al. 2004). Detta medför att det också blir förluster av näringsämnen och därmed en låg återföringsgrad.

Skaleffekter

Flaskhalsen är framförallt att det är svårt att bygga ut systemet snabbt i stor skala. Införandet av systemet är endast rimligt vid nybyggnad.

6.5. Fastighetsnära kompostering

Regelverk

Texten kring regelverk i avsnitt 6.1 omfattar även detta system.

Insamling

Exempel på tillämpning av fastighetsnära komposter finns i ett stort antal kommuner. RVF genomför en enkätundersökning som ej publicerats vid tiden för slutförandet av detta projekt. I övrigt finns det väldigt lite information om fastighetsnära kollektiva kompost-system.

I eko-stadsdelen Augustenborg i Malmö har cirka 1600 hushåll utrustats med flera sopkärl för sortering av hushållsavfallet. I dessa sorterar boende ut bland annat en komposterbar fraktion. De utsorterade materialet kan sen lämnas i en av de 17 automatiserade komposter som finns i så kallade miljöhus inom området. Miljöhusen är placerade så att de boende har en gångväg på max 130 m.

Behandling

De fastighetsnära komposter som använts vid Augustenborg är uppbyggd med två kammare och en avfallskvarn och det första som sker då matrester slängs i komposten är att materialet finfördelas utav kvarnen. Detta sker automatiskt då luckan stängs. Tillsammans med matresterna blandas även pellets med för att få den rätta balansen i komposten. Årsförbrukningen av pellets är ca 18000 kg per år för samtliga 17 komposter (ca 6 kg pellets per person). Det malda avfallet hamnar i den första kammaren där mikroorganismernas arbete startar. Efter ca två veckor förflyttas (automatiskt) materialet över till den andra kammaren, där materialet får eftermogna.

Erfarenheter av drift

Komposteringsprocessen fungerar bra periodvis, men är instabil. Problem uppstår vintertid eftersom komposteringen bara fungerar vid temperatur över + 6° och ibland är det kallare än så i miljöhusen. En effekt av detta är att kvaliteten på det utgående material är varierande mellan årstiderna. Ett annat problem är att de anvisningar som finns inte följs och att annat material förutom matavfall hamnar i komposten vilket har medfört stopp som servicepersonal måste tillkallas för att åtgärda (Andersson och Graham, personlig kommunikation).

Miljö och Energi

Under perioden 2001-2002 genomfördes ett provtagningsprogram på kompostmaterialet i Augustenborg. Provtagningen syftade till att testa kvaliteten och studera eventuella skillnader mellan olika kvarter. Resultaten visade halter av vissa bekämpningsmedel i kompostmaterialet. Under denna period gjordes också en uppskattning av utsorteringsgraden, som uppskattades till 60-70 %. Utsorteringsgraden kan till viss del vara missvisande då kompostsystemet i Augustenborg är underdimensionerat men man har aldrig stött på några kapacitetsproblem.

Tungmetallinnehållet i kompostmullen i Malmö har analyserats (Frisell, personlig kommunikation). Värdena visade sig ligga under riktvärdena för certifierad kompost och rötrest.

För en kompost som kan ta emot avfall från 100 lägenheter ligger elförbrukningen på 900 kWh/år. För att komposteringsprocessen skall fungera vintertid måste miljöhuset ha en uppvärmning på uppskattningsvis ca 50 kWh/m²,år.

Ekonomi

Investeringskostnad är 160 000 (exklusive moms) för en fastighetsnära kompost som kan ta hand om matavfallet från 100 hushåll (samma typ som används i Augustenborg). Till detta tillkommer el och underhållskostnader som uppgår till 3000 kr/100 hushåll och år.

Vid Augustenborg uppgår skötselkostnaderna för att driva de 17 komposterna till 1 hel-tidsanställd. (Frisell, personlig kommunikation).

Arbetsmiljö/hygien

Arbetsmiljöaspekter för kompostering beskrivs översiktligt i avsnitt 6.1.

Brukarperspektiv

Åsikterna om fastighetsnära kompostering är väldigt varierande bland de boende i Augustenborg. En del är mycket positiva då man bland annat minskat luktproblemen som man tidigare hade från sopnedkassen inne i husen. Det som anses vara negativt är att man behöver ha flera sopkärl som tar plats samt att det kan vara arbetsamt för speciellt äldre på vintern på grund av halkrisken. Hyresgästerna upplever också att hela källsorteringsystemet kan förbättras i vissa avseenden t ex bättre information till nyinflyttade och information om resultatet av källsorteringen.(Huang och Graham, personlig kommunikation)

Återföring av näringsämnen

Vid införandet av fastighetsnära kompostering i Augustenborg fanns intentionen att kompostjorden skulle användas inom Augustenborg men då man fick klart för sig att detta skulle leda till ett näringsöverskott i området inriktade man sig istället på att försöka få sprida materialet på jordbruksmark. Detta är fortfarande planen och man hoppas på att få KRAV- certifiera jorden inom en snar framtid. I dagsläget hämtas kompostjorden varannan vecka av Ragn-Sell Agro som kör det till Sjölunda avloppsverk där den blandas med avloppsslam och används som utfyllnadsmaterial (Andersson samt Graham, personlig kommunikation).

Skaleffekter

Eftersom systemet bygger på fastighetsnära behandling är det relativt enkelt att bygga ut systemet genom att utöka antalet kompostreaktorer. Hindret för införande av systemet är framförallt avsättningen av komposten. Lokal avsättning kräver stora ytor med odlingar i området vilket oftast saknas i en tätort.

7. Scenarioanalys

7.1. Urval av scenarier

Avsikten med scenarioanalysen är att miljömässigt jämföra olika systemval för Malmö år 2010. Utgångspunkten är att systemen skall uppfylla kretsloppsmålet om att 35 % av matavfallet skall återföras till växtodling via biologisk behandling. Alla system som införs skall uppfylla detta mål med undantag av "nollalternativet" där dagens system med insamling av blandat hushållsavfall till förbränning förutsätts. Matavfall från restauranger och storkök tas inte med i studien eftersom dessa mängder är mindre än en tiondel jämfört med matavfall från hushåll (Svärd, 2003). Den funktionella enheten är matavfall och restavfall som genereras av hushåll i Malmö under ett år. Som basår väljs år 2010. Befolkningsdata och data kring bostäder finns sammanställt i Tabell 1.

| | 2005 | 2010 |
|-----------------------------------|---------|--|
| Befolkningsmängd | 267 171 | 280 050 |
| Antal lägenheter i flerbostadshus | 114 241 | Räknar med att ca 1000 bostäder/år kommer byggas fram till år 2010 |
| Antal småhus | 24572 | |
| Andel boende i tätort | 92 % | 92 % |
| Antal personer per bostad | 1,9 | 1,9 |

Tabell 1. Befolkningsdata och data gällande boende för Malmö Stad år 2005 och prognos för år 2010.

Uppskattade möjliga införandegrader till år 2010 samt förväntade utsorteringsgrader för olika system är redovisade i Tabell 2. Med införandegrad avses andelen av hushållen i Malmö som innehar det aktuella systemet år 2010. Med utsorteringsgrad avses den andel av matavfallet som sorterar ut i en separat matavfallsfraktion.

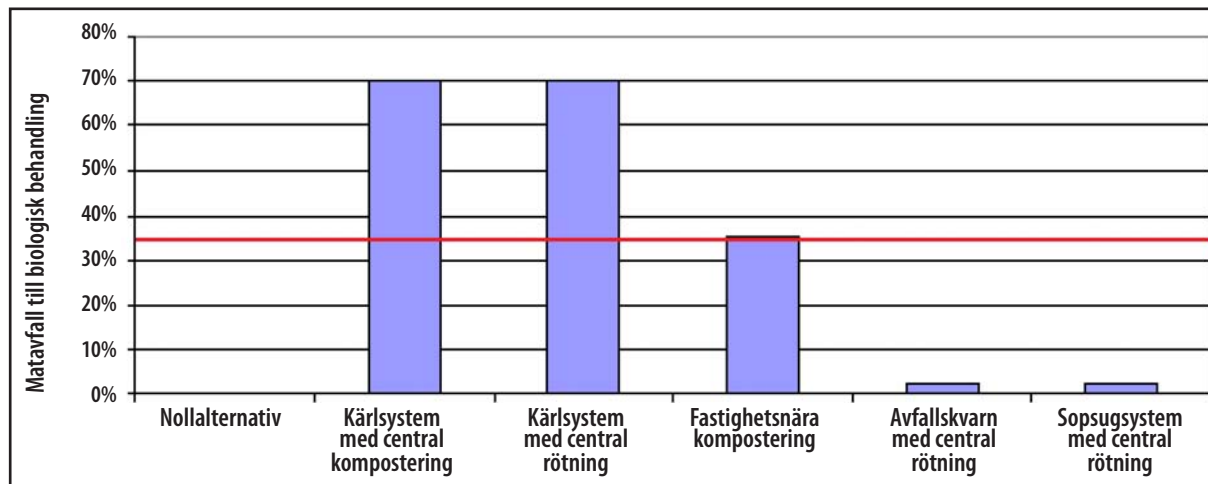
| | Införandegrad* | Utsorteringsgrad** |
|-------------------------------------|----------------|--------------------|
| Nollalternativ | 100 % | - |
| Kärssystem med central kompostering | 100 % | 70 % |
| Kärssystem med central rötning | 100 % | 70 % |
| Fastighetsnära kompostering | 50 % | 70 % |
| Sopsugsystem med central rötning | 3,5 % | 70 % |
| Avfallskvarn med central rötning | 3,5 % | 70 % |

Tabell 2. Möjliga införandegrader av olika system i Malmö fram till år 2010 samt antagande om utsorteringsgrader

*) Införandegraden för systemen bygger på rimlighetsbedömningar gjorda av projektgruppen. Införandegraden för sopsug- och avfallskvarnssystemen bygger på att systemens endast införs i nybyggda lägenheter år 2006-2010.

**) Utsorteringsgraden bygger på erfarenhetsvärden från bl a VAFABs insamling i påsar till central kompostering, vilket bedöms ligga i närheten av vad som är möjligt att uppnå vid ett lyckat införande av ett källsorteringssystem. Det bör dock noteras att pilotförsöken med avfallskvarn och sopsugsystem i Malmö inte nådde upp till en utsorteringsgrad på 70 % (Appelquist et al., 2004). Motivet till valet av samma utsorteringsgrad för samtliga system är att det inte kan fastställas om något tekniskt system genererar högre utsorteringsgrad än ett annat med tillgänglig information (Åberg, 2004).

En analys av möjlig utbyggnad av de fem systemen för insamling och behandling av matavfall har genomförts. Se Figur 6.



Figur 6. Bedömd möjlig insamlingsgrad av matavfall till år 2010 för de studerade systemen.

Figur 6 visar att målet med 35 % återvinning via biologisk behandling beräknas kunna uppfyllas vid införande av kärldsystem med central rötning eller kompostering samt för fastighetsnära kompostering. Detta betyder att dessa tre systemstrukturer väljs ut för studier med systemanalys samt nollalternativet som innebär att osorterat hushållsavfall går till förbränning.

7.2. Förutsättningar

Systemanalysen av insamling och behandling av matavfall och restavfall från hushåll i Malmö jämförs i fyra olika systemstrukturer. En stor del av förutsättningarna är gemensamma för samtliga systemstrukturer som studeras.

- Den funktionella enheten är matavfall och restavfall som genereras av hushåll i Malmö under ett år.
- Som basår väljs år 2010
- Hushållsavfallet studeras från det att det samlas in och följs fram till och med behandlingsanläggning
- Potential för återföring av näringsämnen, emissioner, energianvändning och kvalitet på rötrest och kompost i fråga om tungmetaller redovisas.
- Miljöeffekterna från användningen av nyttigheter som kommer ut ur systemen såsom t ex biogas och gödningsprodukter ingår ej i analysen
- Alla resultat anges som årsmedelvärden
- Elektricitet som används i olika processer i avfallshanteringen antas komma från svensk medelmix
- Insamling och samtliga transporter antas ske med naturgasdrivna fordon
- Den centrala komposteringen använder en inblandning av 10 viktsprocent park- och trädgårdsavfall som tillsatsmaterial i syfte att reglera C/N-kvoten
- Den fastighetsnära komposteringen innehåller en inblandning av 10 % pellets som strukturmaterial
- I samtliga system antas 70 % av matavfallet sorteras korrekt, resterande 30 % hamnar tillsammans med restavfallet.

De inkommande materialen är matavfall från hushåll och brännbart restavfall. Torrsubstanshalten för matavfall är 31 % och för restavfall 92 %. Varje person i Malmö genererar 108 kg matavfall och 162 kg restavfall per år. Det ger drygt 30 000 ton matavfall och 45 400 ton restavfall genereras från de 280 050 personer som ingår i studien.

Insamling

Insamling av avfall från hushåll sker med en baklastad sopbil. Hushållen delas in i 3 olika kategorier:

- Enbostadshus hushåll inom tätort
- Flerbostadshus inom tätort
- Enbostadshus utanför tätort

Förbränningsanläggning

Förbränningsanläggningen antas ha en verkningsgrad på 90 %. Av tillvaratagen energi kommer 80 % användas som fjärrvärme och 20 % som el

Kompostering

Samtliga komposter kommer att generera en fullt färdig kompostprodukt med 50 % TS. Tillsats av kolrikt material motsvarande 10 % av avfallsmängden har tillsats i syfte att reglera C/N-kvot.

Central kompost

Elförbrukning: 25,2 kJ/kg avfall till kompostering

Dieselförbrukning: 108 kJ/kg avfall till kompostering

Lokal kompost

Elförbrukning: 3 480 MJ/år och komposttrumma

Rötning

Rötningen är en enstegs totalomblandad anläggning (CSTR) som arbetar vid mesofil temperatur, 37 °C.

Förbehandling

Innan rötkammaren behandlas det inkommande avfallet med rivning av påsar med efterföljande magnetisk separering av metallföremål. Separeringen medför förlust av motsvarande 10 % av inkommande mängd. Innan rötning hygieniseras avfallet vid 70 °C under 1 timme. Avfallet späds från inkommande ts-halt på 31 % till 16 %. Ingen recirkulering av processvatten är antagen utan all spädning sker med externt tillfört vatten.

Röttningsanläggning

Elbehovet vid rötning motsvarar 3 % av energin i biogasen. Vid lagring av biogas bildas metan motsvarande 5 % av VS samt CO₂ motsvarande 1,5 ggr mängden bildad metan. 0,1 % av kvävet i rötresten avgår som lustgas vid lagring och 3 % av ammoniumkvävet avgår som ammoniak vid 6 månaders lagring. Gasen från lagringen antas fångas upp och tillförs biogasflödet från rötkammaren.

Uppgradering av biogas

Vid rening av biogasen antas ett elbehov som motsvarar 3 % av energin i biogasen. Vid komprimering av den reade biogasen antas ett elbehov motsvarande 3 % av energibehovet i biogasen. Vid rening av biogasen antas 1 % av metanet gå förlorat.

Efter rening innehåller biogasen 98 % metan.

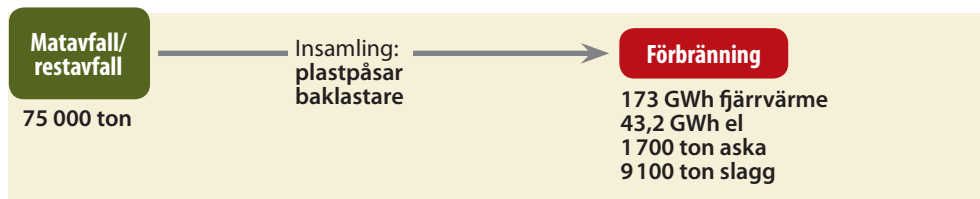
7.3. Scenarier

Systemstruktur 1.

Nollalternativet - Allt avfall samlas in osorterat och förbränns

Systemstruktur 1 är referensstruktur mot vilka de övriga jämförs. Den beskriver ett system utan källsortering av matavfall från hushållen. Allt matavfall och restavfall från hushållen samlas in med konventionell teknik i plastpåsar och skickas till förbränning. Vid förbränningen genereras el och fjärrvärme. Aska deponeras och slagg återanvänds. I Figur 7 redovisas ett flödesschema och massflödena från simuleringar med ORWARE modellen. Det

bör noteras att de simulerade mängderna aska och slagg är lägre än de som SYSAVs förbränning genererar i dag (Edner, S. personlig kommunikation). Orsaken till detta är främst att avfallet som förbränns idag innehåller en stor andel industriavfall och har därmed en annan sammansättning än vad som antas i ORWARE-simuleringarna.

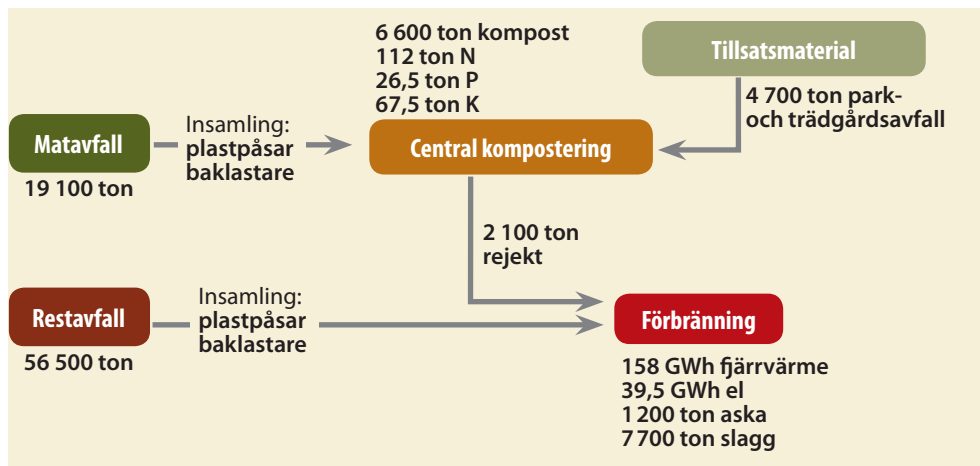


Figur 7. Systemstruktur 1: Allt avfall samlas in och förbränns.

Systemstruktur 2.

Källsortering av matavfall i papperspåsar till central kompostering

I systemstruktur 2 har källsortering av hushållens matavfall införts. 100 % av samtliga hushåll i Malmö är anslutna till systemet. Matavfall samlas in i papperspåsar och transporteras till en central komposteringsanläggning. Matavfallet komposteras i en membrankompost. Från komposteringen erhålls en färdig kompostjord. Vid förbehandling av matavfallet innan komposteringen, avskiljs 10 % som rejekt. Allt restavfall samt den andel av matavfallet som inte sorteras och rejektet från förbehandlingen skickas till förbränning för energiutvinning. Från förbränningen erhålls el och fjärrvärme. Aska deponeras och slagg återanvänds.

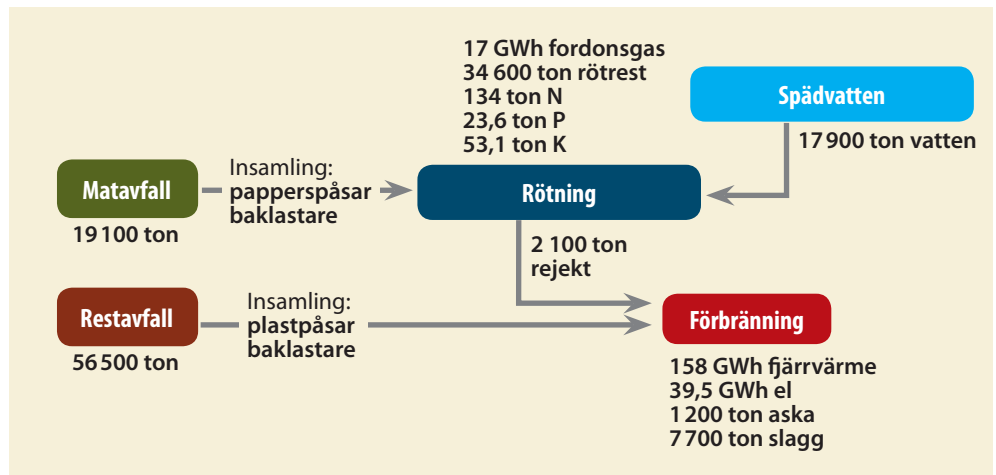


Figur 8. Systemstruktur 2: Källsortering av matavfall i papperspåsar för behandling i central komposteringsanläggning

Systemstruktur 3.

Källsortering av matavfall i papperspåsar till rötning

I systemstruktur 3 har källsortering av hushållens matavfall införts. 100 % av samtliga hushåll i Malmö är anslutna till systemet. Matavfall samlas in i papperspåsar och transporteras till en röttningsanläggning. Från rötningen erhålls biogas och rötrest. Biogasen är renad till 98 % ren metan (CH_4) och är tänkt att användas som fordonsbränsle. Rötresten anges som oavvattnad rötrest. Vid förbehandling av matavfallet innan rötningen, avskiljs 10 % som rejekt. Allt restavfall samt den andel av matavfallet som inte sorteras och rejektet från förbehandlingen skickas till förbränning för energiutvinning. Från förbränningen utvinns el och fjärrvärme. Aska deponeras och slagg återanvänds.

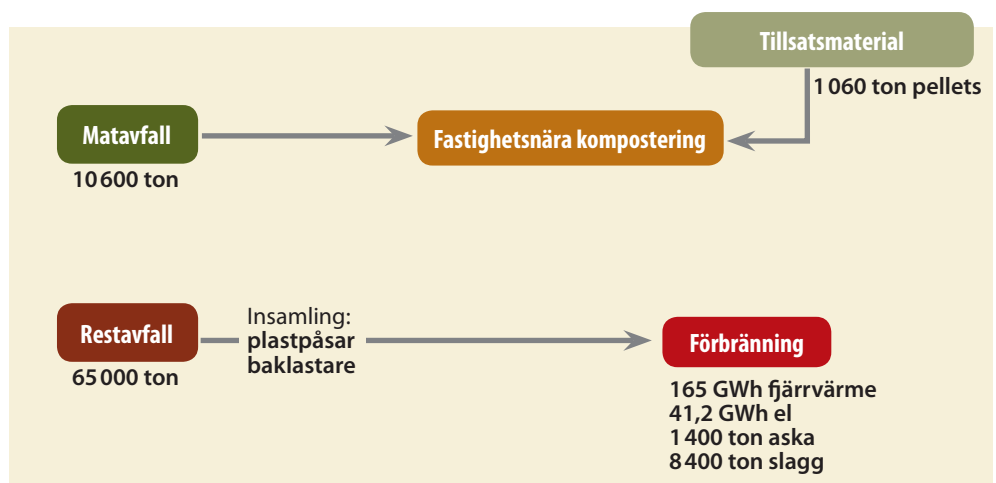


Figur 9. Systemstruktur 3: Källsortering av matavfall i papperspåsar för behandling i central röttningsanläggning.

Systemstruktur 4:

Fastighetsnära kompostering

I systemstruktur 4 har källsortering av hushållens matavfall införts. 50 % av samtliga hushåll i Malmö är anslutna till systemet. Matavfall komposteras i lokala komposter. Från komposteringen erhålls en färdig kompostjord. Allt restavfall samt den andel av matavfallet som inte sorteras skickas till förbränning för energiutvinning. Från förbränningen erhålls el och fjärrvärme. Aska deponeras och slagg återanvänds.

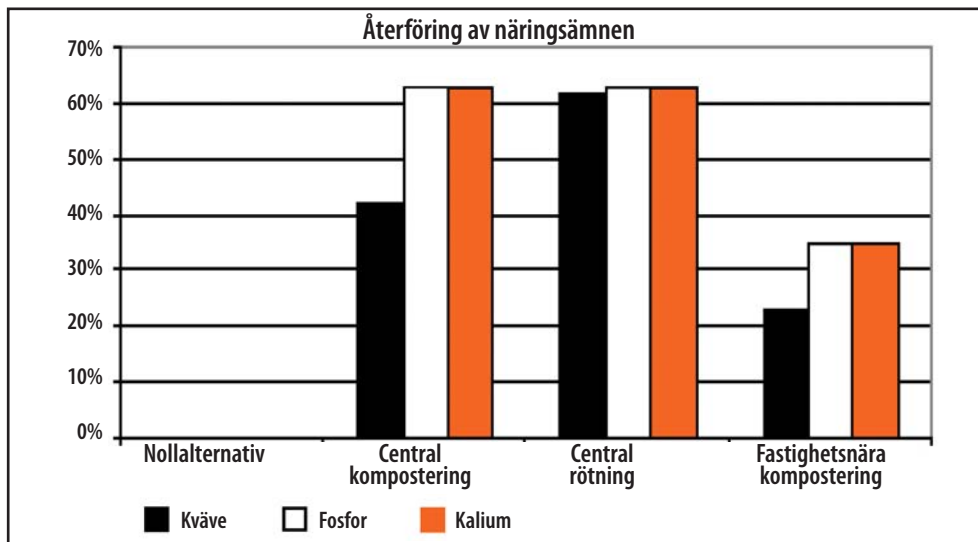


Figur 10. Systemstruktur 4: Källsortering av matavfall för behandling i fastighetsnära kompostering.

7.4. Resultat

Återföring av närsalter

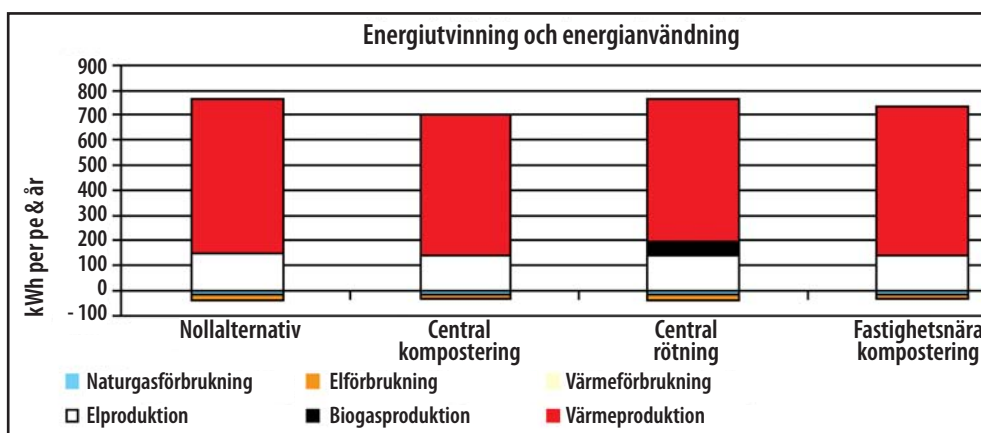
Samtliga källsorterande system har potential att återföra näringsämnen i kretslopp till odling. Som framgår av Figur 11 så kan 40-60 % av kvävet samt ca 60 % av kalium och fosfor återföras vid central kompostering och central rötning. Fastighetsnära kompostering har en potentiell återföring av ca 25 % kväve samt fosfor och kalium till ca 35 %. Den viktigaste faktorn för skillnaden i systemen är antalet hushåll som är anslutna till systemet, vilket är 100 % vid central rötning och central kompostering medan det endast är 50 % vid fastighetsnära kompostering.



Figur 11. Potentiell återföring av växtnäring.

Energianvändning

Vad gäller energi så innehåller systemen både energianvändning och utvinning. I Figur 12 är energianvändning redovisad som negativ och energiutvinning som positiv stapel. Energianvändningen består av oljeförbrukning i form av bränslen för insamling och transport och el- och oljeförbrukning för processer i behandlingsanläggningarna. Energiutvinningen består av el- och värmeproduktion från förbränning. För systemet med central rötning genereras även biogas. Det kan noteras att energiutvinningen är stor i förhållande till energianvändningen, men man bör ha i minnet att den största posten på positiva sidan för samtliga system, värmeutvinningen, är av en lägre kvalitet än övriga delposter. Detta betyder att om man jämför nollalternativet och alternativet med central rötning så är totalt antal kilowattimmar energiutvinning likvärdig i de bägge systemen, men alternativet central rötning har en fördel av att biogas genereras som kan användas som fordonsbränsle eller för att producera el. Den biogas som utvinns ur matavfallet beräknas uppgå till 60 kWh per person och år. För insamling av avfall förbrukas idag ca 15 kWh naturgas per person i Malmö (Erlandson, personlig kommunikation). Om insamlingen istället utförs med biogasdrivna sopbilar återstår ett överskott på 45 kWh per person och år. Detta överskott har potential att täcka ca 20 % av energibehovet för Malmös lokalbussar (total naturgasförbrukning för lokalbussar i Malmö är 60 GWh per år).

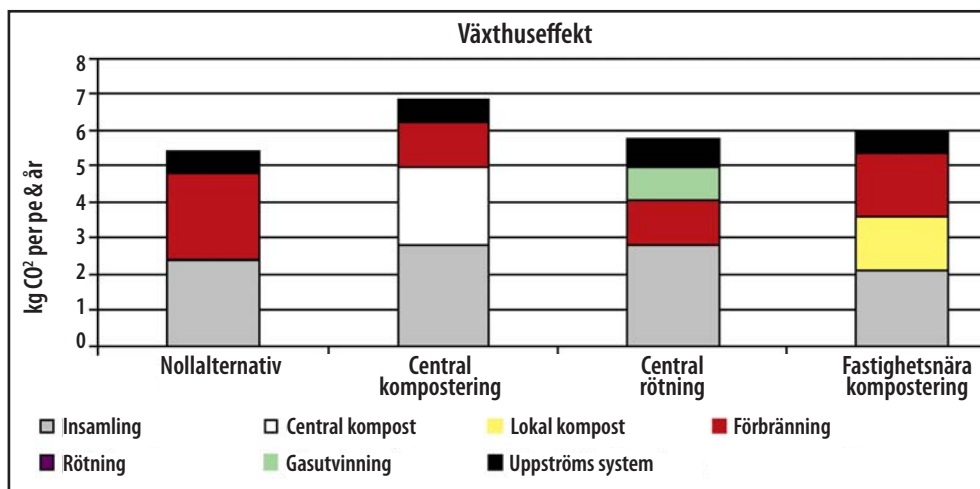


Figur 12. Energianvändning och utvinning för systemstrukturerna.

Växthuseffekt

Påverkan på växthuseffekten domineras av påverkan från insamlingsfordonen Figur 13. Fordonen drivs av naturgas vilket gör att de trots allt har lägre koldioxidutsläpp än dieseldrivna fordon. Ett annat bidrag är metanutsläpp vid komposteringen. I det centrala systemet så antas processen ske under semipermeabel duk och i det fastighetsnära al-

ternativet är komposten öppen. Ett ytterligare bidrag är växthusgasutsläpp från förbränningen framförallt i form av lustgas. Det bidrag som kallas "Uppströms system" utgörs av påverkan på växthuseffekten från produktion av el och fossila bränslen.



Figur 13. Påverkan på växthuseffekten från systemstrukturerna.

Tungmetaller

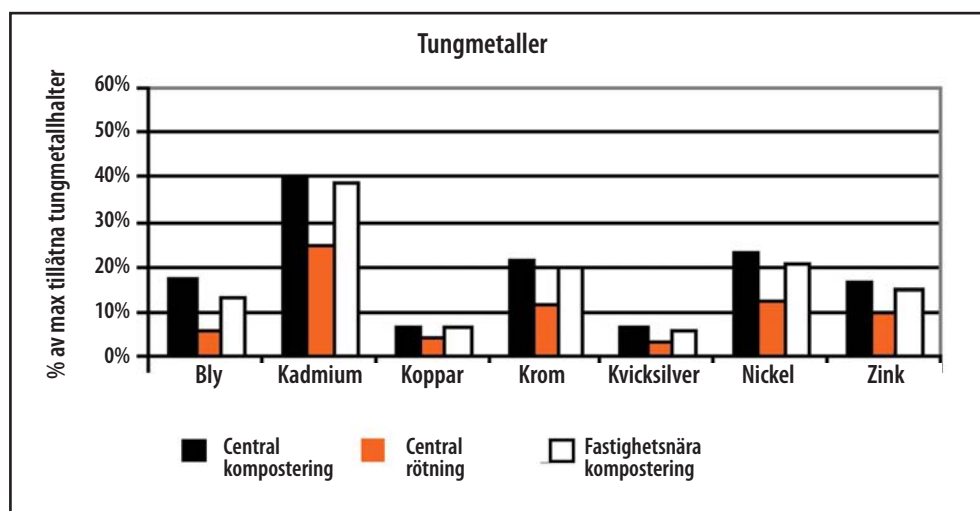
Rötrest och kompostjord från de källsorterande systemen förväntas spridas på odlingar som gödsel- eller jordförbättringsprodukter. För dessa produkter finns certifieringsregler formulerade (SP, 2004). Certifieringsregler för kompost kommer att ges ut av SP Sveriges Provnings- och forskningsinstitut under hösten 2005. Riktvärden för tungmetallhalter för certifiering av biogödsel finns formulerade och återfinns i Tabell 3. De kommande certifieringsreglerna för kompost kommer att ha samma riktvärden som för biogödsel.

| Metall | Maximal halt, mg/kgTS ¹ |
|-------------|------------------------------------|
| Bly | 100 |
| Kadmium | 1 |
| Koppar | 600 ² |
| Krom | 100 |
| Kvicksilver | 1 |
| Nickel | 50 |
| Zink | 800 ² |

Tabell 3. Riktvärden för metallinnehåll i biogödsel från SP (2004).

- 1) Alla värden utom koppar och zink följer riktvärdena för jordförbättringsmedel enligt EU-blomman
- 2) För koppar och zink tillämpas samma värden som avloppsslam som får spridas på åkermark, SNFS1998:4.

De beräknade kvaliteterna på rötrest och kompost i Malmö uppfyller väl certifieringsreglerna för biogödsel se Figur 14. Anledningen till att komposten beräknas ha högre halter av tungmetaller än rötrest beror på bidraget från tillfört strukturmateriel (park- och trädgårdsavfall i central kompost och pellets i fastighetsnära kompostering).



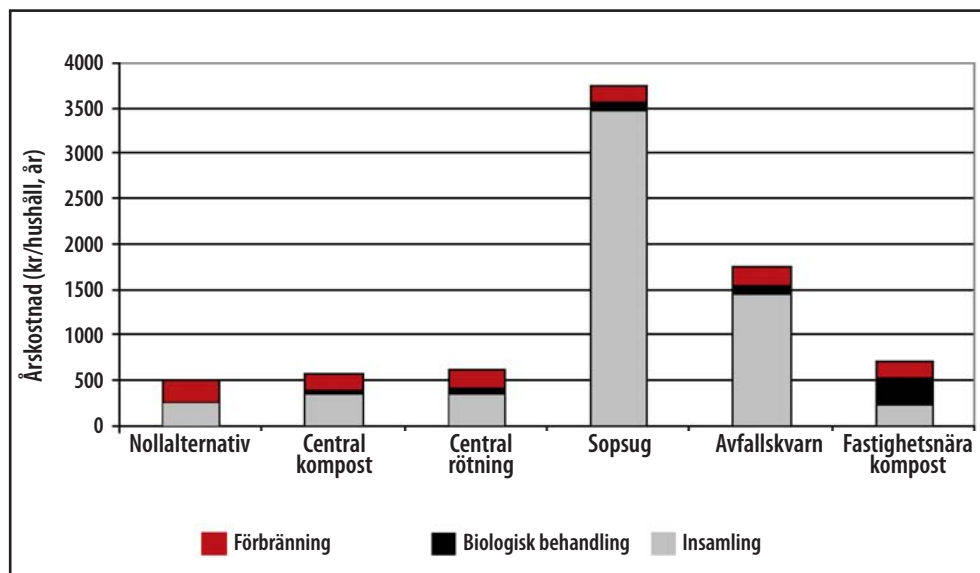
Figur 14. Tungmetallhalter i rötrest och kompost som procentuell andel av riktvärdena i Tabell 3.

8. Kostnader

8.1. Årskostnad per hushåll

Kostnader för systemen i kapitel 6.1 – 6.5 har kostnadsberäknats och redovisas i Figur 15. Likaså finns det befintliga alternativet med som nollalternativ. I insamlingssystemen har kostnader för insamling, kärllhyra och kostnader för påsar medräknats. I insamlingssystemen för "avfallskvarn" och "sopsug" har även årskostnader för investeringar i fastighetens installationer (kvarn, rörsystem, tankar) medtagits. Årskostnaden har beräknats med annuitet för en livslängd på 15 år och 5 % kalkylränta. Samma livslängd och ränta har använts för att beräkna årskostnaderna för biologisk behandling i form av rötning i alternativen "Central rötning", "Avfallskvarn" och "Sopsug" samt för kompostering i "fastighetsnära kompost". I alternativet "Central kompost" har en årskostnad på 350 kr/ton för behandling använts som är en uppgift från VAFABs anläggning i Sala kommun (Ånger, personlig kommunikation). Årskostnaden för förbränning har antagits vara 500 kr/ton (Edner, personlig kommunikation).

Av Figur 15 framgår att kostnaderna beräknas bli 520-730 kr per hushåll och år för de tre källsorterande alternativen "central rötning", "central kompost" och "fastighetsnära kompostering" och dessa beräknas innebära en viss fördyring jämfört med det befintliga systemet utan sortering (nollalternativet) där årskostnaden beräknas bli 590 kr per hushåll och år. I rötningssystemen har en intäkt på 0,25 kr per kWh biogas inräknats. I alternativet "fastighetsnära kompostering" görs besparingar i form av minskad insamling, men driftskostnaden för behandling beräknas bli högre i detta alternativ än i övriga. Alternativen med avfallskvarn och sopsug beräknas bli 1 800 respektive 3 700 kr/hushåll och år. Det är investeringskostnader i kvarnar, rörsystem och tankar som ger stort utslag.



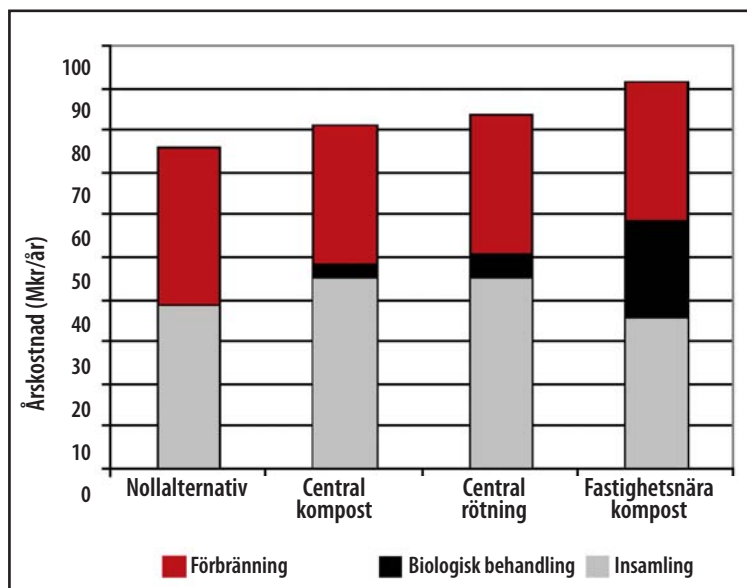
Figur 15. Årskostnader för undersökta system för insamling och behandling av lättnedbrytbart organiskt avfall och restavfall från hushåll.

I beräkningarna bakom Figur 15 ingår ej merkostnader som kan uppstå vid uppstart av nya behandlingsanläggningar samt under drifttid för kontroller och löpande information.

8.2. Uppfyllande av Införande av miljömålet - Årskostnad per scenario

I detta avsnitt redovisas årskostnaden om de källsorterande systemen införs precis till en nivå så att målet om 35 % insamling uppfylls. Detta sker genom att systemen införs i 50 % av hushållen givet att utsorteringsgraden är 70 % (se Figur 16). Rangordningen mellan dessa alternativ är densamma som i Figur 15.

Figur 16. Beräknad årskostnad per scenario då 50 % av hushållen har infört källsortering i Centralkompost, Central rötning och Fastighetsnära kompostering.



9. Slutsatser och rekommendationer

Utredningen visar att tre system kan uppfylla målet om 35 % återvinning via biologisk behandling till år 2010: central rötning, central kompostering och fastighetsnära kompostering. Kostnaderna för dessa system är relativt lika. Kärssystem med central rötning respektive central kompostering uppskattas medföra likvärdiga årskostnader för insamling och behandling av matavfall och restavfall per anslutet hushåll (ca 600 kr), medan fastighetsnära kompostering medför en något högre (ca 720 kr) årskostnad. Orsaken till att systemen med central behandling har lägre kostnader än fastighetsnära kompostering är stordriftsfördelar i de centrala behandlingsanläggningarna.

Kärssystem med central kompostering och kärssystem med central rötning visade sig vara mest fördelaktiga ur kretsloppssynpunkt eftersom en relativt stor andel av näringsämnen från avfallet kan recirkuleras. Andelen potentiellt återförda näringsämnen i fastighetsnära kompostering är lägre beroende på att systemet inte kan införas i mer än 50 % av Malmös hushåll. Även 50 % är förmodligen högt räknat om komposten skall kunna avsättas lokalt. I Augustenborg idag sker ingen lokal avsättning utan kompostjorden samlas in och används inblandat i avloppsslam som fyllnadsmassor.

Rötresten är den restprodukt som beräknas ha lägst innehåll av tungmetaller per kg torrsubstans. Systemet källsortering med central rötning beräknas också ge lägst påverkan på växthuseffekten och ha fördelen att biogas utvinns. Den biogas som utvinns ur matavfallet beräknas uppgå till 60 kWh per person och år. För insamling av avfall förbrukas idag ca 15 kWh naturgas per person i Malmö. En fjärdedel av den producerade biogasen räcker alltså för att täcka energibehovet för insamling av avfall. Resterande del har potential att täcka ca 20 % av energibehovet för Malmös lokalbussar.

De system som prövats i Västra Hamnen i Malmö (avfallskvarn och sopsug) visade sig vid analysen vara betydligt mer kostnadskrävande än övriga system och är endast rimliga att införa i samband med nybyggnation. Avfallskvarnssystemet har dock upplevts positivt av brukarna. Vid en eventuell utbyggnad av en central röttningsanläggning finns det inga praktiska hinder för att kombinera olika insamlingssystem, så även om merparten av Malmös hushåll får ett system med utsortering i papperspåsar så kan avfallskvarnssystem och sopsugsystem byggas ut parallellt i nya områden.

Projektgruppen rekommenderar att Malmö stad inför källsortering av matavfall via kärssystem med papperspåsar och anlägger en central biologisk behandlingsanläggning. Matavfallet kan behandlas biologiskt genom kompostering eller rötning, men vi förordar rötning eftersom biogas kan utvinnas och rötresten nyttjas som gödselprodukt. Vid en eventuell utbyggnad av en central röttningsanläggning finns det inga praktiska hinder för att kombinera olika insamlingssystem, så även om merparten av Malmös hushåll får ett system med utsortering i papperspåsar så kan avfallskvarnssystem och sopsugsystem byggas ut parallellt i nya områden.

10. Referenser

- Andersson K., (2001). Utvärdering av komposteringsanläggningar med mass- och energibalans – En fallstudie av Isätra komposteringsanläggning. Examensarbete vid institutionen för Miljö- och Vattenteknik, Uppsala Tekniska Högskola. ISSN 1401-5765.
- Appelquist, B., Åberg, H., Gruvberger, C., Fagerström, B-M., Aspegren, H., Hallmer, M., Davidsson, Å., La Cour Jansen, J. (2004). *A full-scale comparison between a food waste disposer system and a vacuum system for collection of solid organic waste*. Proceedings from ISWA World Environment Congress and Exhibition 2004, Rome 17-21 October 2004, Rome, Italy.
- Berg, P., Mattsson, C., (2001). *Insamling av hushållsavfall- en kartläggning och analys av system för hushållsavfall och förpackningar, Sverige 2000*. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Haugsted Petersen, P., Harekilde, D., Juul Hansen, P. (2003). *Fuldskalaforsøg i Hovedstadsområdet- Indsamling og biogasforgasning af organisk dagrenovation*. Miljøprojekt Nr. 756 2003, Miljøstyrelsen, Danmark.
- Kärrman, E., Olofsson, M., Persson, B., Sander, A., Åberg, H. (2001). *Köksavfallskvarnar – en teknik för uthållig resursanvändning? En förstudie i Göteborg*. VA-Forsk rapport 2001-2, Stockholm.
- Marthinsen, J., Bjørn, E. (2005). *Insamling av bioavfall fra flerfamiliehus – løsninger og virkemidler for store fellesløsninger*. Delrapport från BUS-projektet, Renhållningsverksförningen (RVF), Malmö.
- Lövstedt, C., Norlander, P. (2002). *Undersökning av köksavfallskvarnar i ett separat system i Västra Hamnen, Malmö. Insamlingssystemet och rötningsprocessen*. Examensarbete, avdelningen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Petersen, C. (2005). *Plockanalys - komposterbart affald fra et forsøgsområde i Lund, Sammenfatning af plockanalyser foretaget i 2004*. Econet AS, Rapport utarbetad på uppdrag av MERAB, Eslöv.
- SP (2004). *Certifieringsregler för Biogödsel*. SPCR 120, SP Sveriges Provnings- och forskningsinstitut, Borås.
- Starberg, K., (2005). *Utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av organiskt avfall*. (Huvudrapport och bilagor) Rapport från Naturvårdsverket, Stockholm.
- Svärd, Å., (2003). *Anaerobic Digestion of Urban Organic Waste*, Licentiatavhandling, avd. för VA-teknik, LTH, Lund.
- Åberg, H. (2004). *Boendeperspektiv på hushållsavfall och på system för insamling och behandling i Västra Hamnen, Malmö*, Rapport från Institutionen för hushållsvetenskap, Göteborgs Universitet, Göteborg.

10.1. Muntliga källor

- Andersson Håkan, MKB
Edner Stig, SYSAV
Erlandsson Monica, Malmö stad
Graham Trevor, Miljöstrategiska avdelningen, Malmö Stad
Huang Suchun, Mark och Miljö, Malmö Stad
Frisell Åke, Joraform Kompost AB
Hallmer Martin, SYSAV
Karlhålt Magnus, Envac Centralsug AB
Ohlsson Kent, MKB
Ohlsson Ronny, Sita AB
Wilhelmsson Göthe Anna, Lunds kommun
Ånger Torbjörn, VAFAB

Bilaga 1: Beräkningsförutsättningar för scenarioanalys

| Incineration | Matavfall [kg/kg ts] | Matavfall [kg/kg vv] | Restavfall [kg/kg ts] | Restavfall [kg/kg vv] |
|---|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Summa biologiskt kol | 0,4340 | 0,13454 | 0,4800 | 0,4416 |
| Kol i svärnedbrytbara kolhydrater | 0,0290 | 0,00899 | 0,1600 | 0,14272 |
| Kol i snabbt nedbrytbara kolhydrater | 0,0970 | 0,03007 | 0 | 0 |
| Kol i fett | 0,1350 | 0,04185 | 0 | 0 |
| Kol i protein | 0,0660 | 0,02046 | 0 | 0 |
| Kol i medelsnabbnedbrytbara kolhydrater | 0,1070 | 0,03317 | 0,3400 | 0,3128 |
| Nedbrytbar substans (VS) | 0,8000 | 0,248 | 0,8500 | 0,782 |
| Torrsubstans (TS) | 1,0000 | 0,31 | 1,0000 | 0,92 |
| Vatten | | 0,69 | | 0,08 |
| Kväve | 0,0230 | 0,00713 | 0,0200 | 0,00184 |
| Svavel | 0,0024 | 0,000744 | 0,0010 | 9,2e-4 |
| Fosfor | 0,0040 | 0,00124 | 0 | 0 |
| Kalium | 0,0090 | 0,00279 | 0 | 0 |
| Bly (Pb-tot) | 3,9e-6 | 1,21e-6 | 1,9e-5 | 1,75e-5 |
| Kadmium (Cd-tot) | 1,5e-7 | 4,6e-8 | 5,0e-7 | 4,6e-7 |
| Kvicksilver (Hg-tot) | 2,0e-8 | 6,5e-9 | 2,8e-8 | 2,6e-8 |
| Koppar (Cu-tot) | 1,6e-5 | 4,96e-6 | 5,3e-5 | 4,9e-5 |
| Krom (Cr-tot) | 7,4e-6 | 2,3e-6 | 2,1e-5 | 1,9e-5 |
| Nickel (Ni-tot) | 3,9e-6 | 1,2e-6 | 3,1e-5 | 2,8e-5 |
| Zink (Zn-tot) | 4,5e-5 | 1,4e-5 | 3,5e-4 | 3,2e-4 |

Tabell 4. Inkommande avfallsfraktioner; matavfall och restavfall [kg/kg ts].

| | Enbostadshus i tätort | Flerbostadshus i tätort | Enbostadshus utanför tätort |
|---|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Antal hushåll (matavfall) | 17 565 | 81 666 | 1 527 |
| Antal hushåll (restavfall) | 23 420 | 118 356 | 2 037 |
| Antal hushåll per stopp | 1 | 50 | 1 |
| Avstånd mellan stopp (km) | 0,03 | 0,2 | 0,03 |
| Antal hämtningar per år | 52 | 52 | 52 |
| Avstånd mellan hämtning och behandling (km) | 25 | 25 | 25 |
| Medellast fordon (ton) | 6,5 | 6,5 | 6,5 |

Tabell 5. Insamling av matavfall och restavfall från hushåll

Bilaga 2: Beskrivning av antagen rötningsanläggning

Biogasanläggningen

Processförslagen (se bilaga 2) är generellt utformade med parallella system för hygienisering, substratlagring och rötning för att öka flexibiliteten. Detta gör det även möjligt att driva anläggningen med åtminstone en del av belastningen, även om underhåll eller reparationer måste genomföras för vissa delsteg.

Förbehandling vid rötning av avfall

Mottagning och sönderdelning

Sopbilar tömmer det uppsamlade källsorterade matavfallet i en tippgröp.

Sönderdelning av det fasta avfallet sker via en våt sönderdelningsprocess vid en ts-halt på ca 12 % (denna ts-halt uppnås genom att blanda de fasta avfallen med färskvatten i sönderdelningssteget.) till en maximal partikelstorlek på 12 mm. Exempel på denna teknik är en behandling i en pulper där matavfallet sönderdelas med hjälp av en snabbt roterande knivar med motstål och där en hålskiva släpper ut det sönderdelade avfallet då partikelstorleken är mindre än hålöppningen. I pulpern skapas en kraftig vattenvirvel, som med

hjälp av centrifugalkraften avskiljer föroreningar med högre densitet än avfallet. Efter sönderdelningen pumpas materialet till substratlagertankar vars syfte är att förse hygieniseringstankarna med substrat under delar av dygnet då anläggningen är obemannad.

Hygienisering av avfall

Antalet hygieniseringstankar och deras erforderliga volym är beroende på vilka substrat som ska hygieniseras, deras fysikaliska egenskaper, mängden material, vilka tekniska prioriteringar som görs samt drifttiden per vecka. De antaganden som gjorts redovisas nedan:

- Hygieniseringstankarna går 24 timmar per dygn under veckans 5 arbetsdagar.
- Hygieniseringstanken volym fylls till 75 %.
- Minst 70 °C måste uppnås i hela hygieniseringssatsen med en minsta behandlingstid på 1 timme.
- Ånga används för att uppnå hygieniseringstemperatur.
- Maximal ångtillförsel är 100 kg/ton substrat.
- Minst 2 st parallella hygieniseringstankar.

Tidsbehovet för att genomföra en hygieniseringscykel är 2 timmar/tank. Denna cykel består av att fylla tanken med biogassubstrat, värma till hygieniseringstemperaturen 70 °C, hålla materialet vid denna temperatur under 1 timme utan att något nytt substrat fylls på för att därefter tömma tanken till ett lager för hygieniserat avfall. Detta lager för hygieniserat avfall ska rymma rötningsprocessens substartbehov för en helg vilket har antagits motsvara 3 dygns drift.

Substratflöden till hygieniseringstankarna och dess volymer finns redovisat i bilaga 2.

Rötning

Följande parametrar och förutsättningar har ansatts för att dimensionera rötkammarens volymen då avfall ska rötas:

- Enstegs totalomblandad rötkammare.
- Rötning i det termofila temperaturområdet (ca 53 °C).
- Maximal ammoniumkvävehalt på 2,5 g/l.
- Kvävet mineralisering under rötningen har ansatts till 60 %.
- Rötkammarbelastning har maximalt satts till 5 kg VS/m³, d

Rötresthantering

Större partiklar (exempelvis växtfibrer och plastfragmet) i den producerade rötresten avskiljs med en skruvavvattare. Efter rötningen mellanlagras rötresten i en lagertank vid anläggningen. Lastbilar transporterar rötrest från biogasanläggningen till satellitlager som finns lokaliserade på de gårdar som använder detta gödselmedel. Totalt finns en lagringskapacitet för producerad rötrest som motsvarar 10 månaders drift vid biogasanläggningen.

Ekonomi

I följande avsnitt har en vid JTI framtagen beräkningsmodell använts för att beräkna och redovisa ett exempel på hur det ekonomiska utfallet för en biogasanläggning enligt 4 olika alternativ. Syftet har varit att ange storleksordningar på de olika delkostnaderna och behandlingkostnad för avfallet.

Det är viktigt att påpeka att utgångspunkten för bedömning av kostnader och intäkter inte baseras på en detaljprojektering utan på ett föreslaget anläggningskoncept. Detta innebär att kostnader är uppskattade och bedömda utifrån tidigare erfarenheter vid beräkningar av andra projekt. Det bör påpekas redan här att kalkylen inte tagit hänsyn till några eventuella bidrag.

De parametrar som mest påverkar det ekonomiska resultatet är kapitalkostnaderna samt intäkter från behandlingsavgifter och från producerad biogas. Vid etablering av en anläggning kan storleken på kapitalkostnaderna bestämmas under upphandlingsförfarandet (dvs. innan anläggningen uppförs). Det är däremot svårare att kalkylera storleken på intäkterna från behandlingsavgifter och biogas under en anläggnings livslängd, eftersom storleken kommer att vara beroende på aktörernas alternativkostnader. Förändring i beskattningen av biogas som drivmedel liksom framtida förändringar av drivmedelspriser kan också få betydande konsekvenser för anläggningens ekonomi.

Investeringsbehov

Investeringen är beroende av de lokala förutsättningar som gäller som sammansättningen och mängd på det som ska rötas, anläggningsutformning (teknikval, flexibilitet mm), uppstartskostnader och om kostnaderna för interna och externa arbeten inkluderas. För att belysa betydelsen av anläggningsstorlek har det genomförts en schablonmässig beräkning av investeringsnivån för fyra olika storleksalternativ. Investeringen har delats upp i 5 olika delar och för varje del görs en bedömning hur storleksberoende investeringen är. Varje del inkluderar:

- Mottagning och sönderdelning: Tippficka för uppsamlat matavfall, öppning av påsar, våt sönderdelning, separation (av metall, sten och andra främmande tunga föremål), transportsystem för matavfallet till och från sönderdelnings och separationssteget.
- Hygienisering: Tankar, omrörare, pumpar, uppvärmningssystem lager av hygieniserat material inför rötning.
- Rötning: Rötkammare, omrörare, pumpar, värmväxlare, rördragning, styrning och övervakning, separation av större partiklar från rötrest.
- Rötrestlagring: Lagerbehållare för rötrest vid biogasanläggning och hos lantbrukare.
- Övrigt: Inköp av mark, markarbeten, byggnation av hus, behandling av luft, inventarier, rengöringsutrustning, projektering, rådgivning, tillstånd, anslutningskostnader för vatten och avlopp, uppstartskostnader och oförutsätt.

För att uppföra rötningens anläggningarna i de fyra olika alternativen beräknas investeringen varierar mellan 39 och 98 Mkr, se tabell B1. Investeringsbehovet relaterat till rötningens anläggningarnas storlek har beräknats variera mellan 12 000 och 39 000 kr/ton ts (investeringen utslagen på torrsubstansmängden som årligen rötas).

| | 50 000 | 100 000 | 200 000 | 400 000 |
|--|--------|---------|---------|---------|
| | M kr | M kr | M kr | M kr |
| Hygienisering | 3,1 | 3,9 | 5,3 | 8,3 |
| Mottagning, sönderdelning, lagring av substrat | 7,5 | 7,9 | 9,1 | 16,3 |
| Rötning, värmväxling | 6,5 | 8,6 | 12,6 | 18,9 |
| Rötrestlagring | 2,4 | 4,3 | 7,8 | 14,2 |
| Övrigt | 19,3 | 22,5 | 28,6 | 39,8 |
| Summa | 38,8 | 47,2 | 63,4 | 97,6 |
| Specifik investering (enhet, kr/ton ts) | 39 000 | 24 000 | 16 000 | 12 000 |
| Specifik investering (enhet, Mkr/MW) | 93 | 57 | 38 | 29 |

Tabell B1. Kalkylerat investeringsbehov för olika delar av en biogasanläggning för 4 olika storleksalternativ.

I tabell B2 redovisas det specifika investeringsbehovet för några befintliga och planerade biogasanläggningar. Anläggningstyp 1 rötter ingen eller mycket lite matavfall från hushållen. Resultatet baserar sig på uppgifter från 5 olika anläggningar. Uppgifterna om anläggningstyp 2a baserar sig enbart från en befintlig anläggning. Den har kapacitet att röta biogassubstrat som kräver mer komplex förbehandling som källsorterat matavfall från hushållen. Uppgifterna om anläggningstyp 2b baserar sig på uppgifter från 5 planerade anläggningar. Andelen hushållsavfall varierar mellan 70-95% för 4 av dessa anlägg-

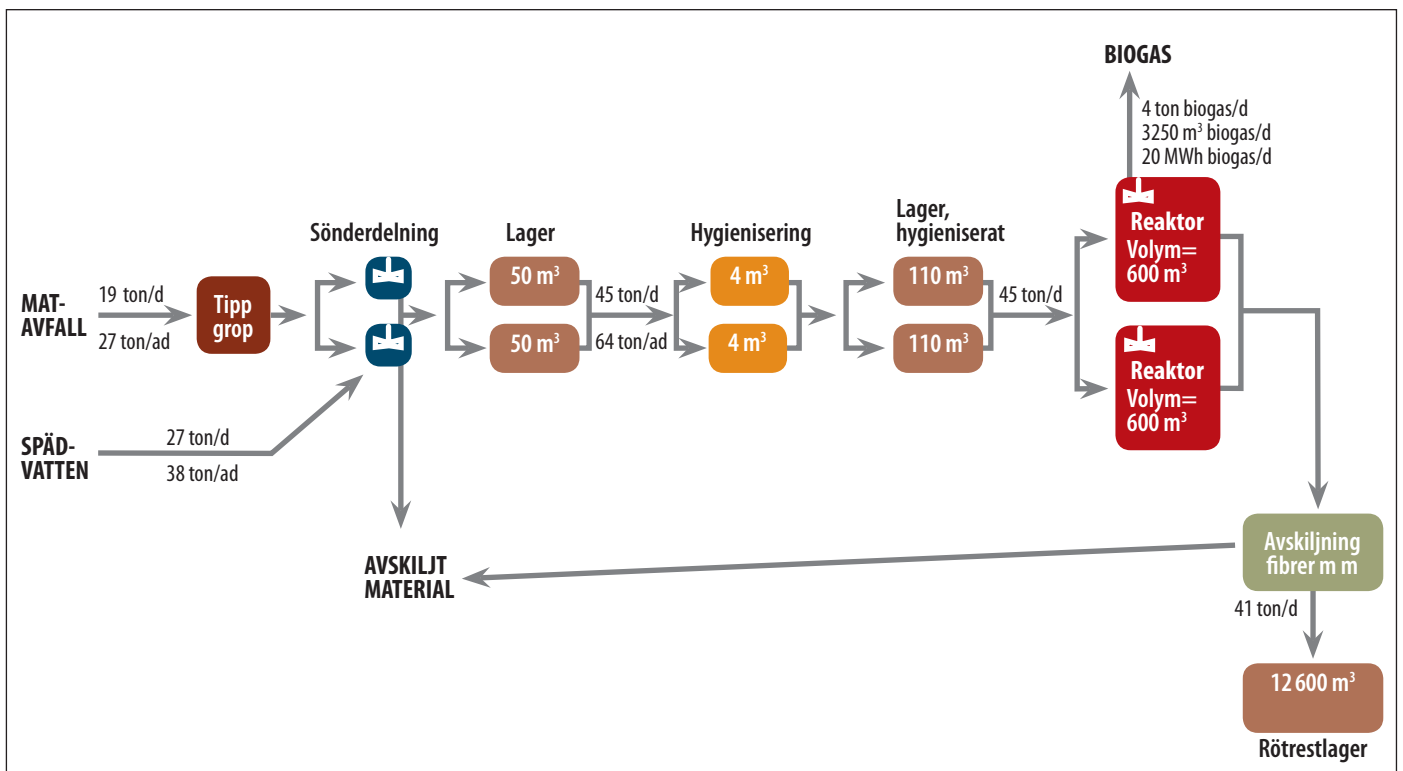
ningar den 5:e anläggningen ska röta 30% hushållsavfall.

Det uppskattade specifika investeringsbehovet i tabell B2 verkar vara högre än medelvärdet i tabell B1 för anläggningsstorlek motsvarande 50 000 personer men lägre än medelvärdet för anläggningsstorlek motsvarande 400 000.

| | Min | Medel | Max |
|--|------|-------|-------|
| Anläggningstyp 1: Befintliga stora anläggningar som huvudsakligen rötar pumpbart livsmedelsindustriavfall och gödsel. Enkel förbehandling | 5900 | 15300 | 23000 |
| Anläggningstyp 2a: Befintlig stor anläggning med komplex förbehandling för avfall. | - | 20500 | - |
| Anläggningstyp 2b: Planerade anläggningar. Stora anläggningar med komplex förbehandling för avfall. Inkluderar även små anläggningar. | 8000 | 16800 | 30700 |

Tabell B2. Specifik investeringskostnad (i kr/ton TS, dvs investeringskostnaden utslagen på den torrsubstansmängd som tillförs biogasanläggningen under ett år då den drivs enligt plan) i relation till behandlad mängd avfall vid befintliga och planerade rötningsanläggningar i Sverige (Starberg, 2005).

Bilaga 3: Principskiss över antagen rötningsanläggning



Schematisk bild av en anläggning som rötar källsorterat matavfall från 100 000 personer (ton/ad = ton per arbetsdag, ton/d = ton per dag).



ecoloop