

# **Bedömning av två tekniker för torkning av lätt nedbrytbart organiskt matavfall**

Birgitta Raaholt

Birgitta Bergström

Agneta Broberg

Emma Holtz

Ulf Nordberg

Maria Del Pilar Castillo

Andras Baky

# **Bedömning av två tekniker för torkning av lätt nedbrytbart organiskt matavfall**

## **Assessment of two techniques for drying of easily degradable organic bio-waste**

Birgitta Raaholt, Birgitta Bergström, Agneta Broberg och Emma Holtz, SIK samt  
Ulf Nordberg, Maria Del Pilar Castillo och Andras Baky, JTI

Projektnummer WR-15

År: 2011

**WASTE REFINERY**  
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut  
Box 857, 501 15 Borås  
[www.wasterefinery.se](http://www.wasterefinery.se)  
[wasterefinery@sp.se](mailto:wasterefinery@sp.se)  
ISSN 1654-4706

## Sammanfattning

År 2010 skulle enligt svenska miljömål allt matavfall från svensk livsmedelsindustri återvinnas genom biologisk behandling. För matavfall från hushåll och verksamheter i storhushåll är motsvarande siffra 35 %. Projektets syfte är att undersöka möjligheter för kostnads- och energibesparingar samt minskad miljöpåverkan genom att minska vattenhalten i matavfall före insamling.

Matavfall som torkas kan långtidslagras och användas som biogassubstrat tillsammans med annat material med låg torrsbstanshalt och bör kunna ge möjlighet till högre biogasutbyte genom förbättrade möjligheter att styra den organiska belastningen. Även lagringskostnaden blir lägre, liksom hämtningsfrekvensen. Samtidigt kan insamling ske från ett större antal hämtställen vid samma insamlingsrunda. Insamlingsbilen behöver inte heller utrustas med uppsamlande tråg för pressvätska från matavfallet. Då torkat matavfall kan lagras under en längre period kan det användas då det bäst behövs, vilket medför mer optimal användning av energin i matavfallet. Det torkade materialet kräver varken sönderdelning eller siktning, har mycket hög renhetsgrad (>99%), och ger inte upphov till rejektmaterial vid behandling. Innehållet av näringsämnen var dessutom i princip intakt.

I projektet har två tekniker för att torka lätt nedbrytbart organiskt avfall utvärderats:

- mikrovågsvakuum-torkning av matavfall från storhushåll, samt
- lufttorkning av matavfall från hushåll.

Teknikerna jämfördes var och en för sig med dagens hanteringssystem m.a.p. kvalitet på inkommande material till behandlingsanläggningar, energikonsumtion och klimatpåverkan. Det torkade materialets kvalitet utvärderades m.a.p. renhetsgrad, lagringsstabilitet, näringsinnehåll, biogaspotential samt återvätningsegenskaper. I en systemstudie jämfördes respektive teknik, kopplad till en tänkt påföljande röttningsprocess, med dagens system för insamling och rötning av matavfall. Jämförelsen gjordes m.a.p. energianvändning, uppskattade kostnader/intäkter för behandling samt klimatpåverkan. I samtliga fall gjordes jämförelsen för matavfall med respektive utan torkning. Även kompostering av matavfall från hushåll har genomförts i liten skala som praktisk referens. Resultaten visar att uppblött, torkat matavfall fungerar lika bra som en konventionell kompostfraktion. Materialet torkar dock lättare än konventionell kompost, varför ytterligare befuktning kan behövas under processen.

Projektet har även tagit fram ett första underlag för att bedöma mikrovågstorkning av matavfall från butiker som alternativ hygieniseringsteknik av matavfall som innehåller animaliska biprodukter (s.k. ABP-material).

Resultaten indikerar att tekniken kan anpassas för att uppfylla kraven för hygienisering, men kompletterande studier krävs för att optimera och styra processen mot tillräcklig mikrobiologisk avdödning.

Torkat material har som förväntat fördelar ur lukt- och lagringssynvinkel, då lägre andel vatten även innebär lägre vattenaktivitet och därmed längre hållbarhet och mindre risk för exempelvis mögeltillväxt och lukt. Trots att det åtgår energi för torkning av materialet, finns miljövinster bl. a. i insamlingsledet (vid insamlingsavstånd, d v s hel insamlingsrunda (enkel resa), mindre än cirka 5 mil).

Torkat matavfall från hushåll i Göteborg gav dock inte signifikanta skillnader i metanutbyte m.a.p. organiskt material (VS), uttryckt som  $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{ton VS}$ , jämfört med färskt matavfall. Torkat matavfall från storhushåll i Borås gav i denna studie lägre metanutbyte jämfört med färskt matavfall m.a.p. VS. Orsakerna till detta behöver utredas närmare. En avgränsning i projektet var att teknikerna utvärderades baserat på matavfall som insamlats under relativt kort tid.

Projektets målgrupp är svensk livsmedelsindustri, insamlingsansvariga samt anläggningsägare för biologisk avfallsbehandling, men projektets resultat är av intresse även för beställare och entreprenörer inom hela avfallsområdet.

**Nyckelord:** torkning, lufttorkning, mikrovågstorkning, återvätning, lukt, mikrobiologi, biogas, biogaspotential, energi, systemanalys, torrkonservering, matavfall.

## Summary

In 2010, all food waste from the Swedish food industry would, according to national environmental goals, be recycled through biological treatment. For food waste from households and food establishments, the corresponding goal is at least 35%. The project aims to explore the potential for reducing costs and energy consumption, as well as decreasing the environmental impact, by decreasing the moisture content of food waste.

Dried food waste has a long shelf-life and can be used as a bio fuel substrate together with other material of low dry matter content. It is expected to increase the bio fuel potential by improved possibilities to control the organic load. The storage costs are also reduced, as is the collecting frequency. Additionally, collecting can be done from a larger number of collecting points at the same occasion. Furthermore, the collection vehicle does not need to be equipped with collecting trays for silage effluent from the food waste. Since dried food waste can be stored for a longer period, this results in more optimal use of the energy of the food waste. The dried material requires neither decomposition nor sieving, has a very high purity degree (>99%), and does not result in reject material at treatment. The nutritional content of the dried material was also in principle intact. Composting of food waste from households was performed as a practical reference, in laboratory scale. The results show that rehydrated dried food waste works as good as a conventional compost fraction. However, the material has a tendency to dry out faster than conventional compost. Further rehydration may therefore be needed during the process.

In this project, an assessment was made of two possible techniques for drying readily biodegradable organic waste: microwave vacuum drying of waste from food establishments and air-drying of food waste from households. The techniques were compared individually with current systems for handling waste, with respect to quality of the incoming material to treatment plants, energy consumption, cost, and climate impact. The quality of the dried material was evaluated with respect to purity degree, shelf-life stability, nutritional content, bio fuel potential and rehydration properties. In the system analysis, each drying technology, combined with a supposed subsequent digestion process, was compared to today's system for collection and digestion of food waste.

An initial assessment of the potential of the microwave-vacuum drying process was made, as an alternative technique for hygienisation of food waste which contains animal by-products (ABP). The results indicate that the microwave process would be possible to adjust, in order to meet the time-temperature requirements for hygienisation. However, complementing studies are required to optimise and control the process towards the required microbiological reduction.

Dried material has, as expected, advantages from both an odour and storage point of view; the lower water content corresponds to lower water activity and accordingly longer shelf-life and reduced risk for e.g. mould growth and odour. Even if energy is needed for drying the material, there are environmental advantages at collection of food waste (at transport distances less than about 50 km).

Digestion experiments showed that dried food waste from households in Göteborg did not result in any significant differences in methane exchange, with regard to organic matter (VS), expressed as  $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{tonne VS}$ , compared with fresh food waste. Dried waste from food establishments in Borås showed significantly lower methane exchange, with respect to organic matter (VS), than fresh food waste. The reasons for this need to be further investigated. A project delimitation was that the techniques were evaluated based upon food waste which was collected during a relatively short period of time.

The target group of the project is the Swedish food industry, personnel responsible for waste collection, as well as owners of plants for biological treatment of food waste. The results of the project are also of interest to purchasers and contractors throughout the food and waste area.

**Key words:** drying, air drying, microwave drying, rehydration, odour, microbiology, biogas, biogas potential, energy, system analysis, dry preservation, food waste.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>7</b>
1.1	PROBLEMDISKUSSION	7
1.2	PROBLEMFÖRMULERING OCH MÅL	7
1.3	AVGRÄNSNINGAR	9
<b>2</b>	<b>BAKGRUND</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL OCH METODER</b>	<b>13</b>
3.1	METODIK FÖR TORKNING	15
3.2	ANALYS AV RENHETSGRAD PÅ MATAVFALL FRÅN BORÅS OCH GÖTEBORG	19
3.3	ÅTERVÄTNING AV TORKAT MATAVFALL	19
3.4	MIKROBIOLOGISK UTVÄRDERING AV AVFALL TORKAT MED MIKROVÅGOR ALTERNATIVT LUFT	19
3.5	LUKTBEDÖMNINGAR	21
3.6	FÖRSÖK MED KOMPOSTERING AV ÅTERFUKTAT TORKAT MATAVFALL, JÄMFÖRT MED KONVENTIONELLT MATAVFALL MIXAT MED FLIS	22
3.7	NÄRINGSÄMNESINNEHÅLL	22
3.8	SATSVIS RÖTNING AV TORKAT MATAVFALL FÖR BIOGASPRODUKTION	23
3.9	SYSTEMANALYS	24
<b>4</b>	<b>RESULTATREDOVISNING</b>	<b>28</b>
4.1	TORKNING AV MATAVFALL FRÅN HUSHÅLL RESPEKTIVE STORHUSHÅLL	28
4.2	RENHETSGRAD	28
4.3	RESULTAT FRÅN ÅTERVÄTNINGSFÖRSÖK	29
4.4	MIKROBIOLOGISK ANALYS	30
4.5	LUKTBEDÖMNINGAR	38
4.6	KOMPOSTERINGSFÖRSÖK	41
4.7	NÄRINGSÄMNESINNEHÅLL	42
4.8	RÖTNINGSFÖRSÖK	43
4.9	SYSTEMANALYS	44
<b>5</b>	<b>RESULTATANALYS</b>	<b>49</b>
5.1	TORKNINGSPROCESSERNA	49
5.2	ANALYS AV RENHETSGRAD	50
5.3	ÅTERVÄTNINGSEGENSKAPER	51
5.4	MIKROBIOLOGISK ANALYS	52
5.5	LUKTBEDÖMNINGAR	54
5.6	KOMPOSTERINGSFÖRSÖK	54
5.7	NÄRINGSÄMNESINNEHÅLL – RESULTAT FRÅN MÄTNINGAR	54
5.8	RÖTNINGSFÖRSÖK	55
5.9	SYSTEMANALYS AV HANTERING AV FÄRSKT RESPEKTIVE TORKAT MATAVFALL	59
<b>6</b>	<b>SLUTSATSER</b>	<b>64</b>
6.1	TORKNING AV MATAVFALL FRÅN STORHUSHÅLL/BUTIK RESPEKTIVE HUSHÅLL	64
6.2	ÅTERVÄTNINGSEGENSKAPER	64
6.3	MIKROBIOLOGISK ANALYS	64
6.4	LUKTBEDÖMNINGAR	65
6.5	KOMPOSTERINGSFÖRSÖK	65
6.6	RENHETSGRAD, NÄRINGSÄMNESANALYS OCH BIOGASPOTENTIAL	65
6.7	SYSTEMANALYS	65
<b>7</b>	<b>REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>LITTERATURREFERENSER</b>	<b>70</b>

---

<b>9</b>	<b>BILAGOR</b>	<b>73</b>
9.1	LUKTBEDÖMNING	73
9.2	SAMMANSÄTTNING AV MATAVFALL FRÅN STORHUSHÅLL RESPEKTIVE HUSHÅLL	79
9.3	TORKNING AV MATAVFALL FRÅN STORHUSHÅLL	84
9.4	ÅTERVÄTNING AV TORKAT MATAVFALL, UNDERLAG FÖR RESULTAT	89
9.5	UTVÄRDERING AV KOMPOSTERINGSGRAD	97
9.6	DATA FÖR UNDERLAG TILL SYSTEMANALYS	100
9.7	PROJEKTGRUPPENS SAMMANSÄTTNING	104

# 1 Inledning

## 1.1 Problemdiskussion

År 2010 skulle enligt svenska miljömål allt matavfall från svensk livsmedelsindustri återvinnas genom biologisk behandling och minst 35 % av matavfallet från hushåll och storhushåll [1]. Olika metoder för återvinning av matavfall genom biologisk behandling är ett mycket aktuellt ämne, inte bara i Sverige utan även internationellt. I denna expansionsfas är det väsentligt att ta reda på vilken potential olika tekniker har. I detta projekt undersöks möjligheter till kostnads- och energibesparingar samt minskad miljöpåverkan genom att minska vattenhalten i lätt nedbrytbart organiskt avfall: dels genom lufttorkning av matavfall från hushåll, dels genom mikrovågsvakuomtorkning av matavfall från storhushåll. De två torkningsteknikerna av matavfall från hushåll respektive storhushåll jämförs med dagens hanteringsmetoder för respektive typ av material.

Att torka matavfall förväntas ge flera fördelar ur miljösynpunkt. Det kan ge bättre kvalitet på matavfallet genom högre energi- och näringsinnehåll. Det förväntas också ge goda möjligheter till förbättrat biogasutbyte, tillsammans med annat material med högre vattenhalt. Torkat avfall kan långtidslagras, samtidigt som kostnader för transporter och lagring minskar då volymerna minskar betydligt. Insamling behöver därför inte ske lika ofta (2 ggr/år jämfört med 52 ggr/år). Torkat avfall kan dessutom samlas in med en konventionell lastbil istället för en sopbil, vilket ger stor skillnad i lastkapacitet. Kostnaden för insamlingen fördelas vidare på en större last<sup>1</sup>, vilket bidrar till att kostnaden minskar (exempelvis räknat per kg avfall). Bland de förväntade fördelarna finns sammanfattningsvis: minskade transporter, förbättrade lagringsmöjligheter, högre renhetsgrad, mer bevarat närings- och energiinnehåll, förbättrat biogasutbyte samt förbättrad arbetsmiljö<sup>2</sup>.

**Projektets syfte** är att undersöka möjligheter för kostnads- och energibesparingar samt minskad miljöpåverkan, genom att minska vattenhalten i matavfall.

## 1.2 Problemformulering och mål

Projektets mål är att utvärdera två tekniker för att torka lätt nedbrytbart organiskt avfall, fortsättningsvis benämnt ”matavfall”. De båda torkningsteknikerna är:

- a) mikrovågsstödd torkning under vakuum<sup>3</sup> (Gisips process [2]) av matavfall från restaurant och storhushåll samt
- b) lufttorkning (Somnus, Smedlund Miljösystem, [3]) av matavfall från hushåll.

Teknikerna jämförs var och en för sig med dagens hanteringssystem med avseende på kvaliteten på inkommande material till behandlingsanläggningar, energibalans och miljöpåverkan. De två teknikerna för torkning av matavfall bedöms i projektet ur följande aspekter:

- **Kvaliteten hos det torkade materialet:** renhetsgrad (matavfallets renhet från förorenande material), lagringsstabilitet (matavfallets lagringförmåga över tiden),

---

<sup>1</sup> Det antas att fordonen har rutter som innebär att de är fyllda när de återvänder.

<sup>2</sup> Torkat avfall innebär mindre problem med lukt och är även lättare att hantera. En nackdel skulle kunna vara att det blir fler partiklar i luften när avfallet hanteras. Detta bör utredas närmare.

<sup>3</sup> Hädanefter även benämnt mikrovågsvakuomtorkning i denna rapport.

bedömning av mikrobiologisk reduktion (minskning av smittoämnen i samband med torkning), biogaspotential (möjlig utvinning av metan från matavfallet), återvätningsegenskaper (det torkade materialets förmåga att återfuktas), samt hanterbarhet (lukt, konsistens, lagring etc.)

- **Energibalans** (energiaspekter från själva torkprocessen t.o.m. förbehandling och ev. rötning, inklusive biogasutvinning, transporter, elförbrukning, energiförbrukning hos utrustningen etc.) samt
- **Miljöpåverkan** i form av klimatpåverkan från fossil koldioxid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) och lustgas (N<sub>2</sub>O).

Med resultat från denna bedömning jämförs sedan respektive teknik, kopplad till en tänkt påföljande röttningsprocess, med genomsnittlig men modern och lagkravenlig teknik för insamling och rötning av matavfall ur systemsynpunkt. Även modellförsök med kompostering av matavfall från hushåll genomförs som praktisk referens för matavfall från hushåll.

Projektet genomförs i följande projektsteg:

**A) Kvantifiering av kvalitetsegenskaper.** Matavfallets kvalitet bedöms map följande:

1. Renhetsgrad: sammansättningsanalys av de avfall som torkas.
2. Lagringsstabilitet: Mikrobiologisk reduktion bedöms för de två teknikerna, före samt efter lagring av material vid relevant temperatur och tid. I projektet tas ett första underlag fram för att bedöma potentialen hos mikrovågsbehandling av matavfall som alternativ teknik för matavfall som innehåller animaliska biprodukter (ABP)<sup>4</sup>. Lagringsstabilitet undersöks med avseende på förändringar av torrsustanshalt (TS-halt), andel organiskt material samt växtnäringämnen för färskt matavfall före resp. direkt efter torkning, samt efter lagring.
3. Återvätningsegenskaper för respektive avfall mäts för olika pH och temperaturförhållanden.
4. Hanterbarhet: Luktande föreningar i proverna kartläggs genom att en panel bestående av anläggningsägare får bedöma lukten från det torkade matavfallet efter olika lång lagringstid.
5. Biogaspotential: Energimängd från organiskt innehåll i matavfall bedöms genom utröttningsförsök.

**B) Systemstudie:** De två teknikerna jämförs, kopplade till en tänkt påföljande röttningsprocess, med genomsnittlig men modern teknik för insamling och rötning av matavfall ur systemsynpunkt:

1. Energibalans (energiaspekter från själva torkningsprocessen t o m förbehandling och ev. rötning, inkl. biogasutvinning, transporter, lagring, elförbrukning etc). Både energiförbrukning hos utrustningen och miljöpåverkan ingår.
2. Uppskattade kostnader/intäkter för behandling av matavfall med respektive utan torkning

Projektets resultat ger ett första underlag för vilken potential som finns för respektive torkningsteknik: mikrovågstorkning av matavfall från storkök, respektive lufttorkning av matavfall från hushåll.

---

<sup>4</sup> av kategori 3, där bl.a slakteriavfall, matavfall från butiker med mera ingår.



Med resultat från denna bedömning jämförs sedan respektive teknik, kopplad till en tänkt påföljande rötningsprocess, med genomsnittlig men modern och lagkravenlig teknik för insamling och rötning av matavfall ur systemsynpunkt. Även modellförsök med kompostering av matavfall från hushåll genomförs som praktisk referens för matavfall från hushåll.

**Projektets målgrupp** är svensk livsmedelsindustri, samlingsansvariga samt anläggningsägare för biologisk behandling av avfall, men resultaten från projektet är av intresse även för beställare och entreprenörer inom hela avfallsområdet.

För att nå nationella miljömål om återvinning av biologiskt avfall utan målkonflikter med exempelvis begränsad klimatpåverkan är det avgörande att väga in systemaspekter i miljömålsarbetet. Detta har ingått som en del i projektet. Med projektets resultat kan potentialen hos de två torkningsteknikerna bedömas med avseende på både energi- och miljöpåverkan. Projektgruppens sammansättning framgår av bilaga 9.8.

### 1.3 Avgränsningar

De två torkningsmetoderna har utvärderats för följande typ av matavfall: matavfall från hushåll (lufttorkning) samt matavfall från storhushåll (mikrovågsvakuumtorkning).

Projektet har studerat de befintliga processteknikerna (mikrovågsvakuumtorkning av matavfall från storhushåll respektive lufttorkning av matavfall från hushåll) och omfattar alltså inte optimering av någon av processerna på detta stadium.

Renhetsgrad utvärderades endast på de material som togs ut i samband med torkningsförsöken, varav en stor andel användes för att torkas, och en mindre del sparades som referensprover för jämförelse. Referensproverna torkades inte, utan benämns färskt matavfall i rapporten. Denna avgränsning, som innebar att renhetsgrad utvärderades endast för:

- prover som var avsedda att torkas, samt
- respektive referensprover,

gjordes av styrelsen i samband med projektets beviljande.

I ett tidigt planeringsskede av studien diskuterades de olika ingående fraktionerna av matavfall som utgör grund för närmare analys. Det torkade matavfallet, från hushåll respektive storhushåll, relateras till färskt matavfall av motsvarande ursprung. Matavfall från storhushåll (storkök och restaurang) bedömdes som förhållandevis lika vad gäller innehåll och sammansättning, oavsett om det kom från Göteborg eller Borås. Bedömningen grundas på att matvanor är snarlika i de båda kommunerna, samt att utbudet av mat också är snarlikt i kommunerna. Erfarenheter från insamling och behandling inom Renova samt Borås Energi och Miljö visar även att matavfall från storhushåll är så snarlikt mellan kommunerna, att det inte skulle tillföra något till studien att studera torkat respektive färskt matavfall från båda dessa platser. Därför beslutades att inte analysera färskt samt torkat matavfall från storkök och restaurang från Göteborg.

Projektet omfattar inte något moment som går djupare in på arbetsmiljö.

## 2 Bakgrund

Dagens insamling och hantering av matavfall sker i såväl pappersburna, ventilerade (öppna) system, som slutna plastpåsar (optiskt system). Med begreppet matavfall avses i denna rapport matavfall dels från hushåll, dels från restauranter och storhushåll, samt butiker.

Borås stad har sedan drygt 20 år, som en av landets första kommuner, bedrivit insamling av sorterat hushållsavfall. Insamling sker av matavfall och brännbart avfall i svarta respektive vita plastpåsar. Påsarna samlas i gemensamma kärl och fordon. Avfallet separeras sedan i en optisk sorteringsanläggning varifrån innehållet i respektive påse når biologisk respektive termisk behandling i Borås. Anläggningen för optisk sortering börjar nå sin tekniska livslängd varför utredning kring alternativa insamlingssystem pågår. Borås har sedan 1995 erfarenhet av rötning och kompostering och sedan 2002 även produktion av renad och uppgraderad fordonsgas. Idag körs 29 av lokaltrafikens 35 stadsbussar på egenproducerad biometan. Målsättningen är att öka användningen av fossilfria bränslen så att Borås stad i linje med sin vision kan bli ett fossilbränslefritt samhälle.

Borås Energi och Miljö AB, tidigare Renhållningsverket, började tillverka biogas redan 1994. Anläggningens inriktning var då i huvudsak att vara en komposteringsanläggning. Den gas som tillverkades i deponin användes till uppvärmning och fackling. År 2003 byggdes anläggningen om och inriktningen är nu att tillverka biogas för uppgradering till fordonsgas. Dagens anläggning är mycket flexibel med mottagning av flera avfallsfraktioner och med olika förbehandlings- och inmatningslinjer. Röttningsprocessen sker genom anaerob nedbrytning av organiskt material. Substratets beskaffenhet avgör hur mycket röt-kammaren skall beskickas och omfattande analyser görs på eget laboratorium när det gäller viktiga styrparametrar (exempelvis pH, fettsyror, ammoniumkväve samt torrs substans (TS) och organiskt material (VS)). Analyserna görs på både substrat och röt-kammarinnehåll. Röt-kammaren matas en gång per dygn med en efterföljande hygieniseringstid samt utpumpning för att hålla nivån konstant. Ingen separat hygienisering av ABP-material<sup>5</sup> görs utan BEMAB tillämpar en alternativ hygieniseringsmetod, godkänd av Jordbruksverket, som innebär att substrat hygieniseras i röt-kammaren i minst 10 timmar vid minst 52°C, samt med en uppehållstid om minst 7 dygn. Gasen som tillverkas förs vidare till uppgradering och säljs som fordonsgas.

I Göteborg återvinns matavfall genom central kompostering på Marieholms komposteringsanläggning, som drivs av Renova. Avfallet samlas in främst med hjälp av baklastare på samma sätt som för hushållens brännbara avfall, i viss utsträckning även med biltyper pick-up. Vanligtvis används plastkärl men även papperssäck, nedgrävda markbehållare och stålcontainrar förekommer. För att underlätta sortering och hantering i det enskilda hushållet, används komposterbara påsar för det organiska avfallet. Papperspåsar ställs öppna i en behållare under köksbänken. Till skillnad från plastpåsar "andas" papperspåsar och vattnet avdunstar.

Generellt hämtas matavfallet varannan vecka från villor och varje vecka från flerfamiljshus. Kunder som genererar större mängder organiskt avfall, som t.ex. restauranger, skolor och

---

<sup>5</sup> För traditionell hygienisering av ABP-material krävs värmebehandling i minst 70 °C under minst 1 timme, samt att materialet inte har en större partikelstorlek än 12 mm.

sjukhus, får vanligtvis avfallet hämtat flera gånger per vecka. Avfallsfraktionen kontrolleras genom en okulärbesiktning av chaufförerna på respektive hämtställe, för att se att det inte är felsorterat<sup>6</sup>. Dessutom görs en okulärbesiktning på komposteringsanläggningen.

På komposteringsanläggningen tippas det inkommande avfallet direkt i en betongbunker. I förbehandlingssteget blandas avfall och grönflis automatiskt. Blandningen homogeniseras. För att motverka bakterietillväxt som i sin tur ger upphov till ämnen som avger luktproblem tillsätts en biologisk ört- och bakterielösning. I huvudhallen komposteras materialet i ca 2.5 m höga strängar med en volym av 450 m<sup>3</sup>. Materialet luftventileras via perforerade rör under strängarna. Temperatur och syrehalt mäts i materialets porvolym. I manöverrummet följer man temperaturutvecklingen i stränghögen, syrgasintensiteten och fläktens påslagna tid/dygn. Efter cirka 4 veckor förs komposten ut till efterkompostering, vilken pågår i cirka 90 dagar. Därefter förs komposten till uppläggningsområdet för eftermognad. Slutsteget i komposteringsprocessen tar ca 10 månader. Därefter siktas den färdiga komposten.

En stor skillnad mellan Göteborg och Borås är att man i Göteborg valt att satsa på en frivilliglinje. Det betyder i praktiken att man infört (1997) en differentierad taxa som styr mot lokal kompostering och utsortering av matavfall. Det innebär att det är fastighetsägarna själva som väljer tidpunkt för att starta utsortering av matavfall. Det finns ett framtida behov av att öka utsorteringen. På Marieholm i Göteborg planerar Renova att under 2011 bygga en förbehandlingsanläggning för utsorterat matavfall. Slutprodukten från förbehandlingsanläggningen, en så kallad slurry, kan därefter rötas i lämplig rötningsanläggning och förädlas till biogas. I framtiden skulle stärkta ekonomiska incitament eller t o m påbjuden utsortering av matavfall kunna innebära en ytterligare utökning av utsorteringen av matavfall.

Matavfall som torkas kan långtidslagras och användas som biogassubstrat tillsammans med annat material med låg TS-halt. Det bör kunna ge möjlighet till högre biogasutbyte genom förbättrade möjligheter att styra den organiska belastningen. Även lagrings-kostnaden förväntas bli lägre (inga kylrum, mindre volymer). Idag finns utrustning för att torka matavfall, i form av lufttorkning (av matavfall från hushåll) samt mikrovågsvakuumbakning (av matavfall från storkök och restauranter).

Hantering av animaliska biprodukter från t ex handeln fordrar hygienisering genom upphettning till 70 °C under 1 timme. För att få torkningsteknikerna godkända som hygieniseringsmetod av kategori 3-avfall, för senare användning som biogassubstrat eller för kompostering, måste metoden valideras så att den uppfyller förordningens krav ([4], [6], [7]) och sedan godkännas av SJV (Jfr [5]). Avdödning av mikroorganismer med hjälp av mikrovågsteknik har gjorts i flera tidigare studier, bl.a. vid pastörisering och sterilisering av livsmedel [8], men även mindre studier av termisk behandling av avfall (till s.k. bioflingor i Gisips anläggning, 2003). Flera examensarbeten som rör lufttorkning av avfall i Smedlund Miljötekniks anläggning finns tillgängliga [9], [10], [11].

Arbetsmiljön inom avfallshantering, liksom i butik och storkök, kan förväntas bli förbättrad vid hantering av torkat matavfall istället för matavfall med dagens hantering. Några orsaker

---

<sup>6</sup> Avfall som komposten inte får innehålla är cigarettfimpar, blöjor, bindor, kattsand, textil, innehållet i dammsugarpåsar, plast, glas, fett från fettavskiljare, fiskslam, trä.

till detta är att torkat matavfall innebär mindre risk för luktproblem, enklare hantering vid förvaring och transport, samtidigt som tunga lyft undviks. Transporterna för insamling av avfall har betydelse ur miljö- och ekonomisynpunkt [12]. Lägre hämtningsfrekvenser bidrar till bättre miljöprestanda och sänkta transportkostnader.

I detta projekt har två möjliga tekniker för torkning av matavfall utvärderats, jämfört med dagens hanteringsmetoder, med avseende på deras ekonomiska och miljömässiga effekter på samhället.

### 3 Material och metoder

I detta projekt har följande material analyserats (se Tabell 1), med avseende på återvätning, mikrobiologisk analys, lukt och komposteringsgrad:

- Matavfall från flerfamiljshushåll i Göteborg: lufttorkat matavfall (betecknas G-T), med färskt matavfall som referens (betecknas G-F-Pp-Fl)
- Matavfall från storhushåll i Borås: mikrovågstorkat matavfall (betecknas B-T), med färskt matavfall som referens (betecknas B-F)

För att få ett tillräckligt underlag för den mikrobiologiska analysen, har denna även baserats på analys av torkat modellavfall (bilaga 9.2.1, sidan 79)

För analys av renhetsgrad, biogaspotential, näringsämnen och systemanalys (energibalans samt kostnads-/intäktsanalys) har följande material analyserats:

- Matavfall från hushåll:
  - Lufttorkat matavfall från flerfamiljshushåll, Göteborg (betecknas G-T)
  - Färskt matavfall från villahushåll, Göteborg (betecknas G-F-Pp-Hh), där Pp står för hantering med dagens system med papperspåsar
  - Färskt matavfall från flerfamiljshushåll, Göteborg (betecknas G-F-Pp-Fl)
  - Färskt matavfall från hushåll i Borås (betecknas B-F-Pl-hh), där Pl står för hantering med dagens optiska system med plastpåsar

I projektet har matavfall från Guldheden samlats in, som genomgått den lufttorkningsprocess som studerats i detta projekt. Matavfall har även samlats in från hushåll i Göteborg och från hushåll i Borås. Detta matavfall är ett material som genererats under en period av uppemot cirka 14 dagar (en insamlingscykel).

- Matavfall från storhushåll (verksamheter) i Borås:
  - Mikrovågsvakuomtorkat matavfall från storhushåll (betecknas B-T)
  - Färskt matavfall från storhushåll (verksamheter), Borås (betecknas B-F)

Projektets försök genomfördes först på verkligt avfall och kvaliteten hos det torkade materialet analyserades enligt plan (med avseende på lukt, återvätning, mikrobiologisk reduktion, biogaspotential, renhetsgrad, näringsämnen etc.). Vid de experimentella försöken drogs slutsatsen att variationer i ingående material (matavfall från storhushåll) har relativt stor inverkan på kvaliteten på materialet efter mikrovågsvakuomtorkning enligt den process som utvärderades i projektet. Kompletterande försök har därför genomförts i mindre omfattning, där modellavfall använts, av två skäl: a) för att kunna få ett bättre första underlag för att utvärdera mikrobiologisk reduktion och bedöma potentialen hos den aktuella processen för mikrovågsvakuomtorkning (av matavfall från butik<sup>7</sup>) som alternativ teknik för hygienisering av animaliska biprodukter av kategori 3; b) för att kunna dokumentera processen. För att få en mer komplett bild av processen för mikrovågsvakuomtorkning av matavfall från butik kan dock kompletterande försök behöva göras på modellavfall i ett fortsättningsprojekt till detta projekt. Då kan även kvalitetsparametrar som återvätningsegenskaper och biogaspotential utvärderas, följt av jämförelse mellan dessa resultat för motsvarande fall då verkligt matavfall används.

---

<sup>7</sup> För att få ett första underlag av processens förmåga att ge den mikrobiologiska avdödning som krävs, bedömdes att det var tillräckligt att på detta stadium göra en utvärdering av spridning i temperatur etc. vid mikrovågsvakuomtorkning av dels matavfall från storhushåll i restaurant (istället för matavfall från butik), dels modellavfall.

Tabell 1. De material (matavfall från hushåll respektive från storhushåll (verksamheter), som studerats inom projektet.

Table 1. The materials (food waste from households, and waste from food establishments), which were studied in the project.

Typ av material:	Lufttorkat matavfall från hushåll, Gbg (G-T)	Färskt matavfall från villahushåll Gbg (G-F-Pp-Hh)	Färskt matavfall från flerbostadshus, Gbg (G-F-Pp-Fl)	Mikrovågstorkat matavfall från storhushåll (verksamheter) Borås (B-T)	Färskt matavfall från storhushåll (verksamheter), Borås (B-F)	Färskt matavfall från hushåll Borås (B-F-Pl-Hh)	Mikrovågstorkat modellavfall (matavfall från storhushåll)
Återvätning	X		X	X	X		
Mikrobiologisk analys	X						X
Luktbedömning	X		X	X	X		
Renhetsgrad	X	X	X	X	X	X	
Biogaspotential	X	X	X	X	X	X	
Näringsämnesanalys	X	X	X	X	X	X	
Kompostering	X		X	X	X		
Systemanalys	X	X	X	X	X	X	
Hygienisering (ABP)				X	X		X

Det torkade matavfallet, från hushåll respektive storhushåll, relaterades till färskt matavfall av motsvarande ursprung. Som nämnts i avsnitt 1.3 bedömdes matavfall från storhushåll (storkök och restaurang) som förhållandevis lika vad gäller innehåll och sammansättning, oavsett om det kom från Göteborg eller Borås. Därför analyserades inte färskt respektive torkat matavfall från storhushåll i Göteborg [12].

### 3.1 Metodik för torkning

Två materialsammansättningar som är aktuella för rötning har torkats enligt två olika metoder, dels matavfall från hushåll som lufttorkats enligt Smedlunds metod (se avsnitt 3.1.1), dels matavfall från storhushåll som torkats med mikrovågor i kombination med vakuum, enligt Gisips metod [2]. Dessa torkade material skiljer sig mycket åt både i textur, utseende och densitet (Figur 1, Figur 2): Smedlunds lufttorkade material är lätt och luftigt och kan beskrivas som brunaktigt finfördelat material med inslag av större bitar/flisor/flagor av exempelvis torkat apelsinskal/äggskal. Gisips mikrovågstorkade material<sup>8</sup> kan liknas vid en sandig torv och är betydligt tyngre och fetare samtidigt som storleken och färgen är mer homogen än för det lufttorkade matavfallet från hushåll i Smedlunds metod.



*Mikrovågsvakuumtorkat matavfall från storhushåll*



*Lufttorkat matavfall från hushåll*

*Figur 1.* De två typerna av torkat material: mikrovågsvakuumtorkat matavfall från storhushåll (till vänster) samt lufttorkat matavfall från hushåll (till höger)

*Figure 1.* The two types of dried material: microwave vacuum dried food waste from food establishments (to the left) and air dried food waste from households (to the right)

---

<sup>8</sup> av Gisip benämnt ”bioflingor”.



Lufttorkat matavfall från hushåll



Mikrovågsvakuomtorkat matavfall från storhushåll

Figur 2. I denna figur visas foton på de båda torkade materialen. Den vänstra bilden visar Smedlunds lufttorkade matavfall från hushåll, medan den högra bilden visar motsvarande för Gisips mikrovågstorkade matavfall från storhushåll.

Figure 2. In this figure, the appearance of the two different types of dried food waste material is shown. The left photo shows air dried food waste from households (Smedlund's Somnus system), while the right photo shows the microwave vacuum dried food waste from food establishments (Gisip's Biotork system).

### 3.1.1 Lufttorkning

#### Smedlunds process för lufttorkning (torrkonservering)

Torkning av matavfall från hushåll utfördes i Smedlund Miljösystems system för lufttorkning (Figur 3; Figur 4).

Smedlund Miljösystem AB har tidigare deltagit i utvecklingen av ett s.k. ”öppet system”, för hantering av matavfall från hushåll. Med ett öppet system förvaras matavfallet väl ventilerat, vilket bl.a. dämpar matavfallets förruttelseprocess. Till detta har Smedlunds i samarbete med industrin tagit fram en förmultningsbar papperspåse som monteras i en speciell ventilerande hållare. Systemet används idag av 64 % av de kommuner som har separat insamling av matavfall från hushåll [14]. Företaget har också, som en vidareutveckling av ”öppet system”, utvecklat en speciell torkningsmaskin för matavfall.

Brukaren lämnar sin papperspåse vid insamlingshuset och påsarna hamnar direkt i torkningsmaskinen. Materialet bearbetas långsamt i apparaten genom vändning och blandning samtidigt som en luftström passerar genom materialet. Luftströmmen tar med sig vattenångan som genereras av det fuktiga materialet. Till det delvis slutna systemet är en avfuktare kopplad, vilken garanterar att den luft som går in i maskinen håller en maximal luftfuktighet på cirka 45 % [10]. Kondensvatten som bildas dräneras bort från systemet. Processen sker under 4-5 dagar i ungefärlig rumstemperatur och med en luftfuktighet på cirka 30-40% på den ingående luften. Det färdiga materialet har en TS-halt på vanligtvis cirka 90 % och en vattenaktivitet på cirka 0,6-0,7. Det färdiga materialet matas en gång per dygn automatiskt ut till ett lager, vilket är isolerat så att inte en kraftig nedkylning med kondensering av vatten kan ske. Aktuell lagervolym är cirka 2,5 m<sup>3</sup>. Lufttorkningssystemet är dimensionerat för cirka 200 hushåll och elförbrukningen för torksystemet är av Smedlund Miljösystem beräknat till cirka 0,75 kW. Ungefär 180 hushåll var anslutna till systemet när projektet genomfördes.





Figur 3. Matavfall från hushåll torkas i Smedlunds lufttorkningsprocess.

Figure 3. Food waste from households during drying in Smedlund's air drying process.



Figur 4. Matavfallets väg från insamling i hushållet via lufttorkning till biogas eller jordförbättringsmedel.  
Källa: [www.smedlund.se](http://www.smedlund.se)

Figure 4. Food waste from household: from collection in the households via air drying to biogas or soil improvement. Reference: [www.smedlund.se](http://www.smedlund.se)

### 3.1.2 Mikrovågsvakuamtorkning av matavfall från storhushåll/butik

En kort introduktion till vad som händer när man värmer material med mikrovågor finns i bilaga 9.3.

Oavsett värmningsteknik påverkar en höjd temperatur matavfallet, framför allt fett, vid temperaturer över cirka 50°C. Svårömsättbara delar som vissa delar av fett och cellulosa, hemicellulosa och lignin frigörs och därigenom möjliggörs ett högre gasuttag.

Genom att ställa in värmnings- och torkningsprocessen på ett lämpligt sätt (med avseende på processfaktorer för själva mikrovågsprocessen (effekt, processtid, effektcykler etc.), kan kvaliteten hos det torkade materialet styras mot önskvärda egenskaper. Sådana egenskaper är till exempel återvätningsegenskaper (i en efterföljande tänkt rötningsprocess), vattenhalt, lagringsstabilitet, mikrobiologisk kvalitet, hanterbarhet (lukt, konsistens, lagring etc.) samt biogaspotential.

#### Processen för mikrovågsvakuamtorkning av matavfall från storhushåll

Processen för mikrovågsvakuamtorkning av matavfall från storhushåll är en befintlig process, utvecklad av Gisip (Biotork modell 401, se utrustning i Figur 5). Före torkning av matavfallet blandas det med träpellets (i detta projekt användes s.k. smålandspelletts med inblandningen 0,25 kg pellets per 15 kg matavfall från storhushåll).

Utrustningen har mikrovågseffekt 3 kW och en torktrumma à 48 liter (rekommenderad fyllnadsvolym: 30 liter). Trumman är försedd med knivblad i botten av ugnsutrymmet för

finfördelning av materialet under torkning. Utrustningens storlek är 1,35 m (längd) x 0,75 m (bredd) x 0,85 m (höjd) och dess vikt är 200 kg. Torktiden är av storleksordningen 3 timmar för 30 liter matavfall, men tiden det tar att torka materialet varierar beroende på materialets sammansättning (vattenhalt, fetthalt etc.) och dielektriska egenskaper (förmåga hos materialet att absorbera mikrovågsenergi och omvandla denna till värme).

Den befintliga processens styrsystem har ingen temperaturgivare inne i torktrumman, men däremot 3 temperaturgivare som mäter temperatur på kondensvattnet. För att få tillräcklig dokumentation av processen, mättes därför temperaturen i materialet dels före torkning, dels efter torkning. Dessutom gjordes upprepade körningar då torkningsprocessen avbröts efter viss torktid, varvid det torkade materialets temperatur mättes. I det senare fallet fick processen stängas av för att genomföra de sistnämnda temperaturmätningarna i materialet, vilket innebar att vakuum bröts. Eftersom processförhållandena påverkas när vakuum bryts, fick torkningsförsöken upprepas på detta sätt för att få tillräckligt många mätpunkter av materialets temperatur<sup>9</sup>. För att dokumentera processen hölls mängden material vid varje körning konstant (15 kg material/körning). Tidpunkten då processen avbröts för temperaturmätning varierades något från en körning till nästa, för att få en uppfattning om hur temperaturen utvecklades under körningens gång. Totalt 7 olika processmätningar gjordes, för 15 kg material (från modellavfall enligt recept från JTI, se bilaga 9.2.1). För att få en bättre möjlighet att följa processen, och säkerställa att tillräcklig temperatur nås i materialet, bör man undersöka möjligheten att använda temperaturgivare som mäter temperatur i materialet under körningens gång. Fiberoptiska temperaturgivare är vanligt vid mikrovågsprocesser, men här kompliceras mätsituationen dels av de knivblad som sitter i botten på torktrumman, dels av att processen körs under vakuum. En IR-sensor, som visserligen endast ger en ytmätning av temperaturen i materialet, kan därför vara ett alternativ om processen ska kunna styras mot de temperaturer och hålltider som krävs för denna typ av torkningsprocess. Med dagens styrsystem för denna process torkas materialet tills temperaturen på kondensvattnet når ett visst börvärde (se bilaga 9.3.2). Eftersom fuktkvoten skiljer både mellan avfall som samlats in vid olika tillfällen, och mellan sommar- och vintersäsong, blir dock vattenhalt och vattenaktivitet hos det torkade materialet olika beroende på variationer i det ingående materialflödet.



*Figur 5. Utrustning för mikrovågsvakuumtorkning (Gisip, Skövde): från sidan (vänstra bilden) och uppifrån (högra bilden).*

*Figure 5. Microwave vacuum drying equipment (Gisip, Skövde): side view (left) and top view (right).*

Vid de torkningsförsök som användes för dokumentation av processen mikrovågs-behandlades 15 kg matavfall samt 0,25 kg träpellets<sup>10</sup>. Försöken genomfördes med 6 replikat. Efter

<sup>9</sup> Vanligtvis används fiberoptiska prober e.d. för att mäta temperatur i mikrovågsprocesser. I detta fall innebar knivarna i utrustningen att en sådan mätning inte var möjlig på den befintliga processen. Då torkningen körs under vakuum ställer det också särskilda krav på att genomföringar för temperaturprober klarar att bibehålla tryckskillnaden mellan torkningsutrymmet och omgivningen.

<sup>10</sup> Pellets av märket "smålandspelletts" har använts i detta projekt.

mikrovågsvakuomtorkningen vägde materialet 4,1 kg (medelvärde av 6 replikat). Figur 35 visar temperaturförloppet under mikrovågsprocessens gång, baserat på mätningar av temperatur vid dessa processkörningar.

### 3.2 Analys av renhetsgrad på matavfall från Borås och Göteborg

Syftet med dessa analyser var att undersöka renhetsgraden på färskt matavfall från hushåll från två olika områden (Borås och Göteborg).

Matavfall från flerfamiljshushåll i Göteborg analyserades den 17 december 2008. Insamlat material transporterades till Sävenäs förbränningsanläggning i Göteborg. Analysen av matavfallet genomfördes samma dag det var insamlat. Cirka hälften av den insamlade mängden matavfall analyserades<sup>11</sup>.

Matavfall från storkök och restaurang i Borås analyserades den 17 april 2009. Insamlat matavfall transporterades till Sobackens avfallsanläggning i Borås. Sammansättningsanalysen av matavfallet genomfördes direkt efter ankomst till anläggningen. Påsar för analys plockades slumpmässigt från högen med inkommet matavfall.

Sammansättningsanalysen utfördes på en bordsyta där några påsar i taget öppnades och en mindre mängd matavfall spreds ut. På två sidor om bordsytan placerades plastkärll med markeringar för respektive fraktion som skulle sorteras bort. Avfall som inte tillhörde matavfallsfraktionen plockades bort manuellt för hand och med hjälp av stekpincett. Återstoden, det rena matavfallet, placerades i en säck av plast. Samtliga plastkärll och plastsäckar hade kontrollvägts i förväg. Den totala mängden matavfall i papperspåsar som insamlades i Göteborg var ca 650 kg varav 313,4 kg analyserades. Den totala mängden matavfall som insamlades i svarta plastpåsar i Borås var ca 1 600 kg varav 428,9 kg analyserades.

### 3.3 Återvätning av torkat matavfall

Återvätning av torkat matavfall, dels lufttorkat matavfall från hushåll, dels mikrovågstorkat matavfall från storhushåll, har genomförts enligt följande:

- 1) med kranvatten vars temperatur var 25°C och pH-värde 7 (försöksserie 1)
- 2)
  - a) dels med vatten vars temperatur var 35°C och vars pH-värde ställts till 4.5 med saltsyra,
  - b) dels med vatten vars temperatur var 30°C och vars pH-värde var 7 (kranvatten); (försöksserie 2)

Förfarandet vid beredning av material och vid utvärdering av återvätning framgår av bilaga 9.4.1.

### 3.4 Mikrobiologisk utvärdering av avfall torkat med mikrovågor alternativt luft

#### 3.4.1 Mikrovågsvakuomtorkat matavfall från storhushåll/butik

##### *Försöksupplägg*

Utvärderingen på mikrovågsvakuomtorkat avfall (MW) har två mål.

1) För det första genomförs försök för att få en indikation på om torkningstekniken skulle kunna användas som en alternativ hygieniseringsmetod för matavfall från butik. Hygieniseringskraven som tekniken jämförs med finns beskrivna i ABP<sup>12</sup>-förordningen för Kategori 3-avfall ([4], [6]). Vid

---

<sup>11</sup> genomgick plockanalys, vilket även kallas sammansättningsanalys.

<sup>12</sup> Animala BiProdukts-förordningen

hygienisering används vanligen temperaturen 70°C under 1 timme, med en maximal partikelstorlek på 12 mm hos materialet. För att få en ny teknik godkänd som en alternativ hygieniseringsteknik krävs omfattande studier kring reduktion av bakterier, virus och parasiter. I rapporten Alternativa hygieniseringsmetoder, B2007:01, framtagen på uppdrag av Avfall Sverige utveckling [4], [6], diskuteras möjliga alternativa tekniker. Behandling med mikrovågor jämföras med traditionell värmebehandling och ses som en tänkbar alternativ metod. För att underlätta den inledande utvärderingen av en alternativ hygieniseringsmetod utpekades ett antal indikatororganismer att använda istället för sjukdomsframkallande mikroorganismer vid detta arbete. Enligt ABP-förordningen [6] kan *Enterococcus faecalis* användas som indikatororganism för tarmbakterier (ex *E. coli*, *Campylobacter* och *Salmonella*). Den alternativa tekniken ska ha en effekt som ger en logreduktion på  $10^5$  cfu/g av denna indikatororganism. Förslaget omfattar provtagning på slutprodukt om fem prov avseende *E. faecalis*. Krav ställs på fyra prov under  $10^3$  cfu/g samt max ett på  $5 \times 10^3$  cfu/g. Det är dessa krav som legat till grund för den inledande utvärdering som genomförts inom projektet.

2) Det andra målet omfattar en lagringsstudie avseende eventuell mikrobiologisk tillväxt när det torkade avfallet förvaras vid olika luftfuktighet. Avsikten är att hitta en ungefärlig gräns för vilken luftfuktighet som torkat avfall kan förvaras i utan att tillväxt sker.

### Genomförande

Matavfall från restaurant<sup>13</sup> blandades till enligt ett standardrecept (se bilaga 9.2.1). Avfallet ympades med *E. faecalis* motsvarande  $7,0 \times 10^5$  cfu/g för att sedan delas upp och torkas med mikrovågor (MW) vid separata körningar. Tre torkningsförsök genomfördes där olika mängd avfall användes: 15 kg, 14,5 kg och 7,5 kg i MW + vakuum.

Efter torkningen analyserades avfallet avseende *E. faecalis*, totalantal aeroba bakterier, jäst och mögel, vattenaktivitet ( $a_w$ ) samt pH. Det torkade materialet placerades därefter i olika luftfuktigheter 0,45; 0,73; 0,97 (Figur 6) vid 20°C för mikrobiologisk analys efter 3, 6 och 9 månader.



Figur 6. Lagring av avfall, vid vattenaktivitet 0.97 (till vänster), samt under lagring vid olika vattenaktiviteter.

Figure 6. Storage of waste, at water activity 0.97 (left view), and during storage at different water activities.

---

<sup>13</sup> Matavfall från restaurant användes i detta moment, då skillnaden mellan sådant avfall och matavfall från butik bedömdes likvärdigt för att bedöma torkningsprocessen ur mikrobiologiskt hänseende på det sätt som gjorts här. I en djupare studie längre fram föreslås att använda matavfall från butik, för att komma närmare ett verkligt fall.

### 3.4.2 Lufttorkat matavfall från hushåll

#### **Försökupplägg**

Mikrobiologisk utvärdering av lufttorkat avfall (LT) omfattar en lagringsstudie avseende eventuell mikrobiologisk tillväxt när det torkade avfallet förvaras vid olika luftfuktighet. Avsikten är att hitta en ungefärlig gräns för vilken luftfuktighet som torkat avfall kan förvaras i utan att tillväxt sker. Om tillväxt av t ex mögel kommer igång skulle detta kunna medföra hanteringsproblem när mögelsporer sprids i luften. En annan möjlig effekt skulle kunna vara att materialet förlorar lite av sin biogaspotential om det börjar brytas ned av mikroorganismer.

#### **Genomförande**

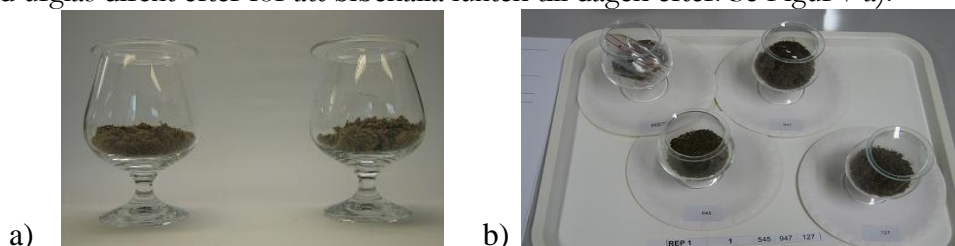
Det torkade materialet analyserades initialt avseende *E. faecalis*, totalantal aeroba bakterier, jäst och mögel, vattenaktivitet ( $a_w$ ) samt pH. Därefter placerades materialet i olika luftfuktigheter 0,45; 0,73; 0,97 vid 20°C för mikrobiologisk analys efter 3, 6 och 9 månader.

## 3.5 Luktbedömningar

Prover till luktbedömningarna togs ut enligt förfarande som beskrivs i bilaga 9.1.1, och lagrades sedan med olika lagringstider: 1, 6 respektive 11 månader.

### 3.5.1 Metod för luktbedömningar

De personer som utförde luktbedömningarna var både så kallade anläggningsägare (8 personer) och konsumenter (7 personer), för att kunna utvärdera om det förelåg skillnad mellan dessa grupper. Proverna skulle utvärderas på en gillandeskala, (där 1 = tycker extremt illa om, till 9 = tycker extremt bra om). Då antalet personer som skulle ingå i luktbedömningarna var få till antalet (totalt 15) bestämdes att luktbedömningarna skulle utföras i tre replikat. Inför luktbedömningarna, som utfördes i november 2009 samt januari 2010, togs alla prover fram dagen innan luktbedömningen skulle äga rum. Referensproverna (portionspåsar) lades i aromglas, (en påse/aromglas). De ”torra” proverna (mikrovågsvakuamtorkat avfall från storhushåll respektive lufttorkat avfall från hushåll) portionerades upp i aromglas (ca 30 ml/prov). Alla prover försågs med urglas direkt efter för att bibehålla lukten till dagen efter. Se Figur 7 a).



Figur 7. a) Två aromglas med torkat material: mikrovågsvakuamtorkat matavfall från storhushåll till vänster och lufttorkat matavfall från hushåll till höger. b) Bricka med referensprov samt tre prover på torkat material (1-, 6- respektive 11-månadersprov)

Figure 7. a) Two aroma glasses with dried material: microwave vacuum dried waste from food establishments (to the left), and air-dried food waste from households (to the right); b) Tray with one reference sample, and three samples of dried material (1 month's, 6 and 11 months' samples, respectively)

Varje prov märktes med en tresiffrig kod (ny kod för varje replikat). En balanserad serveringsordning användes (d v s bedömarna fick proverna i olika ordning för varje replikat och sinsemellan). Varje bedömare fick en bricka åt gången, med tre prover och tillhörande referens. Se Figur 7b).



Vid bedömningen började bedömarna för varje bricka med att lukta på referensprovet, markerade på frågeformuläret (se Bilaga 9.1) på en skala 1 – 9 och skrev kommentarer om hur de tyckte att provet luktade. Därefter följdes ordningen enligt brickans nummerlapp. För alla prover markerades grad av gillande samt en kommentar skrevs om hur provet luktade. Varje bricka följdes av en kortare paus.

### 3.6 Försök med kompostering av återfuktat torkat matavfall, jämfört med konventionellt matavfall mixat med flis

För att utreda om det finns skillnader mellan torkat matavfall och färskt matavfall ur komposteringshänseende utfördes under juni 2009 ett test med kompostering av likvärdiga material parallellt i liten skala. Till försöket användes termosar där komposteringen genomfördes.

Vid försöken utfördes parallella tester under likvärdiga förhållanden. För att materialen skall efterlikna varandra i så hög grad som möjligt analyserades TS-halten på en kompostfraktion som består av ca 5 ton matavfall från kunder. Matavfallet är blandat med ca 1,5 ton flis. Därefter återfuktades det torkade matavfallet (prov 2) för att efterlikna icke-torkat matavfall (prov 1).

TS-halten bestämdes genom invägning av material i en form och sedan torkades provet i värmeskåp i ca 105 °C i ett dygn. Efter torkningen vägdes återstoden. Vikten dividerades med den ursprungliga vikten som då ger TS-halten. För att säkerställa resultaten utfördes 4 replikat på varje prov.

För att bestämma VS (total organisk halt) sönderdelades en delmängd i mortel innan upphettning i ugn. Bränning sker först i ca 300 °C i drygt 1 timme och sedan i ca 600 °C tills allt organiskt material har brunnit upp. Efter behandlingen i ugnen vägdes provet. Denna vikt divideras med den ursprungliga som då ger VS (glödförlust). Försökens utförande framgår av bilaga 9.5.4.

### 3.7 Näringsämnesinnehåll

Näringsämnesanalys har utförts på två torkade matavfall och fyra icke torkade matavfall. Av dessa härrör ett torkat och tre icke torkade matavfall från hushåll och ett torkat och ett icke torkat från storkök och restaurang. Torkat matavfall från Göteborg är insamlat i papperspåse och kommer från flerfamiljshushåll. Som referensmaterial till det torkade matavfallet finns dels matavfall från villor och flerfamiljshushåll i Göteborg som även dessa är insamlade i papperspåse och dels matavfall från hushåll i Borås som är insamlat i plastpåse. Torkat matavfall från Borås är insamlat i plastpåse och kommer från storkök och restaurang. Som referensmaterial till det torkade matavfallet finns icke torkat matavfall från storkök och restaurang från Borås insamlat i plastpåse. Samtliga matavfall analyserades med avseende på näringsinnehåll hos Agrilab AB i Uppsala. Analysmetoder framgår av Tabell 2.

*Tabell 2. Analysmetoder för de olika parametrarna*

*Table 2. Methods for analysis of the different parameters*

Analysvariabel	Metod
pH	SS - ISO 10390
Torrsubstans, ts (%)	KLK 1965:1
Total C (g/kg ts)	SS - ISO 10694
Total N (g/kg ts)	SS - ISO 13878
Ammonium-N (g/kg ts)	Extraktion med 2 M KCl och mätning med FIA
Total P (g/kg ts)	Enligt "Handledning i kemiska metoder vid Växtekologiska arbeten"
Total S (g/kg ts)	Enligt "Handledning i kemiska metoder vid Växtekologiska arbeten"

### 3.8 Satsvis rötning av torkat matavfall för biogasproduktion

Energimängden från organiskt innehåll i matavfall bedömdes genom utrötningsexperiment. Syftet med rötningsexperimenten var att undersöka metanpotentialen hos torkat matavfall samt hos färskt matavfall från två olika områden (Borås och Göteborg). Dessutom undersöktes effekt av torkningstekniken med avseende på kol.

Färskt (F) eller torkat (T) matavfall från Göteborg (G) och Borås (B) transporterades till JTI i juli 2009 (Tabell 3). Matavfallet från Göteborg var insamlat i papperspåse (Pp) och kom från villahushåll (Hh) eller från hushåll i flerfamiljsområde (Fl). Matavfallet från Borås var insamlat i plastpåse (Pl) eller från storhushåll (verksamheter). Luft- eller mikrotorkningsteknik användes i Göteborg respektive Borås för torkning av matavfallet. Ymp hämtades från biogasanläggningen i Västerås den 3 augusti 2009. Ympen avgasades vid 37°C. Det färska matavfallet maldes 2009-07-26 i en köttkvarn (Wexjö Mek. Verkstad RB98) med 12 mm hålskiva och 2 knivar. Samtliga substrat och ymp analyserades med avseende på torrsubstans (TS) och glödförlust (VS) (Tabell 3).

Tabell 3. Provbeskrivning samt TS- och VS-halt på substrat och ymp i försök

Table 3. Sample description, TS: dry matter content (includes non-volatile content), and VS (volatile solids)

Prov	Ursprung	Provbeskrivning	TS (%)	VS (%)
G-T	Göteborg	Torkat matavfall från Guldheden	91,5 ± 0,26	91,2 ± 0,30
G-F-Pp-Hh	Göteborg	Färskt matavfall från hushåll insamlat i papperspåse (Hh)	22,1 ± 1,23	19,3 ± 1,05
G-F-Pp-Fl	Göteborg	Färskt matavfall från flerfamiljshushåll insamlat i papperspåse (Fl)	29,8 ± 0,96	24,0 ± 0,39
B-F-Pl-Hh	Borås	Färskt matavfall från hushåll insamlat i plastpåse	30,4 ± 0,31	27,6 ± 1,25
B-T	Borås	Torkat matavfall från storhushåll	87,2 ± 0,72	86,4 ± 0,65
B-F	Borås	Färskt matavfall från storhushåll	29,3 ± 1,21	22,2 ± 3,96
Y	Västerås	Ymp	3,9 ± 0,05	2,4 ± 0,07

Rötningsexperiment startades den 5 augusti 2009. De satsvisa utrötningarna utfördes i 1-litersflaskor vid 37°C med ymp från biogasanläggningen i Västerås. Flaskorna fylldes med en vätskevolym på 600 mL (ymp + substrat + vatten) och belastades med 3,5 g VS/L av respektive substrat och 7,0 g VS/L av ymp. Försöksflaskorna placerades på skakbord i ett termostaterat rum vid 37°C. Försöken utfördes med tre replikat enligt Tabell 4. Det ingick tre replikat med bara ymp för att kunna räkna bort dess bidrag till gasbildningen.

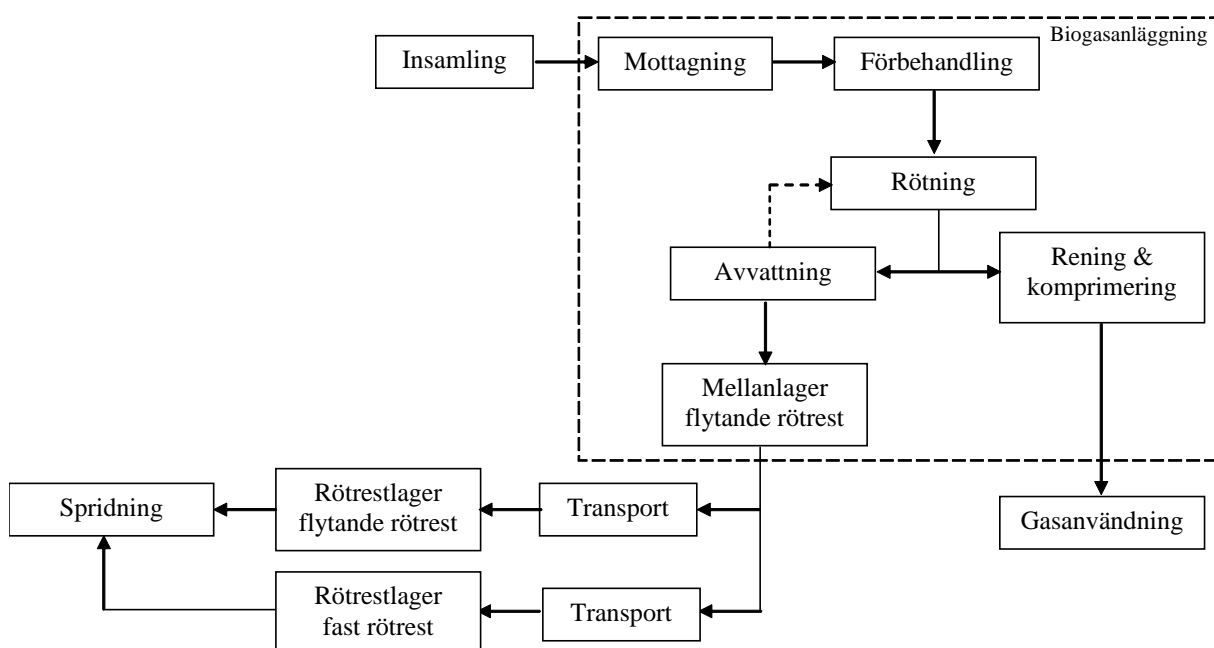
Gasproduktionen beräknades genom att trycket i flaskorna mättes med en digital tryckmätare (GMH 3110) utrustad med en trycksensor (GMSD 2BR; -1000 to 2000 mbar). Trycket konverterades därefter till normal gasvolym (1 atm och 0 °C). Gasprover togs och analyserades på gaskromatograf (PerkinElmer ARNEL, Clarus 500; kolonn: 7' HayeSep N 60/80, 1/8" SF; FID detector 250 °C; bärgas: helium, flöde 31 mL/min; injektortemperatur: 60 °C; injektion med hjälp av Headspace sampler Turbo Matrix 110). Försöket pågick i 75 dagar. Metanproduktionen bestämdes vid olika tidpunkter som normal-mL CH<sub>4</sub>/g VS motsvarande normal-m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton VS samt som normal-m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton substrat.

Tabell 4. Försöksupplägg för mätning av metanpotentialen av matavfallet

Table 4. Experimental plan for measurement of the methane potential of the food waste

Utröttningsflaskor
3 x Torkat matavfall från Guldheden (G-T)
3 x Färskt matavfall från hushåll insamlat i papperspåse – Hh (G-F-Pp-Hh)
3 x Färskt matavfall från hushåll insamlat i papperspåse – Fl (G-F-Pp-Fl)
3 x Färskt matavfall från hushåll insamlat i plastpåse – (B-F-Pl-Hh)
3 x Torkat matavfall från storkök och restaurang – (B-T)
3 x Färskt matavfall från storkök och restaurang – (B-F)

### 3.9 Systemanalys



Figur 8. Schematisk beskrivning av det studerade systemet.

Figure 8. Schematic description of the studied system.

Syftet med systemanalysen var att undersöka om det är några skillnader i kostnader, användning av energi och utsläpp av klimatgaser från tillförd energi mellan torkat och icke torkat matavfall. Två olika tekniker för torkning av lätt nedbrytbart organiskt avfall studerades: mikrovågsvakuumtorkning av matavfall från storhushåll enligt Gisips metod och lufttorkning av matavfall från hushåll enligt Smedlunds metod. Dessa tekniker jämfördes var och en för sig med dagens system för insamling av respektive typ av icke torkat avfall (se Figur 8 samt kapitel 3, sid 13). Beräkningarna utfördes i Excel för insamling och omhändertagande av 1 ton färskt organiskt lätt nedbrytbart matavfall från hushåll. All påverkan som kostnader, energi och klimat relateras till insamling av 1 ton färskt matavfall genererat vid hushållen respektive verksamheterna

Både torkat och icke torkat matavfall från hushåll och verksamheter som samlades in behandlas genom rötning. Biogasen renas till fordonsgas och används som fordonbränsle. Rötresten avvattnas och sprids som en våt respektive torr fraktion på åkermark. Systemanalysen omfattar beräkning av använd energi till processer, transporter och spridning. Klimatpåverkan beräknades för insatt energi. Producerad biogas renas till fordonbränsle och ersätter diesel till bussar och bensin till personbilar. Genom substitution visades effekterna av att ersätta diesel och bensin med



fordonsgas samt att ersätta handelsgödsel, kväve (N), fosfor (P) och kalium (K), med motsvarande växtnäringsämnen i rötrest.

Kostnader beräknas genom att investeringskostnader räknas om till årskostnader med annuitetsmetoden. Årskostnaden fördelas sedan per genererad mängd avfall. Vid insamling, transporter och spridning är kapaciteten hos fordon och spridare större än den hanterade mängden avfall. Fysisk allokering används för att avfallet endast ska belastas av sin andel av de totala kostnaderna vid insamling, transport och spridning. På samma vis fördelas kostnaderna vid rötning och uppgradering av biogas. Det gör att endast den andel av energi, emissioner och kostnader som tillhör det studerade delflödet belastar systemet.

Nämnas bör dock att i det arbete som gjorts finns flera aspekter som inte har prissatts och därmed inte är med i den kostnadsanalys som redovisas här. Sådana aspekter är:

- Att kunna lagra substrat är till fördel då det uppstår svackor i inkommande flöde eller då det krävs något högre mängder med högt energiinnehåll för att tillfälligt öka biogasproduktionen. Denna fördel har inte prissatts.
- Det är ett välkänt faktum att färskt matavfall kräver ordentlig förbehandling i form av sönderdelning och avskiljning. Med torkat material kan de stora och energikrävande insatserna reduceras till färre och mindre enheter. I samband med detta minskar även behovet av borttransporter och behandling av utsorterat material. Denna del är inte prissatt i studien.
- Tydliga och förståeliga system för avfallshanteringen som involverar de boende och deras delaktighet innebär erfarenhetsmässigt att renhetsgraden ökar. Därigenom minskar behovet av energikrävande insatser vid förbehandling inför rötningsprocessen. Delaktigheten innebär ofta ökat ansvarstagande för miljöproblematiken som helhet. Denna del har inte prissatts i studien.
- Bedömningen är att arbetsmiljön för samlingspersonal och anläggningspersonal förbättras genom minskat antal tunga förflyttningar och tunga lyft samt förbättrad luft i förvaringsutrymmen för matavfall. Denna del har inte involverats i studien men anses vara en viktig parameter för en helhetsbedömning av omhändertagande av matavfall.

Det minskade transportarbetet som blir följden då materialet torkas, vägs dock in i den redovisade energibalansen.

Elsystemen i Europa och Norden är i dag sammankopplade vilket motiverar en elproduktion som är vidare i sin definition än den rent nationella elproduktionen. Å andra sidan är elproduktionen ofta i ett historiskt perspektiv uppbyggd utifrån nationella ställningstaganden. Vilken klimatbelastning som produktionen av el medför beror till stor del av de antaganden som är gjorda. Tre olika elproduktionssystem kan identifieras som bygger på historisk kunskap om hur produktionen sett ut fram till en viss tidpunkt [21]. De tre elproduktionssystemen är svensk, nordisk och europeisk elmix. I denna studie har valts att använda en nordisk elmix p.g.a. att de nordiska elsystemen till stor del är sammanbyggda med varandra [22]. Enligt Svensk energi som är en bransch- och intresseorganisation för landets elförsörjningsföretag beror utsläppen av klimatgaser, räknade som koldioxidekvivalenter, på från vad elen är producerad. Enligt Svensk energi är utsläppen av koldioxid från svensk medel 20 g CO<sub>2</sub>/ kWh, från nordisk elmix 100 g CO<sub>2</sub>/ kWh och från europeisk elmix 415 g CO<sub>2</sub>/ kWh [36].

De studerade systemen är avgränsade till att omfatta användningen av processenergi, klimatpåverkan från fossil koldioxid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) och lustgas (N<sub>2</sub>O) samt kostnader, från det att avfallet hamnar i samlingskärl eller avfallstork. Hushållens och verksamheternas arbete med att hantera respektive typ av avfall dessförinnan ingår inte. Avfallet följs sedan tills slutprodukter som biogas och rötrest används. Fordonsbränslet ersätter bensin och diesel och rötresten sprids på åkermark och ersätter handelsgödsel.

Utsläppen av koldioxid från fossila bränslen, diesel är beräknade till 2,7 kg CO<sub>2</sub>/liter bränsle [28]. Beräknat värde utifrån utsläppt mängd CO<sub>2</sub> per energimängd i bränslet, produktion och distribution är inkluderade i bidraget. Klimatpåverkan beräknas genom att emissioner av gaserna koldioxid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) och lustgas viktas med faktorer från IPCC [36], se Tabell 36 i Bilaga 9.4.

### 3.9.1 Torkning

Lufttorkningsanläggningen som studerats hanterar källsorterat matavfall från 200 hushåll. I beräkningarna ingår kostnader och energianvändning för ett miljöhus innehållande säckar och kår för färskt avfall samt torkanläggning [37].

Matavfall från verksamheter hanteras utan att torkas i kyllda rum [34] [35], medan det torkade matavfallet från verksamheter inte kräver kylning under den tid matavfallet lagras i väntan på insamling. Vidare antas kostnaden för ett okylt rum vara detsamma som för kylt rum exklusive kostnaden för kompressor som genererar kyla; energiförbrukningen är endast för belysning motsvarande en 100 W lampa som lyser 4 h/dygn.

### 3.9.2 Insamling

Färskt matavfall samlas in 52 ggr per år med en sopbil. Följande antaganden gjordes: Transportavståndet vid enkel resa var 15 km, ingen returtransport var aktuell, och kostnaden är 850 kr/timme [37]. Vid insamling förbrukas 0,445 l diesel per km [26].

Torkat matavfall samlas in med en lastbil som förbrukar 0,307 l/km olastad och 0,460 l/km lastad [27]. Insamling sker 2 ggr/år. Transportavståndet vid enkel resa antogs vara 15 km, ingen returtransport behövdes, och kostnaden var 850 kr/timme. Övriga indata finns samlade i bilaga 9.4.

### 3.9.3 Rötning och uppgradering

Röttningsanläggningen använder data för kostnader och energianvändning för en storskalig anläggning som hanterar matavfall [38]. Kostnader och energianvändning är medelvärden för den typen av anläggning, se Bilaga 9.4. I denna studie har antagits att medelkostnaden för hantering av matavfall är 418 kr/ton avfall som levereras till röttningsanläggningen.

Energianvändning och kostnader i samband med uppgradering av biogas till fordonsgas, där biogas med en metanhalt mellan 60-65 % renas till 98 %. I denna studie har en uppgraderingskostnad på 0,20 kr/ kWh renad gas antagits i beräkningarna [29].

### 3.9.4 Rötrest

Rötresten belastas med kostnader för transport från anläggning till lager och spridning på åkermark. Hantering av rötrest vid anläggning som avvattning och mellanlagring antas kostnadsmässigt belasta kostnaderna för rötningsanläggning<sup>14</sup>. Transporten, 35 km enkel väg, av både fast och flytande rötrest sker med lastbil och släp som kan lasta 35 ton. Hastighet på väg 70 km/timme och timkostnad 850 kr/timme.

Rötresten sprids på åkermark, givan är 25 ton våtvikt per ha. En fastgödselspridare har kapaciteten 2,4 ha/h och en flytgödselspridare har kapaciteten 6,7 ha/h [30]. Kostnader för spridning av fast och flytande rötrest är de taxor som maskinstationer för jordbruksmaskiner använder [42]. Spridning av fast rötrest antas ske med fastgödselspridare (kombivagn, 7-10 m<sup>3</sup>). Spridaren dras av en traktor med effekten 81 kW. Spridning av den flytande fasen sker med släpslangspridare monterad på en tankvagn med 15 m<sup>3</sup> tank. Flytgödselspridaren dras av en traktor med effekten 110 kW. I timkostnaden för traktor ingår kostnad för traktor, förare och diesel (bilaga 9.4).

### 3.9.5 Känslighetsanalys

I känslighetsanalysen testas enskilda parametrars påverkan på resultaten avseende energi- och klimatpåverkan. Parametrar som testas i känslighetsanalys är:

- CO<sub>2</sub>-emissioner från elproduktion, där påverkan på systemen visas för 20 g CO<sub>2</sub>/ kWh och för 415 g CO<sub>2</sub>/ kWh i förhållande till 20 g CO<sub>2</sub>/ kWh. Påverkar utsläppen av klimatgaser.
- Transportavstånd vid insamling av avfall. Avståndet ökas och minskas med 5 km (10 km respektive 20 km i förhållande till 15 km). Påverkar energiåtgång och kostnader.
- Insamlingsfordonens lastförmåga vid insamling av matavfall ökas och minskas med 25 %.
- Elbehovet för miljöhus och torkanläggning ökas och minskas med 25 %.

---

<sup>14</sup>Antagandet om avvattning av rötresten baserades på att Växtkraft AB i Västerås [39] använde den tekniken för att få en mer renodlad fast fosforprodukt och en flytande kväveprodukt. Växtkraft samrötar lätt nedbrytbart organiskt avfall (i denna rapport benämnt matavfall) från hushåll tillsammans med vall. I Waste Refinery-projektet WR 20 [40] utvärderades olika alternativ för förädling av rötrest. Här efterbehandlas dock den flytande fasen för att i de flesta fall driva av kväve. I Danmark finns det rötningsanläggningar som rötter svingödsel [41]. Där är problematiken att för mycket näring är koncentrerad till en för liten yta. Avvattningen genererar en fast fas som är tänkt att flytta till mindre känsliga områden (avseende fosfor).

## 4 Resultatredovisning

### 4.1 Torkning av matavfall från hushåll respektive storhushåll

#### 4.1.1 Temperaturutveckling vid mikrovågsvakuomtorkning av modellavfall

Temperaturen mättes i modellavfallet före, under samt efter mikrovågsvakuomtorkning, vid 6 upprepade körningar av processen. Vid varje replikatkörning torkades 15 kg modellavfall, med tillsats av 0.25 kg träpellets per sats. Temperaturen i det torkade materialet före torkning var 15.5°C (medelvärde; standardavvikelse 1.1°C). I Figur 35 i bilaga 9.3.1 (sidan 85) framgår de uppmätta temperaturerna mer i detalj. Som framgår av denna bilaga skiljer sluttemperaturen i det torkade materialet relativt mycket mellan olika torkningsförsök även om samma mängd material torkas (skillnaden blev upp till 50°C mellan olika försök vid de 6 replikatmätningarna). Sluttemperaturens medelvärde var 69°C, men standardavvikelsen var hela 16°C. Denna spridning i sluttemperatur måste åtgärdas för att processen ska kunna användas för hygienisering av matavfall som innehåller s.k. ABP-avfall. Bilaga 9.3.2 beskriver förfarandet vid torkning av matavfall från storhushåll i den befintliga processen (Biotork, Gisip), dels för verkligt matavfall från storhushåll (Borås), dels för modellavfall (enligt recept i Bilaga 9.2.1). I denna process kan mängden matavfall, som torkas vid ett tillfälle, skilja sig relativt mycket från den mängd som torkas vid ett annat tillfälle. Materialsammansättningen varierar också i högre grad för denna typ av matavfall (matavfall från storhushåll), jämfört med matavfall från hushåll.

#### 4.1.2 Temperatur-tidförlopp vid mikrovågsvakuomtorkning av verkligt avfall

Dokumentation från mikrovågsvakuomtorkning av verkligt avfall samt av modellavfall finns i Bilagorna 0 respektive 0. Spridningen i sluttemperatur på materialet är stor mellan olika körningar (mer än 50°C), då styrningen inte är återkopplad till materialets temperatur under torkning.

## 4.2 Renhetsgrad

Tabell 5 visar resultat från sammansättningsanalys av matavfall från flerfamiljshushåll i Göteborg.

Tabell 5. Sammanställning av material i matavfall från flerfamiljshus i Göteborg.

Table 5. Composition of sorted material, in food waste from households (block of flats) in Göteborg.

Huvudkategori	Procentuell fördelning
Matavfall	95,79
Pappers- o pappförpackningar	0,34
Plastförpackningar	0,12
Glasförpackningar	0,00
Metallförpackningar	0,00
Farligt avfall	0,00
Brännbart avfall	3,46
Metall	0,02
Övrigt	0,29
Summa	100,0

I Tabell 6 visas resultat från sammansättningsanalys av matavfall från flerfamiljsområdet i Guldheden i Göteborg, d v s samma område där lufttorkningsanläggningen var placerad.

Tabell 6. Sammanställning av material i matavfall från flerfamiljshusområdet Guldheden i Göteborg

Table 6. Composition of sorted material in food waste from households in the district of Guldheden, Göteborg.

Material	Procentuell fördelning
Matavfall	99,991
Mjukplast	0,001
Metall	0,003
Brännbart	0,005
Summa övrigt (material exkl. matavfall)	100,000

Tabell 7 ger en sammanställning av hur matavfallet från storhushåll i Borås var sammansatt.

Tabell 7. Sammanställning av material i matavfall från storhushåll i Borås.

Table 7. Composition of sorted material, in waste from food establishments in Borås.

Huvudkategori	Procentuell fördelning
Matavfall	99,66
Pappers- o pappförpackningar	0,10
Plastförpackningar	0,08
Glasförpackningar	0,00
Metallförpackningar	0,04
Farligt avfall	0,00
Brännbart avfall	0,12
Metall	0,00
Övrigt	0,00
Summa	100,00

### 4.3 Resultat från återvätningsförsök

De två typerna av matavfall, efter vätning, visas i Figur 9.

Återvätning och upplösning av det lufttorkade matavfallet från hushåll skedde inom 1 timme. För det mikrovågstorkade matavfallet från storhushåll tog det cirka 1,5-2 timmar för återvätningen att nå störst effekt.



Figur 9. De två typerna av matavfall efter vätning: till vänster Gisips mikrovågstorkade och återfuktade matavfall från storhushåll, till höger Smedlunds lufttorkade och återfuktade matavfall från hushåll.

Figure 9. The two types of food waste after rehydration: re-hydrated microwave-vacuum dried waste from food establishments (to the left), and re-hydrated air-dried food waste (to the right).

Vattenupptag och löslighet hos materialen kan ses visuellt. TS-halten i det avrunna vattnet är relativt låg beroende på att ett överskott av vatten har använts vid återvätningsförsöken.

Detaljerade resultat från återvätningsförsöken finns i bilaga 9.4, där avsnitt 9.4.2 visar resultat för lufttorkat matavfall från hushåll, och avsnitt 9.4.3 visar resultat för mikrovågstorkat matavfall från storhushåll.

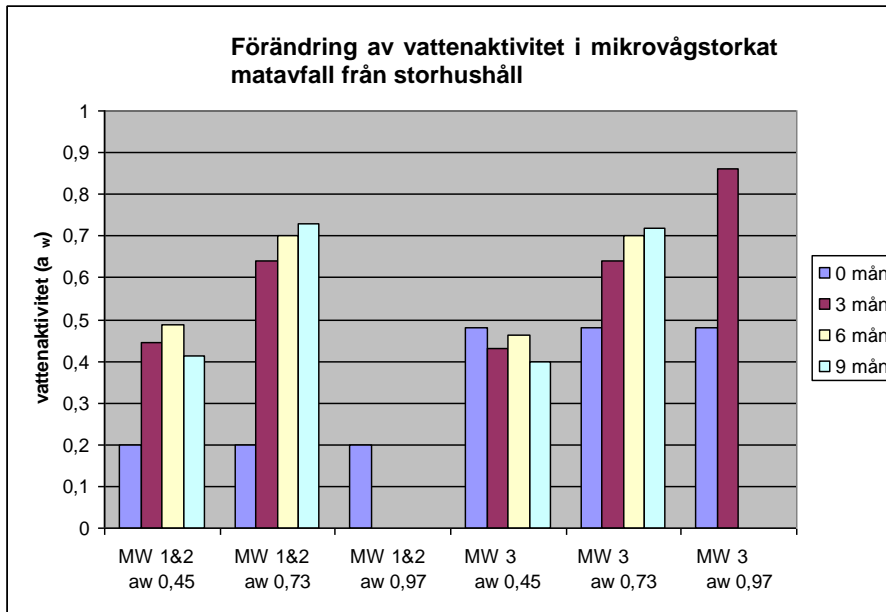
#### 4.4 Mikrobiologisk analys

Tabell 8 visar resultat från mikrobiologisk analys av mikrovågsvakuomtorkade prover av matavfall, direkt efter torkningen. I Figur 10 illustreras förändringen i vattenaktivitet hos mikrovågsvakuomtorkat material under 9 månader, vid rumstemperatur (20°C).

Tabell 8. Sammanställning av medelvärden för antal mikroorganismer, pH samt  $a_w$  i samtliga mikrovågsvakuomtorkade prover av matavfall vid tiden 0 månader.

Table 8. Mean values for total number of microorganisms, pH, and  $a_w$  in all MW-dried food waste samples at 0 months.

	mikrovågstorkat matavfall från storhushåll 15kg (MW 1)	mikrovågstorkat matavfall från storhushåll 14,5kg (MW 2)	mikrovågstorkat matavfall från storhushåll 7,5 kg (MW 3)
Tot antal bakterier (log cfu/g)	3,8	4,0	4,6
Ymp före MW, <i>E. faecalis</i> (log cfu/g)	5,8	5,8	5,8
<i>E. faecalis</i> (log cfu/g)	< 1	1,3	3,7
Jäst (log cfu/g)	< 2	5	2,2
Mögel (log cfu/g)	2,4	2,9	3,2
$a_w$	< 2	< 2,5	2,2
pH	5,5	5,5	5,5



Figur 10. Förändring av  $a_w$  i mikrovågsvakuomtorkat material under 9 månader, vid 20°C. MW1, MW2 och MW3 som förvarats vid  $a_w$  0,97 var överväxt av mögel efter 3 respektive 6 månader, varför ingen analys kunde genomföras.

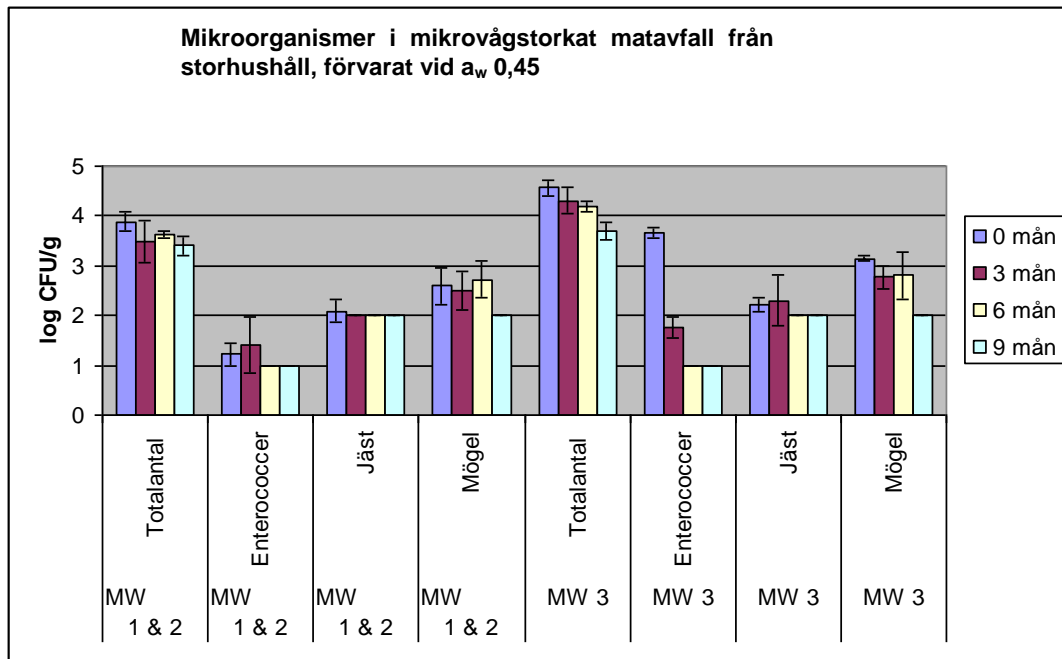
Figure 10. Change in  $a_w$  in microwave vacuum dried material during 9 months at 20°C. For the samples MW1, MW2, and MW3, which were stored at  $a_w$  0,97, no analysis could be made due to significant mould growth after 3 and 6 months, respectively.

Tabell 9 visar en sammanställning av antalet mikroorganismer (totalt antal bakterier, enterokocker, jäst samt mögel) i mikrovågsvakuomtorkade prover som förvarats vid vattenaktivitet 0,45 vid 20°C. Vidare visar Figur 11 antalet mikroorganismer i mikrovågsvakuomtorkat prov som förvarats vid vattenaktivitet 0,45 vid 20°C i 9 månader. Tabell 10 och Figur 12 visar motsvarande resultat för mikrovågsvakuomtorkade prover som förvarats vid vattenaktivitet 0,73 vid 20°C i 9 månader.

Tabell 9. Antal mikroorganismer i mikrovågsvakuomtorkade prover som förvarats vid  $a_w$  0,45 vid 20°C i 9 månader.

Table 9. Total number of microorganisms in microwave vacuum dried samples, stored at  $a_w$  0,45 at 20°C for 9 months.

		0 mån (log CFU/g)	3 mån (log CFU/g)	6 mån (log CFU/g)	9 mån (log CFU/g)
<b>MW 1 &amp; MW 2</b>	Totalantal bakt.	3,88	3,48	3,63	3,40
	Enterokocker	1,23	1,40	< 1	< 1
	Jäst	2,09	< 2	< 2	< 2
	Mögel	2,59	2,50	2,70	< 2
<b>MW 3</b>	Totalantal bakt.	4,56	4,30	4,20	3,70
	Enterokocker	3,66	1,75	< 1	< 1
	Jäst	2,22	2,30	< 2	< 2
	Mögel	3,14	2,77	2,80	< 2



Figur 11. Antal mikroorganismer i MW-torkat prov förvarat vid  $a_w$  0,45 vid 20°C i 9 månader.

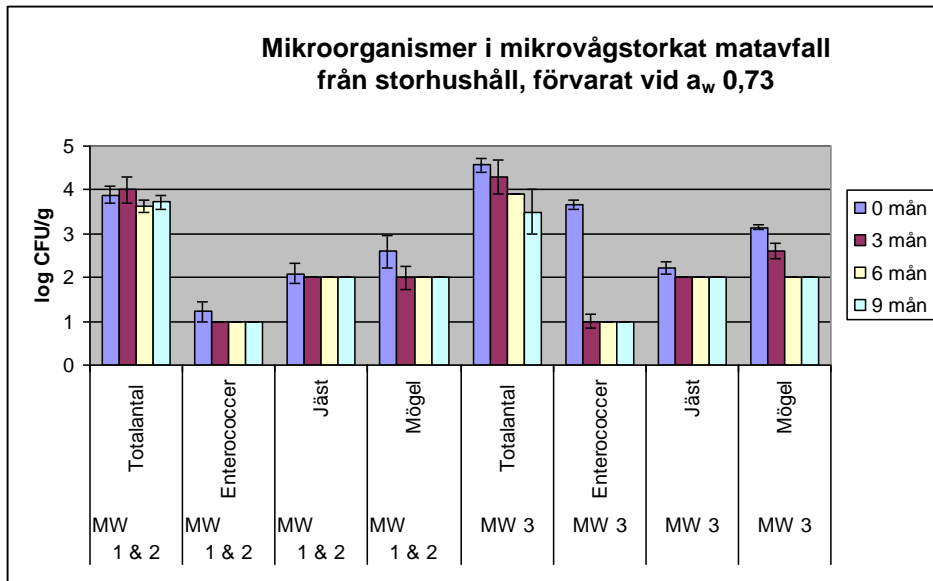
Figure 11. Total number of microorganisms in microwave vacuum dried samples, stored at  $a_w$  0,45 at 20°C for 9 months

Tabell 10. Antal mikroorganismer i mikrovågsvakuutorkade prover, förvarade vid  $a_w$  0,73 vid 20°C i 9 månader.

Table 10. Total number of microorganisms in microwave vacuum dried samples, stored at  $a_w$  0,73 at 20°C for 9 months.

		0 mån (log CFU/g)	3 mån (log CFU/g)	6 mån (log CFU/g)	9 mån (log CFU/g)
<b>MW 1 &amp; MW 2</b>	Totalantal bakt.	3,88	4,00	3,63	3,72
	Enterococcer	1,23	< 1	< 1	< 1
	Jäst	2,09	< 2	< 2	< 2
	Mögel	2,59	< 2	< 2	< 2
<b>MW 3</b>	Totalantal bakt.	4,56	4,30	3,90	3,50
	Enterococcer	3,66	< 1	< 1	< 1
	Jäst	2,22	< 2	< 2	< 2
	Mögel	3,14	2,60	< 2	< 2





Figur 12. Antal mikroorganismer i mikrovågsvakuumtorkade prover, förvarade vid  $a_w$  0,73 vid 20°C i 9 månader.

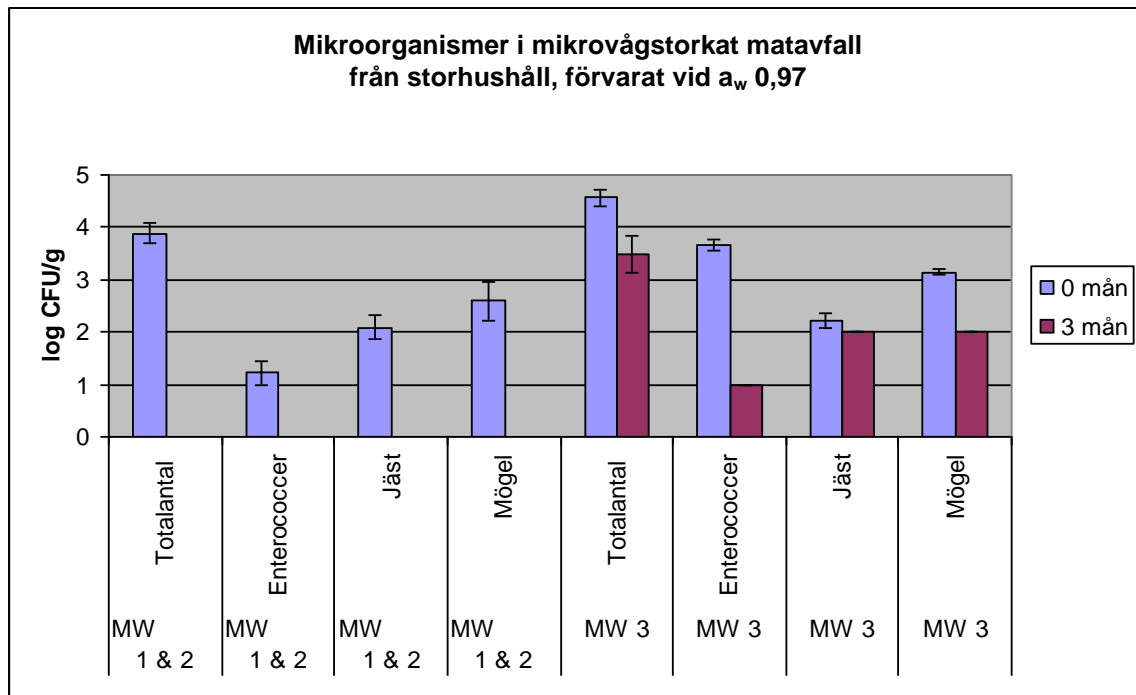
Figure 12. Total number of microorganisms in microwave vacuum dried samples, stored at  $a_w$  0,73 at 20°C for 9 months.

Slutligen visar Tabell 11 och Figur 13 resultaten för mikrovågsvakuumtorkade prover som förvarats vid vattenaktivitet 0,97 vid 20°C i 9 månader.

Tabell 11. Antal mikroorganismer i mikrovågsvakuumtorkade prover, förvarade vid  $a_w$  0,97 vid 20°C i 9 månader.

Table 11. Total number of microorganisms in microwave vacuum dried samples, stored at  $a_w$  0,97 at 20°C for 9 months.

		0 mån (log CFU/g)	3 mån (log CFU/g)	6 mån (log CFU/g)	9 mån (log CFU/g)
<b>MW 1 &amp; MW 2</b>	Totalantal bakt.	3,88	Mögelöverväxt	Mögelöverväxt	Mögelöverväxt
	Enterococcer	1,23	Mögelöverväxt	Mögelöverväxt	Mögelöverväxt
	Jäst	2,09	Mögelöverväxt	Mögelöverväxt	Mögelöverväxt
	Mögel	2,59	Mögelöverväxt	Mögelöverväxt	Mögelöverväxt
<b>MW 3</b>	Totalantal bakt	4,56	3,50	Mögelöverväxt	Mögelöverväxt
	Enterococcer	3,66	< 1	Mögelöverväxt	Mögelöverväxt
	Jäst	2,22	< 2	Mögelöverväxt	Mögelöverväxt
	Mögel	3,14	< 2	Mögelöverväxt	Mögelöverväxt



Figur 13. Antal mikroorganismer i MW-torkat prov förvarat vid  $a_w$  0,97 vid 20°C i 9 mån.

Figure 13. Total number of microorganisms in microwave vacuum dried samples, stored at  $a_w$  0,97 at 20°C for 9 months.

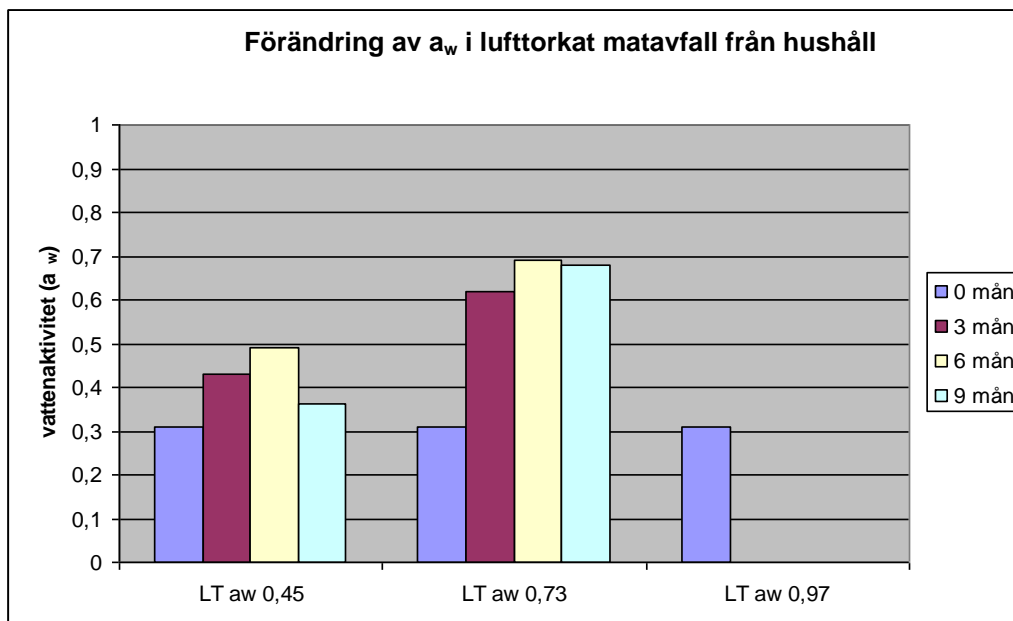
Tabell 12 visar en översiktlig bild av vilka material (matavfall från hushåll respektive från storhushåll) som studerats i projektet.

Tabell 12. De material (matavfall från hushåll respektive från storhushåll (verksamheter), som studerats inom projektet.

Table 12. Mean values for total number of microorganisms, pH, and  $a_w$  for all air-dried samples of food waste at time = 0 months.

	Lufttorkat matavfall från hushåll omgång 1: Prov 1	Lufttorkat matavfall från hushåll omgång 1: Prov 2
Tot antal bakt. (log cfu/g)	> 7,7	> 7,7
<i>E. faecalis</i> (log cfu/g)	5,6	5,5
Jäst (log cfu/g)	> 5,7	> 5,7
Mögel (log cfu/g)	4,7	4,7
$a_w$	0,31	--
pH	6,1	6,1

Figur 14 visar hur vattenaktiviteten förändras i lufttorkat material under 9 månader vid 20°C. Vid 3 månader var provet som förvarats vid  $a_w$  0,97 överväxt av mögel varför ingen analys kunde genomföras.



Figur 14. Förändring av  $a_w$  i lufttorkat material under 9 månader vid 20°C.

Figure 14. Change in  $a_w$  in air-dried material for 9 months at 20°C.

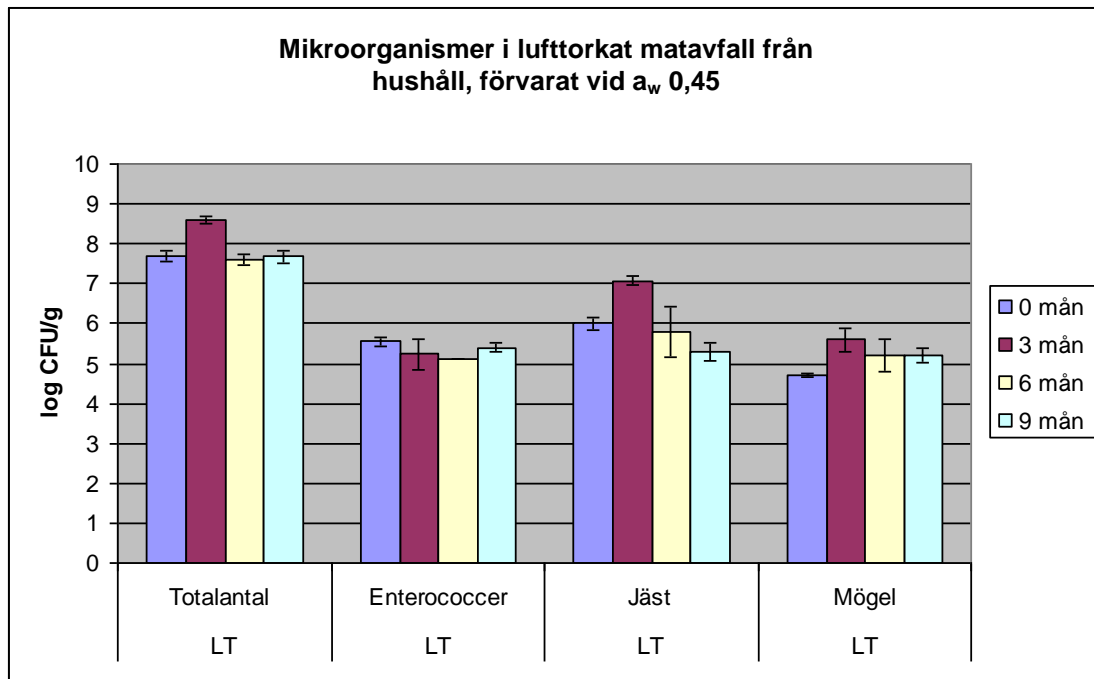
#### 4.4.1 Mikrobiologisk utvärdering av lufttorkat matavfall från hushåll

Tabell 13 och Figur 15 visar resultat från mikrobiologisk utvärdering av lufttorkat matavfall från hushåll, analys av totalt antal bakterier i lufttorkat prov förvarat vid  $a_w$  0,45 vid 20°C i 9 månader.

Tabell 13. Antal mikroorganismer i lufttorkat prov förvarat vid  $a_w$  0,45 vid 20°C i 9 månader.

Table 13. Total number of microorganisms in an air-dried sample, stored at  $a_w$  0,45 at 20°C for 9 months.

		0 mån (log CFU/g)	3 mån (log CFU/g)	6 mån (log CFU/g)	9 mån (log CFU/g)
<b>Lufttorkat matavfall från hushåll</b>	Totalantal bakterier	> 7,70	8,60	7,60	7,67
	Enterococcer	5,55	5,23	5,10	5,40
	Jäst	> 5,70	7,07	5,80	5,30
	Mögel	4,70	5,60	5,20	5,20



Figur 15. Antal mikroorganismer i lufttorkat prov förvarat vid  $a_w$  0,45 vid 20°C i 9 mån.

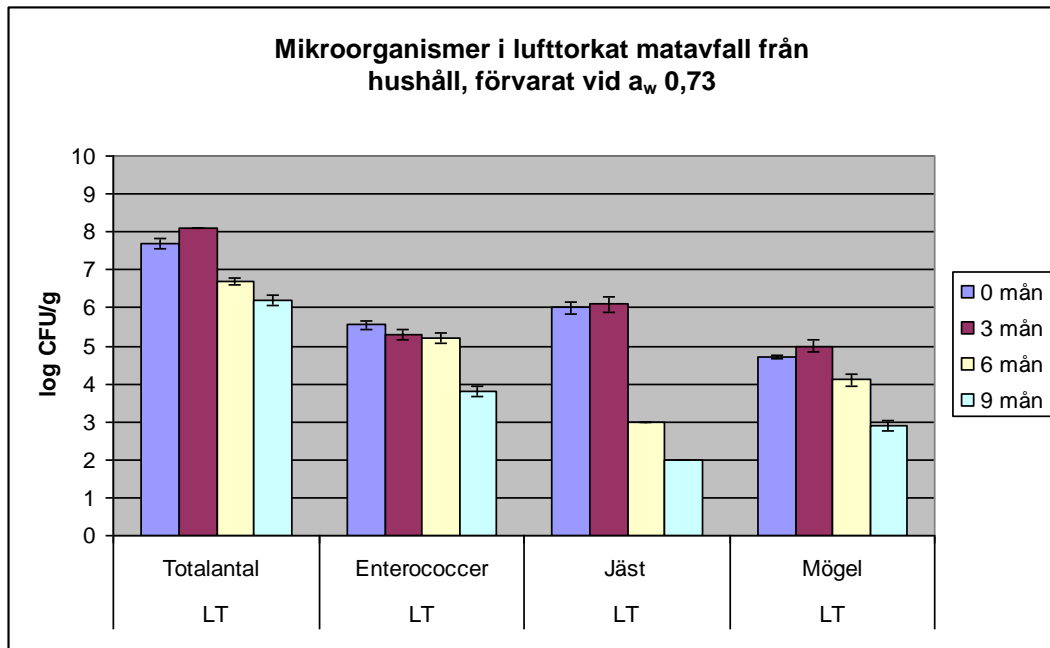
Figure 15. Total number of microorganisms in an air-dried sample, stored at  $a_w$  0,45, at 20°C for 9 months.

Tabell 14 och Figur 16 visar motsvarande resultat från mikrobiologisk utvärdering av lufttorkat matavfall från hushåll, analys av totalt antal bakterier i lufttorkat prov förvarat vid  $a_w$  0,73 vid 20°C i 9 månader.

Tabell 14. Antal mikroorganismer i lufttorkat prov förvarat vid  $a_w$  0,73 vid 20°C i 9 mån.

Table 14. Total number of microorganisms in an air-dried sample, stored at  $a_w$  0,73, at 20°C for 9 months.

		0 mån (log CFU/g)	3 mån (log CFU/g)	6 mån (log CFU/g)	9 mån (log CFU/g)
<b>Lufttorkat matavfall från hushåll (LT)</b>	Totalantal bakterier	> 7,70	8,10	6,70	6,20
	Enterococcer	5,55	5,30	5,20	3,80
	Jäst	> 5,70	6,10	3,00	2,00
	Mögel	4,70	5,00	4,10	2,90



Figur 16. Antal mikroorganismer i lufttorkat prov förvarat vid  $a_w$  0,73 vid 20°C i 9 mån.

Figure 16. Total number of microorganisms in an air-dried sample, stored at  $a_w$  0,73, at 20°C for 9 months.

Slutligen åskådliggör Tabell 15 resultaten från mikrobiologisk utvärdering av lufttorkat matavfall från hushåll, analys av totalt antal bakterier i lufttorkat prov förvarat vid  $a_w$  0,97 vid 20°C i 9 månader.

Tabell 15. Antal mikroorganismer i lufttorkat prov förvarat vid  $a_w$  0,97 vid 20°C i 9 mån.

Table 15. Total number of microorganisms in an air-dried sample, stored at  $a_w$  0,97, at 20°C for 9 months.

		0 mån (log CFU/g)	3 mån (log CFU/g)	6 mån (log CFU/g)	9 mån (log CFU/g)
<b>Lufttorkat matavfall från hushåll (LT)</b>	Totalantal bakterier	> 7,70	Mögelövertväxt	Mögelövertväxt	Mögelövertväxt
	Enterococcer	5,55	Mögelövertväxt	Mögelövertväxt	Mögelövertväxt
	Jäst	> 5,70	Mögelövertväxt	Mögelövertväxt	Mögelövertväxt
	Mögel	4,70	Mögelövertväxt	Mögelövertväxt	Mögelövertväxt

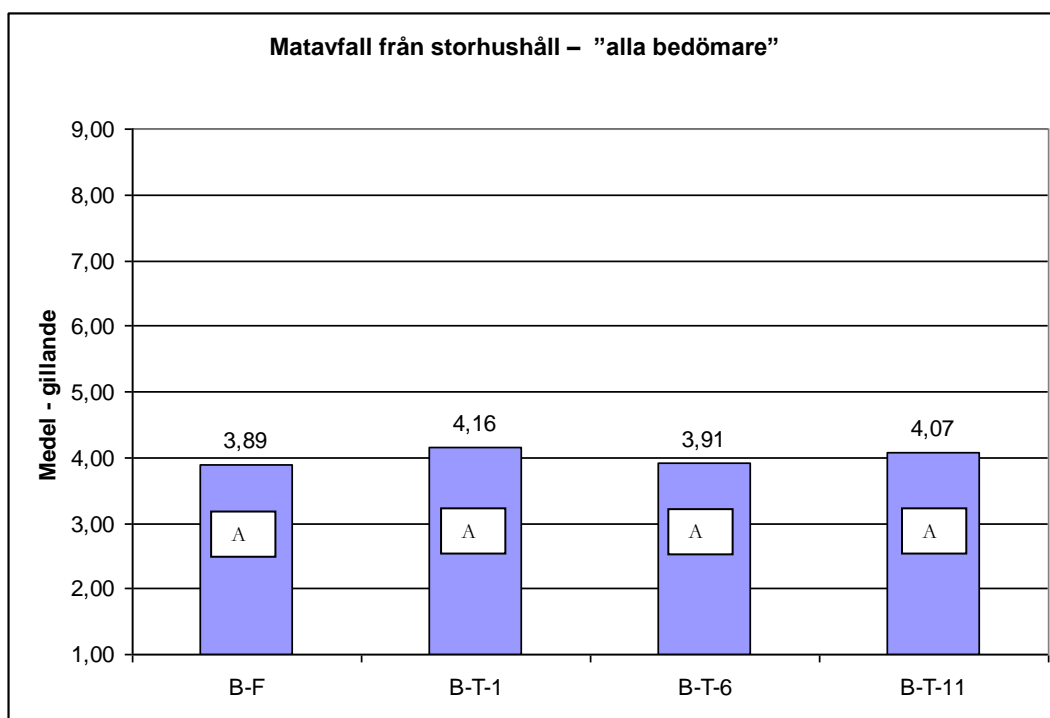
## 4.5 Luktbedömningar

### Resultat, alla bedömare

Förkortningsförklaring till diagram finns i bilaga 9.1.1, sidan 73. Signifikanta skillnader illustreras i diagrammen med bokstäver: olika bokstav mellan staplarna innebär signifikant skillnad.

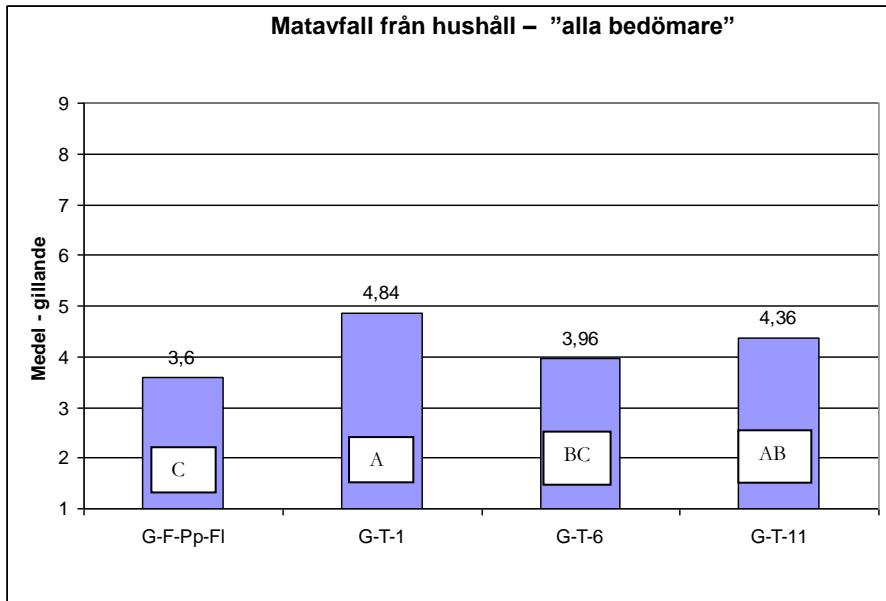
Figur 17 visar resultat i diagramform från luktbedömning av matavfall från storhushåll, dels färskt och dels torkat matavfall. I Figur 18 visas motsvarande resultat från luktbedömning av matavfall från hushåll i Göteborg.

Figur 19 och Figur 20 visar hur anläggningsägare respektive konsumenter uppfattade de två typerna av matavfall.



Figur 17. Alla bedömare – matavfall från storhushåll, färskt respektive mikrovågsvakuumtorkat i Gisips utrustning (förklaring av förkortningarna finns på sidan 12). Båda typerna av matavfall var från storhushåll från Borås.

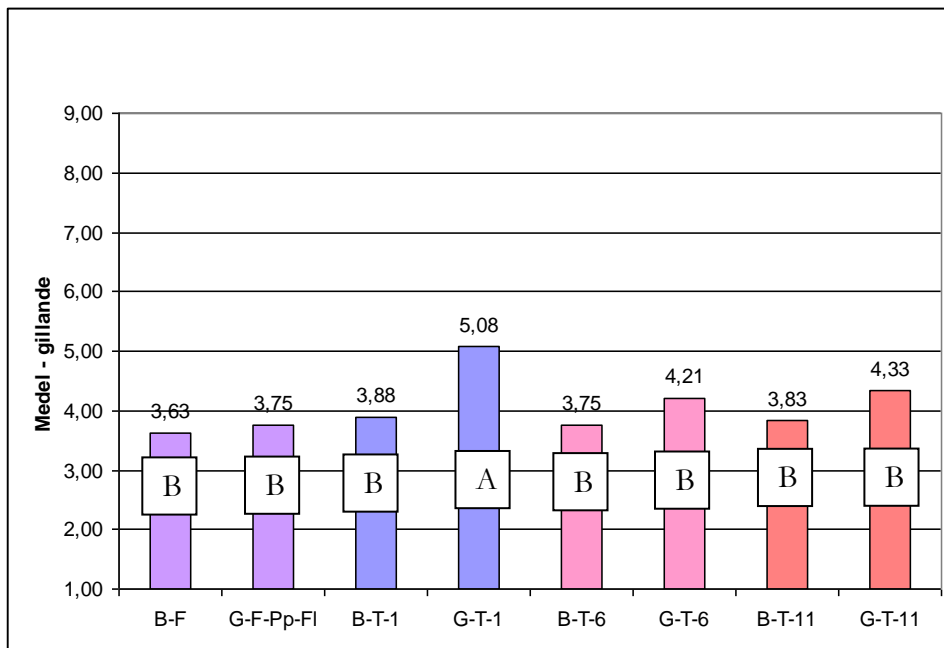
Figure 17. All judges, waste from food establishments: fresh and microwave vacuum dried (Gisip's equipment), respectively (explanation of abbreviations are found on page 12). Both types of food waste were food waste from food establishments in Borås.



Figur 18. Alla bedömare – matavfall från hushåll i Göteborg (matavfall från Renova samt lufttorkat matavfall från Smedlund Miljösystem).

Figure 18. All judges, food waste from households in Göteborg (food waste from Renova, and air-dried material from Smedlund Miljösystem).

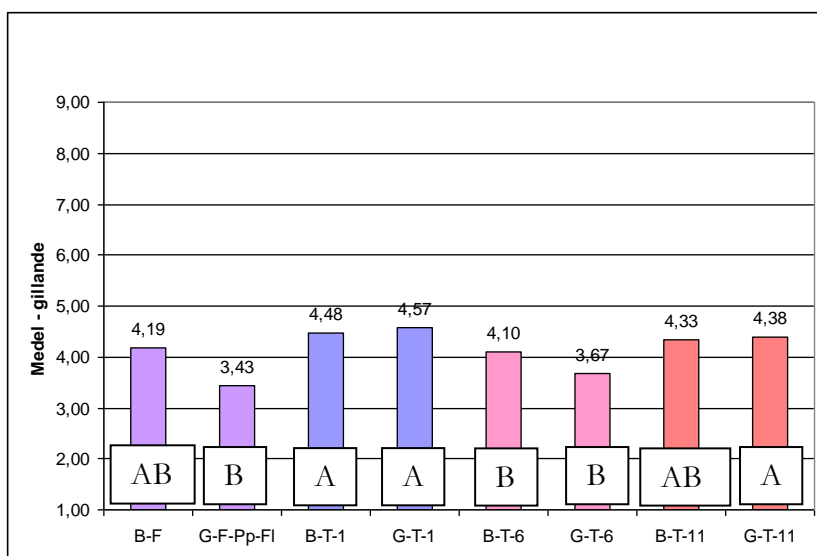
### Anläggningsägare



Figur 19. Anläggningsägare – matavfall från Borås (matavfall från storhushåll), Renova (matavfall från hushåll), Gisip (mikrovågsvakuumtorkat matavfall från storhushåll i Borås) och Smedlund Miljösystem (lufttorkat matavfall från hushåll i Göteborg).

Figure 19. Owners of waste establishments, food waste from Borås (waste from food establishments), Renova (food waste from households), Gisip (microwave vacuum dried waste from food establishments in Borås) and Smedlund Miljösystem (air-dried food waste from households in Göteborg).

## Konsumenter

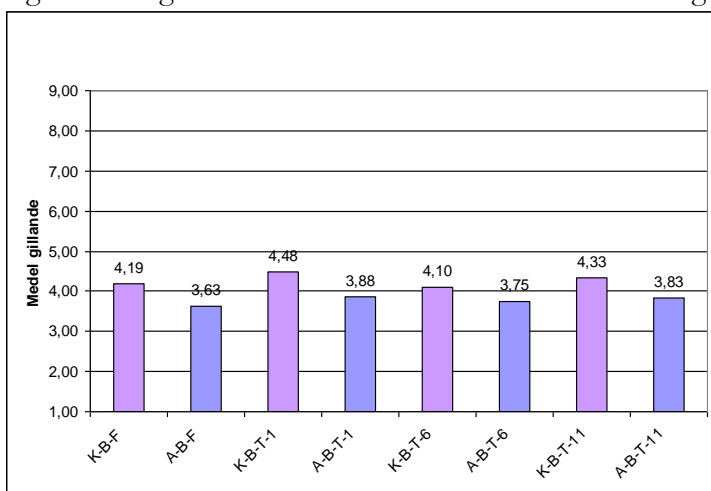


Figur 20. Konsumenter – matavfall från Borås (matavfall från storhushåll), Renova (matavfall från hushåll), Gisip (mikrovågsvakuumtorkat matavfall från storhushåll i Borås) och Smedlund Miljösystem (lufttorkat matavfall från hushåll i Göteborg).

Figure 20. Consumers, food waste from Borås (waste from food establishments), Renova (food waste from households), Gisip (microwave vacuum dried waste from food establishments in Borås), and Smedlund Miljösystem (air-dried food waste from households in Göteborg).

## Jämförelse – konsumenter och anläggningsägare

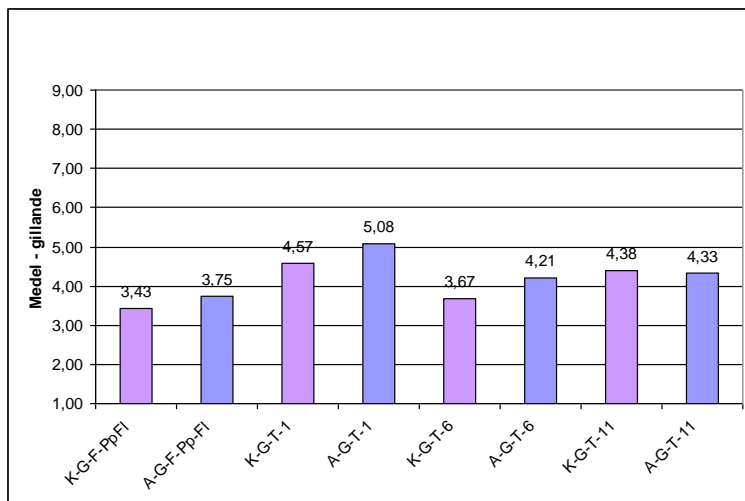
Figur 21 visar resultat från en jämförelse mellan konsumenters och anläggningsägares bedömning av lukt hos matavfall från storhushåll i Borås före respektive efter mikrovågsvakuumtorkning. Figur 22 återger motsvarande resultat vid luktbedömning av matavfall från hushåll i Göteborg.



Figur 21. Alla bedömare, K = konsumenter, A = anläggningsägare. Matavfall från storhushåll i Borås (före mikrovågsvakuumtorkning) och från Gisip (efter mikrovågsvakuum-torkning).

Figure 21. All judges; K=consumers, A=waste establishments. Waste from food establishments in Borås (before microwave vacuum drying) and from Gisip (after microwave vacuum drying).



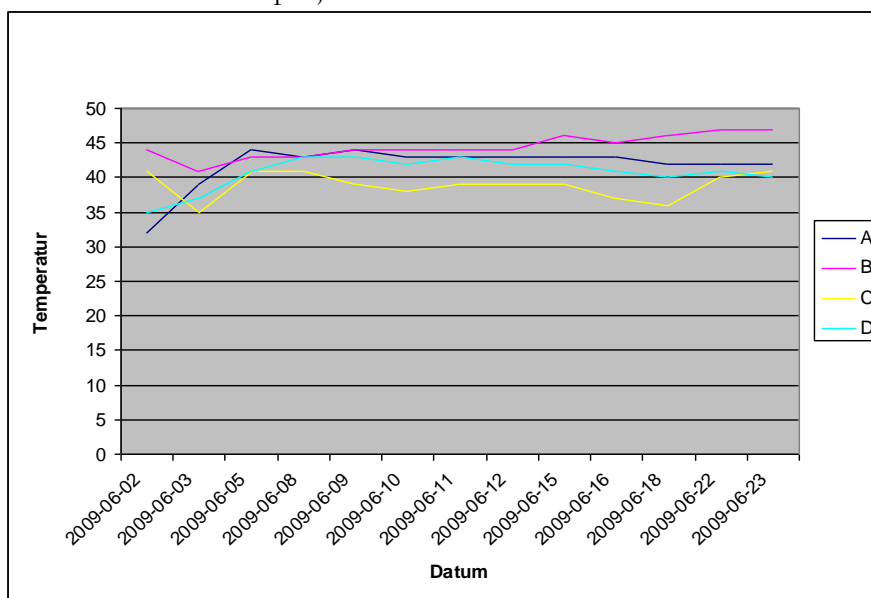


Figur 22. Alla bedömare, K = konsumenter, A = anläggningsägare. Matavfall från hushåll, från Renova (före lufttorkning) och Smedlund Miljösystem (efter lufttorkning).

Figure 22. All judges, K=consumers, A=waste establishments. Food waste from households, from Renova (before air-drying) and from Smedlund Miljösystem (after air-drying)

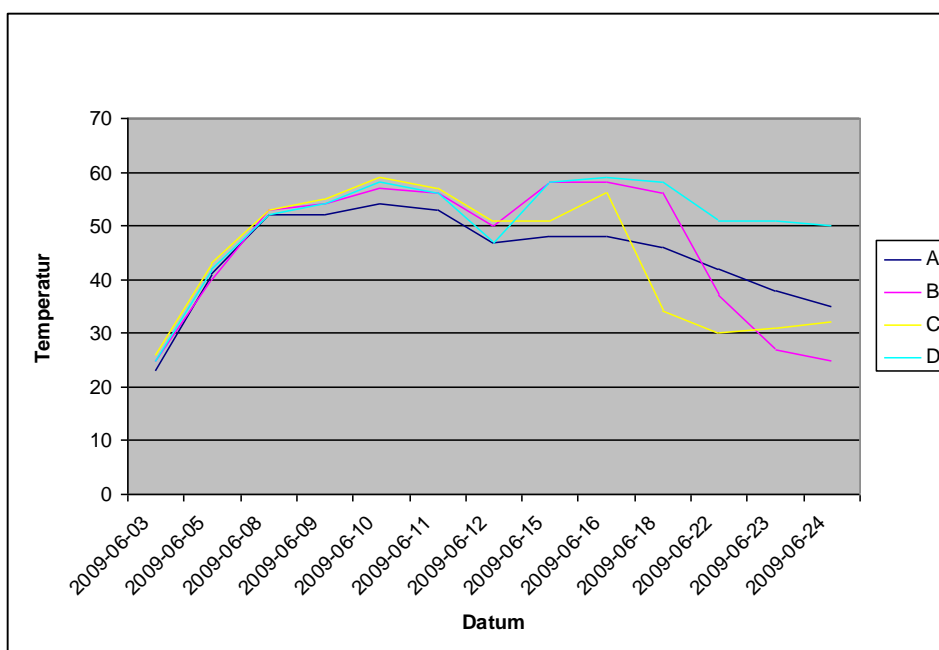
#### 4.6 Komposteringsförsök

Figur 23 visar hur temperaturen förändras i en normal kompostfraktion under komposteringsförsöken. Figur 24 visar temperaturutvecklingen i torkat matavfall som återvätts. Den normala kompostfraktionen (Figur 23) hamnar i genomsnitt i rotting degree III (se bilaga 9.5.2). Den uppblöta, torkade kompostfraktionen (Figur 24) hamnar i genomsnitt i rotting degree II (se bilaga 9.5.2 för detaljerad beskrivning). Det innebär alltså att torkningen av ett material, vid denna återvätningsstid, påverkar materialets förmåga att komposteras. Detta moment utgjorde dock endast en liten del av projektet, varför ytterligare försök vid längre återvätningsstid inte rymdes inom ramen för detta projekt.



Figur 23. Temperaturutveckling hos den normala kompostfraktionen

Figure 23. Temperature development of the normal compost fraction.



Figur 24. Den uppblötta torkade kompostfraktionen.

Figure 24. The soaked, dried compost fraction.

## 4.7 Näringsämnesinnehåll

Resultat från analys av näringsämnen i matavfall från hushåll i Göteborg redovisas i Tabell 16. Motsvarande resultat för matavfall från storhushåll i Borås visas i Tabell 17.

Tabell 16. Näringsämnesanalys av matavfall från hushåll i Göteborg.

Table 16. Analysis of nutrients in food waste from household in Göteborg.

Parameter	G-T	G-F-Pp-Hh	G-F-Pp-Fl	Medelvärde <sup>15</sup>
pH	5.2	5.3	6.4	5,62
TS (%)	86,6	18,3	24,1	21,2 <sup>16</sup>
Total C (g/kg TS)	471,1	420,8	419,1	437,0
Total N (g/kg TS)	30,6	31,1	33,6	31,8
Ammonium-N (g/kg TS)	0,5	1,6	9,5	3,9
C/N	15.7	14.2	17.5	15,8
Total P (g/kg TS)	4,3	9,3	5,4	6,3
Total S (g/kg TS)	2,2	2,7	2,5	2,5

<sup>15</sup> Medelvärdena i tabellen har beräknats på matavfall från Göteborg. För TS-halt har det torkade materialet inte inkluderats i medelvärdet, men för övriga parametrar gäller medelvärdet för både torkat och icke torkat material.

<sup>16</sup> Medelvärde, för färskt matavfall.

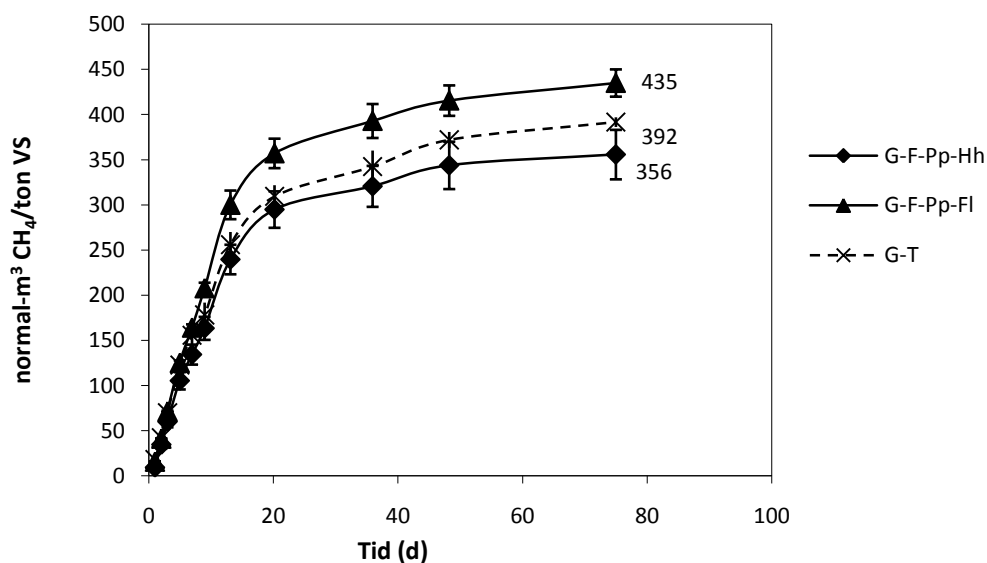
Tabell 17. Näringsämnesanalys av matavfall från hushåll och matavfall från storhushåll i Borås.

Table 17. Analysis of nutrients of food waste from households, and waste from food establishments in Borås,

Parameter	B-F-Pl-Hh	B-T	B-F	Medelvärde <sup>8</sup>
pH	5.2	5.5	5.2	5,3
TS-halt, (%)	24,4	81,9	24,8	24,6 <sup>9</sup>
Total C (g/kg TS)	430,3	426,1	487,9	448,1
Total N (g/kg TS)	29,9	23,0	27,8	26,9
Ammonium-N (g/kg TS)	2,5	0,4	2,4	2,44
C/N	15.7	18.9	19.3	17,8
Total P (g/kg TS)	4,5	4,8	3,2	4,2
Total S (g/kg TS)	2,9	2,1	2,0	2,3

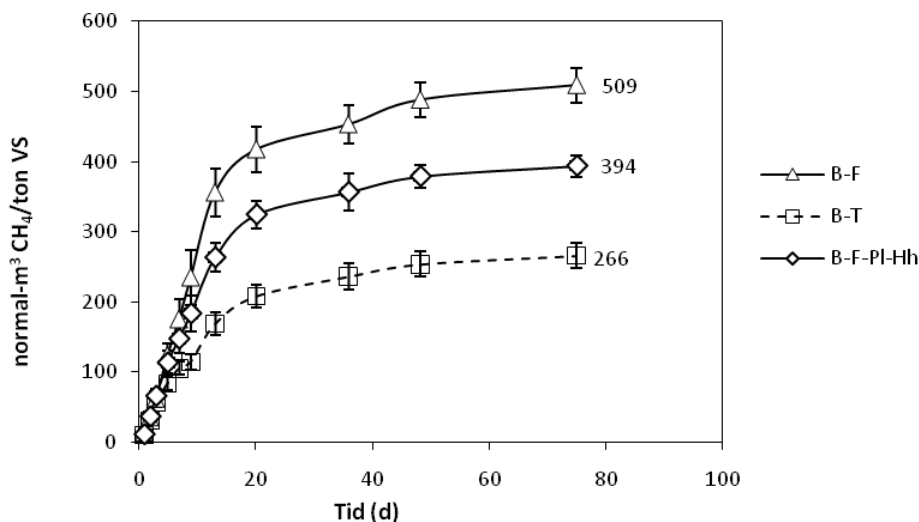
## 4.8 Rötningsförsök

Figur 25 visar kumulativ metanproduktion från färskt respektive lufttorkat matavfall från hushåll i Göteborg. I Figur 26 visas motsvarande metanproduktion från färskt respektive mikrovågsvakuumtorkat matavfall från storhushåll i Borås.



Figur 25. Kumulativ metanproduktion från färskt respektive lufttorkat matavfall från hushåll i Göteborg.

Figure 25. Cumulative methane production from fresh and air-dried food waste, respectively, from households in Göteborg.



Figur 26. Kumulativ metanproduktion från färskt resp. mikrovågsvakuumtorkat matavfall från Borås.

Figure 26. Cumulative methane production from fresh and microwave vacuum-dried waste respectively, from food establishments in Borås.

## 4.9 Systemanalys

### 4.9.1 Resultat för systemanalysen med avseende på energi och klimatpåverkan

Insamling av torkat matavfall medför att hämtningsfrekvensen kan minska och att lastvikterna kan öka. Detta är möjligt dels eftersom torkat matavfall är mer lagringsbeständigt än färskt avfall, dels eftersom transporterna blir effektivare då insamlingen kan göras med lastbil i stället för komprimerande sopbil. Färre antal insamlingar och fordon med högre lastkapacitet gör insamlingen mindre energikrävande (Tabell 18). Skillnaden i resultat för energiåtgång mellan de studerade substraten beror på olika behandlingskapacitet mellan torkningsutrustningen och motsvarande konventionell hantering, vilket medför olika mängd torkat avfall in till anläggningen. Därtill beror skillnaden i energiåtgång för behandling och spridning på substratens olika gaspotential samt på mängden torkat avfall in till anläggningen. Olika gaspotential medför även att olika andel av VS bryts ned vid rötningen, vilket därmed påverkar den mängd rötrest som genereras.

Tabell 18. De studerade systemens användning av energi, el och diesel.

Table 18. Use of energy, electricity and diesel in the studied systems.

Energi	Färskt matavfall från hushåll	Lufttorkat matavfall från hushåll	Färskt matavfall från storhushåll	Mikrovågstorkat matavfall från storhushåll	Enhet
Miljöhus/kylrum	6	0	1037	6	kWh el
Torkning	0	384	0	1 239	kWh el
Insamling	47	13	47	13	kWh diesel
Rötning	37	53	46	30	kWh el
Uppgradering	25	36	32	21	kWh el
Transport rötrest	17	22	17	22	kWh diesel
Spridning rötrest	12	16	11	15	kWh diesel
Summa el	68	473	1 115	1 296	kWh el
Summa diesel	76	51	75	51	kWh diesel

I Tabell 19 finns emissioner av koldioxid, metan och lustgas samlade för respektive del i systemet för omhändertagande av matavfall från hushåll och verksamheter. I Tabell 20 har emissionerna viktats med hjälp av viktningfaktorer för global uppvärmning (Tabell 36 i bilaga 9.4) till koldioxidekvivalenter.

*Tabell 19. Emissioner från de studerade systemen*

*Table 19. Emissions from the studied systems*

	Färskt matavfall från hushåll	Lufttorkat matavfall från hushåll	Färskt matavfall från storhushåll	Mikrovågstorkat matavfall från storhushåll	Enhet
Miljöhus/kylrum					
CO <sub>2</sub>	562	0	103 653	600	g CO <sub>2</sub>
Torkning					
CO <sub>2</sub>	0	38365	0	123 872	g CO <sub>2</sub>
Insamling					
CO <sub>2</sub>	12 597	3 542	12 597	3 649	g CO <sub>2</sub>
Rötning					
CO <sub>2</sub>	3 706	5 308	4 635	3 020	g CO <sub>2</sub>
CH <sub>4</sub>	0,74	1,06	0,93	0,60	g CH <sub>4</sub>
Uppgradering					
CO <sub>2</sub>	2 542	3 641	3 179	2 072	g CO <sub>2</sub>
CH <sub>4</sub>	2,6	3,7	3,2	2,1	g CH <sub>4</sub>
Transport rötrest					
CO <sub>2</sub>	4 686	6 007	4 470	6 000	g CO <sub>2</sub>
Lagring av rötrest					
CH <sub>4</sub>	0,45	0,50	0,33	0,43	g CH <sub>4</sub>
N <sub>2</sub> O	0,17	0,17	0,16	0,16	g N <sub>2</sub> O
Spridning rötrest					
CO <sub>2</sub>	3 151	4 326	3 098	4 166	g CO <sub>2</sub>
N <sub>2</sub> O	0,1	0,1	0,1	0,1	g N <sub>2</sub> O

Den stora miljöpåverkan återfinns i samband med insamling av avfall samt transport och spridning av rötrest (Tabell 20).

*Tabell 20. Klimatpåverkan (kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter) från de studerade systemen.*

*Table 20. Global warming potential (g CO<sub>2</sub>-equivalents) from the studied systems.*

	Färskt matavfall från hushåll	Lufttorkat matavfall från hushåll	Färskt matavfall från storhushåll	Mikrovågstorkat matavfall från storhushåll
Miljöhus/kylrum	0,56	0	103,6	0,60
Torkning	0	38,37	0	123,9
Insamling	12,6	3,54	12,60	3,65
Rötning	3,73	5,34	4,66	3,04
Uppgradering	2,61	3,73	3,26	2,12
Transport rötrest	4,69	6,01	4,47	6,00
Lagring rötrest	0,062	0,064	0,056	0,059
Spridning rötrest	3,18	4,36	3,13	4,19
Summa	27,42	61,40	131,8	143,5

Beroende på hur matavfall från hushåll och verksamheter behandlas efter insamling kan en ökad miljönytta erhållas. Vid rötning bildas biogas som kan renas till fordonsgas för att sedan ersätta fossila drivmedel. Rötresten, om den återförs till jordbruksmark, har potential att ersätta handelsgödsel. Om substitutionen kan genomföras fullt ut d.v.s. att all producerad metan kan användas som drivmedel och all rötrest kan återföras till jordbruksmark görs stora miljövinster oavsett med vilken teknik som matavfall från hushåll och verksamheter samlas in. Sparade emissioner genom substitution av handelsgödsel (N, P och K) och drivmedel (bensin och diesel) framgår av Tabell 21.

*Tabell 21. Sparade emissioner (kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter) genom substitution av diesel och bensin med biogas samt handelsgödsel med rötrest*

*Table 21. Emissions saved (kg CO<sub>2</sub>-equivalents) by substitution of diesel and petrol with biogas and mineral fertilisers with digestate.*

	Färskt matavfall från hushåll	Lufttorkat matavfall från hushåll	Färskt matavfall från storhushåll	Mikrovågstorkat matavfall från storhushåll
Handelsgödsel	11	11	10	10
Drivmedel	172	247	215	140
Summa	183	258	225	150

När det gäller lufttorkning av matavfall från hushåll, konstaterades att energianvändningen vid insamling av avfall helt klart påverkas av hur hushållen är fördelade. Insamlingsarbetet ökar om man behöver hämta från varje enskilt hushåll (villor), jämfört med ett tätbebyggt område med flerfamiljshus. Om torkning sker av matavfallet minskar både avfallets mängd och dess volym, med alla de fördelar som det innebär (jfr Tabell 27, sidan 67). En intressant frågeställning i det sammanhanget är vid vilka bebyggelse typer i urban miljö som torkning lämpar sig utifrån ett energiperspektiv.

I detta projekt har alternativet då flerfamiljshushåll utrustats med torkutrustning studerats. Enskilda hushåll i mer tätbebyggda områden, både villor och radhus, kan och har i många fall gemensamma platser där avfallet lämnas. Dessa boenden hamnar inom den studerade kategorin tätbebyggt område. För dem är det ingen större skillnad att bära avfallspåsen till det gemensamma miljöhuset i en bostadsrättsförening eller en samfällighet.

#### **4.9.2 Resultat för systemanalysen med avseende på kostnader och intäkter**

De beräknade kostnaderna för de 4 systemen finns samlade i Tabell 22.

Tabell 22. Kostnader (kr/ ton genererat avfall) för insamling och hantering av icke torkat matavfall från hushåll, lufttorkat matavfall från hushåll, färskt matavfall från storhushåll/verksamheter, respektive mikrovågsvakuomtorkat matavfall från storhushåll /verksamheter.

Table 22. Costs (kr/ ton waste generated) for collection and handling of fresh food waste from households, air-dried food waste from households, fresh waste from food establishments, and microwave vacuum dried waste from food establishments, respectively.

Summa kostnad	Färskt matavfall från hushåll	Lufttorkat matavfall från hushåll	Färskt matavfall från storhushåll	Mikrovågstorkat matavfall från storhushåll
Miljöhus	734	579		
Kylrum/miljörum	0		814	320
Torkanläggning	0	1 271	0	2 264
Insamling	455	238	455	246
Rötning och gasrening	617	335	617	339
Transport	53	68	51	68
Spridning	13	15	12	16
Summa kostnad	1 872	2 506	1 628	3 512

#### 4.9.3 Resultat från känslighetsanalys

Transportavståndet och lastkapaciteten i samband med insamling påverkar dieselanvändningen för de olika systemen samt systemens Global Warming Potential (GWP). Parametrarna har endast en marginell påverkan på systemens kostnader. Konventionell insamling av icke torkat matavfall är mer känsligt för förändring än system med insamling av torkat matavfall (Tabell 23), vilket är förväntat eftersom systemen med torkning innebär att hämtningsfrekvensen för insamling minskar betydligt. En ändring av energi till torkningsanläggningar och till miljöhus med 25 % medför en stor ökning av elbehov, GWP och kostnader för alla system utom konventionell insamling från hushåll. Orsaken är att det systemet inte har någon stor elförbrukare. Verksamhetsavfall måste kylas och kylningen använder stora mängder el. Vidare har valet av produktionssätt för den använda elen stor inverkan på utsläppen av klimatgaser. Valet av elproduktion medför dels att emissioner ökar eller minskar i storlek, och påverkar även skillnaden i energiåtgång och klimatpåverkan mellan system med torkning och system utan torkning.

Tabell 23. Sammanställning av känslighetsanalys av utvalda parametrar

Table 23. Parameters used for sensitivity analysis

	Färskt matavfall från hushåll	Lufttorkat matavfall från hushåll	Färskt matavfall från storhushåll	Mikrovågstorkat matavfall från storhushåll
<b>Transportavstånd insamling ändras 5 km</b>				
Summa El	0 %	0 %	0 %	0 %
Summa diesel	±20,6%	±8,5%	±20,8%	±8,8 %
Summa GWP	±6,8 %	±0,4 %	±0,6 %	±0,2 %
Summa kostnad	±3,0 %	1,0 %	±2,8 %	0,9 %
<b>Lastkapacitet vid insamling ändras 10 %</b>				
Summa El	0 %	0 %	0 %	0 %
Summa diesel	±5,6 %	±2,3 %	±5,7 %	±2,4 %
Summa GWP	±1,8 %	±0,1 %	±0,2 %	±0,1 %
Summa kostnad	±2,3 %	±0,9 %	±2,2 %	±0,8 %

<b>Energi till torkning och miljöhus ändras 25 %</b>				
Summa El	0 %	±20,3 %	±23,3 %	±23,9 %
Summa diesel	0 %	0,0 %	0 %	0 %
Summa GWP	±0 %	±15,6 %	±19,7 %	±21,6 %
Summa kostnad	±0 %	±1,8%	±6,4 %	±5,2 %
<b>GWP elmix ändras till 20 g CO2/kWh (Svensk mix)</b>				
Summa El	0 %	0 %	0 %	0 %
Summa diesel	0 %	0 %	0 %	0 %
Summa GWP	-20 %	-62 %	-68 %	- 72 %
Summa kostnad	0 %	0 %	0 %	0 %
<b>GWP elmix ändras till 415 g CO2/kWh (Europeisk mix)</b>				
Summa El	0 %	0 %	0 %	0 %
Summa diesel	0 %	0 %	0 %	0 %
Summa GWP	+78 %	+243 %	+266 %	+284 %
Summa kostnad	0 %	0 %	0 %	0 %
<b>Investeringskostnad för torkanläggning ändras 25 %</b>				
Summa El	0 %	0 %	0 %	0 %
Summa diesel	0 %	0 %	0 %	0 %
Summa GWP	0 %	0 %	0 %	0 %
Summa kostnad	0 %	±10,2 %	0,0 %	±14,2 %



## 5 Resultatanalys

### 5.1 Torkningsprocesserna

#### 5.1.1 Mikrovågsvakuomtorkning av matavfall från storhushåll

Den process för mikrovågsvakuomtorkning av matavfall från storhushåll, som studerats i detta projekt, har en relativt stor variation i ingående materialflöden samt i mängden material som torkas åt gången. Variationerna i materialets sluttemperatur är relativt stora mellan olika körningar, då styrningen av processen inte görs mot sluttemperaturen i materialet. För matavfall som innehåller s.k. ABP-material är det viktigt att tänka på att processen måste styras så att materialet efter mikrovågsvakuomtorkning når erforderlig sluttemperatur utifrån mikrobiologiska krav. Mer generellt ger en bättre styrning också större möjlighet att nå önskade produktbetingelser. Det är väsentligt att processen i ett nästa steg utvärderas vidare samt optimeras, baserat på metodik som utvecklats för det ändamålet [44]. Sådan metodik innefattar simuleringar av elektromagnetiska fält i kombination med mätningar av sluttemperatur i materialet efter torkning. Även materialets fuktkvot samt vattenaktivitet efter torkning kan finnas med som styrparametrar.

Vidare bör sambandet mellan variationer i matavfallets sammansättning och dielektriska egenskaper studeras närmare, för att genom en känslighetsanalys få underlag för hur processen bör anpassas beroende på variationer i inkommande materialflöden. Genom att studera:

- a) hur variationer i matavfallets sammansättning påverkar kvaliteten på det torkade materialet (återvätningsegenskaper, biogaspotential, mikrobiologisk kvalitet, etc.),  
samt
- b) hur en förbättrad styrning av processen (med återkoppling till sluttemperaturen hos det torkade materialet), inklusive optimering utifrån fördelaktig fältbild i kaviteten under processens gång, påverkar kvaliteten på det torkade materialet,

kan man få ett bättre underlag för att styra kvaliteten hos det torkade materialet mot önskade kvalitetsegenskaper. Detta rekommenderas för ett fortsättningsprojekt, där man även bedömer kvaliteten (återvätningsegenskaper, biogaspotential, mikrobiologisk kvalitet, näringsämnen, etc.) för det material (matavfall från storhushåll) som mikrovågsvakuomtorkats i den optimerade processen. Genom att optimera processen m.a.p. a) och b) kan denna även bli mindre känslig för variationer i inkommande material.

#### 5.1.2 Lufttorkning av matavfall från hushåll

Lufttorkning av matavfall från hushåll är energieffektiv eftersom den sker vid relativt låga temperaturer. Luften är förvärmad med enbart spillvärme från kringutrustning, vilket innebär att energiförbrukningen är mycket låg (cirka 3,5 W per timme och hushåll, vilket motsvarar förbrukningen för en energisnål TV i stand-by-läge).

Genom att torka matavfallet sjunker vikten och volymen med cirka 75 procent. Detta innebär att avfallshämtningarna kan minska till mellan 1 och 4 gånger om året, beroende på vilken lagringskapacitet bostadsområdet har. När det gäller aspekter som lukt, biogas, näringsinnehåll och systemanalysaspekter hänvisas vidare till respektive avsnitt i denna rapport.

En utgångspunkt för lufttorkningstekniken är att i konventionellt insamlat matavfall har nedbrytningen hunnit påbörjas när det gäller en kommunal behandlingsanläggning. Lufttorkning innebär att materialet är lättare att hantera och kan ge ett material som bättre tar tillvara energin och näringen.

## 5.2 Analys av renhetsgrad

### 5.2.1 Flerfamiljshus Göteborg

Den procentuella andelen felsorterat avfall i matavfallet från flerfamiljshushåll i Göteborg var 4,2 viktsprocent. Andelen rättsorterat uppgår därmed till 95,8 % vid denna analys. Vid beräkningarna har hänsyn tagits till att plast- och pappersförpackningar samt insamlingspåsarna av papper är behäftade med matavfall på ytan. Fördelningen på det felsorterade avfallet visas i Tabell 5, sidan 28. Den största andelen felsorterat avfall består av brännbar fraktion.

Under perioden 8 – 15 maj 2008 utfördes en noggrann kontroll av allt matavfall som avlämnats till avfallsrummet vid Guldheden. Den totala mängden matavfall, mätt som våtvikt, som tillfördes torkningsutrustningen var 138 kg. Efter torkning granskades det torkade materialet med avseende på felsorterat material och allt som inte tillhörde kategorin matavfall togs ut och vägdes. Mängden felsorterat material uppgick till 0,0123 kg torrsvikt. Det felsorterade materialet fördelades enligt Tabell 6.

Orsaker till ett lågt inslag av felsorterat avfallsmaterial kan vara att:

- Samtliga hushåll har fått detaljerad information om hur utrustningen fungerar, varför utrustningen införs samt vilka avfallslag som ingår i kategorin matavfall. Då frågor eller oklarheter uppkommer finns information att få genom kontakt med renhållningsbolaget.
- Det finns extra kärl att lägga matavfall i för de hushåll/personer som inte vill ingå i försöket.
- Bostadsbolaget hjälper till med de hjälpmedel som kan behövas.
- I samband med information om hur torkutrustningen fungerar får de boende en ”tagg” som ger tillgång till maskinen.
- Extra kärl finns uppsatt som ger möjlighet att kasta extra emballage i form av plastpåsar mm.
- Det är enkelt för de boende att följa torkningsförloppet vilket skapar ökad förståelse för hanteringen.

Vid en undersökning som genomfördes av Smedlunds under år 2007 och som pågick under ca 12 månader insamlades ca 4 700 kg färskt matavfall. Av detta var cirka 0,5 kg felsorterat avfallsmaterial. Vikten avser rent och fullständigt torrt, felsorterat avfallsmaterial. Huvuddelen av det felsorterade materialet bestod av mjukplast (folie, påsar mm), flikar från mjölkpaket, kapsyler, fimpar mm.

Renhetsgraden är kopplad till den insats som görs för att förklara systemets funktion och motiv till införande. För ett bra resultat krävs att användarna får motiv till införande av ett nytt system, förklaring till hur det fungerar, helhetsförståelse för vad som händer med de aktuella avfallsfraktionerna, miljönyttan med deras insats etc. Därigenom skapas ett engagemang som möjliggör ett optimalt sorteringsutbyte. En teknisk utrustning kan kräva en extra insats för att förklara funktionen vilket i sin tur ger ökad förståelse för systemet. Vid införande av nya tekniska system för omhändertagande av avfallsfraktioner kan, som i detta fall, tekniken sätta gränser för vad som kan ingå och inte ingå. Det blir därigenom i sig en egen kvalitetskontroll mot avlämnaren.

### 5.2.2 Storhushåll Borås

Den procentuella andelen felsorterat avfall i matavfallet från storhushåll (storkök och restaurang) i Borås var 0,34 viktsprocent. Andelen rättsorterat uppgår därmed till 99,7 %. Den totala mängden matavfall som analyserades var ca 429,8 kg. Mängden icke matavfall uppgick till ca 1,5 kg. Det felsorterade avfallet fördelas relativt jämnt mellan de tre kategorierna pappers- och

plastförpackningar och brännbar fraktion. Fördelningen på det felsorterade avfallet redovisas i Tabell 7, sidan 29.

Dessa resultat kan jämföras med sammansättningsanalys av matavfall från hushåll inom Vafab Miljö som gjordes under 2005. Denna studie visade att andelen matavfall enligt instruktion var ca  $97,8 \pm 1,52$  % (Per-Erik Persson), se [13] samt Tabell 24 nedan.

*Tabell 24. Sammanställning av källsorterat matavfall inom Vafab Miljö 2005.*

*Table 24. Composition of sorted food waste within Vafab Miljö 2005.*

Huvudkategori	Procentuell fördelning
Matavfall	97,77
Papper o tidningar	0,76
Kartongförpackningar	0,61
Plastförpackningar	0,52
Glasförpackningar	0,11
Metallförpackningar	0,03
Farligt avfall	0,00
Övrigt restavfall	0,19
Summa	100,00

### 5.2.3 Summering av resultat från analys av renhetsgrad

De källsorterade matavfallen som ingått i studien är överlag väl sorterade. Både matavfall från flerfamiljshushåll i bostadsområdet Guldheden och matavfall från storkök och restaurang i Borås har mycket hög renhet. De jämförande analyserna visar att matavfallet från både Göteborg och Borås innehåller andelsmässigt lika stor mängd matavfall som referensanalyser från andra ställen i landet.

## 5.3 Återvätningsegenskaper

Vid blötläggning höll sig det lufttorkade matavfallet från hushåll relativt jämnt fördelat i vätskan och svällde något. Vattenuptag hos materialet och TS-halten i den avrunna vätskan åskådliggörs i Figur 36 och Figur 37 för lufttorkat matavfall från hushåll. Detta material tar upp vatten motsvarande 3,5 ggr sin initiala vikt och stannar vid en TS-halt på ca 20 %. TS-halten i den avrunna vätskan ligger då på ca 2 %. För det lufttorkade matavfallet från hushåll sker det mesta av återvätning och upplösning inom 1 timme från blötläggningen.

Det mikrovågstorkade matavfallet från storhushåll sedimenterade relativt fort, men löste upp sig mer i vattnet. Resultat för mikrovågstorkat matavfall från storhushåll finns i Figur 38 och Figur 39. Detta avfall tar upp mindre vatten, ca 1,3 ggr sin initiala vikt, och får då en TS-halt på knappt 45 %. Det löser sig relativt mycket och TS-halten i den avrunna vätskan var ca 4,0 %. Det tog cirka 1,5–2 timmar för det mikrovågstorkade matavfallet från storhushåll att återvätas och lösas upp.

Skillnaderna i återvätningstid härrör troligtvis främst från skillnader i materialens sammansättning. Det mikrovågstorkade materialet är mer finfördelat och det lufttorkade mer fibrigt. Andelen av det torra materialet som stannade i vattnet uppgick till 1 respektive 0,5 %, varför mängderna kan anses försumbara.

Försökstiden på som mest 5 timmar, i försöksserie 2a, är dock ganska kort. Vad som händer med materialet vid uppblötning under ett antal dagar kan vara intressant i en fördjupad studie, då det är ett scenario som är relevant i flera sammanhang i dagens avfallsbehandling. Nya tekniker inom branschen kommer visserligen hela tiden, varför svårigheten i att ta upp vatten kan vara en viktig parameter.

Med relativt stor säkerhet kan konstateras att TS-halten i det mikrovågstorkade materialet på 44 % är för hög för att ett tillfredsställande komposteringsresultat skulle uppnås, utan tillskott av ytterligare vatten i ett tidigt skede av komposteringsprocessen. Kompostering kräver stora mängder vatten och det lufttorkade avfallet som återfuktas till en TS-halt på 20% kommer betydligt närmare den halt avfallet hade innan torkningen.

## 5.4 Mikrobiologisk analys

### 5.4.1 Mikrovågstorkat storhushållsavfall (Gisip, Skövde)

#### *Analyser vid start (0 mån)*

Analysen av MW-torkat storhushållsavfall som torkats med mikrovågor och vakuum där de initiala mängderna var 15 kg som torkades ner till 4,3 kg (MW 1) respektive 14,5 kg som torkades ner till 4,2 kg (MW 2) (tillsammans 10 replikat) visade att antalet *E. faecalis* hade reducerats med 4,8 respektive 4,5 log cfu/g. Detta innebär att kravet på en reduktion på 5 log cfu/g inte riktigt uppnås. Det är dock troligt att man genom att styra processen kan uppnå den eftersträlvade reduktionen. De båda körningarna skiljer lite åt i reduktion även avseende andra mikroorganismer vilket pekar på att processen vid 15 kg-körningen var något effektivare än den vid 14,5 kg (Tabell 8, sidan 30). De temperaturmätningar som utfördes vid respektive körning visar också att skillnaderna i sluttemperatur i materialet varit stora. Högst temperatur uppnåddes vid körningen med 15 kg då sluttemperaturen blev 101°C, näst högst temperatur uppnåddes vid torkning av 14,5 kg d v s 76°C.

Ytterligare en körning genomfördes med MW och vakuum där 7,5 kg avfall torkades ner till 2,3 kg (MW 3). Här har processen inte varit lika effektiv då reduktionen av *E. faecalis* endast blev 2,1 log cfu/g. Även totalantalet aeroba bakterier, jäst och mögel är högre efter denna process liksom vattenaktiviteten 0,48 jmf med <0,2 i körningarna som startade med ca 15kg. Kontroll av processdata för körningen som startade med 7,5 kg avfall visade att den sluttemperatur som uppnåddes bara var 53°C.

Litteratordata kring värmeresistensen hos *E. faecalis* reducerades till <2,3 log cfu/g. Vattenaktiviteten i detta prov blev 0,41 (Tabell 8) visar att bakteriens D-värde vid 55 °C varierar mellan 25 och 30 minuter bl a beroende på i vilken miljö den befinner sig i när den utsätts för värme. D-värdet är den tid som behövs, vid en viss temperatur, för att reducera antalet bakterier med en tiopotens från det ursprungliga antalet. Med högre temperatur minskar D-värdet och samma källa uppger att D-värdet vid 72 °C är ca 30 sekunder (Sörqvist, 2003). Dessa data skulle kunna ligga till grund för vilken värmeprocess (tid temperatur) man måste uppnå vid mikrovågsvakuomtorkning om man vill kunna jämföra processen med den vid traditionell hygienisering. Man måste dock ta i beaktande att den avdödande effekten med all säkerhet kommer att påverkas av att bakterierna befinner sig i ett material som skyddar och därmed försvårar avdödningen, vilket med all säkerhet kommer att förlänga den tid som krävs. Fler praktiska försök under kontrollerade processbetingelser är nödvändiga för att kunna dra definitiva slutsatser.

### ***Analys av förändringen av vattenaktivitet under 9 månader***

Förändring av vattenaktiviteten ( $a_w$ ) i mikrovågsvakuumtorkat material under 9 månader vid 20°C analyserades samtidigt som antalet mikroorganismer. Allteftersom månaderna gick tog avfallet upp fukt och anpassade sig till den omgivande luftfuktigheten (Figur 10, sidan 31). Avfallsprov som förvarades vid  $a_w$  0,97 uppvisade kraftig mögeltillväxt efter 3 till 6 månaders lagring vilket medförde att  $a_w$  inte kunde mätas på dessa prov.

### ***Analys av mikroorganismer i prov förvarade vid olika vattenaktivitet under 9 månader***

Efter 9 månader vid  $a_w$  0,45 har antalet *Enterococcer*, jäst och mögel minskat till under detektionsnivån (1 log cfu/g resp 2 log cfu/g) medan totalantalet bakterier ligger kvar på ursprungsnivån (Tabell 9 och Figur 11, sidan 40). Efter 9 månader vid  $a_w$  0,73 har antalet *Enterococcer*, jäst och mögel minskat till under detektionsnivån (1 log cfu/g resp 2 log cfu/g). Totalantalet bakterier i MW1 och MW2 ligger kvar på ursprungsnivån medan totalantalet i MW3 har minskat med 1 logenhet (Tabell 10, sidan 32; Figur 12, sidan 33). Efter 9 månader vid  $a_w$  0,97 har antalet *Enterococcer* och jäst minskat till under detektionsnivån (1 log cfu/g resp 2 log cfu/g) medan totalantalet bakterier ligger kvar på ursprungsnivån. Efter 3 månader är MW1 och 2 överväxta av mögel och efter sex månader är även MW 3 överväxt av mögel så att ingen analys kan genomföras (Tabell 11, sidan 33; Figur 13, sidan 34).

## **5.4.2 Lufttorkat hushållsavfall (Somnus, Göteborg)**

### ***Analys vid start (0 mån)***

Analys av det lufttorkade hushållsavfallet visar att torkningen i sig inte innebär någon reduktion av mikroorganismer. Totalt finns > 7,7 log cfu/g aeroba bakterier, >5,7 log cfu/g jäst och nästan lika mycket mögel 4,7 log cfu/g. *Enterococcer* där *E. faecalis* ingår finns också i stor mängd 5,6 log cfu/g. De höga nivåerna av mikroorganismer innebär dock inget problem då lufttorkningstekniken torkar ner avfallet till en så låg vattenaktivitet  $d_v s$  0,31 att inga mikroorganismer kan tillväxa (Tabell 11, sidan 33). Om materialet utsätts för fukt kan mikroorganismerna dock börja växa till vilket kan medföra problem. Lagringsstudien vid olika luftfuktighet kommer att vara en hjälp i att bedöma hur mycket fukt under lång tid, i detta försök upp till 9 månader, som materialet kan utsättas för utan att tillväxt sker.

### ***Analys av förändring av $a_w$ under 9 månader***

Förändring av  $a_w$  i lufttorkat material under nio månader vid 20°C analyserades samtidigt som antalet mikroorganismer. Allteftersom tiden gick så tog avfallet upp fukt och anpassade sig till den omgivande luftfuktigheten (Figur 14, sidan 35). Prov som förvarats vid  $a_w$  0,45 hade vid nio månader en något lägre vattenaktivitet än omgivande luft. Avfallsprov som förvarades vid  $a_w$  0,97 uppvisade kraftig mögeltillväxt efter tre månaders lagring.

### ***Analys av mikroorganismer i prov förvarade vid olika $a_w$ under 9 månader***

Efter 9 månader vid  $a_w$  0,45 har antalet jäst och totalantalet bakterier minskat med cirka en logenhet, medan antalet mögel och *Enterococcer* ligger kvar på ursprungsnivån (Tabell 13 och Figur 15, sidan 35). Efter 9 månader vid  $a_w$  0,73 har totalantalet bakterier, jäst, mögel och *Enterococcer* minskat med ca 2 logenheter. Antalet *Enterococcer* ligger kvar på ursprungsnivån fram till analysen vid niomånader då även antalet *Enterococcer* har sjunkit med drygt 1,5 logenhet (Tabell 14 och Figur 16, sidan 36). Prov förvarade vid  $a_w$  0,97 var efter 3 månader överväxta av mögel vilket innebar att inga analyser kunde genomföras (Tabell 15, sidan 37).

## 5.5 Luktbedömningar

Resultaten bygger på medelvärden för alla prover. Resultat från anläggningsägare och konsumenter utvärderades dels var för sig, dels sammantaget. Data signifikansprövades på 5 % nivå ( $p \leq 0,05$ ) med 2-vägs variansanalys, Tukeys parvisa jämförelsetest i Systat 10.0, SPSS Inc [18].

Referensmaterialet från Borås Energi och Miljö (före torkning), betecknat B-F i figurer och tabeller, och materialet från Gisip (mikrovågsvakuomtorkat material), betecknat B-T-1, B-T-6 respektive B-T-11<sup>17</sup>) var matavfall från storhushåll i Borås. Proverna från Gisip gillades något bättre än referensprovet, men skillnaderna var ej signifikanta (Figur 17, sidan 39).

Referensmaterialet från Renova (betecknat G-F-Pp-Fl i figurer och tabeller) och materialet från Smedlund (betecknat G-T-1, G-T-6, respektive G-T-11<sup>18</sup>) var matavfall från hushåll. Materialet som var lagrat under 1 respektive 11 månader gillades signifikant bättre än referensmaterialet från Renova, se Figur 18, sidan 39. En-månadsprovet gillades signifikant bättre än 6-månadersprovet. De prover som fick högst medelvärde av anläggningsägarna var de tre proverna från Smedlund, se Figur 19, sidan 39. Enmånadsprovet från Smedlund gillades signifikant bäst av alla prover, i övrigt var det inga signifikanta skillnader.

Konsumenterna gillade 1-månadsprovet (G-T-1) och 11-månadersprovet (G-T-11) från Smedlund signifikant bättre än referensprovet från Renova (G-F-Pp-Fl). Även 1-månadsprovet från Gisip (B-T-1) gillades signifikant bättre än materialet från Renova. Mellan proverna från storhushåll förelåg inga signifikanta skillnader (se Figur 17, sidan 38).

### *Jämförelse konsumenter och anläggningsägare*

Konsumenterna gillade proverna på matavfall från storhushåll, både mikrovågstorkat och icke torkat från Borås, mer än vad anläggningsägarna gjorde. Dessa skillnader var dock inte signifikanta. Anläggningsägarna gillade proverna på matavfall från hushåll, både icke torkat och lufttorkat, samt motsvarande 1- respektive 6-månadersprov, bättre än vad konsumenterna gjorde, men dessa skillnader var inte signifikanta.

## 5.6 Komposteringsförsök

### 5.6.1 Komposteringsförsök – beräkningar

I Tabell 32, på sidan 99, visas TS-halter för olika kompostfraktioner.

Komposteringsförsöken indikerar att en uppblött torkad fraktion av kompostmaterial fungerar lika bra som en konventionell kompostfraktion. Materialet tokar dock lättare än den konventionella kompostfraktionen, varför det kan finnas behov av ytterligare befuktning under processen. I en djupare studie kan det vara relevant att titta närmare på om tiden för återvätning av det torkade materialet kan justeras så att förhållandena för komposteringen gynnas (se avsnitt 6.2).

## 5.7 Näringsämnesinnehåll – resultat från mätningar

### 5.7.1 Matavfall från hushåll i Göteborg

TS-halten för färskt matavfall är 21,2 % (medelvärde). Det torkade matavfallet har en TS-halt som uppgår till ca 87 %. Matavfall från hushåll i villor har ca 6 procentenheter lägre TS-halt än matavfall från de övriga insamlingsområdena (flerfamiljshushåll, färskt matavfall).

---

<sup>17</sup> där 1, 6 och 11 står för lagringstid i månader

<sup>18</sup> där 1, 6 och 11 står för lagringstid i månader

Mängden kol i det torkade matavfallet är ca 50 g högre än vad det är för färskt material. Skillnaden i kollinnehåll bedöms delvis bero på att en viss nedbrytning har skett under den tid matavfallet mellanlagrats i väntan på insamlingsfordonet.

Mängden ammoniumkväve i torkat matavfall är cirka en tredjedel jämfört med färskt matavfall från villahushåll. Orsaken bedöms vara att torkningsprocessen ventilerar bort ammoniumkväve. Mängden ammoniumkväve i matavfall från flerfamiljshushåll i Guldheden visade sig vara betydligt högre (9,5 g/kg TS) än litteraturvärden och kan inte förklaras. Färskt matavfall från Guldheden har i det närmaste dubbelt så stor mängd fosfor i jämförelse med övriga matavfall.

### 5.7.2 Matavfall från hushåll och storkök & restaurang från Borås

TS-halten för färskt matavfall från storhushåll (storkök och restaurang) är 24,6% (medelvärde), medan motsvarande värde för torkat matavfall från storhushåll är ca 82 %.

I likhet med lufttorkning av matavfall från hushåll (se avsnitt 5.7.1) är mängden ammoniumkväve i det torkade matavfallet cirka en sjättedel jämfört med för färskt matavfall från storhushåll. Orsaken bedöms vara att torkningsprocessen ventilerar bort ammoniumkväve. Den högsta kol-/kvävekvoten (C/N-kvoten) återfinns i färskt matavfall från storhushåll i Borås.

## 5.8 Rötningsförsök

Metanproduktion (normal-mL CH<sub>4</sub>/g VS eller normal-m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton VS) från utrötningsförsöket presenteras som medelvärde av tre replikat i Figur 27 och Figur 28 (prover från Göteborg) samt Figur 29 (prover från Borås). Mätvärdena visar att metanproduktionen fortfarande pågår efter 75 dagar, men att den är låg i förhållande till den ackumulerade metanproduktionen. Försöken avbröts därför vid denna tidpunkt.

Resultaten visar att metanproduktionen kom igång relativt snabbt för alla substrat, d v s ingen lag-fas (fördröjning) kunde iakttagas under de första dagarna. Detta betyder att kolet i matavfallet var lätt tillgängligt och att rätt mikroorganismer fanns i ympen.

Tabell 25 visar metanutbytet i normal-m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton VS, vid olika tidpunkter. Metanproduktionen efter 75 dagar ger ett mått på den maximala metanbildning som kan utvinnas, medan värdena för 20 och 36 dagar ger riktvärden för vanligare uppehållstider i en rötchammare. Resultaten visar att efter 20 dygn hade 79-83% av den slutliga metanpotentialen uppnåtts, vilket visar på att matavfallet är ett lämpligt substrat vid motsvarande uppehållstid.

Färskt matavfall från Göteborg insamlat i papperspåse från ett flerfamiljshushåll (G-F-Pp-Fl) uppvisar det klart högsta utbytet (435 ± 15 normal-m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton VS). Inga signifikanta skillnader observerades mellan torkat matavfall (G-T) och färskt matavfall insamlat i papperspåse (G-F-Pp-Hh), då standardavvikelsen i försöken är av den storleksordningen att de tangerar varandra. Detta betyder också att lufttorkningstekniken som användes för proverna från Göteborg, inte gav signifikanta kolförluster. Metaninnehållet var också högre i det torkade provet (71%, G-T) jämfört med alla andra färska prover (65-68%).

Större skillnader fanns mellan färskt och torkat matavfall från storhushåll i Borås. Färskt matavfall (B-F) producerade 509 ± 25 normal-m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton VS och torkat matavfall (B-T) 266 ± 18 normal-m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton VS, d v s en minskning med 48 % av metanpotentialen. Detta tyder på att förluster av lätt tillgängligt kol sker under Gisips process för mikrovågsvakuumtorkning. Färskt matavfall insamlat i plastpåse (B-F-Pl-Hh) producerade 394 ± 15 normal-m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton VS, ungefär samma produktion som färskt matavfall från hushåll insamlat i papperspåse från Göteborg (G-F-Pp-Hh).

Färskt matavfall från storhushåll i Borås gav högre metanutbyte än färskt matavfall från hushåll i Göteborg. Detta kan förmodligen förklaras av att Borås prover kom från storhushåll, vilket kan tyda på renare matavfall med mindre andel svårnedbrytbart organiskt material. Litteraturvärden för metanpotentialen i matavfall ligger på 460  $\text{nm}^3/\text{ton VS}$ . Substrathandboken [18] och egna försök vid JTI har visat på utbyten kring 450  $\text{nm}^3/\text{ton VS}$ . Dessa värden ligger i samma storleksordning som försöksresultaten.

Tabell 25. Utrötning av matavfall. Metanutbyte (normal- $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton VS}$ ) vid olika tidpunkter.

Table 25. Digestion of food waste. Methane exchange (normal- $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton VS}$ ) at different moments.

Substrat	Metanutbyte (normal- $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton VS}$ )			$\text{CH}_4$ %
	20 dagar	36 dagar	75 dagar	
G-T	309 ± 13	342 ± 18	392 ± 5	71 ± 1,1
G-F-Pp-Hh	295 ± 20	321 ± 23	356 ± 27	65 ± 1,9
G-F-Pp-Fl	357 ± 16	393 ± 19	435 ± 15	68 ± 1,2
B-F-Pl-Hh	325 ± 20	357 ± 27	394 ± 15	66 ± 2,3
B-T	208 ± 16	236 ± 19	266 ± 18	65 ± 0,5
B-F	417 ± 32	453 ± 27	509 ± 25	68 ± 1,0

Tabell 26 visar också metanutbytet vid olika tidpunkter, men uttryckt som normal- $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton}$  substrat. Detta ger en uppfattning om hur mycket metan som kan erhållas per våta ton, vilket är intressant med tanke på transporter och hantering. Det finns signifikanta skillnader mellan proverna, med betydligt högre metanutbyte i de torkade proverna jämfört med respektive färskt matavfall. I Göteborgs prover, ökar efter 75 dagar metanutbytet från 69-104  $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton}$  färskt substrat till 357  $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton}$  torkat substrat, detta betyder en ökning med 74%. I Borås matavfall ökar metanutbytet från 109-113  $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton}$  färskt substrat till 230  $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton}$  torkat substrat och detta betyder en ökning med 51%.



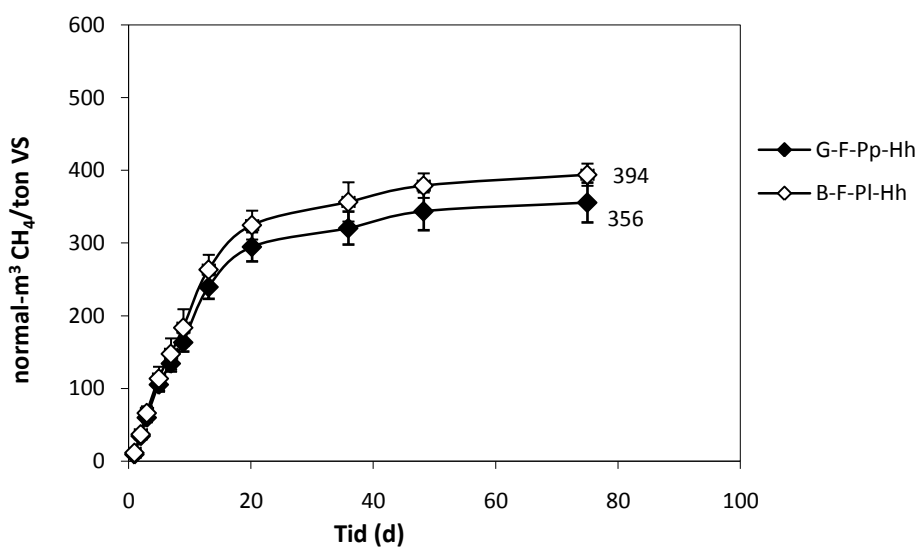
Tabell 26. Utrötning av matavfall. Metanutbyte (normal-m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton substrat) vid olika tidpunkter.

Table 26. Digestion of food waste. Methane exchange ((normal-m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton substrate) at different moments.

Substrat	Metanutbyte (normal-m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ton substrat)			CH <sub>4</sub>
	20 dagar	36 dagar	75 dagar	%
G-T	282 ± 11	312 ± 16	357 ± 5	71
G-F-Pp-Hh	57 ± 4	62 ± 4	69 ± 5	65
G-F-Pp-Fl	86 ± 4	94 ± 5	104 ± 4	68
B-F-Pl-Hh	90 ± 6	98 ± 8	109 ± 4	66
B-T	180 ± 14	204 ± 17	230 ± 16	65
B-F	93 ± 7	101 ± 6	113 ± 6	68

Sammanfattningsvis:

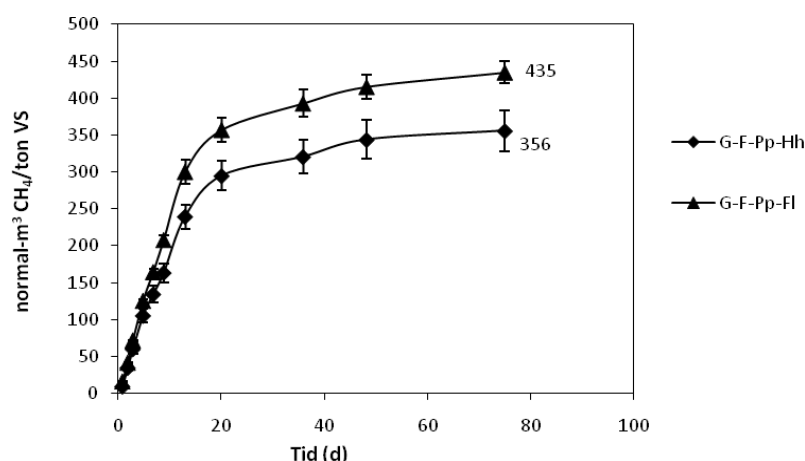
- Inga skillnader i biogaspotential föreligger mellan matavfall insamlat i papperspåse och matavfall som insamlats i plastpåse, när det uttrycks som m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton VS.



Figur 27. Det fanns ingen signifikant skillnad i biogaspotential mellan matavfall insamlat i papperspåse och matavfall insamlat i plastpåse, när det uttrycks som m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ton VS.

Figure 27. There was no significant difference in digestion potential between food waste collected in paper bags and that collected in plastic bags, when expressed as CH<sub>4</sub>/ton VS.

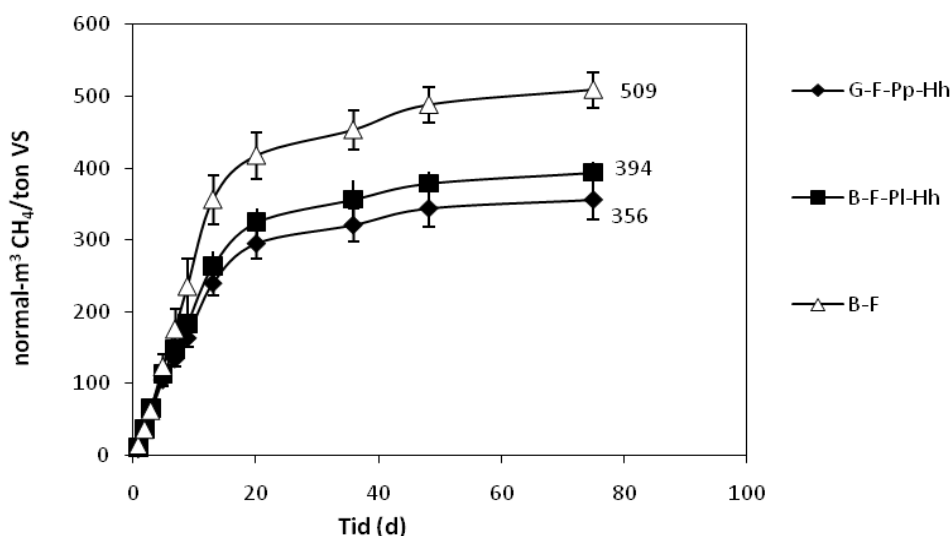
- Det var högre metanutbyte i matavfall, då det samlades in från ett flerfamiljshushåll, jämfört med från villahushåll (Figur 28).



Figur 28. Metanutbytet var högre i matavfall från hushåll som samlats in från ett flerfamiljssområde, jämfört med från villahushåll.

Figure 28. The methane exchange was higher in food waste from households which was collected from an area with blocks of flats, as compared to villa households.

- Det var högre metanutbyte i  $m^3 CH_4/ton VS$  i färskt matavfall från storhushåll i Borås, jämfört med färskt matavfall från hushåll i Göteborg (Figur 29):



Figur 29. Metanutbyte (uttryckt i  $m^3 CH_4/ton VS$ ) var högre för färskt matavfall från storhushåll i Borås jämfört med färskt matavfall från hushåll i Göteborg.

Figure 29. The methane exchange (expressed in  $m^3 CH_4/ton VS$ ) was higher for fresh waste from food establishments from Borås, as compared to fresh food waste from Göteborg.

- Torkat matavfall ger bättre metanutbyte än färskt matavfall med avseende på våtvikt, uttryckt uttryckt som  $normal-m^3 CH_4/ton VS$  substrat (jfr Tabell 25 och Tabell 26).
- Torkat matavfall från Göteborg gav inte signifikanta skillnader i metanutbyte uttryckt som  $m^3 CH_4/ton VS$  jämfört med färskt matavfall. Se Figur 25, sidan 43.

- Torkat matavfall från Borås gav signifikanta skillnader i metanutbyte uttryckt som  $m^3$  CH<sub>4</sub>/ton VS jämför med färsk matavfall. Se Figur 26, sidan 44.

## 5.9 Systemanalys av hantering av färskt respektive torkat matavfall

Indata har stor påverkan på resultaten. Detta gäller särskilt för klimatpåverkan i samband med produktion av el. El med stort inslag av fossila energibärare leder till totalt sett stort bidrag till klimatpåverkan. Det medför även att skillnaden mellan att hantera icke torkat och torkat avfall ökar för respektive typ av system. För att torkning ska bli klimatmässigt mer fördelaktigt är det viktigt att välja el från förnybara källor som medför små utsläpp av klimatgaser som CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> och N<sub>2</sub>O.

Total användning av energi, både el och diesel, är högre för torkat än för färskt matavfall enligt genomförd systemstudie. Vissa parametrar kan variera lokalt. I genomförd bedömning av rötningsförsök och systemanalys framkommer att torkat matavfall har fördelaktiga egenskaper i fråga om insamling, transportarbete, biogaspotential och mindre fördelaktiga egenskaper i fråga om ammoniumkväve och total energibalans. Beroende på olika aspekter i insamlingsledet kan torkning av matavfall vara att föredra framför traditionell insamling.

När det gäller lufttorkning av hushållsavfall, konstaterades att energianvändningen vid insamling av avfall helt klart påverkas av hur hushållen är fördelade. Insamlingsarbetet ökar om man behöver hämta från varje enskilt hushåll (villor), jämfört med ett tätbebyggt område med flerfamiljshus. Om torkning sker av matavfallet minskar både avfallets mängd och dess volym, med alla de fördelar som det innebär (jfr Tabell 27, sidan 67). En intressant frågeställning i det sammanhanget är vid vilka bebyggelse typer i urban miljö som torkning lämpar sig utifrån ett energi- och ekonomiperspektiv?

I detta projekt har alternativet då flerfamiljshushåll utrustats med torkutrustning studerats. Enskilda hushåll i mer tätbebyggda områden, både villor och radhus, kan och har i många fall gemensamma platser där avfallet lämnas. Dessa boenden hamnar inom den studerade kategorin tätbebyggt område. För dem är det ingen större skillnad att bära avfallspåsen till det gemensamma miljöhuset i en bostadsrättsförening eller en samfällighet. I detta sammanhang kan nämnas att Smedlund Miljösystem för närvarande arbetar på en lösning med en liten torkapparat för varje hushåll. Efter att hushållets matavfall torkats i köket, bär hushållet med sig det torra materialet i en påse eller kassett till en gemensam samlingsplats eller till eget kärl. I samband med detta utvecklingsarbete görs en separat utredning även med avseende på energiaspekter.

Som framgår av Tabell 27 (sid. 67) och slutsatserna i avsnitt 6 finns åtskilliga fördelar, men även nackdelar, med torkat matavfall i förhållande till dagens system med insamling av färskt matavfall. Den genomförda systemanalysen har identifierat ett antal frågeställningar som är av intresse för fortsatt utredning eller fördjupning av genomförd analys (se sid. 67).

Det är ett välkänt faktum att färskt matavfall kräver ordentlig förbehandling i form av sönderdelning och avskiljning. Med torkat material kan de stora och energikrävande insatserna reduceras till färre och mindre enheter. I samband med detta minskar även behovet av borttransporter och behandling av utsorterat rejecktmaterial. Denna del är inte prissatt i studien.

Tydliga och förståeliga system för avfallshanteringen som involverar de boende och deras delaktighet innebär erfarenhetsmässigt att renhetsgraden ökar. Därigenom minskar behovet av energikrävande insatser vid förbehandling inför rötningsprocessen. Delaktigheten innebär ofta ökat ansvarstagande för miljöproblematiken som helhet. Denna del har inte prissatts i studien.

Bedömningen är att arbetsmiljön för samlingspersonal och anläggningspersonal förbättras genom minskat antal tunga förflyttningar och tunga lyft samt förbättrad luft i förvaringsutrymmen för

matavfall. Denna del har inte involverats i studien men anses vara en viktig parameter för en helhetsbedömning av omhändertagande av matavfall.

Det mindre transportarbetet som blir vägs in i energibalansen som redovisas.

### 5.9.1 Resultatanalys från känslighetsanalys

Underlaget till systemanalysen utgörs av en mängd data från olika källor. Beroende på vilka antaganden om systemens utformning som görs påverkas resultatet. I känslighetsanalysen testas enskilda parametrars påverkan på resultatet.

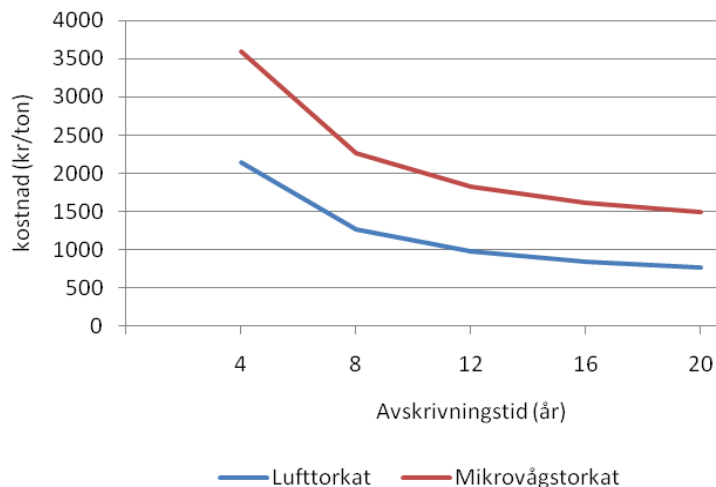
#### 5.9.1.1 Torkanläggning

##### Kostnader

Kostnader för torkanläggningen delas in i fasta och rörliga kostnader. Fasta kostnader är avskrivning av utrustning och rörliga kostnader är kostnader för drift och underhåll. Fasta kostnaderna beror av förutom investeringens storlek även av avskrivningstiden och vilken räntesats som används. Rörliga kostnader påverkas av hur mycket energi som används och vad energin kostar per kWh.

Parametrar som påverkar kostnader:

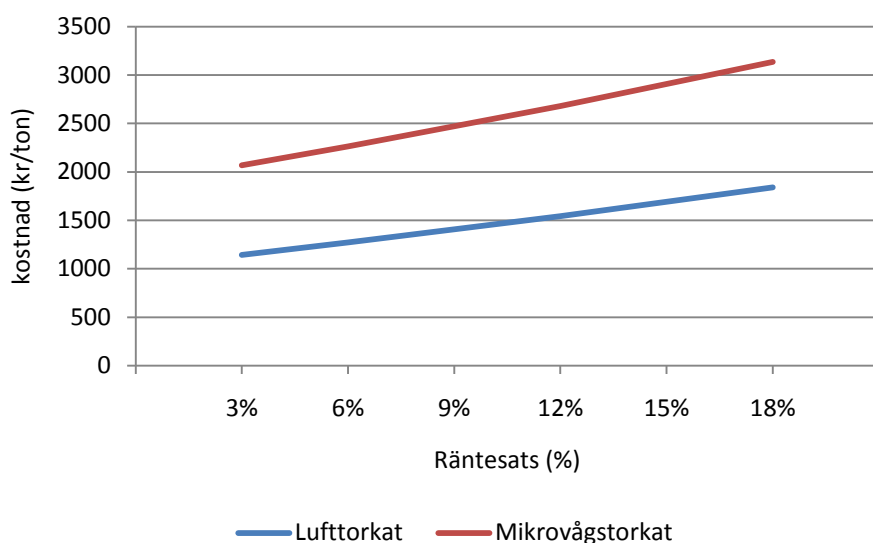
- Avskrivningstid (år)
- Räntesats (%)
- Energianvändning (kWh)
- Energipris (el)



Figur 30. Förändrad årskostnad för torkanläggning som funktion av avskrivningstiden.

Figure 30. Change in yearly cost for a drying equipment as a function of depreciation time.

Grundfallet används en avskrivningstid för investeringen i en torkanläggning på åtta år vilket ger en årlig kostnad på 1 500 och 2 600 kr/år för luft- respektive mikrovågsvakuomtorkning. Efter avskrivningstiden belastas torkanläggningarna enbart med de rörliga kostnaderna för drift och underhåll.

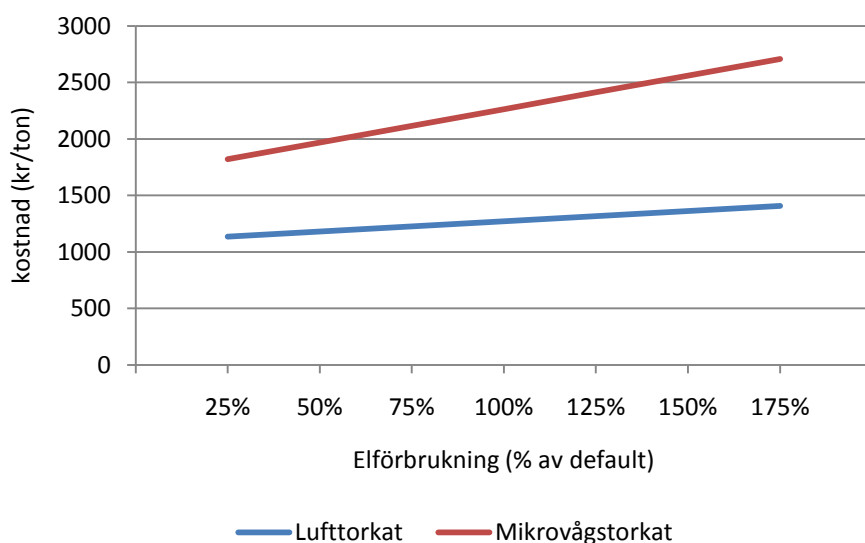


Figur 31. Förändrad årskostnad för torkanläggning som funktion av räntan.

Figure 31. Changed yearly cost for drying equipment, as a function of interest rate.

Räntan påverkar de årliga kostnaderna. En ökning av räntan från grundfallets 6 % till 9 % medför en årlig kostnadsökning med ca 130 kr/ ton matavfall som lufttorkas och ca 200 kr/ ton verksamhetsavfall som mikrovågstorkas (Figur 31).

### Energi

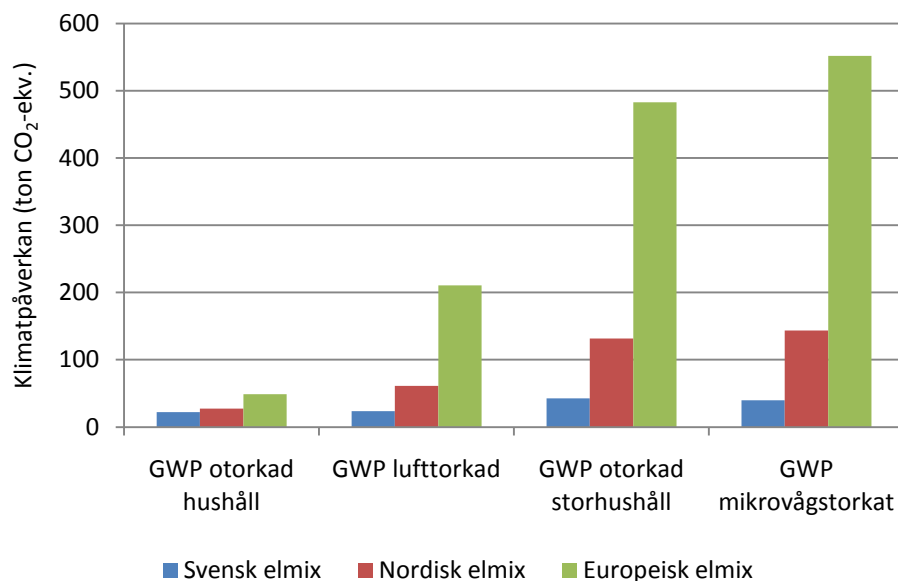


Figur 32. Elkostnadens påverkan på årskostnaden.

Figure 32. Cost of electricity, and its effect on yearly cost

Elförbrukningen påverkar årskostnaderna för torkningen. Mikrovågsvakuomtorkat matavfall från storhushåll innebär en högre elanvändning än lufttorkat och har därmed en något större inverkan på kostnaderna för torkanläggningen (Figur 32).

### Förändring av klimatpåverkan vid olika val av system för elproduktion

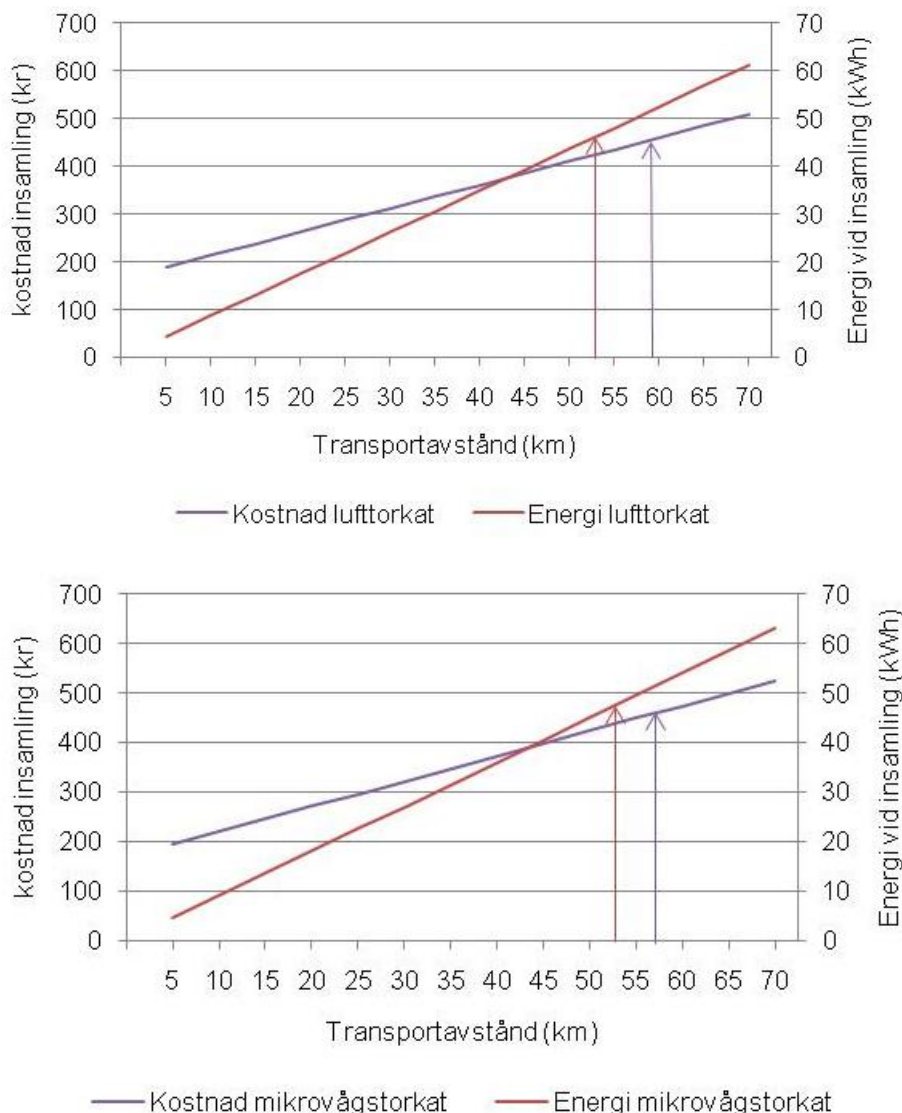


Figur 33. De studerade systemens klimatpåverkan (ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter) när elproduktionen utgår från svensk, nordisk eller europeisk elmix

Figure 33. The climate effect of the studied systems (tonnes CO<sub>2</sub> equivalents), given that the electricity production is from an electricity mix of Swedish, Nordic, or European origin.

Användning av energi är den parameter som ger bidrag till klimatpåverkan från torkningsanläggningen. Torkningsanläggningens enda externa tillskott av energi är el till drift av anläggningen. Hur mycket energi och hur energin är producerad är faktorer som påverkar klimatpåverkan från torkanläggningen och därmed hela det studerade systemet (Figur 33).

### Effekter på insamling från torkat respektive icke torkat matavfall



Figur 34. Kostnader och energiförbrukning vid insamling av torkat matavfall från hushåll respektive matavfall från storhushåll (storkök och restaurant). Pilarna visar för vilket transportavstånd energianvändning och kostnader är samma som för motsvarande icke torkat matavfall från hushåll respektive icke torkat matavfall från storhushåll vid grundfallet 15 km (se avsnitt 3.9.2).

Figure 34. Cost and energy consumption, at collection of dried food waste from households and food establishments, respectively. Arrows show at what transport distance cost and energy consumption equals the non-dried food waste at a default case; for a transportation distance of 15 km (see section 3.9.2).

En av de stora vinsterna med att hantera torkat avfall från hushåll och storhushåll (storkök och restaurant) är besparingar av energi (diesel) och kostnader vid insamling. Energimässigt är det möjligt att köra drygt 50 km innan insamlingen använder lika mycket energi som insamling för icke torkat avfall i grundfallet (Figur 34). Motsvarande sträcka är nästan 60 km innan transportkostnaderna för torkat hushålls- och storhushållsavfall överstiger kostnaderna för insamling av icke torkat hushålls- och storhushållsavfall i grundfallet (Figur 34).

## 6 Slutsatser

### 6.1 Torkning av matavfall från storhushåll/butik respektive hushåll

Matavfall från butik som innehåller ABP-material kräver värmebehandling enligt den s.k. ABP-förordningen. Mikrovågsvakuomtorkning av sådant matavfall innebär goda möjligheter till en snabb, energisnål process och inaktivering av mikroorganismer. Den process för mikrovågsvakuomtorkning som studerats i detta projekt behöver dock få en bättre styrning och processutformning för att minska spridningen i sluttemperatur hos det torkade materialet. I en praktisk situation kan både mängden material som torkas och sammansättningen på materialet variera mellan olika tillfällen. Särskilt om metoden ska användas för att säkerställa hygienisering av matavfall som innehåller s.k. ABP-material, är det viktigt att tänka på att processen behöver utformas så att den blir mindre känslig för sådana variationer, får en jämnare fördelning av mikrovågsvält inne i ugnutrymmet och därmed blir lättare att styra mot önskad sluttemperatur. Materialsammansättningen varierar också i högre grad för denna typ av matavfall, jämfört med matavfall från hushåll, vilket ställer kravet på processens utformning i fokus. Hygienisering av s.k. ABP-material kräver hygienisering redan i dagens hantering, varför mikrovågsvakuomtorkning kan ha särskilda fördelar i det sammanhanget även ur systemsynpunkt.

Lufttorkning av matavfall från hushåll är energieffektiv eftersom den sker vid relativt låga temperaturer. Luften är förvärmad med enbart spillvärme från kringutrustning, vilket innebär att energiförbrukningen är mycket låg. För att uppfylla nationella miljömål för återvinning av biologiskt avfall utan konflikt med t.ex. begränsad klimatpåverkan, beaktas även systemanalysaspekter.

### 6.2 Återvätningsegenskaper

Förutom skillnader i återvätning och löslighet hos materialen kan man visuellt se skillnad i sedimentering av materialen. TS-halten i det avrunna vattnet är relativt låg beroende på att ett överskott av vatten har använts vid återvätning. Det är relativt stor skillnad i återfuktningskapacitet mellan det lufttorkade hushållsavfallet och det mikrovågstorkade storköksavfallet, vilket sannolikt beror på att materialens sammansättning kan skilja sig åt.

### 6.3 Mikrobiologisk analys

#### 6.3.1 Mikrovågsvakuomtorkning som hygieniseringsteknik

- Resultaten indikerar att tekniken, dvs mikrovågs-/vakuomtorkning av storhushållsavfall, kan anpassas så att effekten kan jämföras med ”traditionell” hygienisering. Processen (temperatur och tid) måste dock styras bättre så att tillräcklig avdödning och torkning uppnås. Kompletterande studier för att fastställa avdödande effekt på mikroorganismer är nödvändiga.
- Mängden avfall har en tydlig effekt genom att om behållaren exempelvis körs halvfull, blir avdödningen inte lika effektiv och vattenhalten reduceras inte lika mycket.

#### 6.3.2 Lagringsförsök med mikrovågs- samt lufttorkat avfall

- Avfall som torkats kan förvaras vid 20°C och  $a_w$  upp till 0,73 i minst 9 månader utan att bakterier, jäst eller mögel växer till. Inte i något fall sker tillväxt av Enterococci i avfallsproven.
- Vid förvaring vid  $a_w$  0,97 tillväxer mögel kraftigt på ytan på både MW- och lufttorkat avfall redan efter 3 månader.



## 6.4 Luktbedömningar

### 6.4.1 Lufttorkat material

Alla bedömare föredrog det lufttorkade matavfall som lagrats i 1 månad. På andra plats kom det lufttorkade material som lagrats i 11 månader. Dessa skillnader var signifikanta.

### 6.4.2 Mikrovågsvakuumtorkat material

För det mikrovågsvakuumtorkade materialet fanns samma tendenser som för det lufttorkade materialet, men dessa skillnader var ej signifikanta. Resultaten visar på att material efter en månads lagring försämras. Efter 6 månaders lagring förbättras dock proverna något luktmässigt.

### 6.4.3 Jämförelse mellan anläggningsägares och konsumenters uppfattning

Det fanns ingen statistiskt säkerställd skillnad mellan konsumenters och anläggningsägares uppfattning av de två typerna av torkat matavfall. Det fanns en indikation på att konsumenterna tyckte något bättre om proverna på matavfall från storhushåll, både mikrovågstorkat och icke torkat från Borås, än vad anläggningsägarna gjorde. Denna skillnad var dock inte signifikant. Vidare fanns indikationer på att anläggningsägarna föredrog prover på matavfall från hushåll, både färskt och lufttorkat, mer än vad konsumenterna gjorde. Inte heller dessa skillnader var dock signifikanta.

## 6.5 Komposteringsförsök

En uppblött torkad fraktion av kompostmaterial bör fungera lika bra som en konventionell kompostfraktion, men materialet tokar lättare än den konventionella, kompostfraktionen varför ytterligare befuktning kan behövas under processen. Man behöver även ta hänsyn till den tid som behövs för återvätning av materialet (se avsnitt 6.2).

## 6.6 Renhetsgrad, näringsämnesanalys och biogaspotential

Renhetsgraden på det torkade matavfall som studerats i detta projekt, matavfall från både hushåll och storhushåll, har varit mycket hög (över 99 %). Innehållet av näringsämnen är i det närmaste intakt, förutom en lägre andel av ammoniumkväve i de två typerna av torkat material. Utrötningsförsök visar att torkat matavfall från hushåll (flerfamiljsbostäder i Göteborg) inte gav signifikanta skillnader i metanutbyte, uttryckt som  $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton VS}$ , jämfört med färskt matavfall. Torkat matavfall från storhushåll (i Borås) gav signifikanta skillnader i lägre metanutbyte, uttryckt som  $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{ton VS}$ , jämfört med färskt matavfall<sup>19</sup>. Orsaken till detta behöver utredas närmare.

## 6.7 Systemanalys

Resultaten från systemanalysen sammanfattas i punktform:

- Skillnaden i dieselförbrukning mellan systemen för torkat respektive icke torkat matavfall är liten om man betraktar systemen som helhet. Vid insamling av torkat avfall används dock betydligt mindre diesel jämfört med vid insamling av motsvarande icke torkat matavfall, för båda systemen.

---

<sup>19</sup> I Substrathandboken [18] finns de tre parametrarna våtvikt, TS och VS med som relaterar till möjlig mängd biogas och metangas.

- Mellanlagring av icke torkat matavfall från storkök och restaurang som kräver kylrum kräver stora energimängder i jämförelse med torkat matavfall.
- Insamling av torkat matavfall minskar transportarbetet i förhållande till insamling av icke torkat matavfall, vilket medför minskad användning av energi och minskade kostnader vid insamling.
- Klimatpåverkan är större vid hantering av torkat matavfall jämfört med icke torkat matavfall för de två studerade teknikerna, framför allt p.g.a. ett högre elbehov för system med torkning av matavfall.
- Samtliga system för hantering av avfall, både torkat och icke torkat, visar på en klimatvinst<sup>20</sup> om hänsyn tas till användning av biogas och rötrest.<sup>21</sup> Detta gäller under förutsättning att biogasen används som fordonsbränsle och ersätter fossila drivmedel som bensin och diesel samt att rötresten ersätter handelsgödsel. För lufttorkat avfall förstärks effekten av substitution då det torkade matavfallet ger ett högre utbyte av biogas jämfört med färskt matavfall från hushåll. För matavfall från storhushåll som mikrovågstorkats i den nuvarande processen uteblir den effekten då biogasutbytet sjunker i jämförelse med färskt verksamhetsavfall. Det senare kan dock sannolikt lösas bl a genom optimering av torkningsprocessen.
- Systemanalysens resultat påverkas i stor omfattning av hur produkter och biprodukter tas om hand, både avseende energi, kostnader och klimatpåverkan. Det är viktigt att i en systemanalys vidare studera hur avfallet och dess biprodukter ska tas om hand.
- Hanteringskostnaderna är högre vid hantering av torkat avfall jämfört med icke torkat oavsett torkteknik. Det är kostnaden för torkanläggningen som i första hand påverkar skillnaden i kostnader. Kostnadsminskningen vid insamling av torkat avfall kompenserar i den genomförda studien inte för ökade kostnader orsakade av själva torkanläggningen.
- Indata har stor påverkan på resultaten, särskilt för klimatpåverkan i samband med produktion av el. El med stort inslag av fossila energibärare leder till totalt sett stort bidrag till klimatpåverkan. Det medför även att skillnaden mellan att hantera icke torkat och torkat avfall ökar för respektive typ av system. För att torkning ska bli klimatmässigt mer fördelaktigt är det viktigt att välja el från förnybara källor som medför små utsläpp av klimatgaser som CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> och N<sub>2</sub>O.

---

<sup>20</sup> Jämfört med dagens system för insamling av respektive typ av icke torkat avfall (se avsnitt 3.9).

<sup>21</sup> Jämförelsen har gjorts med ett system där antingen ingen rötning sker eller att biogasen används till andra ändamål än fordonsbränsle och rötresten inte ersätter handelsgödsel.

## 7 Rekommendationer och användning

Torkat matavfall, oavsett torkningsmetod, kan transporteras och hanteras som torr bulkvara i stället för ett blött matavfall. Tabell 27 sammanfattar några av fördelarna med detta. Hämtningsfrekvensen kan minska eftersom volymen och risken för lukt och mögel minskar under lagring. Samtidigt kan insamling ske från ett större antal hämtställen under en och samma insamlingsrunda. Insamlingsbilen behöver inte utrustas med uppsamlande tråg för pressvätska från matavfallet. I och med att ett torkat matavfall kan lagras under en betydligt längre period kan det nyttjas då det bäst behövs, vilket medför att energin i matavfallet kan användas mer optimalt.

Tabell 27. Torkat matavfall jämfört med färskt matavfall.

Table 27. Dried food waste, as compared to fresh food waste.

Torkat matavfall	Färskt matavfall
Har lång lagringsbarhet	Kräver direkt behandling
Kan användas som buffertmaterial vid ojämn tillgång på substrat	Kan inte lagras för senare användning
Ger möjlighet till substratoptimering	Ger ingen möjlighet till substratoptimering
Ingen sönderdelning behövs	Kräver sönderdelning
Ingen siktning behövs	Kräver siktning
Ger inte upphov till rejektmaterial vid behandling	Ger 15 – 50 % rejektmaterial vid förbehandling
Kräver hygienisering <sup>10</sup>	Kräver hygienisering <sup>22</sup>
Ger 4-5 gånger högre energiutbyte per viktenhet	Har lägre energiutbyte per viktenhet

I rötningsanläggningen kräver torkat matavfall ingen förbehandling i form av sönderdelning eller siktning, då materialet är förbehandlat under torkningssteget. Andelen felsorterat avfall är mycket låg, vilket innebär att det i det närmaste kan lastas direkt in i röt-kammaren. Vid stora mängder torkat matavfall kan en kvalitetssäkring behövas i form av ett siktningsteg för plast. Det låga inslaget av felsorterat material i torkat matavfall innebär att rejekt-mängden från matavfallet i stort sett blir helt obefintlig, med inga eller mycket låga extra kostnader för behandling av rejektmaterial.

Biogaspotentialen är per viktenhet högre för torkat matavfall från såväl hushåll som storhushåll, jämfört med färskt matavfall. I laboratorieundersökningen med satsvisa utrötningsförsök erhöles dock inga signifikanta skillnader i metanutbyte, uttryckt som  $m^3 CH_4/ton VS$ , jämfört med färskt matavfall, för torkat matavfall från hushåll i Göteborg. Torkat matavfall från storhushåll i Borås gav i de satsvisa utrötningsförsöken lägre metanutbyte jämfört med färskt matavfall med avseende på organiskt material. I ett fortsättningsprojekt rekommenderas att titta närmare på orsakerna till detta, samt på de värden som kan finnas med torkat matavfall.

Sammansättningen på respektive matavfall varierar dock under året. Det finns risk att, om provuttaget skett under andra tidpunkter, de satsvisa rötningsproverna hade kunnat ge ett något annat resultat p.g.a. att matavfallet inte haft exakt samma sammansättning. I ett fortsättningsprojekt föreslås analyser av det torkade materialets kvalitet på dels modellavfall, dels, för ett urval kvalitetsparametrar, även på verkligt avfall: å ena sidan avfall som samlats in under sommarhalvåret, å andra sidan avfall som samlats in under vinterhalvåret. Dessa analyser planeras

<sup>22</sup> Hygienisering gäller endast det avfall som anges i ABP-förordningen, d. v. s. inte matavfall från hushåll

förlagsvis som en fortsättning utifrån de redan genomförda resultaten genom en lämplig experimentell design.

För att få ett rättvisande underlag för processen för mikrovågsvakuomtorkning rekommenderas att i ett fortsättningsprojekt studera dels variationer i inkommande materialflöden och hur dessa påverkar kvaliteten på det torkade materialet, dels hur kvaliteten hos materialet efter torkning kan styras genom optimering av processen och val av lämpliga processbetingelser.

Resultaten från projektet indikerar att lämpliga processbetingelser bör kunna tas fram för att säkerställa tillräcklig mikrobiologisk avdödning om den studerade processen för mikrovågsvakuomtorkning används som metod att behandla ABP-material i matavfall från butiker.

I ett fortsättningsprojekt är det också relevant att bedöma kvaliteten på det material (matavfall från storhushåll) som mikrovågstorkats i kombination med vakuum i den optimerade processen (t ex återvätningsegenskaper, biogaspotential, mikrobiologisk kvalitet och näringsämnen). Vad som händer med materialet vid uppblötning under ett antal dagar kan också vara relevant för ett fortsättningsprojekt, då biogaspotential studeras vidare.

Torkning kräver mer energi än avfall som hanteras enligt dagens system. För ABP-material sker dock redan idag en hygienisering genom värmebehandling, varför mikrovågsvakuomtorkning kan ha särskilda fördelar i det sammanhanget även ur systemsynpunkt. Detta bör utredas vidare i ett fortsättningsprojekt.

### **Förslag till fortsatta studier**

I ett fortsättningsprojekt rekommenderas att titta närmare på de värden som kan finnas med torkat matavfall.

För att utreda torkteknikernas för- och nackdelar i ett vidare perspektiv, finns det behov av att följande frågeställningar belyses utifrån ett helhetsperspektiv i en fortsatt systemanalys.

- hur påverkas hushållens och företagets ”arbete” med att hantera avfall via torkning; innebär det ett merarbete för hushållen genom längre avstånd till torkningsstation för att lämna sitt avfall; ”mjuka” parametrar om upplevelse i förhållande till mer konventionell insamlingsteknik
- torkteknik utvecklat för enskilda hushåll och små verksamheter kan vara ett komplement till konventionell insamling eller ett alternativ till exempelvis köksavfallskvarnar eller annan teknik som innefattar malning av avfall innan insamling
- annan användning av avfallet än rötning, såsom kompostering, förbränning, etc.
- att vidga analysen till att innefatta annan användning av slutprodukter, både biogas, rötrest samt annan behandling enligt ovanstående punkt
- arbetsmiljörelaterade problem framförallt för verksamheter, hantering, upplevelser av tekniken
- används torkteknik vid insamling av matavfall från hushåll och storhushåll, är det intressant att se torktekniken som ett alternativ eller komplement till sopsug, avfallskvarnar och kylagring.
- Processen för torkning med mikrovågor indikerar att den kan användas för hygienisering, vilket görs redan idag av matavfall från butiker som innehåller ABP-material. Effekten av en alternativ teknik för hygienisering av avfall bör belysas i en fortsatt systemanalys
- Samhällsekonomiska effekter från ändringar i arbetsmiljön, hänsyn till miljökostnader etc., bör belysas i en fortsatt systemanalys

Man bör studera vidare var gränsen går för när torkteknik och insamling av torkat avfall blir miljömässigt intressant i förhållande till annan hantering och insamling.

Torkning av matavfall innebär med stor sannolikhet att arbetsmiljöförhållandena ändras för den personal som dagligen hanterar matavfallet. Detta bör utredas närmare. Matavfall som torkats innebär dels mindre problem med dålig lukt, dels fördelar ur hanteringssynpunkt genom att det är lättare än matavfall som inte torkats. En nackdel skulle kunna vara att det kan bli fler partiklar i luften när avfallet hanteras. De förändrade förhållandena påverkar den omgivande miljön där avfallet förvaras under lagring och hantering. I ett fortsättningsprojekt genomförs förslagsvis en arbetsmiljöstudie som syftar till att tydliggöra skillnaderna ur ett arbetsmiljöperspektiv, då utrustning för torkning av matavfall införs. Studien ska belysa delar som är viktiga för insamlingspersonalens hälsa och utförs genom mätning av exponeringen för damm, buller och mögelsporer samt undersöker risk för olycksfall och belastningsergonomi.

## 8 Litteraturreferenser

- [1] <http://www.miljomal.se/15-God-bebyggd-miljo/Delmal/Avfall-2005-2015/>
- [2] Mikrovågsvakuamtorkning av matavfall från storhushåll (Biotork 401), [www.gisip.se](http://www.gisip.se)
- [3] Lufttorkning av matavfall från hushåll, [http://www.smedlund.se/sm\\_somnus.htm](http://www.smedlund.se/sm_somnus.htm)
- [4] Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1069/2009 av den 21 oktober 2009: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2009R1069:20101109:SV:PDF>, samt Kommissionens förordning (EU) nr 142/2011 av den 25 februari 2011 (tillämpningsförförordning): <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:054:0001:0254:SV:PDF>
- [5] Alternativa hygieniseringsmetoder, Rapport B2007:01, rapport framtagen på uppdrag av Avfall Sverige utv., 2007.
- [6] Bilaga V i Kommissionens förordning (EU) nr 142/2011 av den 25 februari 2011 (tillämpningsförförordning)
- [7] Ottoson, J. R., Elving, J., Vinnerås, B., Albiñ, A., ”Risker för smittspridning från och bearbetning av naturgödsel och animaliska biprodukter”, kategori 3. SVA Rapport, 2008. Diarienummer: 2007/55, Anslagsnummer: 620026, 620046
- [8] Ohlsson, T., and Bengtsson, N., Minimal processing of foods with thermal methods, Chapter 2 in Minimal Processing Technologies in the Food Industry, edited by Ohlsson och Bengtsson, Woodhead Publishing 2002.
- [9] Svensson, M, Hygienisering av torkat bioavfall, examensarbete SLU, 2007.
- [10] Blad. S., Torkat bioavfall som jordförbättringsmedel, examensarbete SLU; 2007.
- [11] Göransson, S. och Jacobsson, A., Biogasutvinning vid rötning av matavfall i lab-skala, examensarbete Chalmers, 2006
- [12] Sonesson, U., 2000, Modelling of Waste Collection – A General Approach to Calculate Fuel Consumption and Time, Journal of Waste Management and Research vol. 18, pp 115-123.
- [13] Renhetsgrad: muntliga uppgifter från:
  - Per-Erik Persson, Vafab Miljö.
  - Anna-Karin Schön, Borås Energi och Miljö
  - Peter Skruf, Renova,
  - Camilla Ölander, Borås Energi och Miljö
  - Sörqvist, S., ” Heat Resistance in Liquids of *Enterococcus* spp., *Listeria* spp., *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella* spp. and *Campylobacter* spp”, Acta Vet Scand. 2003; 44(1): 1–19
- [14] Henriksson, G., ”Kartläggning av utvecklingsarbete samt problem vid olika insamlingstekniker för matavfall”, WR-projekt31, Waste Refinery, 2010: [http://wasterefinery.se/SiteCollectionDocuments/Publikationer/Rapporter/Slutrapport\\_Insamlingstekniker\\_matavfall.pdf](http://wasterefinery.se/SiteCollectionDocuments/Publikationer/Rapporter/Slutrapport_Insamlingstekniker_matavfall.pdf)
- [15] Krook. J. och Eklund, M. ”Verktyg för bättre sortering på återvinningscentraler”, Avfall Sverige, 2009:01
- [16] Ohlsson, T., and Risan, P.O., “Temperature distribution of microwave heating – spheres and cylinders”, J. Microwave Power 13(4), 1978, pp. 303-310.
- [17] Wäppling-Raaholt, B., and Ohlsson, T., 2009, “Influence of Food Geometry and Dielectric Properties on Heating Performance, Development of Products and Packages for Microwave Ovens”, P. Pesheck and M. Lorence, Woodhead Publishing, 42 pp.

- [18] Carlsson, M. and Uldal, M., SGC Rapport 200: "Substrathandbok för biogasproduktion", 2009 samt tillägg till denna rapport (<http://www.sgc.se/display.asp?ID=978>)
- [19] <http://www.soph.uab.edu/Statgenetics/People/MBeasley/Courses/Stoline-TAS-1981-Pairwise.pdf>
- [20] Hösel et al, Garbage handbook, index number 6856, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [21] Miljövärdering av el – med fokus på utsläpp av koldioxid, Elforsk, Stockholm
- [22] Miljövärdering av el, Marginalel och medel, Underlagsrapport Statens Energimyndighet (<http://www.afconsult.com/upload/konsulttjanster/Installation/Kundsida%20Belok/%C3%96vrigt/marginalel%20STEM.pdf>)
- [23] Markundersökningar: Bestämning av pH samt kol och organiskt kväve efter torrförbränning, Svensk standard SS-ISO 10390 (2007), SS-ISO 10694 (1996) samt SS-ISO 13878 (1999).
- [24]Handledning i kemiska metoder vid Växtekologiska arbeten. Meddelande från växtekologiska avdelningen, Lunds universitet, nr 52. SE\_LUNBDS/NBBE\_90/3021+58p, Balsberg A.-M. (red).
- [25] Jenssen, T., K., Kongshaug, G., 1998, Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertiliser production, Proceedings NO: 509, The International Fertiliser Society, IFS, York UK
- [26] Kurt Lindman, 2010, pers meddelande, Renova, Göteborg
- [27] NTM, 2005, NTM – Environmental data for international cargo transport, Road transport, Version 2005-11-10, NTM – Nätverket för trafiken och miljön
- [28] Uppenberg, S., Almemark, M., Brandel, M., Lindfors, L.-G., Marcus, H.-O. Stripple, H., Wachtmeister, A., Zetterberg, L., 2001, Miljöfaktabok för bränslen. Del 2. Bakgrundsinformation och teknisk bilaga, IVL rapport B1334B-2, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm
- [29] Benjaminsson, 2006, SGC Rapport 163. Nya renings- och uppgraderingstekniker för biogas. Svenskt Gastekniskt center AB
- [30] Lindgren, M., Pettersson, O., Hansson, P.-A., Norén, O., 2002, Jordbruks- och anläggningsmaskinernas motorbelastning och avgasemissioner – samt metoder för att minska bränsleförbrukning och emissioner, JTI-rapport 308 lantbruk och industri, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- [31] Carlsson, M., Uldal M., Substrathandbok för biogasproduktion, 2009, SGC-rapport 200.
- [32] Del Pilar Castillo, M., Ascue, J., Nordberg, Å., 2009, Satsvis utrotning av torkat matavfall för biogasproduktion, JTI, Utkast, ej publicerat material, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala
- [33] IPCC, 2007, Mitigation of climate change, Working group III report, IPCC fourth assessment report, IPCC.
- [34] Kide-panel, 2009, <http://www.proffsprodukter.se/nyaSidan2005/Prislistor/KYL-%20&%20FRYSRUM/KIDE2005.pdf>
- [35] Huan Z., 2008, Energy opportunities in food cold chain, <http://active.cput.ac.za/energy/web/ICUE/DOCS/337/Paper%20-%20Huan%20Z.pdf>
- [36] Den svenska elens miljöpåverkan, 2010, Svensk Energi, Stockholm
- [37] Baky, A. och Nordberg, U. 2008, Energianalys av insamling av torkat matavfall jämfört med konventionell insamling av matavfall - Ett projekt utfört på uppdrag av Smedlunds Miljösystem AB, JTI uppdragsrapport, JTI, Uppsala

- [38] RVF, Utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall, Bilaga 1: Teknisk utvärdering av rötningsanläggningar, RVF Utveckling 2005:06 (RVF är numera Avfall Sverige).
- [39] [www.vaxtkraft.se](http://www.vaxtkraft.se)
- [40] Aarsrud, P., Bisailon, M., Hellström, H., Henriksson, G., Jakobsson, E., Jarlsvik, T., Martinsson, U., Jensen, C., Johansson, L.-G., Kanerot, M. Ling, L., “Förädling av rötrest från storskaliga biogasanläggningar”, rapport WR 20.
- [41] Wesnes, M., Wenzel, H., 2009, Life Cycle assessment of Slurry Management Technologies, University of Southern Denmark
- [42] Maskinkostnader 2008, HIR Malmöhus län
- [43] Johansson, S. 1999. Energianvändning i mjölkproduktion. Uppdragsrapport. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- [44] Wäppling-Raaholt, B. and T. Ohlsson (2009). Influence of Food Geometry and Dielectric Properties on Heating Performance. Development of Products and Packages for Microwave Ovens. P. Pescheck and M. Lorence, Woodhead Publishing; 42 pp.



## 9 Bilagor

### 9.1 Luktbedömning

#### 9.1.1 Ingående prover/material till luktbedömningarna

Lufttorkat matavfall från hushåll lagrades i konstantrum vid temperatur +15°C och luftfuktighet 40 % RH på SIK, med start i december 2008.

- 1-månadsprov (flyttat till -70 °C i januari 2009)
- 6-månadsprov (flyttat till -70 °C i juni 2009)
- 11-månadsprov (flyttat till -70 °C i november 2009)

I figurer och tabeller i avsnittet om luktbedömningar i denna rapport betecknas dessa prover: G-T-1, G-T-6 respektive G-T-11.

Lämplig referens till det lufttorkade matavfallet från hushåll var material från Renova, då båda var biologiskt avfall från privata hushåll. Referensmaterial från Renova (här betecknat G-F-Pp-Fl) kom till SIK den 3 november 2009 och förpackades i portionspåsar (ca 40 ml). Därefter placerades även detta i -70 °C-boxen.

Det mikrovågstorkade materialet, vilket var matavfall från storhushåll, lagrades i konstantrum vid temperatur +15°C och luftfuktighet 40 % RH på SIK, med start i december 2008.

- 1-månadsprov (flyttat till -70 °C i januari 2009)
- 6-månadsprov (flyttat till -70 °C i juni 2009)
- 11-månadsprov (flyttat till -70 °C i november 2008)

I figurer och tabeller i avsnittet om luktbedömningar i denna rapport betecknas dessa prover: B-T-1, B-T-6 respektive B-T-11.

Referensmaterial till det mikrovågstorkade matavfallet var biologiskt matavfall från Borås Energi och Miljö. Båda materialen kom från storhushåll. Referensmaterial från Borås (betecknat B-F) kom till SIK den 9 november 2008 och förpackades i portionspåsar (ca 40 ml). Därefter placerades också detta i -70 °C.

#### 9.1.2 Utvärdering och sammanställning av respons vid luktbedömningar

På följande sidor finns den enkät som användes vid luktbedömningarna, samt kommentarer från konsumenter och anläggningsägare.

### 9.1.3 Enkät vid luktbedömningar

#### Luktbedömning

---

1. Tycker extremt illa om
  2. Tycker mycket illa om
  3. Tycker illa om
  4. Tycker något illa om
  5. Tycker varken bra eller illa om
  6. Tycker något bra om
  7. Tycker bra om
  8. Tycker mycket bra om
  9. Tycker extremt bra om
- 

Lukta på referensprovet. Markera på skalan vad du tycker om lukten.

Lukt

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Beskriv hur provet luktar \_\_\_\_\_

---

Bedöm därefter de proverna du serveras. Notera vilket provnummer du bedömer.

Prov nr: \_\_\_\_\_

Lukt

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Beskriv hur provet luktar \_\_\_\_\_

---

Prov nr: \_\_\_\_\_

Lukt

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Beskriv hur provet luktar \_\_\_\_\_

---

## 9.1.4 Konsumentkommentarer, matavfall från storhushåll

### Borås

Ammoniak o frukt  
Surt, gammalt industriavfall  
Syrligt, (äpple el päron) bortglömda  
Ganska behaglig lukt  
Kaffesump, köksavfall med inslag av trä  
Viss sopdoft, morots- potatisskal. Kaffesump  
Svag soprumsdoft  
Sur gammal disk, skurtrasa  
Sötlukt, ej påträngande  
Jästa äpplen i jordkällare  
Sådär  
Blöt kaffesump, köksavfall, kräk, sumpig, "våt"  
doft  
Gamla sopor, skal morot, potatis, äpple.  
Blött soprum  
Soppåse  
Olja blandad med rутten banan  
Soprumsdoft  
Mer illa än tidigare  
  
Våt kaffesump, kräk, dålig apelsin  
Grönsaker, gurka, krukväxtblad  
Soprum

### Gisip\_1

The, kaffesump  
Unket, ruttet, skämt matavfall  
kompost med matrester  
Ngt bättre  
Inslag av kaffe, jord, köksavfall o bark  
Djurfoder, avföring/spillning, lagård  
Svag lukt  
Frukt i torkad frukt  
Neutral lukt  
Ngt syrligt som rester av frukt  
  
Mer jord, gammal fuktighet  
Söt, betydligt angenämare.  
Svagt  
The o saft  
Söt-klibbig lukt, blir nästan illamående  
Påminner om grönsaker, växthus  
Starkare, illamående  
  
Svagare, kaffesump, rep, te, bark  
Kött, sökt, grillad med bbq-krydda  
Svagt  
Djurdoft

### Gisip\_6

Choklad  
Sötlukt, ngt tung  
Gammal kaffesump  
Ganska obehaglig  
Fylligare, te, kaffe, jord, torrt gräs  
Sött, djurfoder, (kanin) lagårdsstallet  
Matsal med panerad fisk  
Gamla thepåsar  
Mkt illaluktande, surt  
Planteringsjord med torvströ  
Ngt bättre  
  
Torr kaffesump, gräs, halm  
Djur/lagårdsdoft,  
Panerad fisk, torv  
Förmultnad frukt  
Lite gammalt, sötstarkt  
Gammalt snus  
Stark-illa  
  
Torr doft, rep, kaffesump, te, fränt  
Djurdoft, morot, sötma, fränt, urin  
Torv

### Gisip\_11

Jord, mylla, källare  
Stark ettrig lukt  
Unket som en källare  
Ganska obehaglig  
Kaffe, sur doft av torr bark, jord, te  
Viss sälta, mindre intensiv  
Choklad, söt  
Tung sötlukt  
Slaskpåsen under diskbänken  
Ganska starkt  
Kaffe, jord, te  
  
Djur, lagårdsdoft, men mer intensvt  
Panerad fisk o torv  
Gammal jord  
Nästan gott, julnötter  
Torvströ, torrt, lite syrligt  
Mer illa  
Kaffe, hampa rep, kaffesäck,  
Stark, ammoniak, djurfoder, betor,  
melass  
Torv

### 9.1.5 Konsumentkommentarer, matavfall från hushåll

Renova	Smed_1	Smed_6	Smed_11
Sura sopor	Mossa, gräs	Jord, sötaktigt	Lövkompost från fruktträd
Luktar gott, godis, sött	Lite illaluktande, ruttet, ngt åt kompost	Bärlukt, ngt fränt	Skog, neutrallukt
Tesump	Vissna förruttnade växter	Spya (surt)	Ngt fruktigt
Går bra att lukta en stund	Luktar inget speciellt	Obehaglig lukt	Samma obehagliga lukt
Våt doft, från te, matavfall, kaffesump	Papp, torrt gräs, halm, torr mossa	Från, te, torr, kaffesump, papp	Torr, rep av hampa, golvpapp, te
Vin, ättika, russin, gröna blad	Sågspån, träflis, putsdamm, trähus.	Gamla repstumpor, djurfoder	Djur, lagård, spillning
Ingrott soprum	Kaninbur, djuraffär	Gammal matsal	Gammal matsal
Jord, apelsin, citrusfrukt	Vedbod med torkade vedpinnar	Sötaktigt doft (ej mycket lukt)	Dammsugarpåse
Söt, nästan likör, för söt	Luktar illa, påminner om djurkadaver	Från påträngande, ruttna växter	Svag sötsur lukt, lite unket
Tepåse med fruktsmak i soppåse	Förruttnade växter i en kompost	Påminner om gamla bananskal	Vissna blommor
Obehaglig lukt	Lite obehaglig	Luktar illa	Ej det värsta, men luktar illa
Blöt kaffesump, från, te, matavfall, jordig	Papp, dammsugarpåse	Fuktig disktrasa, mull, te, fränt	Kaffesump, fränt, hamparep
Matavfall, surt, vin	Torrt trä, sågspån, slippots, trähus, ved	Djurfoder, trä	Djurfoder, ej så intensiv
Soprum	Djuraffär	Djuraffär, torkat hö	Torkat hö
Gammal soppåse	Kraftfodersilo för boskap, gräs, havre, kli	Som en fruktkompost	Som dammsugarpåse
Ruttande frukter, typisk kompost		Mkt illa, stickande kväljande lukt	Ej så illa, nästan som mentol
Syrligt, soppåse	Växthus, med vissna växter, ngt friskt	Surt som en gammal skurtrasa	Kompost
Stark lukt	Ngt bättre än de andra	Illamående	Stark, illa
Från, te, dålig apelsin	Torr papp, gräs.	Te, papp, dammsugarpåse	Blöt papp, kaffe, torr doft, från
Starkt, sopor dränkta i gammalt, dåligt vin	Virke, källare, lättfuktskada, mögel	Torkad spillning, får, foder, relativt intensiv	Doftar torkat kompost, hushållsavfall. Inslag av djur, trä, men mest torkad kompost
Blöt tepåse, kaffesump	Trädoftande	Torkat hö, persilja	Torkat hö, persilja
Surt soprum	Djuraffär, strö	Dammsugarpåse	
		Torr kaffesump	

### 9.1.6 Anläggningsägares kommentarer, matavfall från storhushåll

Borås	Gisip_1	Gisip_6	Gisip_11
-------	---------	---------	----------

Svag ättiksdoft	Svagt djurfoder (hundtorrfoder)	Svagt unket, lite från	Mild torrfoderdoft
Gammalt	Stickande karaktär	Gammal sophög som vänds upp	Svagt stickande
Fuktigt sågspån	Mer tjock o påtaglig lukt	Lite sötaktigt	Sticker ngt
Lite surt	Nästan luktlös	Lite fiskmat	Sur jord
Blöt tobak	Lite fiskdoft, "torrare"	Djurfoder	Fiskfoder o harspillning
Häst o kofoder	Svagt, lite unket	Fiskfoder o harspillning	Lite citron, lite unket
Surt lakvatten	Luktar lite	Unket	Luktar som grönsakskompost med krossat risflis
Grönsakskompost	Svagt syrlig, instängt	Krydda	Mkt svagt sur, torr jord
Svag ättiksdoft	Lik de andra proverna	Skarpt, unket	Ej stickande, men otäck
Ngt unken lukt	Lite ofärdig kompost	Kärv gammal doft	Luktar mkt
Surt o illa	Luktlös	Lite rått	Gammal unken jord
Gammal tobak i askfat	Fiskfoder o ensilage	Lite svag doft av unken jord	Fiskfoder o kompost
Kompost med lite hönsbajs	Blöt jord	Fiskfoder/ren o vått gräs	Lite unket
Surt avfallsanläggning	Nässpray effekt	Lite unket	Blöt hund
Halvstarkt pälsdjur	Söt, bränd	Torr djurpäls	Söt, instängd
Sötsur	Spya	Söt, instängd	Mindre unken
Ngt unken, lite söt	Något sur	Unken, otäck	Jord
Surt	En aning söt doft	Jord	Svag söt doft av jord
Söt doft (lik)	Torkat fiskfoder o malda insekter	Svag söt doft av jord	Mest fiskfoder o spillning
Vått gräs med lervatten	Lite surt, unket, gammalt svagt	Malda insekter o spillning	Svag, lite citrus
Mkt surt, unket, äckligt	Gamla fågelfrön	Unket	Nyttillverkad kompostjord
Blandkompost		Påminner om kaffeböner	

### 9.1.7 Anläggningsägares kommentarer, matavfall från hushåll

#### Renova

Sur komposthög  
Blöt jord från myrskog  
Surt  
Söt doft av jord  
Vanlig kompost som det regnat på  
Surt äckligt  
Mixad kompost med vatten  
Syrlig, skarp  
Surt  
Kompost jord  
Som ensilage  
Surt, unket, äckligt  
Komposthall  
Sur ättika  
Ngt söt  
Surt  
Sötsur doft av kompostering  
Kompost anl. På Marieholm  
Surt, unket, äckligt  
Torkade kryddor, med kompost

#### Smedlund\_1\_mån

Torr, fruktig  
Kväljande doft av mat och ruttet  
Spån i en kaninbur  
Torkad bark  
Torr, lite jord o lövdoft, torr kompost  
Frukt  
Som höbalar på lantgård  
Kryddig, frän men angenäm, gammal påse potpurri  
Ngt unken  
Gammalt hö  
Hamsterbur  
Lukt av gammal torv  
Som damm uppblandat med torkad kompost  
Torr buskage, lite kaffe, clementinskal  
Torkad hö  
Halm  
Unken  
Gammalt hö  
Något surt  
Grönt te + torra murkna löv  
Unket rum  
Torkat hö med sågspån

#### Smedlund\_6\_mån

Svagt kryddig, lite citron  
Blandsopa  
Använt spån i kaninburen  
Kardemumma  
Torr kompost  
Svagt äpple, dammsugare  
Torkad kompost  
  
Mild instängd garderob  
Ngt unken  
Kaninspån  
Gammal mulljord  
Som naturhistoriska muséet  
Instängt rum  
Ngt starkare lukt än förra  
"som hemma hos en gammal farbror"  
Mild ruttet doft  
Något surt  
Gammalt  
Gammalt o unket  
Lite unket  
Mögligt torkat gräs

#### Smedlund\_11\_mån

Kaninpellets  
Blandning av ngt illa o sött  
Gammal halm  
Kardemumma  
Torr kompost, lite fränare i doften  
Äpple, dammsugare  
Påminner om torkat gräs  
Torrfooder  
Ngt unken med "eftersmak" av spya  
Mer intensivt än innan  
Snus  
Uppstoppade djur  
Jordkällare, ngt unket  
Frukt  
Söt, unken  
Mild unken  
Som en hög med träflis  
Snus med sur doft  
Gammalt o unket  
Lite metall, lite citrus, damm  
Luktar gammalt jordgolv

## 9.2 Sammansättning av matavfall från storhushåll respektive hushåll

### 9.2.1 Modellrecept för matavfall från storhushåll

Receptet på modellavfall är baserat på JTI:s tidigare arbete inom sammansättningsanalys för denna typ av matavfall

Matavfall från storkök och restaurang.		Renhetsgrad:	100,0%	Renhetsgrad	99,1 %				
Huvudgrupp/ Undergrupp	Beredning	Vikt per 10 kg avfall gram	Andel %	Delandel %	Huvudgrupp/ undergrupp	Beredning	Vikt per 10 avfall kg gram	Andel %	%
Rotfrukter		292	2,92		Rotfrukter		292	2,89	
Morötter	Hela, skivade och skal	146		1,46	Morötter	Hela, skivade och skal	146		1,44
Palsternacka	Hela, skivade och skal	79		0,79	Palsternacka	Hela, skivade och skal	79		0,78
Rotselleri	Hela, skivade och skal	67		0,67	Rotselleri	Hela, skivade och skal	67		0,66
Potatis		1226	12,25		Potatis		1226	12,13	
Skal		159		1,59	Skal		159		1,57
Kokta	Skalade och oskalade	380		3,80	Kokta	Skalade och oskalade	380		3,76
Hela råa	Oskalade	270		2,70	Hela råa	Oskalade	270		2,67
Stekta i smör	417	4,17		Friterade, pommes frites	Stekta i smör	417		4,13	
Grönsaker		2181	21,79		Grönsaker		2181	21,58	
Tomat	Skivad	463		4,63	Tomat	Skivad	463		4,58
Gurka	Skivad	242		2,42	Gurka	Skivad	242		2,39
Isbergssallad	Skuren	1013		10,12	Isbergssallad	Skuren	1013		10,02
Gul lök	Skivad, hela bitar	463		4,63	Gul lök	Skivad, hela bitar	463		4,58
Frukt		2205	22,03		Frukt		2205	21,82	
Äpple	Skal, bitar och skruttar	265		2,65	Äpple	Skal, bitar och skruttar	265		2,62

Apelsin	Skal	1455	14,54	Apelsin	Skal	1455	14,40
Banan	Skal	485	4,85	Banan	Skal	485	4,80
	608	6,07				608	6,02
			Spannmålsprodukter				
Bröd, mjukt	Skivat	298	2,98	Bröd, mjukt	Skivat	298	2,95
Bröd, hårt	Bitar och skivor	109	1,09	Bröd, hårt	Bitar och skivor	109	1,08
Ris	Kokt	61	0,61	Ris	Kokt	61	0,60
Pasta	Kokt	140	1,40	Pasta	Kokt	140	1,39
Kött o fisk		789	7,88	Kött o fisk		789	7,81
Korv	Rå	243	2,43	Korv	Rå	243	2,40
Köttfärs	Stekt i smör	156	1,56	Köttfärs	Stekt i smör	156	1,54
Fiskbullar	Råa utan buljong	390	3,90	Fiskbullar	Råa utan buljong	390	3,86
Mejeriprodukter		436	4,36	Mejeriprodukter		436	4,31
Ost, hård	Riven och skalkar	394	3,94	Ost, hård	Riven och skalkar	394	3,90
Smör	Klickar	0	0,00	Smör	Klickar	0	0,00
Äggskal	Enbart skal	42	0,42	Äggskal	Enbart skal	42	0,42
Kaffe och te		1226	12,25	Kaffe och te		994	9,84
Kaffe	Sump	985	9,84	Kaffe	Sump	835	8,26
Te (lös vikt)	Sump	241	2,41	Te (lös vikt)	Sump	159	1,57
	735	7,34				967	9,57
			Pappersprodukter				
Hushållspapper	Delvis vått	629	6,28	Hushållspapper	Delvis vått	629	6,22
Kaffefilter	Delvis vått	106	1,06	Kaffefilter	Delvis vått	106	1,05
Tidningar	Torrt	0	0,00	Tidningar	Torrt	232	2,30
Blommor		312	3,12	Blommor		312	3,09
Jord, stjälkar, blad	Blandat växtavfall	312	3,12	Jord, stjälkar, blad	Blandat växtavfall	312	3,09
Felsorterat		0	0,00	Felsorterat		95	0,94
Wellpapp	Torrt förpackningspapp	0	0,00	Wellpapp	Torrt förpackningspapp	35	0,35
Plast	Mjukplast	0	0,00	Plast	Mjukplast	30	0,30
Övrigt	Metallkapsyl, bestick	0	0,00	Övrigt	Metallkapsyl, bestick	30	0,30



Summa	10010	100,0	100,0	Summa	10105	100,0	100,0
Strömmaterial	250	2,50		Strömmaterial	250	2,50	

## 9.2.2 Undersökning av sammansättning av matavfall från storhushåll resp. hushåll

Sammansättningsanalys av matavfall från storhushåll respektive hushåll har genomförts av JTI och beskrivs kortfattat i följande avsnitt.

### Bakgrundsinformation

- Sorteringsinformation från Borås Energi och Miljö samt Renova:
  - vad får läggas i fraktionen matavfall och vad är inte tillåtet att lägga i den fraktionen, ur funktion- och kvalitetshänseende?
- Gränser för vad som fungerar processtekniskt för mikrovågsvakuumtorkning respektive lufttorkning:
  - vad får läggas i matavfallet och vad får inte blandas med matavfallet ur funktions- och kvalitetshänseende?

### Utförande

JTIs mall för sammansättningsanalys användes i projektet.

Inför varje torkning dokumenterades hur avfallet ser ut, enligt följande mall:

- Anteckna vilken sorts matavfall det är, hur det är blandat (t ex om det är huvudsakligen köttrester, fiskrester, grönsaker etc.)
- Väga hela mängden och räkna bort emballagevikten.
- Ta bort sådant som inte kan föras in i maskinen på grund av funktionsbegränsningar
- Anteckna vilken typ avfall som tas bort och väg de olika kategorierna.
- Ange vikten på det matavfall som slutligen torkas.
- Ta ut ett prov på det råa avfallet, ca 3 kg, som förvaras fryst tills det sänds till JTI för analys av biogaspotential mm. Proverna märks med datum och sort.

Vid några fördjupade analystillfällen, förslagsvis tre tillfällen, studeras materialet mer ingående. Då genomförs en regelrätt sammansättningsanalys av vad som lagts rätt och fel enligt givna sorteringsinstruktioner. (Se Tabell 28 och Tabell 29).

*Tabell 28. Sorteringsguide, Borås (Borås Energi och Miljö):*

*Table 28 Guidelines for sorting waste from food establishments, Borås (Borås Energi och Miljö)*

Rätt/Fel	Typ	Kommentar
Rätt	Matavfall	
	Fruktrester	
	Fiskrester	
	Köttrester	Ej större benrester
	Grönsaksrester	
Fel	Papper o pappförpackningar	Tidningspapper, wellpapp, pappersförpackningar
	Plastförpackningar	Hårdplast
	Glasförpackningar	Ofärgat glas, färgat glas
	Metallförpackningar	Förpackningar av metall
	Farligt avfall	El- och elektronikavfall, kemikalier, hushållsbatterier
	Organiska rester	Tepåsar, tesump, kaffesump, blomjord, trädgårdsavfall
	Brännbart avfall	Mjukplast, större benrester, blöjor, fimpar, dammsugarpåsar,
	Övrig metall	Metallskrot
	Övrigt avfall	Keramik, sten o grus, kattsand,



Tabell 29. Sorteringsguide, Göteborg (Renova)

Table 29 Guidelines for sorting waste from households, Göteborg (Renova)

Rätt/Fel	Typ	Kommentar
Rätt	Matavfall	
	Fruktrester	
	Fiskrester	
	Köttrester	
	Grönsaksrester	
Fel	Papper o pappförpackningar	
	Plastförpackningar	
	Glasförpackningar	
	Metallförpackningar	
	Farligt avfall	
	Organiska rester	
	Brännbart avfall	
	Övrig metall	
	Övrigt avfall	

Källsorteringsinstruktionerna till hushållen var likartade i Göteborg och Borås, varför projektgruppen beslutade att utgå från en gemensam mall för sammansättningsanalys. Analysen för renhetsgrad utfördes därför på samma sätt oavsett om matavfallet kom från Göteborg eller Borås.

### 9.3 Torkning av matavfall från storhushåll

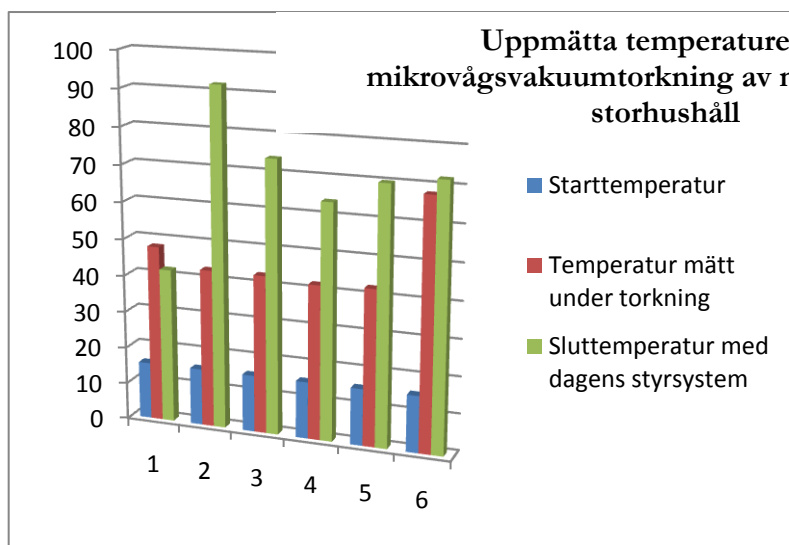
#### *Mikrovågsbehandling av material – en kort introduktion*

Mikrovågor är elektromagnetiska vågor som alstras inom frekvensområdet ca 300 MHz - ca 300 GHz, vilket motsvaras av våglängder mellan cirka 1 m och 1 mm. I en vanlig mikrovågsugn används normalt frekvensen 2450 MHz. I atmosfären utbreder sig mikrovågor med ljusets hastighet och reflekteras inte av jonisfären. De sprids och dämpas däremot effektivt av icke ledande material, särskilt fuktiga sådana. Förmågan hos olika produkter att absorbera mikrovågor beror på att mikrovågor kan absorberas av vatten och andra dipoler, men även joner i lösning bidrar. Jonerna, i form av salt i vanliga livsmedel som värms i en mikrovågsugn, bidrar med ungefär hälften av energiabsorberingen. För någorlunda stora livsmedel absorberas mikrovågorna successivt från ytan och inåt, ända ned till ca 10 cm vid frekvensen 2450 MHz [16], [8]. Beroende på livsmedlets geometri och dimensioner kan även andra värminningsfenomen inträffa, t ex övervärmning av kanter och hörn, och fokuseringseffekter av rundade och sfäriska föremål [16], [17]. Därför blir värminningsprocessen annorlunda än vid konventionell uppvärmning, där energiabsorptionen endast leds utifrån och inåt. När livsmedel värms med mikrovågor, är det i huvudsak vattnet i livsmedlet som värms. Den selektiva värmningen i kombination med mikrovågornas djupverkande värmning gör att temperering, tining, värmning, pastörisering, beredning och torkning etc. kan ske betydligt snabbare än med konventionell uppvärmningsteknik.

#### 9.3.1 Temperatur-tidförlopp vid mikrovågsvakuomtorkning av modellavfall

Figur 35 visar uppmätta temperaturer före, under samt efter mikrovågsvakuomtorkning enligt Gisips metod [2], baserat på temperaturmätningar vid 6 upprepade körningar av processen (torkning av 15 kg modellavfall, 0.25 kg träpellets per sats). Temperaturerna i det torkade materialet före torkning ligger vid 15.5°C (medelvärde; standardavvikelse 1.1°C). De röda staplarna i diagrammet visar temperaturen under torkning, medan de gröna staplarna illustrerar sluttemperaturen i materialet efter processens gång. Den befintliga processen för mikrovågsvakuomtorkning [2] har ett styrsystem om inte använder uppmätt temperatur i det torkade materialet som givarsignal. Sluttemperaturen i det torkade materialet kan därför skilja relativt mycket mellan olika torkningsförsök även om samma

mängd material torkas. Skillnaden i sluttemperatur i materialet blev upp till 50°C, mellan 6 olika replikatmätningar. Sluttemperaturens medelvärde var 69°C, med standardavvikelse 16°C, och de uppmätta sluttemperaturerna vid mätningarna var: 42, 64, 70, 72, 74 och 92°C med det befintliga styrsystemet. Denna spridning i temperatur måste åtgärdas för att processen ska kunna användas för hygienisering av matavfall som innehåller ABP-material.



Figur 35. Temperaturutvecklingen i matavfall från storhushåll, under mikrovågsvakuomtorkning i Gisips Biotork, för 6 replikatkörningar av processen.

Figure 35. The temperature development in food waste from food establishments during microwave assisted vacuum drying in Gisip's Bio-drier, for 6 replicate runs of the process.

I bilaga 9.3 beskrivs förfarandet vid torkning av modellavfall i den befintliga processen [2], där modellavfallet bereddes enligt recept i Bilaga 9.2.1. I denna process kan mängden matavfall som torkas vid ett tillfälle skilja sig relativt mycket från den mängd som torkas vid ett annat tillfälle. Materialsammansättningen varierar också i högre grad för matavfall från storhushåll, jämfört med matavfall från hushåll.

### 9.3.2 Temperaturmätningar vid mikrovågsvakuomtorkning av matavfall från storhushåll

Dokumentation från mikrovågsvakuomtorkning av verkligt avfall (i november 2008) samt av modellavfall (mars 2009) följer nedan.

#### *Mikrovågsvakuomtorkning av matavfall från storhushåll*

Matavfall från storhushåll samlades in på Borås Sjukhus och placerades i plastpåsar i fyra gröna soptunnor. Materialet mikrovågsvakuomtorkades i Gisips lokaler i Skultorp den 12-13 november 2008 i två stycken Biotorkar, typ 401. Vid torkningen styrs processen av det befintliga styrsystemet, vilket inte innefattar temperaturmätning i materialet som torkas. Däremot ingår data från kondensvattnets temperaturgivare i styrsystemets återkopplingsloop. För att skapa en uppfattning om temperaturutvecklingen i materialet i samband med torkning i den befintliga anläggningen, mättes materialets temperatur av Gisip före torkning samt efter torkning. Dessutom gjordes upprepade torkningsförsök där temperaturen mättes i materialet efter viss torktid för att få fler mätpunkter i materialet. Vid de sistnämnda mätningarna avslutades torkningsprocessen i förtid, för temperaturmätning i materialet (se Tabell 30).

Vid detta tillfälle kördes två stycken BioTork-utrustningar parallellt enligt Tabell 30.

Tabell 30. Uppmätta temperaturer och viktförändringar vid torkning i Gisip's process

Table 30. Measured temperature and weight decrease of dried material in Gisip's process

Torkning nummer	Maskin	Torkningstid	Vikt före torkning (kg)	Vikt efter torkning (g)	Temperaturer (tid)	Temperatur efter torkning
1	1	4 h 4 min	20,4 (+300 g träpellets)	6060	48°C (92 min)	57°C
2	2	3 h 15 min	16,7 (+300 g träpellets)	5260	50°C (1 h 41 min)	52°C
3	1	Mättes ej då maskinen gick under kvällen/natten	13,2 (+300 g träpellets)	3860	Mättes ej	Mättes ej
4	2	Mättes ej då maskinen gick under kvällen/natten	15,2(+300 g träpellets)	4164	Mättes ej	Mättes ej
5	1	2 h 35 min	12,8 (+300 g träpellets)	4356	Mättes ej-	75 °C
6	2	2 tim 33 min	12,8 (+300 g träpellets)	4414	Mättes ej-	82 °C
7	1	Mättes ej då maskinen gick under kvällen/natten	18,9 (+300 g träpellets)	4444	Mättes ej-	Mättes ej-
8	2	Mättes ej då maskinen gick under kvällen/natten	17,7 (+300 g träpellets)	4140	Mättes ej	Mättes ej

**Inför torkning nr 3 och 4:** 6,89 kg felsorterat material plockades bort (blomjord + 225 g förpackningsmaterial). Två påsar med matavfall (3 kg + 2 kg) frystes in som referens.

**Inför torkning nr 5 och 6:** 5,20 kg felsorterat material plockades bort (blomjord)). En påse med matavfall (1 kg) frystes in som referens.

**Inför torkning nr 7 och 8:** 6 g felsorterat material plockades bort (plastlock). En påse med matavfall (1 kg) frystes in som referens. Matavfallet är mycket fett. Innehållet var till stor del fläsktärningar.

### *Mikrovågsvakuomtorkning av modellavfall som efterliknar matavfall från storhushåll*

**Dagens process för mikrovågsvakuomtorkning,** beskriven av Gisip AB, 2009-03-27  
**Avfallets sammansättning:** Se recept enligt Bilaga 9.2.1.

**Plats och tidpunkt:** Gisip, Skultorp den 25, 26, 27 mars 2009.

**Torkutrustning:** Biotork 401: 3kW mikrovågseffekt.

#### **Beredning av avfallet:**

Materialet inköptes i lokala affärer eller från lokal restaurang (kaffesump, pommes frites). Materialet tillreddes sedan hos Gisip (stekning, kokning, skalning, pressning, delning). Efter invägning av de olika fraktionerna sönderdelades materialet i en sönderdelare. Därefter spreds materialet på en presenning där det blandades. Materialet delades sedan upp i följande satser: 2 st 10 kg säckar som frystes in, 2 st 15 kg säckar som ympades (vikten var 15 kg + 14,5 kg) samt 4 st 7,5 kg säckar som ympades.

**Utförande:** I projektet ingick endast mikrovågsvakuomtorkning i Biotorken. Gisip gjorde dock även några ytterligare försök på eget initiativ i den s. k. ”tombolatorken”. De senare försöken finns återgivna endast för att illustrera att resultaten kan variera mellan utrustningar av olika modeller (olika ugnsdesign). Beskrivningarna av torkningsförsöken i Tombolatorken har därför markerats med kursiv text här nedanför.

*Tabell 31. Uppmätta temperaturer och viktförändringar vid torkning (mars 2009)*

*Table 31. Measured temperatures and weight changes during drying, (mars 2009)*

Torkning nummer	Torkningstid	Vikt före torkning (kg)	Vikt efter torkning (g)	Temperaturer (tid)	Temperatur efter torkning
4	3 h 23 min	15 (+375 g träpellets)	4320	59°C (1 h 24 min)	101°C
5	3 h 2 min	14,5 (+375 g träpellets)	4185	55°C (2 h 25 min)	76°C
6	1 h 45 min	7,5 (+188 g träpellets)	2278	52°C (50 min)	53 °C
<i>1</i>	<i>3 h 44 min</i>	<i>7.5 (Tombolatork)</i>	<i>1992</i>	<i>55 °C (3 h)</i>	<i>61°C.</i>
<i>2</i>	<i>3 h 41 min</i>	<i>7.5 (Tombolatork)</i>	<i>2254</i>	<i>54 °C (1 h 45 min)</i>	<i>61 °C</i>
<i>3</i>	<i>3 h 47 min</i>	<i>7.5 (Tombolatork)</i>	<i>1910</i>	<i>54 °C (3 h 30 min)</i>	<i>67 °C</i>

### ***Gisips metod för mikrovågsvakuomtorkning i Biotork-anläggning***

#### **Gisips beskrivning av systemet för mikrovågsvakuomtorkning**

Torkningen i Biotork-anläggningen sker med mikrovågor i kombination med vakuum. Sluttemperaturen på materialet varierar mellan olika körningar, vilket beror på hur styrprogrammet är uppbyggt och vid vilket tryck torkningen sker. De temperaturer som mättes upp under torkningen bestäms av det undertryck som funnits i torkkammaren under körning. Temperaturen blir den som mättad vattenånga har vid olika tryck; trycket i sin tur bestäms av hur mycket vakuumpumpen klarar av att hålla nere trycket. Detta kan variera på grund av vakuumpumpens kondition, kondensorns förmåga att kondensera vattenånga och eventuellt läckage av luft in till torkkammaren.

Sluttemperaturen i materialet bestäms av hur länge torkningen fortsätter efter att materialet är ”torrt”. Avstängningstidpunkten beror på hur stor mängd vattenånga per tidsenhet som kondenserats i kondensorn under tidigare skeden i torkprocessen. Om en stor mängd vattenånga avgår till kondensorn under något skede i torkprocessen kommer torkningen att avslutas då kondensorn fortfarande kondenserar ånga från processen.

Torken avslutar även torkprocessen om det uppstår driftfel på magnetroner eller omrörarmotor. Driftfel uppstod inte vid körningarna i projektet.

Det finns även en möjlighet att koppla en dator till torken och se de olika värdena under processen, så att man exakt ser vad som avbryter torkningen.

#### **Driftvillkor för Biotork 401**

Torken styrs med tre temperaturgivare, en placerad efter kondensorn (T0), en placerad före kondensorn (T1), och en i botten på behandlingskärlet (T2). Det finns fyra övervakningsloopar i styrprogrammet:

- En första loop, ÖV1, som kontrollerar kontakter och motorskydd till omrörarmotor.

- En andra loop, ÖV2, som kontrollerar kabelbrott på T0 och T1 och övertemperatur på T2 genom  $5 < T_0, T_1, T_2 < 60$ .
- En tredje loop, ÖV3, som kontrollerar driftsvaren från magnetronerna.
- En fjärde loop, ÖV4, som kontrollerar driftvillkoret Deltamax-  $\Delta t < 3$   
 $\Delta t = T_0 - T_1$ . Deltamax = Det högsta  $\Delta t$  värdet.

Styrsystemets behandling av temperaturvärdena:

Mäts var 10:e sekund, med 0,1 grads noggrannhet i mätningarna. Det krävs 6 st lika värden för att sätta nytt Deltamax. Deltamax räknas fram utifrån ett avrundat  $\Delta t$  till heltal ÖV1 och ÖV2 startar efter 150 sekunder. ÖV2 och ÖV4 startar efter 450 sekunder.

Torken är även utrustad med en vakuumvakt och en luckbrytare i locket som är kopplade till var sitt säkerhetsrelä. Omrörarmotorn är förreglad över säkerhetsreläet för luckbrytaren och magnetronerna är förreglade över säkerhetsreläet för vakuumvakten.

Om driftvillkoren i övervakningslooperna inte uppfylls går styrprogrammet till en avslutningstakt som varar i 600 sekunder. Magnetronerna är då avstängda, men vakuumpump och omrörarmotor går. Syftet är att materialet ska svalna och eventuell glöd slockna innan luckan öppnas och syre släpps in.

Exempel: Om Deltamax=15, avslutas torkningen då  $\Delta T$  blir 12 eller mindre (Driftvillkoret Deltamax- $\Delta t < 3$  uppfylls inte längre).

Torkningen avslutas också då T2 (tempgivaren i bottenplattan) visar 60 °C eller mer. Det kan inträffa om vakuumpumpen inte klarar att hålla nere trycket under torkningen.



## 9.4 Återvätning av torkat matavfall, underlag för resultat

Två försöksserier genomfördes, försöksserie 1 respektive 2, där återvätning av torkat material utvärderades enligt följande två avsnitt.

Den initiala TS-halten hos de torkade materialen var för lufttorkat matavfall från hushåll 94 %. Det lufttorkade matavfallet från hushåll var lätt, luftigt och relativt dammigt.

Den ursprungliga TS-halten för mikrovågstorkat matavfall från storhushåll var 96 %.

Det mikrovågstorkade matavfallet från storhushåll var fetare, ganska kompakt, och innehöll en hel del klumpar.

### 9.4.1 Tillvägagångssätt vid utvärdering av återvätning

#### Försöksserie 1

Återvätningen har i försöksserie 1 utförts vid 25°C med vanligt kranvatten (pH-värde 7).

Vid återvätningsförsök enligt försöksserie 1 blandades 10 g torrt matavfall försiktigt med 100 g vatten och blandningen fick sedan stå i ca 20, 45, 120 respektive 300 minuter. Under blötläggningen rördes blandningen om då och då. Blandningen hälldes sedan genom ett grovt nät och det blöta materialet fick stå och droppa av ca 3-5 minuter. Det blöta materialet och den avrunna vätskan vägdes sedan var för sig. Vätskans TS-halt bestämdes genom att blanda vätskan väl och ta ut ett prov som sedan torkades i värmeugn vid ca 80°C och 100 mmHg över natten. Tre återvätningsförsök utfördes för varje material och tid. För varje återvätning har TS-halten på vätskan analyserats i duplikat.

#### Försöksserie 2

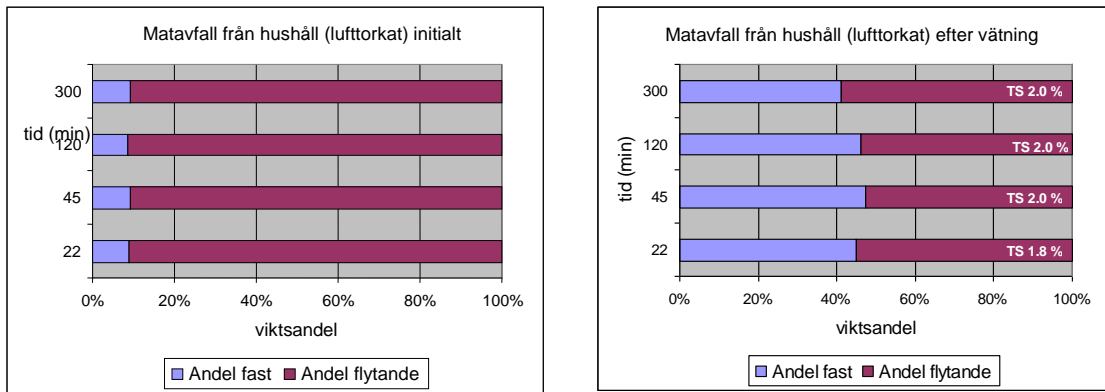
Återvätningsförsök enligt försöksserie 2 genomfördes med samma metodik som föregående försöksserie men med den skillnaden att

- temperaturen på vattnet, som det torkade materialet blandades med, justerades till 35°C genom temperering i cirka 1 timme (vanligt kranvatten med pH-värdet 7).
- försöken därefter upprepades för vatten vars pH-värde justerats till 4,5 med HCl.

Materialet blandades vid återvätningsförsöken försiktigt med vatten och fick sedan stå i ca 20, 45, 120 och 300 minuter i 35° vattenbad. Under blötläggningen rördes blandningen om med jämna mellanrum (var 5:e minut). Blandningen hälldes sedan på samma sätt som för föregående försöksserie genom ett grovt nät och det uppblöta materialet fick stå och droppa av ca 3-5 minuter. Därefter vägdes det blöta materialet och vätskan var för sig. Återvätningsförsöken har utförts med 3 replikat för respektive typ av material och tid. TS-halten på vätskan bestämdes på samma sätt som för försöksserie 1.

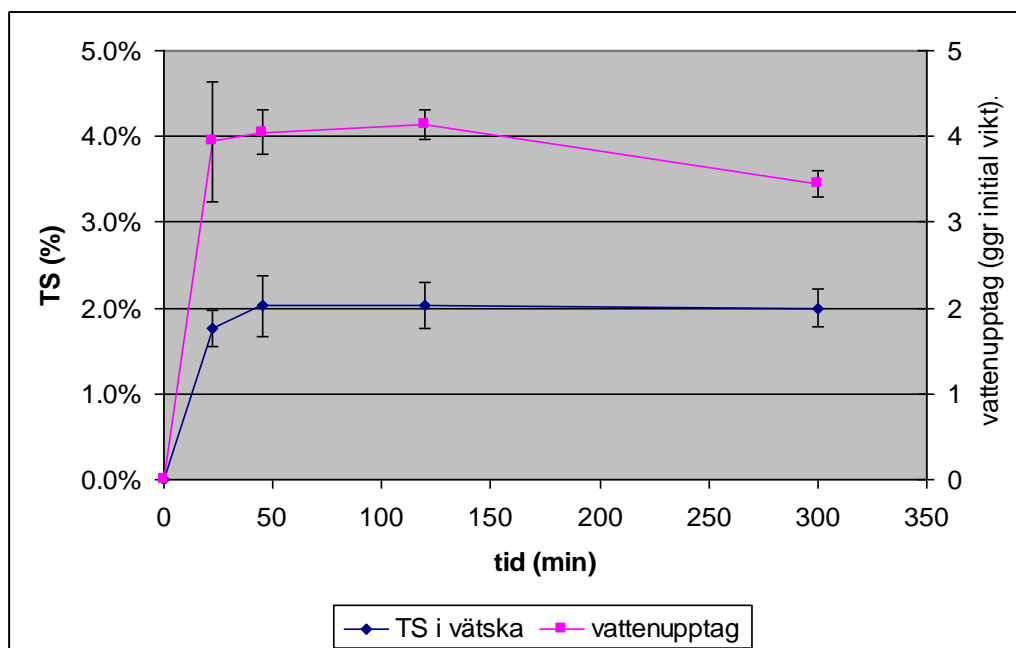
#### 9.4.1.1 Sammanställning av resultat, försöksserie 1

Dessa återvätningsförsök har genomförts med kranvatten (25°C, pH-värde 7). Torrsubstanshalten betecknas TS i diagrammen (se Figur 36 - Figur 39). Figur 36 illustrerar viktandelen fast respektive flytande material hos matavfall från hushåll, initialt respektive efter vätning. Figur 37 visar vattenupptaget hos materialet samt förändring av TS-halten i vätskan som rinner av vid silning. I Figur 38-Figur 39 visar motsvarande mätresultat för mikrovågsvakuumtorkat matavfall från storhushåll.



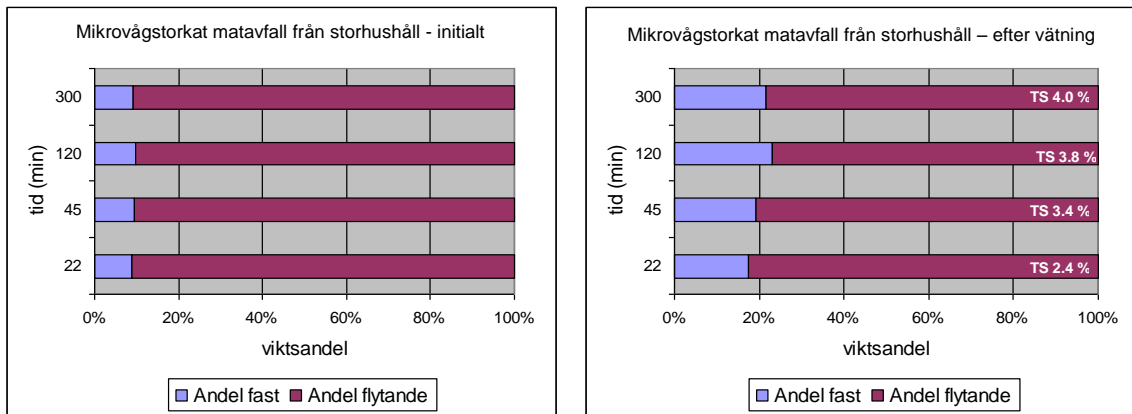
Figur 36. Andel fast och flytande material före respektive efter vätning för lufttorkat matavfall från hushåll (25 °C, pH 7).

Figure 36. Percentage solid and fluid material, before and after rehydration of air-dried food waste from households, respectively (25 °C, pH 7).



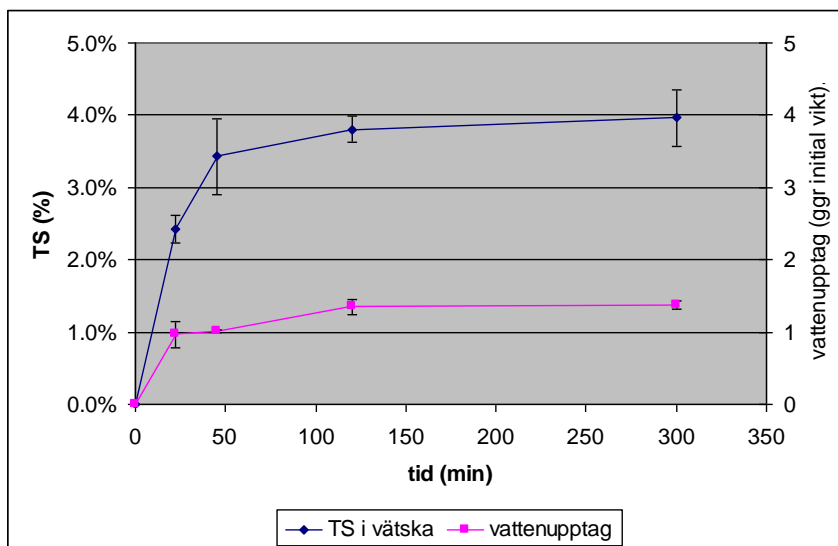
Figur 37. Vattenupptag hos materialet (rosa) och förändring av TS-halt i vätskan som rinner av vid silning (blå), (25 °C, pH 7).

Figure 37. Percentage of absorbed water (pink), and change of dry matter content in the fluid which runs during sieving, (25 °C, pH 7).



Figur 38. Andel fast och flytande material före respektive efter vätning för mikrovågsvakuumtorkat matavfall från storhushåll (25 °C, pH 7).

Figure 38. Percentage of solid and fluid material, before and after rehydration, respectively, of microwave vacuum dried food waste from food establishments (25 °C, pH 7).



Figur 39. Vattenupptag hos det mikrovågstorkade (materialet (rosa) och förändring av TS i vätskan som rinner av vid silning (blå)

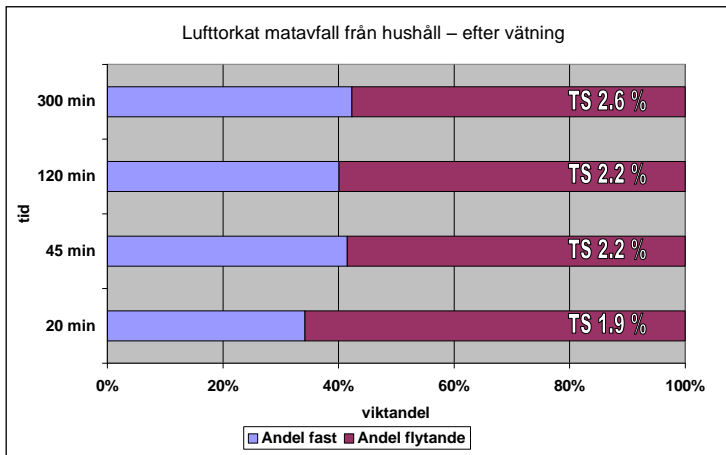
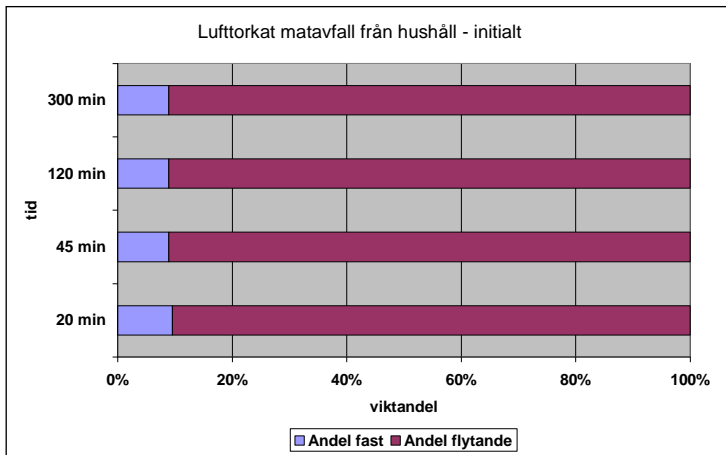
Figure 39. Percentage of absorbed water of the microwave vacuum dried material (pink), and change of dry matter content in the fluid which runs during sieving.

#### 9.4.1.2 Sammanställning av resultat, försöksserie 2

Dessa återvätningsförsök har genomförts dels med 35-gradigt vatten (vars pH-värde ställts till 4,5 med saltsyra), dels med 30-gradigt vatten (vars pH-värde var 7 (kranvatten)).

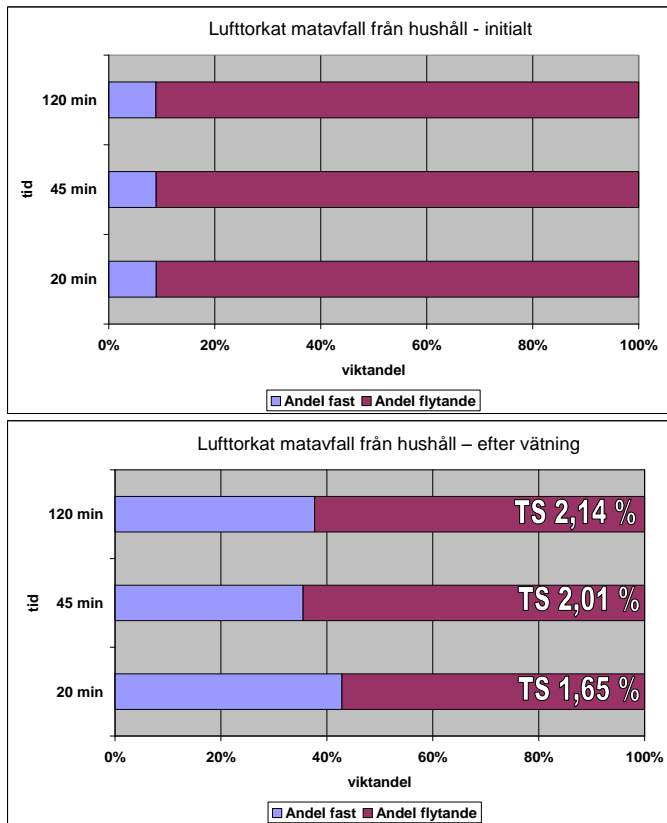
#### 9.4.2 Lufttorkat matavfall från hushåll

I Figur 40 och Figur 41 nedan åskådliggörs vattenupptaget grafiskt. Initialt utgjorde den fasta delen knappt 10 % av totalvikten. Efter upptag av vatten samt efter avrinning har den fasta delen ökat i vikt. I nedre delen av figurerna 16 och 17 åskådliggörs även hur stor mängd av det fasta avfallet som återfinns i den avrunna vätskan. Ökningstakten gick snabbt i början men avtog nästan helt efter 45-minutersavläsningen. Figur 42 och Figur 43 illustrerar att vattenhalten som materialet uppnår efter 45 minuter hamnar på drygt 20 %. Det lufttorkade materialet tar upp vatten till ca 3,5 gånger sin egen vikt vid en initial TS-halt på 94 %.



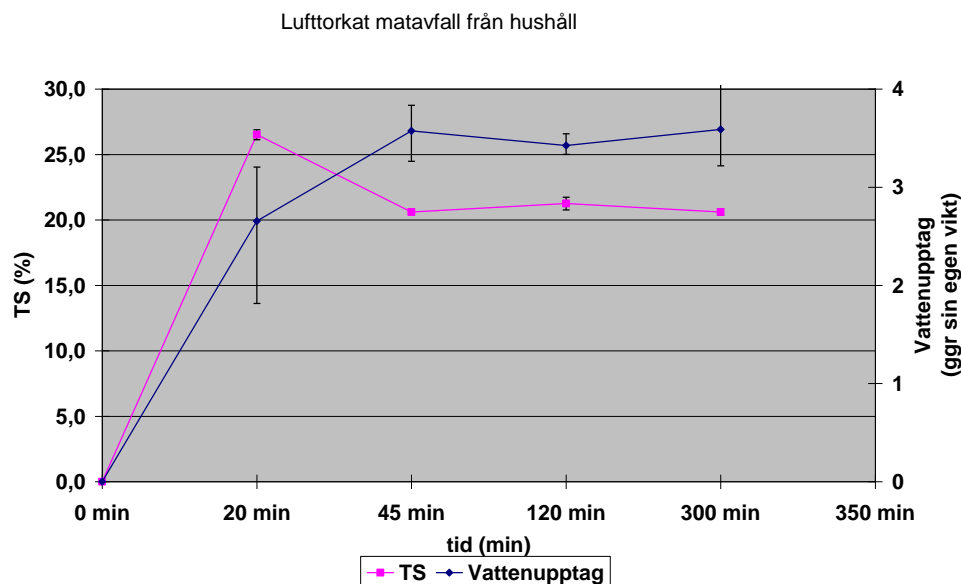
Figur 40. Andel fast och flytande material före respektive efter vätning för lufttorkat matavfall från hushåll i försöksserie 2a (vatten med temperatur 35°C och pH-värde 4.5).

Figure 40. Percentage of solid and fluid material before and after rehydration respectively, for air-dried food waste from households in measurement series 2a (water with temperature 35°C and pH value 4.5).



Figur 41. Andel fast och flytande material före respektive efter vätning för lufttorkat matavfall från hushåll i försöksserie 2b (vatten med temperatur 30°C och pH-värde 7).

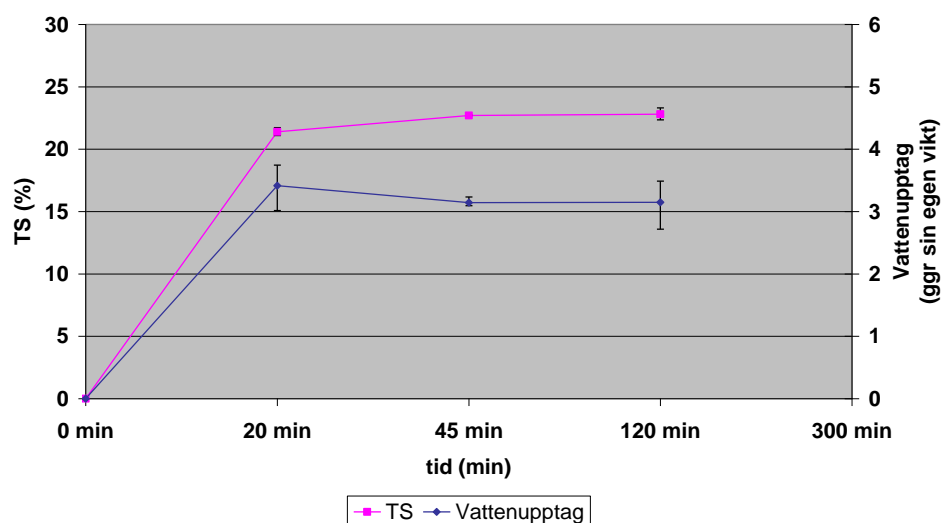
Figure 41. Percentage of solid and fluid material before and after rehydration respectively, for air-dried food waste from households in measurement series 2b (water with temperature 30°C and pH value 7).



Figur 42. Vattenupptag hos materialet (blå) och förändring av TS i det dränerade materialet (rosa) i försök 2a

Figure 42. Percentage of absorbed water of the material (blue), and change in dry matter content in the drained material (pink) in measurement series 2a.

#### Lufttorkat matavfall från hushåll - vattenupptag



Figur 43. Vattenupptag hos materialet (blå) och förändring av TS i det dränerade materialet (rosa) i försöksserie 2b

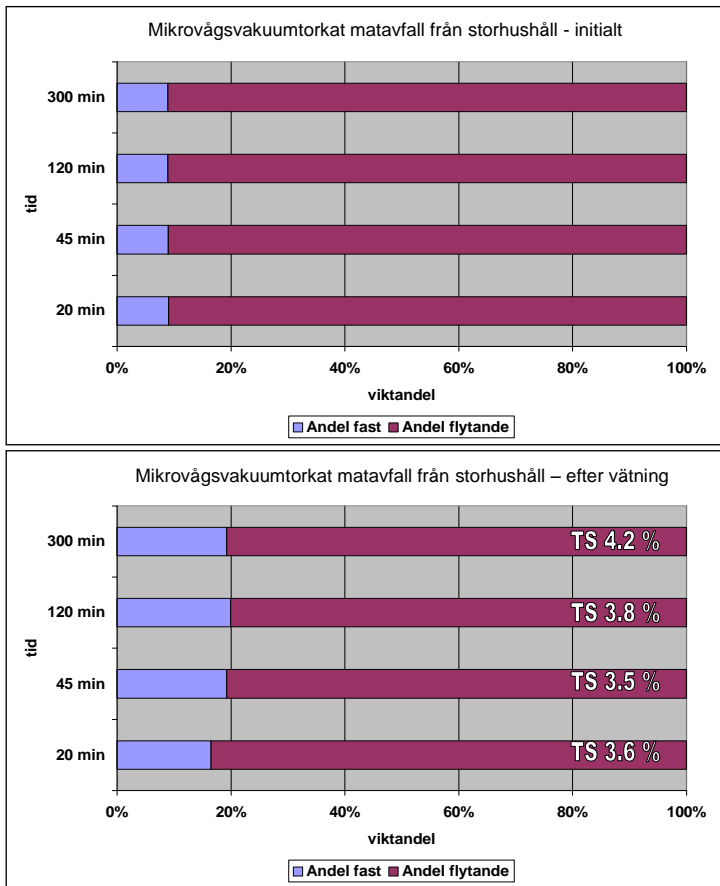
Figure 43. Percentage of absorbed water of the material (blue), and change of dry matter content in the drained material (pink) in measurement series 2b.

#### 9.4.3 Mikrovågsvakuomtorkat matavfall från storhushåll

I Figur 44 och Figur 45 nedan åskådliggörs vattenupptaget grafiskt. Initialt utgjorde den fasta delen knappt 10 % av totalvikten. Efter upptag av vatten samt efter avrinning har den fasta delen ökat i vikt men betydligt mindre än för det lufttorkade materialet.

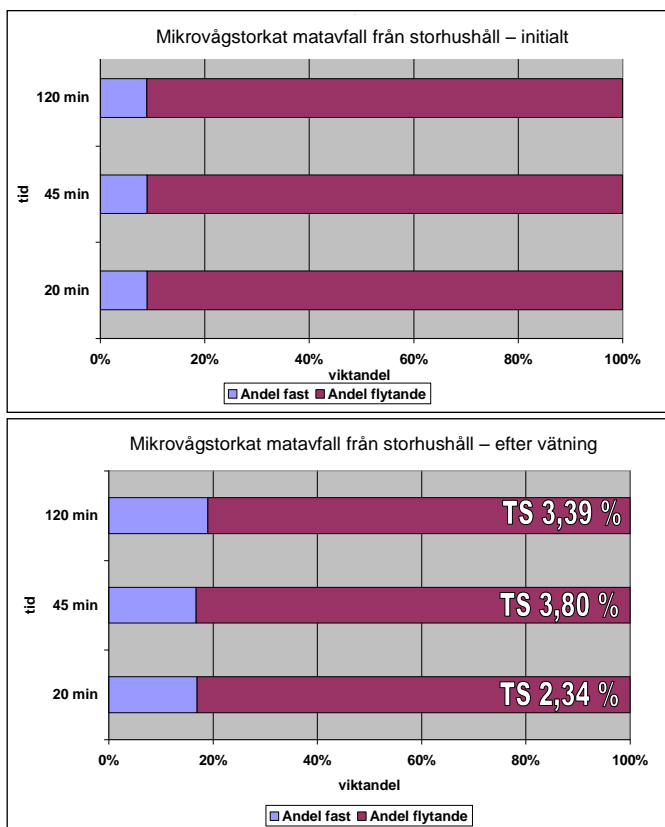
I nedre delen av figurerna 44-45 åskådliggörs även hur stor mängd av det fasta avfallet som återfinns i den avrunna vätskan. Ökningstakten gick snabbare i början och avtog nästan helt efter 45-minuter. Det är dock stor skillnad mellan de båda jämförda materialen, vid vilken vattenhalt upptaget avtar. I figurerna 46-47 finner vi att TS-halten som materialet uppnår efter 20 minuter hamnar på drygt 50 % för att långsamt sjunka ner till ca 44 % allt eftersom mer vatten tas upp. Det mikrovågstorkade materialet tar bara upp vatten till sin egen vikt vid en initial TS-halt på 96 % och aktuell försökstid på max 300 minuter.

För båda materialen kan konstateras att det endast finns en marginell skillnad mellan resultaten med avseende på återvätningsgrad för försöksserie ett och två. Det betyder att vattnets egenskaper inte spelar någon avgörande roll för takten eller storleken på vattenupptaget i materialen. Nämnas kan även att ungefär dubbelt så mycket fast material följer med vattnet från det mikrovågstorkade materialet jämfört med det lufttorkade.



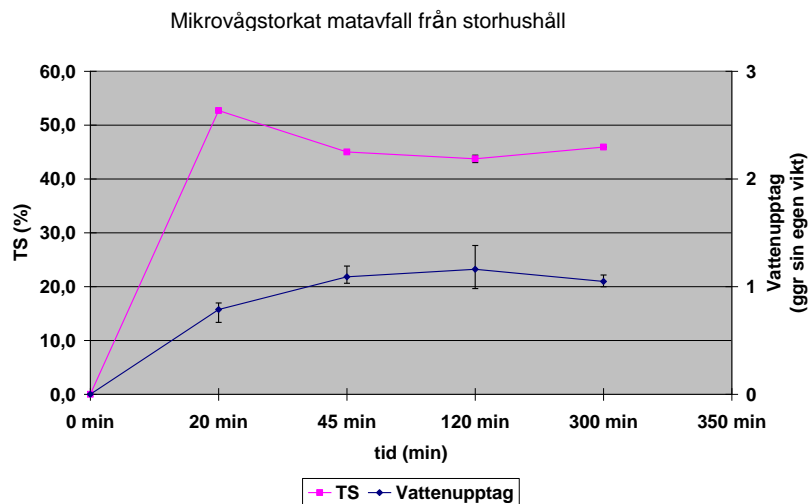
Figur 44. Andel fast och flytande material före respektive efter vätning för mikrovågstorkat matavfall från storhushåll i försöksserie 2a (vatten med temperatur 35°C och pH-värde 4.5).

Figure 44. Percentage of solid and fluid material before and after rehydration respectively, for microwave vacuum-dried waste from food establishments in measurement series 2a (water with temperature 35°C and pH value 4.5).



Figur 45. Andel fast och flytande material före respektive efter vätning för mikrovågstorkat matavfall från storhushåll försöksserie 2b (vatten med temperatur 30°C och pH-värde 7).

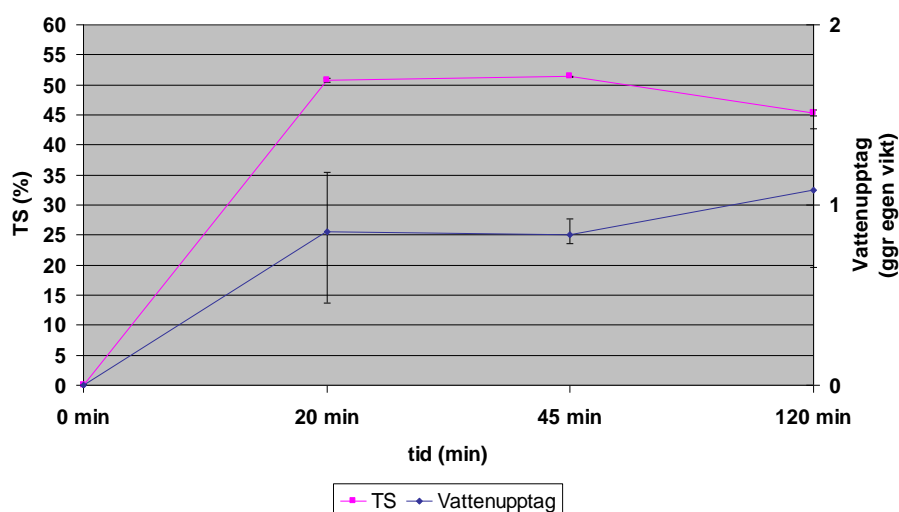
Figure 45. Percentage of solid and fluid material before and after rehydration respectively, for microwave vacuum-dried waste from food establishments in measurement series 2b (water with temperature 30°C and pH value 7).



Figur 46. Vattenupptag hos det mikrovågsvakuumtorkade materialet (blå) och förändring av TS i det dränerade materialet (rosa) i försök 2a (vatten med temperatur 35°C och pH-värde 4.5).

Figure 46. Percentage of absorbed water of the microwave vacuum dried material (blue), and change in dry matter content in the drained material (pink) in measurement series 2a (water with temperature 35°C and pH value 4.5).





Figur 47. Vattenupptag hos materialet (blå) och förändring av TS i det dränerade materialet (rosa) i försöksserie 2b (vatten med temperatur 30°C och pH-värde 7).

Figure 47. Percentage of absorbed water of the material (blue), and change in dry matter content in the drained material (pink) in measurement series 2b (water with temperature 30°C and pH value 7).

## 9.5 Utvärdering av komposteringsgrad

### 9.5.1 Självuppvärmningsförmåga

Vid denna typ av test utförs komposteringsförsök dels i två speciellt utformade termosar och dels 2 delprover i ordinära metalltermosar utan lock. Termometrar placeras i varje termos. Temperaturen avläses en gång per dag. Efter avslutat komposteringsförsök avläses maxtemperaturen och kurvans yta för att få fram självuppvärmningsförmågan.

### 9.5.2 Degree of rotting

Komposteringsgrad, ”degree of rotting” [20], erhålls genom den högsta temperatur  $T_{max}$  som erhålls under komposteringsförsöket.

Rotting degree I:  $T_{max} = 60-70^{\circ}\text{C}$

Rotting degree II:  $T_{max} = 50-60^{\circ}\text{C}$

Rotting degree III:  $T_{max} = 40-50^{\circ}\text{C}$

Rotting degree IV:  $T_{max} = 30-40^{\circ}\text{C}$

Rotting degree V:  $T_{max} = 20-30^{\circ}\text{C}$

Kompost med rotting degree II och III benämns färsk, medan kompost med rotting degree IV och V benämns som färdig.

### 9.5.3 ”Kramtest” (Fist test)

Den optimala vattenhalten justeras genom att undersöka materialet med ett s.k. ”fist test”, då materialet pressas i handen. Materialet ska idealt sett flexa tillbaka som en badsvamp om det pressas ihop i en knuten hand som sedan öppnas. Om vatten vid detta test skulle rinna mellan fingrarna när provet pressas ihop, anses det vara för blött. Om materialet däremot bibehåller den form det fick då det pressades samman, betraktas det som för torrt.

#### 9.5.4 Utförande

Ett normalprov togs från transportband efter att en ny ”batch” färdigblandats. Detta kompostmaterial fick representera det material som normalt komposteras på Maricholm. Provet benämns ”1” och delproverna får en bokstavsbenämning.

Den 1 juni inleddes försöket med att en hink med ca 15 liter kompostmaterial togs från transportbandet efter blandning. Ur provet togs 4 delprover för bestämning av TS-halt. Resterade material förvarades svalt under natten. Dagen därpå vägdes TS- proverna efter att ha torkat i ugn över natten. Proven mortlades sedan grovt och fördes över i 4 stycken eldfasta deglar som placerades i brännugn.

En säck med det torkade material som jämfördes med prov 1 levererades och detta prov kallades prov 2. Delproven fick en bokstavsbenämning. Provet vägdes upp i 4 delprov som sedan placerades i torkugnen för TS bestämning.

Prov 1 fylldes i två ändamålsenliga termosar ”dewar vessel” (1A+1B) och i två traditionella termosar (1C+1D). Stektermometrar placerades i mitten av termosarna så att spetsen nådde så långt ner som möjligt i behållarna. 1A fick en äldre termometer, medan prov 1B, 1C och 1D försågs med nya IKEA termometrar. Det glödgade materialet vägdes.

Den 3 juni vägdes TS proverna av det torkade materialet in. En beräkning av hur mycket vatten som skulle tillsättas provet utfördes. Det torkade provet preparerades med vatten för att få motsvarande TS som den normala kompostfraktionen har. Vatten och den torkade kompostfraktionen blandades i en 20 liters hink med hjälp av handkraft. Ett så kallat fist-test utfördes (se bilaga 9.5.3) och materialet flexade tillbaka till viss del som det ska, men verkade enligt det testet något torrt. Prov 2 fylldes i två ”dewar vessel” (2A+2B) och i två traditionella termosar (2C+2D). Stektermometrar placerades i mitten av termosarna nedtryckta så att spetsen når så långt ner som möjligt i behållarna.

Fyra prov togs ut för bestämning av TS i det färdigblandade materialet. Dessa placerades i torkugnen över natten och temperaturen i samtliga 8 termosar avlästes. Den 5 juni vägdes proverna efter torkning. Samma material vägdes sedan upp för glödning i 4 deglar och temperaturen i samtliga 8 termosar avlästes. Den 9 juni glödgades materialet i de 4 deglarna och vägdes senare. På inrådan från Peter Skruf tillfördes 0,5 dl vatten till samtliga termosar/behållare. Den 10 juni utfördes avläsning av termometrarna och ytterligare 0,5 dl vatten tillfördes behållarna, dvs det uppblötta materialet. Temperaturen avlästes därefter vid flera tillfällen under en tvåveckorsperiod.

### 9.5.5 Komposteringsförsök - beräkningar

Tabell 32. TS-halter för olika kompostfraktioner.

Table 32. Dry matter substance for different compost fractions.

#### TS-halt för normalkompost med tillsatt matavfall:

Normalkompost		Innan Torkning		Efter torkning		
Benämning	Vikt form (g)	Vikt Material+Form (g)	Material (g)	Vikt Material+Form (g)	Material (g)	TS (%)
1A	4,5	154,6	150,1	61,2	56,7	37,8
1B	4,5	192,6	188,1	74,7	70,2	37,3
1C	4,4	175,4	171	64,5	60,1	35,1
1D	4,5	174,2	169,7	65,4	60,9	35,9

Medelvärde (TS): 36,5%

#### TS-halt för torkad kompostfraktion:

Torkad kompostfraktion		Innan Torkning		Efter torkning		
Benämning	Vikt form (g)	Vikt Material+Form (g)	Material (g)	Vikt Material+Form (g)	Material (g)	TS(%)
2A	4,5	84,7	80,2	76,4	71,9	89,7
2B	4,5	103,5	99	92,2	87,7	88,6
2C	4,5	93	88,5	83,6	79,1	89,4
2D	4,5	93,7	89,2	84,3	79,8	89,5

Medelvärde (TS): 89,3%

#### TS-halt för fuktad torkad kompostfraktion:

Torr kompost fuktad		Innan Torkning		Efter torkning		
Benämning	Vikt form (g)	Vikt Material+Form (g)	Material (g)	Vikt Material+Form (g)	Material (g)	TS (%)
2AA	4,5	118	113,5	73,1	68,6	60,4
2BB	4,5	114,1	109,6	70,7	66,2	60,4
2CC	4,5	123,6	119,1	82,3	77,8	65,3
2DD	4,5	108,8	104,3	67,8	63,3	60,7

Medelvärde (TS): 61,7%

#### VS-halt (glödförlust) för normalkompost med tillsatt matavfall:

Normalkompost		Innan glödning		Efter glödning		
Benämning	Vikt degel (g)	Vikt Degel+Material (g)	Vikt Material (g)	Vikt Degel+Material (g)	Vikt Material (g)	VS (%)
1A	23,2	31,1	7,9	24,3	1,1	13,9
1B	23,5	30,8	7,3	25,2	1,7	23,3
1C	23	28,7	5,7	24	1	17,5
1D	16,9	24	7,1	18,1	1,2	16,9

Medelvärde (TS): 17,9%

#### VS-halt (glödförlust) för återfuktad torkad kompostfraktion:

Fuktad torkad kompost		Innan glödning		Efter glödning		
Benämning	Vikt degel (g)	Vikt Degel+Material (g)	Vikt Material (g)	Vikt Degel+Material (g)	Vikt Material (g)	VS (%)
2A	22,5	27,5	5	23	0,5	10,0
2B	23	29,5	6,5	23,6	0,6	9,2
2C	19,3	26,7	7,4	19,9	0,6	8,1

2D	23,3	28,3	5	23,7	0,4	8,0
----	------	------	---	------	-----	-----

Medelvärde: 8,8%

Blandningsförhållandet av torkad kompostfraktion och vatten valdes så att man erhöll 36,5% TS. Vi utgick från att önskad mängd var 4 kg fuktad kompost.

### 9.5.6 Möjliga felkällor

Följande felkällor är möjliga:

- Provtagning av prov 1 skulle idealt sett ha genomförts innan TS-proverna var klara, eftersom temperaturen i termoserna hade stigit markant redan innan provet hade tillförts materialet i termoserna.
- Materialet kan ha packats något för hårt i termoserna, vilket lett till att för lite luft fått kontakt med provet.
- Prov 2 reagerade på liknande sätt som förväntat av en normal kompostfraktion, men torkade ut lite lättare. Efter försöket hade prov 2 sjunkit ihop markant (torkat), medan prov 1 inte påverkades på motsvarande sätt.

## 9.6 Data för underlag till systemanalys

Till systemanalysen som genomfördes med avseende på kostnader, energianvändning, klimatpåverkan från insatt energi samt substitution av fossila drivmedel med biometan och handelsgödsel med växtnäring i rötrest använder indata från flera olika källor. Dessa parametrar finns samlade i denna bilaga. I tabellerna benämns mikrovågsvakuums torkning MV-torkning. I Tabell 33 och Tabell 34 finns underlag för beräkning av kostnader för lagring och torkning av matavfall innan insamling

*Tabell 33. Kostnader för miljöhus och miljörum som används av hushåll och verksamheter för lagring och omhändertagande av matavfall.*

*Table 33. Costs for environment houses used for collection of fresh and dried food waste from households and organic wastes from restaurant and trade*

	Färskt matavfall från hushåll	Lufttorkat matavfall från hushåll	Färskt matavfall från storhushåll	MV-torkat matavfall från storhushåll	Enhet
Yta	8	8	10	10	m <sup>2</sup>
Anläggningskostnad, byggnad/rum	120 000	120 000	100 100	74 800	Kr
Avskrivningstid	50	50	50	50	år
Annuitetsfaktor	0,063	0,063	0,063	0,063	
Antal miljöhus	1	1			st
Antal kylrum			1		st
Årskostnad, fasta kostnader	7 560	7 560	6 351	4 712	kr/år
Elförbrukning miljöhus/avfallsrum	146	0	15 527	146	kWh
Elkostnad	70	0	7 391	70	kr/år
Underhållskostnader	756	756	635	471	kr/år
Kostnad, avfallspåsar	5 242	5 242	0	0	kr/år
kostnad säckar	1 277	0	0	0	kr/behållare
Årskostnad för säckställ	285	0	0	0	st
Antal ställ per sophus	8	1	0	0	st
Kostnader för säckställ	2 280	0	0	0	kr/år
<b>Summa kostnader för</b>	<b>17 185</b>	<b>13 558</b>	<b>14 377</b>	<b>5 253</b>	<b>kr/år</b>

sophus					
	730	580	875	320	kr/ton

Tabell 34. Kostnader för lufttorkning av matavfall från hushåll, respektive mikrovågsvakuomtorkning av matavfall från storhushåll (verksamheter).

Table 34. Costs for air-drying of food waste from households and microwave vacuum drying of waste from food establishments.

Torkanläggning	Lufttorkning av matavfall från hushåll	Mikrovågstorkning av matavfall från storhushåll	
Investeringskostnad	150 000	150000	kr
Installationskostnad	10 000	5000	kr
Avskrivningstid	8	8	år
Annuitetsfaktor	0,161	0,161	
Fasta årskostnader	25 760	24 955	kr/år
Elförbrukning, torkanläggning	9 870	20 433	kWh/år
Elkostnad, torkanläggning	4 700	9 730	kr/år
Underhållskostnader	2 576	2 496	kr/år
<b>Summa kostnader för torkanläggning</b>	<b>33 036</b>	<b>37 180</b>	<b>kr/år</b>
	1 271	2 264	kr/ ton

Energibehovet för torkning med mikrovågor beräknas med data från Gisip att anläggningen är dimensionerad för att omhänderta 45 kg matavfall varje dygn. Matavfallets inkommande torrsubstans är 30 %, och efter torkning 87 % torrsubstans. Mikrovågstorken är i drift 8 timmar per dag. Avfallet består av 13,5 kg torrsubstans och 31,5 kg vatten. För att nå en TS-halt på 87 % måste 29,5 kg vatten torkas bort. 7 kW under 8 timmar ger 56 kWh per kg vatten som torkas bort. Energibehovet blir då 1,89 kWh/kg vatten som torkas bort (Tabell 35).

Energibehovet för torkning med luft (enligt Smedlunds metod) är angivet av tillverkaren till 0,57 kWh/kg borttorkat vatten. Matavfallet torkas från en inkommande TS-halt på 30 % till en utgående TS-halt på 92 %. Anläggningen är dimensionerad för att omhänderta avfall från 200 hushåll.

Tabell 35. Parametrar för mikrovågsvakuom-torkanläggning (Gisip) samt lufttorkning (Smedlund).

Table 35. Parameters for the microwave vacuum drying equipment (Gisip), and the air drying equipment (Smedlund).

	Gisips process för mikrovågstorkning	Smedlunds process för lufttorkning	
Installerad effekt	7		kW
Behandlingskapacitet	45		kg/ dygn
Torktid	8		Timmar
Torrsubstans efter torkning	87	92	%
Energibehov för torkning	1,87	0,57	kWh/ kg borttorkat vatten

## Insamling av matavfall från hushåll och verksamheter

Samtliga system antas ha ett transportavstånd vid insamling på 15 km enkel resa. Insamling av färskt matavfall antas ske med ett insamlingsfordon som lastar 2,8 ton avfall. Vid insamling av torkat avfall kan en lastbil användas och den kan lasta 12 ton.

- Bränsleförbrukning sopbil, tom: 0,445 l/km
- Bränsleförbrukning sopbil, lastad: 0,445 l/km
- Bränsleförbrukning, lastbil, tom: 0,307 l/km
- Bränsleförbrukning, lastbil, lastad: 0,460 l/km

Underlag för sopbilens bränsleförbrukning är hämtad från Renova där bränsleförbrukningen är medelvärdet för 3 sopbilar [26] och bränsleförbrukning är hämtad från Nätverket för trafik och miljö (NTM) [27].

## Rötningsanläggning och uppgraderingsanläggning

Avfallet behandlas genom rötning. Den producerade biogasen renas och komprimeras och används som fordonsbränsle, 11 % av gasen används till personbilar och ersätter bensin, 89 % av gasen används till bussar och ersätter diesel.

- Metanförluster vid rötningsprocess: 1 % av producerad gas
- Andel av producerad gas som facklas 3,5 % av producerad gas

Energi för att driva rötningsanläggningen är:

- El till rötning: 5 % av energi i producerad biogas
- El till uppgradering: 3,7 % av energi i renad biogas

Rötresten avvattnas till två fraktioner en torr fas med hög TS-halt och en våt fas med en låg TS-halt. Båda fraktionerna används som organiska gödselmedel inom jordbruket.

Kostnadsintervallet för rötningsanläggning exklusive gasrening till mellan 208-628 kr/ton avfall till anläggning [38]. Denna studie utgår från en medelkostnad på 418 kr/ton avfall till rötningsanläggningen.

Uppgradering av biogas till biometan varierar mellan 0,10-0,55 kr/kWh renad gas vid ett rågasflöde på 200-300 Nm<sup>3</sup>/ timme och 0,3-0,4 kr/ kWh renad gas vid rågasflöden upp till 100 Nm<sup>3</sup>/ timme [29]. I denna studie har en uppgraderingskostnad på 0,20 kr/ kWh renad gas antagits i beräkningarna.

## Transport av rötrest till spridning

Rötresten transporteras från anläggning till ett sattelitlager där det lagras i väntan på att spridas. Transporten sker med lastbil och släp. Transportfordonet lastar 35 ton rötrest och transportavståndet är 35 km enkel resa, ingen returlast antas.

- Bränsleförbrukning, lastbil, tom: 0,327 l/km
- Bränsleförbrukning, lastbil, lastad: 0,490 l/km
- Hastighet på väg 70 km/timme
- Transportkostnad 850 kr/timme

## Lagring och spridning av rötrest

Två fraktioner rötrest lagras. Den fasta fasen lagras i stukor nära fälten där den ska spridas. Den flytande fasen lagras i täckta lager för att minimera förluster av växtnäring och metan från efterföljande processer i samband med lagring. I lagret bildas metan och lustgas.

Avgången av metan och lustgas är för den fasta fasen:

- Metan: 1 % av biogaspotentialen
- Lustgas: 2 % av totalkvävet i rötresten

För den flytande fasen är motsvarande värden:

- Metan: 3 % av biogaspotentialen
- Lustgas 0,1 % av totalkvävet

Den fasta fasen sprids med en fastgödselspridare och den flytande fasen med släpplagsspridare.

Drivmedelsförbrukningen vid spridning är, inklusive 0,53 km transport mellan lager och fält [43]:

- 0,36 l diesel/ ton fast rötrest
- 0,63 l diesel/ ton flytande rötrest

I samband med spridningen avgår kväve som lustgas till luften. 1,25 % av totalkvävet i rötresten antas avgå som lustgas.

Kostnaderna för spridning av flytande och fast rötrest är [39]:

- Kostnad fastgödselspridare 165 kr/timme
- Kostnad traktor till fastgödselspridare 451 kr/timme
- Kostnad Flytgödselspridare 200 kr/timme
- Kostnad traktor till flytgödselspridare 530 kr/timme

### Substitution av fossila drivmedel och handelsgödsel

Extern produktion av handelsgödsel (kväve, fosfor och kalium) ger upphov till utsläpp av klimatgaser. Används värden för utsläpp som speglar ett medeltal för världsproduktionen av handelsgödsel blir bidraget [25].

- Kväve 3,14 kg CO<sub>2</sub>/ kg kväve
- Fosfor 0,74 kg CO<sub>2</sub>/ kg fosfor
- Kalium 0,32 kg CO<sub>2</sub>/ kg kalium

Biogas ersätter bensin och diesel. För varje liter diesel och bensin som ersätts besparingen ca 2,7 kg CO<sub>2</sub>. Fördelningen av gasanvändningen är att 89 % av biogasen ersätter diesel och 11 % ersätter bensin. Substitutionen av fossila drivmedel utgår från hur många fordonskilometer som gasen genererar och vilken volym diesel och bensin det motsvarar.

### Vikningsfaktorer för klimatpåverkan

I Tabell 36 finns de faktorer som räknar om emissioner av CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> och N<sub>2</sub>O till den gemensamma basen koldioxidekvivalenter (CO<sub>2e</sub>).

*Tabell 36. Sammanställning av vikningsfaktorernas (GWP100) år 2007 [33].*

*Table 36. Weighting factors (GWP100), 2007 [33].*

Växthusgas	Faktor	Enhet
CO <sub>2</sub>	1	kg CO <sub>2e</sub> /kg CO <sub>2</sub>
CH <sub>4</sub>	25	kg CO <sub>2e</sub> /kg CH <sub>4</sub>
N <sub>2</sub> O	298	kg CO <sub>2e</sub> /kg N <sub>2</sub> O

Emissioner av koldioxidekvivalenter från produktion av el [36]:

- Svensk elmix 20 g CO<sub>2</sub>/ kWh
- Nordisk elmix 100 g CO<sub>2</sub>/ kWh
- Europeisk elmix 415 g CO<sub>2</sub>/ kWh

I studien används en nordisk elmix då de nordiska ländernas elnät till största del är sammanbyggda med varandra. Att använda nordisk elmix kan därmed anses vara mer representativt för den el som används i dag än den enbart svenska elmixen. Då skillnaderna

i utsläpp mellan respektive elmix är stora får de stor påverkan på resultaten i de fall systemen använder en stor andel el i förhållande till den totala användningen av energi.

## **9.7 Projektgruppens sammansättning**

Birgitta Raaholt, SIK har koordinerat projektet. Ulf Nordberg, JTI, har författat avsnittet om renhetsgrad och näringsanalys, Maria del Pilar Castillo, JTI, har skrivit avsnittet om biogaspotential, Andras Baky, JTI, har författat avsnittet om systemanalys. Emma Holtz, SIK, samt Malin Gillmark och Peter Skruf, Renova, har författat avsnittet om återvätningssegenskaper. Avsnittet om mikrobiologisk kvalitet är skrivet av Birgitta Bergström, SIK, medan Agneta Broberg, SIK har skrivit avsnittet om luktbedömningar. Vidare har Malin Gillmark skrivit avsnittet om komposteringsförsök. I projektet har förutom SIK och JTI följande industrideltagare medverkat: Smedlund Miljösystem, Gisip, Renova samt Borås Energi och Miljö.









**WASTE REFINERY**  
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut  
Box 857, 501 15 Borås  
wasterefinery@sp.se  
[www.wasterefinery.se](http://www.wasterefinery.se)