

Insamling och behandling av utsorterat matavfall från hushåll i flerfamiljshus inom Solna stad

– en systemstudie



Klara Gunnarsson



LUNDS UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

Insamling och behandling av utsorterat matavfall från hushåll i flerfamiljshus inom Solna stad

- en systemstudie

Klara Gunnarsson

Examensarbete

Juni 2011

ISRN LUTFD2/TFEM--11/5052--SE + (1-78)

Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA vid Lunds universitet Institutionen för teknik och samhälle Miljö- och energisystem Box 118 221 00 Lund Telefon: 046-222 00 00 Telefax: 046-222 86 44	Dokumentnamn Examensarbete Utgivningsdatum Juni 2011 Författare Klara Gunnarsson
Dokumenttitel och undertitel Insamling och behandling av utsorterat matavfall från hushåll i flerfamiljshus inom Solna stad - en systemstudie	

Sammanfattning

Inom Solna stad har cirka 10 % av de boende möjlighet att sortera ut sitt matavfall. Utsortering av matavfall är ett led i att uppnå det nationellt uppsatta miljökvalitetsmålet gällande en God Bebyggd miljö, nämligen att 35 % av allt organiskt avfall från hushåll och verksamheter ska samlas in och behandlas biologiskt så att växtnäring tas om hand till år 2010. Eftersom tidsgränsen för detta mål passerat föreslog Miljömålsberedningen i april i år att förändra målet till att 40 % av det organiska avfallet från hushåll och verksamheter ska samlas in och behandlas biologiskt så att växtnäring och energi tas till vara till år 2015. För att Solna kommun skall kunna uppnå detta krävs det avfallshanteringssystem som ger de boende inom kommen möjlighet att smidigt och lätt sortera ut sitt matavfall. Med avfallshanteringssystem menas insamling, transport samt behandling av det utsorterade matavfallet. I dagsläget finns det tre olika system för insamling av matavfall från flerfamiljshus inom Solna stad, kärl, nedgrävda behållare och mobil sopsug. I denna studie studeras och utvärderas dessa system genom en systemanalys utifrån följande parametrar: kostnad, miljöpåverkan, kvalitet, kvantitet, arbetsmiljö, användarvänlighet, driftsäkerhet och flexibilitet. Studien har som ambition att visa vilket av avfallshanteringssystemen som i högst grad uppfyller målen för de valda parametrarna.

För att kunna gradera måluppfyllelsen för varje parameter valdes ett betygsgraderingssystem med en betygskala mellan 1-5. Utifrån de valda parametrarna och betygsgraderingsskalan valdes sedan Utsorteringsmetoden som multikriterieanalys. Värderingen av måluppfyllelsen utfördes av författaren i samarbete med de centrala aktörerna. Det summerade resultatet utgjorde grunden i jämförelsen mellan de olika avfallshanteringssystemen. En känslighetsanalys genomförs för värderingen av parametrarna, detta för att undersöka om det slutliga resultat ändras då externa viktningsmått används. En jämförelse gjordes även mellan de olika behandlingsmetoderna för matavfall för att utreda vilka konsekvenser de olika metoderna (rötning, kompostering och förbränning) ger upphov till, främst med avseende på miljöpåverkan.

Resultatet visar att det avfallshanteringssystem som i högst grad uppfyller de analyserade parametrarna är systemet med nedgrävda behållare. Resultatet visar även att skillnaden mellan de olika systemen är liten vilket betyder att inget av systemen kan förkastas till förmån för något annat. Detta leder till slutsatsen att det inte entydigt går att se vilket av systemen, nedgrävda behållare eller kärl, som bäst uppfyller målen för parametrarna. Jämförelse mellan de olika behandlingsmetoderna visar att förbränning ger upphov till mindre miljöpåverkan än rötning. Detta är dock helt beroende av hur den producerade biogasen används. Uppgraderas biogasen till fordonsgas fås den största miljönyttan, vilket beror på att man i detta fall enbart substituerar fossila bränslen något som inte alltid sker om biogasen används till produktion av el eller värme.

Känslighetsanalysen gällande viktningsssystemet visade att olika viktningsindex har liten betydelse för det slutliga resultatet av analysen. Under känslighetsanalysen undersöktes två olika viktningsindex som båda resulterade i att systemet med nedgrävda behållare var det system som i högsta grad uppfyller målen för parametrarna.

Förslag på fortsatta studier är att undersöka flera olika typer av avfallshanteringssystem för att på detta sätt få en bredare jämförelse mellan olika avfallshanteringssystem som kan förekomma i storstadsregioner.

Nyckelord

Avfallshantering, multikriterieanalys, insamling av matavfall, biogasanvändning.

Sidomfång 78	Språk Svenska sammandrag på engelska	ISRN LUTFD2/TFEM--11/5052--SE + (1-78)
-----------------	---	---

Organisation, The document can be obtained through LUND UNIVERSITY Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies Box 118 SE - 221 00 Lund, Sweden Telephone: int+46 46-222 00 00 Telefax: int+46 46-222 86 44	Type of document Master thesis
	Date of issue June 2011
	Authors Klara Gunnasson

Title and subtitle

Collection and treatment of organic waste from households in the municipality of Solna - a system study

Abstract

The aim of this study is to evaluate and compare the waste management systems for organic waste currently in use in the municipality of Solna. Waste management systems comprise collection, transport and treatment of organic waste.

The Swedish government has launched a program containing sixteen environmental quality objectives, one of these objectives is a “Good Built Environment”. One of the goals within this environmental quality objective is to take care of 35 % of the organic waste from household in a way that biological treatment is possible. In order to meet this demand the municipality of Solna needs to give the citizens the opportunity to sort out their biological wastes. Today there are currently three different waste management systems for organic waste in the municipality of Solna, common bin, underground tank and mobile pneumatic.

Each waste management system is evaluated by seven different parameters; cost, environmental impact, quality, quantity, working environment, fitness for use, reliability and flexibility. Each parameter is evaluated in a 5-graded scale from 1 meaning low satisfaction to 5 meaning high satisfaction. All grades are summarized in a multi criteria analysis. The summary result is the basis for comparison of the three waste management systems.

The result shows that the waste management system with underground tanks satisfies most parameters. However, the differences between the waste systems are small and consequently no system can be totally rejected.

A comparison between the different treatment methods, anaerobic digestion, composting and incineration are done to compare in which way they effect the environment. A sensitivity analysis is used to analyses how different types of weights affect the results of the analysis.

The comparisons of the treatment methods show that anaerobic digestion has a higher impact on the environment then incineration. However, the result is totally dependent on how the produced biogas is used. If the biogas is upgraded to fuel gas it will substitute fossil fuel and its carbon dioxide emissions. If the biogas is used to produce electricity and heat it will not reduce carbon dioxide emissions from fossil fuels.

The two types of weights applied in the sensitivity analysis did not change the final result in a substantial way.

Keywords

Waste management systems, Multi criteria analysis, Treatment of biological waste, Use of biogas.

Number of pages	Language	ISRN
78	Swedish, English abstract	LUTFD2/TFEM--11/5052--SE + (1-78)

Förord

Denna rapport är ett resultat av ett examensarbete på 30 högskolepoäng inom civilingenjörsprogrammet Ekosystemteknik vid institutionen Teknik och Samhälle, Miljö- och energisystem, vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet har genomförts hos Solna stad under handledning av Carin Tullberg, Solna stad samt Eva Leire och Charlotte Retzner, Lunds Tekniska Högskola.

Jag vill ge ett stort tack till min handledare Carin Tullberg, som med sin kunskap och sitt breda kontaktnät varit till stor hjälp under arbetets gång, och till Eva Leire och Charlotte Retzner som guidat mig genom skivarpocessen. Jag vill även rikta ett stort tack till Kristina Sjöblom, Jenny Särholm och Ingrid Olsson som alla bidragit med värdefulla synpunkter.

Jag vill tacka alla medarbetare på Stadsbyggnadsförvaltningen som bidragit till att jag känt mig välkommen i verksamheten och gjort min tid hos er både roligt och lärorik.

Slutligen vill jag tacka min familj och vänner för stöd och uppmuntran under arbetet med examensarbetet. Ett speciellt tack till mina föräldrar, utan er hade jag kanske inte klarat det.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
Abstract.....	6
Förord	7
Innehållsförteckning	8
1. Inledning.....	11
2. Syfte och mål	12
2.1 Syfte	12
2.2 Mål	12
3. Bakgrund	13
3.1 Biologisk behandling.....	13
3.2 EU:s avfallspolitik.....	13
3.3 Svensk avfallspolitik	14
3.4 Nya miljö kvalitetsmål.....	15
3.5 Kommunernas avfallshantering.....	16
4 Avfallshantering i Solna	16
4.1 Solna kommun	16
4.2 SÖRAB.....	17
4.3 Avfallsplan	17
4.4 Beskrivning av avfallshanteringssystem i Solna stad	18
4.4.1 Kärnhämtning med rötning.....	18
4.4.2 Nedgrävda behållare med rötning.....	19
4.4.3 Mobil sopsug med förbränning.....	20
5 Behandling av utsorterat matavfall i Solna	21
5.1 Rötning.....	21
Förbehandling.....	21
Hygienisering	21
Rötning	22
Uppgradering.....	22
5.2 Kompostering	23
Kompostrest.....	23
5.3 Förbränning tillsammans med övrigt restavfall.....	24
Rökgasrening	24

Slagg.....	24
6 Metodbeskrivning	24
6.1 Avgränsningar och antaganden.....	25
6.2 Multikriterieanalys.....	26
6.3 Värdering av parametrar	27
6.4 Olika metoder för att genomföra en Multikriterieanalys	28
6.5 Känslighetsanalys.....	30
Känslighetsanalys gällande viktning	30
6.6 Jämförelse mellan olika behandlingsmetoder	30
Jämförelse mellan olika behandlingsmetoder med avseende på miljöpåverkan	30
7 Val av lämpliga parametrar	30
8 Beskrivning av de valda parametrarna.	31
8.1 Kostnad.....	31
8.2 Miljöpåverkan.....	31
8.3 Kvalitet.....	32
8.4 Kvantitet	32
8.5 Arbetsmiljö	32
8.6 Användarvänlighet.....	33
8.7 Driftsäkerhet och flexibilitet	35
9 Resultat och diskussion	36
9.1 Kostnad.....	36
9.2 Miljöpåverkan.....	39
9.3 Kvalitet.....	42
9.4 Kvantitet	43
9.5 Arbetsmiljö	45
9.6 Användarvänlighet.....	47
9.7 Driftsäkerhet och flexibilitet	49
9.8 Summering av resultatet från multikriterieanalysen.....	51
10 Känslighetsanalys	52
10.1 Känslighetsanalys gällande viktningssystemet	52
11. Jämförelse mellan olika behandlingsmetoder med avseende på miljöpåverkan	53
11.1 Kompostering jämfört med rötning	53
11.2 Rötning jämfört med förbränning.....	53
11.3 Varför ska det utsorterade matavfallet rötas?	55

12. Slutsatser och slutdiskussion	57
12.1 Fortsatta Studier.....	59
Referenser.....	60
Litteratur.....	60
Internet källor	63
Personlig kontakt.....	65
Bilagor	67
Bilaga 1.....	67
Bilaga 2.....	74
Bilaga 3.....	75

1. Inledning

I det inledande avsnittet ges en introduktion till examensarbetet och en kort presentation av avfallshantering.

Avfallshantering och källsortering är någonting som engagerar många oavsett om man är en så kallad ”sopnörd” som källsorterar allt avfall eller om man slänger allt i samma påse.

När städer började växa fram krävdes en utbyggnad av avfallshanteringen för att ta hand om och bortskaffa avfall, men det var inte förrän vid slutet av 1800-talet som renhållning på kommunal nivå introducerades på allvar. Under 1920 och 30-talet var sophanterarna klädda i uniform och skärmmössa. Arbetet var tungt och 1972 upprättades den kommunala renhållningslagen. Samma år startade även den första utredningen om avfallshanterarnas arbetsmiljö (Naturvårdsverket, 2011a).

I takt med att levnadsstandarden ökade under efterkrigstiden, ökade behovet av ”bekväma” produkter för konsumenterna. Detta skapade en ”slit och släng”-kultur som i många avseenden lever kvar än idag (Naturvårdsverket, 2011a). Tidigare lappades och lagades det mesta man tillhandahöll i hushållet och det gick ofta att hitta nya användningsområden till de uttjänade ting. Till exempel kunde en sönderlappad trasig tröja utgöra isoleringsmaterial i husets innervägg. (Nordiska museet, 2011)

Avfallshantering är en viktig del av samhällsstrukturen och i många fall en förutsättning för att människor ska kunna leva i den moderna urbana miljö som en stor del av jordens befolkning gör idag. Attityden gällande avfall håller på att ändras och avfall ses idag mer som en resurs än tidigare. De nationella miljökvalitetsmålen som upprättades i Sverige år 1999, skall genomsyra arbetet med att skapa en hållbar utveckling i Sverige (Leander & Sigroth, 2005). En ökad urbanisering och utbredning av städer ökar behovet av att skapa lösningar för en hållbar avfallshantering.

Det nationellt uppsatta målet för avfall anger riktlinjerna för avfallshantering i Sverige. Det främsta målet är att minska mängden avfall. För insamlade mängder gäller målet att 35 % av det uppkomma matavfallet från verksamheter och hushåll behandlas biologiskt så att växtnäring tas tillvara år 2010. Många av landets kommuner sorterar idag ut det matavfall som uppstår från hushåll och verksamhet (Miljörådsberedningen, 2011).

Rötning av utsorterat matavfall producerar biogas som kan uppgraderas och användas som fordonsgas. Fordonsgasen kan användas för att minska transportsektorns beroende av fossila bränslen. Rötning genererar även en rötrest rik på näringsämnen som kan återföras till jordbruket och sluta kretsloppet.

För att uppnå de nationellt uppsatta miljömålen när det gäller insamling av matavfall från flerfamiljshus krävs effektiva insamlingssystem. I vilken grad de boende i flerfamiljshus väljer att utnyttja insamlingssystemet och sorterar ut sitt matavfall beror på flera olika faktorer. För de beslutsfattare som ansvarar för avfallshanteringen inom kommunen spelar andra faktorer en viktig roll. För att skapa långsiktigt hållbara avfallshanteringssystem måste alla dessa olika faktorer beaktas.

2. Syfte och mål

I detta avsnitt beskrivs examensarbetets syfte och mål.

2.1 Syfte

Syftet med examensarbetet är att utvärdera de olika avfallshanteringssystem för matavfall från flerfamiljshus som i dagsläget används i Solna stad. En förhoppning är att projektet i slutänden ska ge fastighetsägare inom kommunen råd om vilket system som är mest lämpligt att använda.

I detta examensarbete genomförs en systemanalys utifrån lämpliga parametrar. Parametrarna skall belysa olika aspekter av avfallshanteringssystemen och bedöms efter givna kriterier. Parametrarna bör väljas med omsorg för att skapa en så heltäckande analys som möjligt. De parametrar som valts är *kostnad, miljöpåverkan, kvalitet, kvantitet, arbetsmiljö, användarvänlighet, driftsäkerhet och flexibilitet*.

I nästa steg utarbetas en gemensam skala för betygsgradering av parametrarna. En analysmetod väljs sedan utifrån de valda parametrarna och betygsgraderingen. Analysmetoden summerar betygen för varje parameter för en jämförelse av avfallshanteringssystemen.

Studien har som ambition att visa vilket av avfallshanteringssystemen som i högsta grad uppfyller målen för de valda parametrarna. En känslighetsanalys genomförs för värdering av parametrarna, detta för att undersöka om det slutliga resultat ändras då externa viktningsmått används. En jämförelse görs mellan de olika behandlingsmetoderna (rötning, kompostering och förbränning) för matavfall för att utreda vilka konsekvenser de olika behandlingsmetoderna ger upphov till, främst med avseende på miljöpåverkan.

2.2 Mål

Detaljerade mål i tidsordning

- Ta fram lämpliga parametrar för att få en heltäckande utvärdering.
- Ta fram lämpliga kriterier för att värdera de valda parametrarna.
- Välj lämplig analysmetod.
- Samla den information som behövs för att värderingen skall bli så rättvis som möjligt.
- Utföra analysen och visa på för- och nackdelar med de olika avfallshanteringssystemen.
- Visa på vilka konsekvenser förändringar i systemen kan ge upphov till.

3. Bakgrund

I detta avsnitt beskrivs bakgrunden till det syfte och den frågeställning som behandlas i examensarbetet. I detta avsnitt ges även en översiktlig bild över EU:s och Sveriges avfallspolitik med fokus på avfallshierarkin och de nationella miljö kvalitetsmålen. Den kommunala avfallshanteringen beskrivs även i detta avsnitt.

3.1 Biologisk behandling

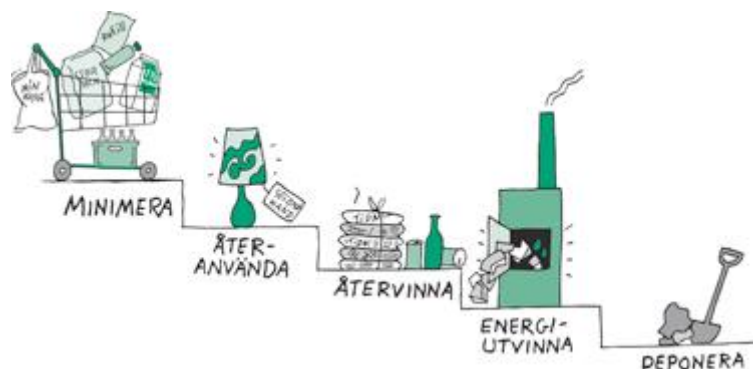
I flera publikationer från Naturvårdsverket anses biologisk behandling av matavfall som den ur ett brett miljö- och hållbarhetsperspektiv generellt bästa metoden. (Naturvårdsverket, 2002a) (Naturvårdsverket, 2005) Biologisk behandling, förbränning med energiutvinnig och miljösäker deponering ses som komplement till varandra och skall enligt EU:s avfallshierarki (se Figur 1) prioriteras i den ordningen. (SKL, 2007)

Det finns två olika behandlingsmetoder för biologisk behandling av avfall: Rötning och kompostering. (Naturvårdsverket, 2008)

Rötning är en anaerob process som både genererar biogas och en rötrest rik på näringsämnen. Genom att använda rötresten som biogödsel inom jordbruket återförs näringen till åkermarken. Kompostering är en aerob process där det organiska materialet bryts ned under närvaro av syre och den kvarvarande kompostresten kan användas som jordförbättringsmedel (Leander & Sigroth, 2005).

3.2 EU:s avfallspolitik

Mycket av Sveriges avfallspolitik grundar sig på EU:s avfallspolitik. År 1989 utarbetades EU:s första avfallsstrategi där bland annat EU:s avfallshierarki presenterades (se Figur 1). Avfallshierarkins syfte är att vägleda EU:s medlemsstater i vilken prioritetsordning avfall ska behandlas. Enligt strategin ska varje medlemsstat sträva efter att vara självförsörjande med avseende på avfallsbehandlingsanläggningar (Naturvårdsverket, 2002a). Den så kallade närhetsprincipen ska gälla, vilket innebär att varje stat ska sträva efter att avfall tas om hand i den anläggningen som ligger närmast. Syftet med närhetsprincipen är att minska antalet transporter av avfall (Artikel 16, EU:s avfallsdirektiv 2008/98/EG).



Figur 1: EU:s avfallshierarki (Gästrike Återvinnare, 2011)

Europarådet och Europaparlamentet beslutade hösten 2008 om ett nytt ramdirektiv för avfall. Direktivet har implementerats i svensk lag och förenklat uttryckt innehåller det nya direktivet förändringar kring definitioner och omfattning av direktivet samt bestämmelser som styr

avfallshierarkin. I det nya direktivet finns uttryckliga krav på att medlemsstaterna ska minska mängden avfall samt främja återanvändning och materialåtervinning (Naturvårdsverket, 2011).

Enligt direktivet skall det främsta målet för medlemsstaternas avfallspolitik vara att minimera de negativa effekterna på människors hälsa och miljö vid generering och hantering av avfall. Avfallspolitiken bör också ha som mål att främja en praktisk tillämpning av avfallshierarkin och betrakta avfall som en resurs (EU:s avfallsdirektiv 2008/98/EG). Enligt avfallshierarkin klassas biologisk behandling som materialåtervinning och förbränning som energiutvinning. (Formas Fokuserar, 2004)

3.3 Svensk avfallspolitik

För Sveriges miljöpolitik finns ett grundläggande mål, nämligen att till nästa generation lämna över ett samhälle där stora delar av Sveriges miljöproblem är lösta. För att uppnå detta upprättades år 1999 de 16 nationella miljö kvalitetsmål som skall genomsyra arbetet med att skapa en hållbar utveckling i Sverige. (Leander & Sigroth, 2005) I miljömålspropositionen (prop 2000/01:30) gör regeringen bedömningen att det är ett fåtal aktiviteter som ger upphov till flertalet av dagens miljöproblem. Däribland nämns transporter, energianvändning, flöden av material, kemikalier och varor, exploatering och icke hållbart utnyttjande av mark och vatten (Leander & Sigroth, 2005).

Riksdagen har utifrån detta beslutat att arbeta utifrån följande tre strategier som alla berör avfallshantering. (Leander & Sigroth, 2005)

- Strategi för effektivare energianvändning och transporter
- Strategi för giftfria och resurssnåla kretslopp
- Strategi för hushållning med mark, vatten och bebyggd miljö

För att kunna arbeta mer effektivt med strategierna föreslog regeringen i en proposition 2004 att delmål skulle fastställas till alla miljö kvalitetsmål förutom *Begränsad klimatpåverkan*. (prop. 2004/05:150)

Avfallshantering berör flera av de nationella miljö kvalitetsmålen, främst *God bebyggd miljö*, *Begränsad klimatpåverkan* men även miljömålet *Giftfri miljö*.

- God bebyggd miljö

Avfallshantering idag innebär ett stort slöseri med resurser och av den energi och de material som finns i avfallet tas inte tillvara. I många fall förs näringsämnen från matavfall ut från kretsloppet som beståndsdel i slagg och askor från förbränning. För att uppnå miljö kvalitetsmålet för en *God bebyggd miljö* har följande delmål formulerats:

- Senast 2010 skall minst 35 % av matavfallet från hushåll, storkök, restauranger och butiker återvinnas genom biologisk behandling. Målet avser källsorterat matavfall till såväl hemkompost som centralbehandling (Naturvårdsverket, 2002a).

- **Begränsad klimatpåverkan**
Biologiskt nedbrytbart avfall som deponeras ger upphov till utsläpp av metangas som motsvarar cirka 3 % av Sveriges totala utsläpp av klimatgaser. Behandling av avfall samt avfallstransporter, främst vid insamling av avfall, ger upphov till utsläpp av växthusgaser då fossila bränslen används som drivmedel (Naturvårdsverket, 2002a).
- **Giftfri miljö**
Utsläppen av farliga ämnen från hantering av avfall kan bedömas som relativt små, dock finns det en osäkerhet kring de långsiktiga effekterna av utsläpp från deponering, förbränning samt rötning och kompostering (Naturvårdsverket, 2002a).

Som man kan se är avfallsfrågan en komplex fråga som berör många olika områden. I detta examensarbete kommer främst miljökvalitetsmålen *En God Bebyggd miljö* och *Begränsad klimatpåverkan* att beröras, eftersom det är dessa miljömål som påverkas mest av avfallshantering i storstadsmiljö.

3.4 Nya miljökvalitetsmål

I samband med att miljökvalitetsmålen når sin tidsgräns år 2010 lämnades 2008 förslag på revidering av miljökvalitetsmålen till regeringen. Det nya delmålet för avfall som ska gälla fram till år 2015 föreslås vara (Miljömålsrådet, 2008):

”Den totala mängden avfall skall inte öka och den resurs som avfall utgör skall tas tillvara i så hög grad som möjligt, samtidigt som påverkan på hälsa och miljö minimeras. Avfallshanteringen är effektiv i sambället och enkel för konsumenterna”.

För att bedöma huruvida delmålet uppfylls eller inte skall preciseringar gällande målet vara uppnådda. De preciseringar som behandlar avfallshantering listas nedan (Miljömålsrådet, 2008):

- Avfallsinsamlingen ska vara estetisk tilltalande, tillgänglig och säker för hushållen.
- Minst 35 % av matavfallet från hushåll, restauranger, storkök och butiker skall tas omhand så att växtnäringen kan utnyttjas.

I april 2011 publicerades miljömålsberedningens förslag till etappmål inom miljömålssystemet. Etappmålet till 2015 föreslår att 40 % av matavfallet från hushåll, restauranger, storkök och butiker behandlas biologiskt så att växtnäring och energi tas tillvara. En anledning till att målet pekar på en ökad insamlingsmängd (jämfört med tidigare förslag, se avsnitt 3.3) är att matsvinnet inom livsmedelskedjan har identifierats som en viktig faktor ur klimatpåverkanssynpunkt. En minskning av matsvinnet skulle även innebära stora möjligheter att minska matavfallet i sin helhet (Miljömålsberedningen, 2011).

Det är vid en minskning av den totala avfallsmängden som den största miljövinsten fås. (SÖRAB:s Avfallsplan, 2008) Enligt EU:s avfallshierarki och de förslag till Sveriges nya miljökvalitetsmål, anses minimering av avfall som den viktigaste åtgärden inom avfallsområdet (Miljömålsrådet, 2008)(Miljömålsberedningen, 2011).

3.5 Kommunernas avfallshantering

Genom att översätta de nationella och regionala miljömålen till lokala mål kan miljömålen användas som verktyg i den lokala politiken. Sveriges kommuner har därmed en viktig roll i det nationella miljömålsarbetet. Kommunerna har med sitt planmonopol en unik möjlighet att använda miljömålen som ett redskap vid prioriteringar inom till exempel fysisk planering. Genom översiktsplaner, detaljplaner och bygglov kan kommunerna delvis styra den långsiktiga planeringen av den fysiska miljön (Miljömålsrådet, 2008).

Enligt Miljöbalken har varje kommun renhållningsskyldighet vilket betyder att kommunen ansvarar för att det hushållsavfall som uppstår inom kommunen transporteras till en behandlingsanläggning. Detta ska göras om det behövs för att tillgodose såväl skyddet för människors hälsa och miljön som enskilda intressen. Detta gäller inte de fraktioner som innefattas av producentansvaret (SFS MB Kap 15 § 8).

Varje kommun skall dessutom upprätta en renhållningsordning med föreskrifter för den avfallshantering som gäller inom kommunen samt en avfallsplan. Avfallsplanen skall innehålla uppgifter om avfall inom kommunen och om kommunens åtgärder för att minska avfallets mängd och farlighet (SFS MB Kap 15 § 11).

Definitionen av hushållsavfall står att finna i Miljöbalkens 15 kap som det avfall som uppkommer från hushåll samt därmed jämförligt avfall från annan verksamhet.(SFS MB Kap 15 § 2) Som exempel på annan verksamhet nämns industrier, affärsrörelser och annan likartad verksamhet som i renhållningssammanhang genererar avfall som är jämförligt med hushållsavfall. (Naturvårdsverket, 2008b)

Kommunen skall svara för att hushållsavfallet återvinns eller bortskaffas. Kommunen ska i sin planering och i sina beslut beakta att borttransporten av hushållsavfall anpassas till de behov som finns inom olika slags bebyggelse.(SFS MB Kap 15 § 8) Många kommuner väljer att låta en entreprenör sköta insamlingen och bortskaffningen av hushållsavfall. (Avfall Sverige, 2007)

4 Avfallshantering i Solna

I detta avsnitt beskrivs hur avfallshanteringen fungerar i Solna stad samt den avfallsplan som Solna tillsammans med övriga SÖRAB -kommuner antagit. I detta avsnitt beskrivs även de olika avfallshanteringssystemen i Solna sin helhet.

4.1 Solna kommun

Solna stad är en kommun belägen i Stor-Stockholmsområdet. Kommunen är en av Sveriges minsta till ytan och år 2009 hade Solna 65 289 invånare. I Solna finns det 34 500 hushåll och av dessa är 99 % hushåll i flerfamiljshus. (Furumo & Irebrand, 2009)

Solna har en befolkningstäthet på 3 514,2 invånare per kvadratkilometer. Detta kan jämföras med grannkommunerna Danderyd (1 181,1 inv./km²) och Sundbyberg (4 435,5 inv./km²). (SCB, 2011)

Inom Solna finns det tre typer av insamlingssystem för utsorterat matavfall, kärl, nedgrävda behållare och mobil sopsug. I dagsläget har 878 hushåll i Solna möjlighet att sortera ut sitt matavfall genom ett mobilt sopsugsystem. Totalt 675 hushåll i flerfamiljsbostadshus kan utnyttja kärl för att sortera ut sitt matavfall och 792 hushåll kan använda nedgrävda behållare. En analys av hushållsavfall, så kallad plockanalys, utförd av SÖRAB (Söderhalls Renhållningsverk AB) 2009

visar att andelen biologiskt material i hushållsavfall från Solnas flerbostadshushåll utgör 38-43 % (Furumo & Irebrand, 2009). Denna fördelning stämmer även överens med tidigare utförda studier. (Bovea et al, 2010) (Avfall Sverige, 2009)

Utsortering av matavfall är frivilligt inom Solna kommun, dock står kommunen för kostnaderna för hämtning av och behandling av det utsorterade matavfallet. Bostadsrättsföreningarna inom kommunen betalar för hämtning av sitt restavfall. Utsortering av matavfall bidrar till att mängden restavfall minskar och därmed minskar kostnaden för föreningen. Detta ger ett ekonomiskt incitament till att sortera ut matavfall (Tullberg, 2011).

Kommunen står för kostnaden för kärl samt de nedgrävda behållarna. Den mobila sopsugen som installerades i Solna bekostades av bostadsbolaget som ägde fastigheterna med hjälp av lokalt investeringsstöd (LIP) (Naturvårdsverket, 2008a) . Kostnaderna för papperspåsar och påshållare bekostas av kommunen (Tullberg, 2011).

I dagsläget används två typer av behandling av utsorterat matavfall i Solna, förbränning tillsammans med restavfall respektive rötning. Ungefär 75 % av det avfall som behandlas genom förbränning förbränns i en anläggning i Uppsala och resterande 25 % förbränns i Högdalens värmeverk (Tullberg, 2011). Rötningen sker i en rötninganläggning belägen vid Kungsängens Gård i Uppsala. (Uppsala Vatten, 2009)

Det matavfall som sorteras ut genom sopsug förbränns tillsammans med restavfall, eftersom kvaliteten på materialet är för dålig för att accepteras som rötningmaterial. (Tullberg, 2011) Före årsskiftet 2010/2011 komposterades det avfall som samlades in via nedgrävda behållare, men i dagsläget behandlas det genom rötning.

4.2 SÖRAB

SÖRAB (Söderhalls Renhållningsverk AB) är ett regionalt avfallsbolag som ägs av kommunerna Solna, Danderyd, Järfälla, Lidingö, Sollentuna, Stockholm, Sundbyberg, Täby, Upplands Väsby och Vallentuna. Totalt hade kommunerna, exklusive Stockholm, ett invånarantal på drygt 418 000 personer år 2006 (SÖRAB:s avfallsplan, 2008). SÖRAB hanterar avfall från hushåll och verksamheter i samtliga ägarkommuner förutom Stockholm. Vid SÖRAB:s anläggning Hagby i Täby kommun, nordöstra Stockholm, omlastas allt det utsorterade matavfall som samlas in i Solna stad. (SÖRAB:s avfallsplan, 2008)

4.3 Avfallsplan

Solna stad tog 2008 tillsammans med de andra delägarkommunerna i SÖRAB fram en avfallsplan. Planen konkretiserar de mål och strategier som skall gälla för SÖRAB- regionens avfallshantering. Avfallsplanens åtta mål behandlar följande; *människan i centrum, kvalitet, minskad avfallsmängd, återanvändning, materialåtervinning, energiutvinning och deponering.*

Målet gällande *människan i centrum* innebär att avfallshanteringen ska utgå från människors behov och anpassas till de som lämnar avfallet. *Kvaliteten* på det utsorterade avfallet skall vara sådan att det uppfyller de krav som respektive behandlingsanläggning ställer.

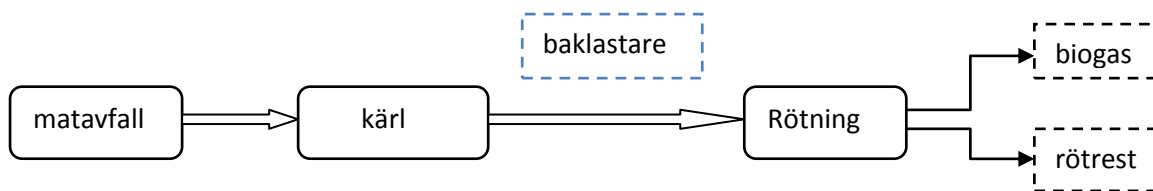
Målet gällande *minskade avfallsmängder* ska nås genom att hushållen stimuleras till att minska mängden avfall och att allt farligt avfall skall sorteras ut. Totalt hälften av hushållens avfall ska

återvinnas genom materialåtervinning eller biologisk behandling. Den biogas som produceras vid rötning av organiskt material ska användas som fordonsbränsle.

Det brännbara avfall som inte kan återanvändas eller återvinnas ska användas som bränsle vid förbränning. Deponering ska enbart ske om det inte finns något annat behandlingsalternativ. (SÖRAB:s avfallsplan, 2008)

4.4 Beskrivning av avfallshanteringssystem i Solna stad

4.4.1 Kärlhämtning med rötning



Figur 2: Beskrivning av systemet "Kärlhämtning med rötning".

Insamling av utsorterat matavfall i fristående kärll är den vanligaste typen av insamlingssystem. I många av de flerfamiljshus som använder kärll har de befintliga sopnedkassen inne i husen stängts av. Istället sker all sortering och hantering av avfall i ett separat miljöhus placerat på gården. (Naturvårdsverket, 2002b) Kärll som placeras inomhus är slutna och försedda med ett "lockilock" för att underlätta hämtningen medan kärll som placeras utomhus är ventilerade med hål på sidorna. (Särnholm, 2011)

Tömning sker en gång i veckan och det utsorterade matavfallet samlas in med baklastad sopbil som drivs med fordonsgas. I detta examensarbete antas drivmedlet bestå av en mix av hälften naturgas och hälften biogas. (Sjöblom, 2011) (Eon, 2011) Det utsorterade matavfallet omlastas vid SÖRAB:s anläggning Hagby. (Hendered, 2011) Därifrån transporteras avfallet vidare till Uppsala Vatten och Avlopps biogasanläggning Kungsängens gård. I biogasanläggningen rötas det utsorterade matavfallet till biogas som sedan uppgraderas till fordonsgas eller förbränns. (Uppsala Vatten, 2010).

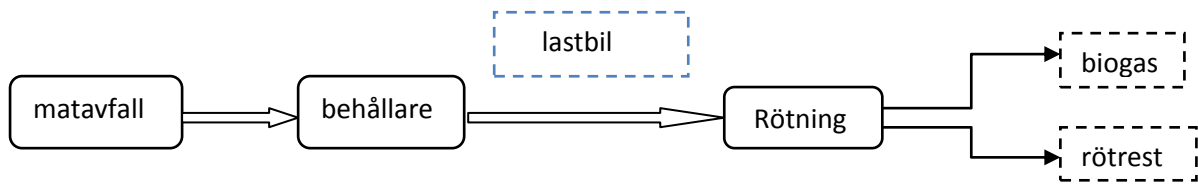


Bild 1: Baklastad sopbil för tömning av kärll .



Bild 2: Kärll med matavfall i papperspåse.

4.4.2 Nedgrävda behållare med rötning



Figur 3: Beskrivning av systemet "Nedgrävda behållare med rötning".

Nedgrävda behållare är en insamlingstyp som ökar alltmer. Behållaren består av en helgjuten plastbehållare som grävs ned under marken så att endast 40 % av behållaren finns ovan jord. Inuti behållaren finns en "lyfttub" i plast och i den en engångssäck i pappersmaterial. Lyfttuben är en smal cylinderformad behållare som med en speciell reparordning går att öppna i botten (se bild 4).

Vid tömning lyfts överdelen på behållaren av och "lyfttuben" lyfts upp med hjälp av en kran. (Naturvårdsverket, 2002b) Med hjälp av kranen förs "lyfttuben" upp och hängs över sopbilens ficka (se bild 4). Genom att öppna botten på "lyfttuben" töms engångssäcken med avfallet ner i sopbilen.

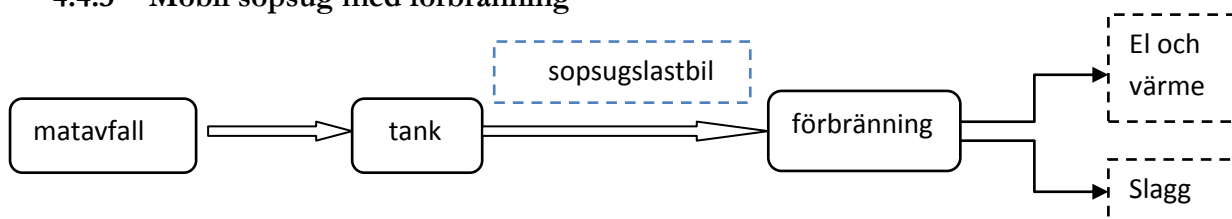


Bild 3: Nedgrävd behållare.

Bild 4: Tömning av nedgrävd behållare.

I Solna finns det tre stycken nedgrävda behållare som var och en maximalt rymmer 0,75 m³. (Tullberg, 2011) Tömning sker en gång i veckan och det utsorterade matavfallet transporteras med lastbil till Hagby, SÖRAB:s anläggning i Täby för omlastning och vidare transport till biogasanläggningen i Uppsala. I biogasanläggningen rötas det utsorterade matavfallet till biogas som sedan uppgraderas till fordonsgas eller förbränns (Uppsala vatten, 2010). Före årsskiftet 2010/2011 komposterades detta avfall från nedgrävda behållare. (Tullberg, 2011)

4.4.3 Mobil sopsug med förbränning



Figur 4: Beskrivning av systemet ” Mobil sopsug med förbränning”.

Mobil sopsug som insamlingsystem är främst till för flerbostadshus, speciellt i trånga eller gamla bostadsområden där det kan vara svårt med framkomligheten för andra typer av avfallsinsamlingsfordon. Investeringskostnaderna för systemet är höga, vilket i praktiken innebär att höga mark- och fastighetspriser och ett stort antal boende är en förutsättning för att systemet ska bli lönsamt. (Naturvårdsverket, 2002b)

Solnabostäder installerade 2001 ett mobilt sopsugsystem i bostadsområdet Hagalund i Solna, de redan befintliga sopnedkasterna delades i två delar med hjälp av väv. Vilket möjliggjorde att tidningar och restavfall kunde sorteras ut direkt vid sopnedkastet på varje våningsplan. Uppsamlingsbehållare för insamling av restavfall och tidningar installerades i de gamla soprummen. (Naturvårdsverket, 2008a)

På gårdarna utanför husen byggdes inkast för utsorterat matavfall med egna lagringsutrymmen under jord, en så kallad mobil sopsug (se bild 6). Lagringsutrymmena för utsorterat matavfall, tidningar och restavfall är sammankopplade med en dockningsstation för sopsugslastbilar (Naturvårdsverket, 2008a). Varje lagringsutrymme töms separat och tömningen sker datorstyrt genom att den speciella sopsugsbilen skapar ett undertryck med hjälp av en vakuumsug (se bild 5). Det utsorterade matavfallet transporteras genom ledningar från lagringsutrymmet och samlas upp i sopsugslastbilen (Envac, 2011). I dagsläget finns det 8 stycken nedgrävda lagringsutrymmen (1,5 m³/st) för utsorterat matavfall i området. (Lorentzon, 2011)

Tömning sker en gång i veckan och det utsorterade matavfallet transporteras sedan med sopsugslastbil till SÖRAB:s anläggning Hagby för omlastning. Förbränningen sker vid Uppsala värmeverk och Högdalens värmeverk (Hendered, 2011).



Bild 5: Tömning med mobil sopsugslastbil. **Bild 6:** Sopsugsbehållare för utsorterat matavfall

5 Behandling av utsorterat matavfall i Solna

I detta avsnitt beskrivs de olika behandlingsmetoder som används för att behandla utsorterat matavfall från Solna stad.

5.1 Rötning

Det finns två typer av rötningmetoder för behandling av utsorterat matavfall, torr respektive våt rötning. Vid biologisk behandling av det insamlade matavfallet i Solna stad tillämpas våtrötning. (Biogasportalen, 2011a)

Förbehandling

Rötning av Solna stads insamlade matavfall sker på Kungsängens gård som är belägen cirka 2,5 km utanför Uppsala. Anläggningen tar emot hushållsavfall och industriavfall för biologisk behandling. Hushållsavfallet består av utsorterat organiskt avfall från hushåll och restauranger medan industriavfallet till största del består av slakteriavfall och avfall från livsmedelsförädling (Uppsala vatten, 2009).

Det utsorterade organiska hushållsavfallet genomgår en separat förbehandling eftersom matavfallet vanligtvis innehåller en viss grad av föroreningar. Det inkommande hushållsavfallet töms i en separat tippficka varifrån materialet skruvas fram till en påsöppnare följt av en trumsikt (se bild 7). Trumsikten kan liknas vid en gigantisk centrifug där det organiska materialet ”slungas” ut medan de större orena partiklarna sorterar ut. I denna process separeras felsorterat material och transporteras sedan från anläggningen för vidare behandling genom förbränning (Nordin, 2011).

Sedan eventuella föroreningar, det vill säga icke organiskt material, sorterats bort, transporteras avfallet med hjälp av skruvtransportörer till den tippficka där det övriga fasta avfallet hanteras. I denna tippficka lämnas det organiska avfall som sorterats ut från restauranger och storkök. Denna typ av avfall brukar generellt vara av bättre kvalitet och behöver därför inte genomgå separeringsprocessen (Nordin, 2011).

Allt avfall transporteras sedan till omblandningstankar där det tyngre materialet genom sedimentation separeras och förs ut till en rejektcontainer. (se bild 7) (Uppsala Vatten, 2009)

Hygienisering

Efter omblandning sönderdelas det kvarvarande materialet till en partikelstorlek mellan 1-5 mm. I samband med sönderdelningen späds materialet till en slurry med en torrsubstanshalt på ungefär 8-10 %. Slurryn transporteras sedan vidare till en bufferttank och därefter vidare för hygienisering (Uppsala Vatten, 2009).

Biogasanläggningar som behandlar material med animaliskt ursprung, som till exempel slaktavfall eller gödsel, måste hygienisera materialet innan rötning för att minska risken för att patogena bakterier sprids via biogödseln. Hygienisering innebär att det substrat som ska rötas hettas upp till 70° C i minst en timme (Biogasportalen, 2011a). Från bufferttanken transporteras substratet till en värmeväxlare för upphettning och sedan vidare till en av tre parallella hygieniseringstankar där det upphettas till 70°C. (se bild 7)(Uppsala Vatten, 2009)

Rötning

Efter att substratet har hygieniserats rötas det i en rötkammare. I kammaren är det 55° C och konstant omrörning sker för att optimera den kontinuerliga anaeroba termofila processen.

Den termofila rötningsprocessen kan delas in i tre olika steg; hydrolysis, fermentation och metanbildning. I hydrolysissteget sönderdelar mikroorganismer, med hjälp av enzymer, komplexa organiska föreningar till mer "lättillgängliga" föreningar som socker och aminosyror. Vid nästa steg, fermentation, sker en jäsningsprocess då ett antal mellanprodukter bildas bland annat alkoholer, fettsyror och vätgas. Det är i det sista processteget som metanbildningen sker, detta med hjälp av speciella anaeroba metanbildande bakterier som är väldigt känsliga för förändringar i miljön (Biogasportalen, 2011a).

Den biogas som bildas i rötkammaren kallas ofta rågas och består av 45 – 85 % metan och 15 – 45 % koldioxid. (Biogasportalen, 2011c) Rågasen är ofta mättad med vattenånga och fångas upp i en gasdom för att sedan transporteras vidare till en gasklocka via en gaskylare. Gasen leds från gasklockan till en av två blåsmaskiner där rågasen komprimeras till 700 mbar. Efter blåsmaskinen kyls en del av gasen och transporteras till reningsverket Kungsängsverket för uppgradering till fordonsgas. Resterande gas används som bränsle i Kungsängens gårds egen värmepanna för att hålla en jämn temperatur under rötningsprocessen och en liten del facklas (Uppsala vatten, 2009).

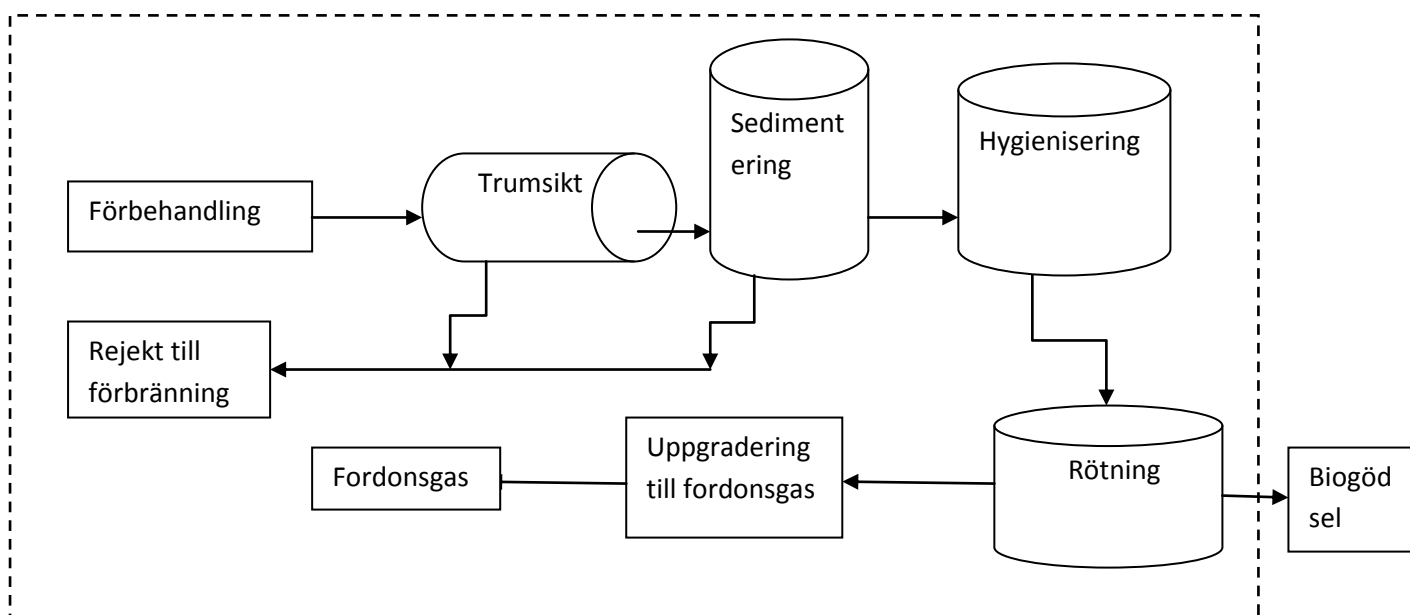


Bild 7: Schematisk bild över biogasanläggningen.

Uppgradering

Den rågas som bildas transporteras via rörledning till det närliggande reningsverket Kungsängsverket för uppgradering till fordonsgas. Uppgraderingen sker genom att rågasen "tvättas" ren från koldioxid genom en vattenskrubber. Koldioxiden löser sig i vattnet och kvar blir ren metangas. (Uppsala vatten, 2009) Den uppgraderade biogasen bör ha en metanhalt på minst 95 % och ibland kan det behöva tillsättas en liten del propan för att ge gasen ett likvärdigt energiinnehåll (Biogasportalen, 2011d).

När den producerade biogasen har fått samma energivärde som naturgas kan den distribueras i naturgasnätet. (Biogasportalen, 2011d) Den uppgraderade biogasen transporteras vidare via en gasledning till en tankstation som används av Uppsalas busstrafik och allmänheten (Uppsala vatten, 2009).

Rötrest

Det organiska materialet bryts inte ner till fullt i röt-kammaren utan kvar blir en rötrest (se bild 7). Rötresten innehåller förutom vatten och organiskt material även mikroorganismer och näringsämnen. När rötresten lämnar röt-kammaren samlas den upp i en rötresttank där stabilisering och ett sista uttag av biogas sker innan rötresten transporteras till lantbrukare och används som biogödsel (Uppsala vatten, 2009).

5.2 Kompostering

Kompostering är en aerob process där olika mikroorganismer bryter ner organiskt material. Vid nedbrytning bildas vatten, koldioxid samt energi i form av värme. (Carlström, 2006) Kompostering kan ske både i reaktor och utomhus. Vid Södertörns Renhållningsverks (SRV) anläggning Sofielund i Huddinge, söder om Stockholm, tillämpas strängkompostering (Naturvårdsverket, 2002c). Det organiska avfallet läggs ut på en betongplatta utomhus och en så kallade strängvändare används för att syresätta avfallet genom vändning (se bild 8). Detta eftersom det är nödvändigt att komposten får en god tillförsel av syre för att processen skall kunna fungera optimalt. Det är även viktigt att komposteringsprocessen håller rätt pH-värde, fuktighetsgrad och temperatur (Carlström, 2006).



Bild 8: Kompostvändare i arbete.(Retec, 2011)

Komposteringsprocessen kan delas in i tre olika stadier, inledningsvis sker en initial fas med stigande temperatur och en tillväxt av mesofila bakterier. Den andra fasen kännetecknas av mycket aktivitet och hög temperatur, då mesofila bakterier ersätts av termofila. Efterhand som halten organiskt material minskar, minskar även aktiviteten och temperaturen inom kompostprocessen. I den slutliga fasen, domineras därmed komposten återigen av mesofila bakterier (Sundberg, 2003).

Kompostrest

Efter kompostering siktas materialet genom en trumsikt, där plast och andra orenheter sorteras ut. Efter siktningen lämnas det komposterade materialet för eftermognad i tre månader, därefter blandas det med torv, sand och kalk för att kunna användas som jordförbättringsmedel (Carlström, 2006).

5.3 Förbränning tillsammans med övrigt restavfall

Vid förbränning av avfall utnyttjas avfallet som bränsle och energi återvinns. Det utsorterade matavfallet från Solna stad som inte uppfyller röttningsanläggningens kvalitetskrav förbränns i en avfallsförbränningsanläggning som producerar både el och värme. Avfallet eldas tillsammans med övrigt restavfall i en stor förbränningspanna och den värme som uppstår hettar upp en hetvattenspanna. Hetvattnet som produceras värmer vattnet i fjärrvärmeledningarna (Vattenfall, 2011a).

När el framställs från förbränning av avfall förångas vatten i en panna under högt tryck, ångan leds vidare in genom en ångturbin som genererar el. En kondensator kyler ångan till vatten, och den kvarvande värmen utnyttjas av fjärrvärmesystemet (Vattenfall, 2011b).

Rökgasrening

De rökgaserna som bildas vid förbränning av avfall renas genom att gasen förs in i en kalkreaktor och blandas med släckt kalk, kalken reagerar bland annat med väteklorider och svaveloxider som finns i gasen. De reaktionsprodukter och stoft som bildats fångas upp med hjälp av ett slangfilter och deponeras (Fortum, 2009).

Rökgaserna renas ytterligare genom en vattenskrubber i två steg, ett neutralt och ett surt. I det sura steget avskiljs bland annat väteklorid, ammoniak och kvicksilver. Efter vattenskrubbern förs gasen igenom en kondensator där vattenånga avskiljs. Efter kondensatorn passerar gasen den så kallade rök-gaskondenseringen, en värmeåtervinningsdel där vattenångan kondenseras och den frigjorda värmen tillförs fjärrvärmesystemet (Fortum, 2009).

Slagg

Efter förbränning kvarstår rester bestående av slagg från förbränningsugnen samt rökgasreningensprodukter. En del av slaggresterna deponeras medan en del används som fyllnadsmaterial vid till exempel vägbyggen, där slaggen ersätter naturgrus. Rökgasreningensprodukterna deponeras eller används som neutraliseringsmedel vid återfyllning av gruvor (Avfall Sverige, 2010).

6 Metodbeskrivning

I avsnittet beskrivs vilka antaganden och avgränsningar som gjorts samt några av de systemanalysmetoder som kan användas för att jämföra olika avfallshanteringssystem. Den multikriterieanalysmetod och den känslighetsanalys som används i detta examensarbete presenteras.

Vilka parametrar som, förutom miljömålen, bör ingå i systemanalysen bestäms efter diskussion med de inblandade aktörerna. För att analysera hur väl avfallshanteringssystemet uppfyller de olika målen, inom de valda parametrarna, finns ett flertal metoder, bland annat multikriterieanalys.

Multikriterieanalys används ofta för att analysera komplicerade problem, där många olika aspekter behöver vävas samman (Naturvårdsverket, 2002a). Metoden lämpar sig därmed väl för beslutsfattande inom till exempel kommunal verksamhet. (Multi Criteria Analysis - a manual, 2009).

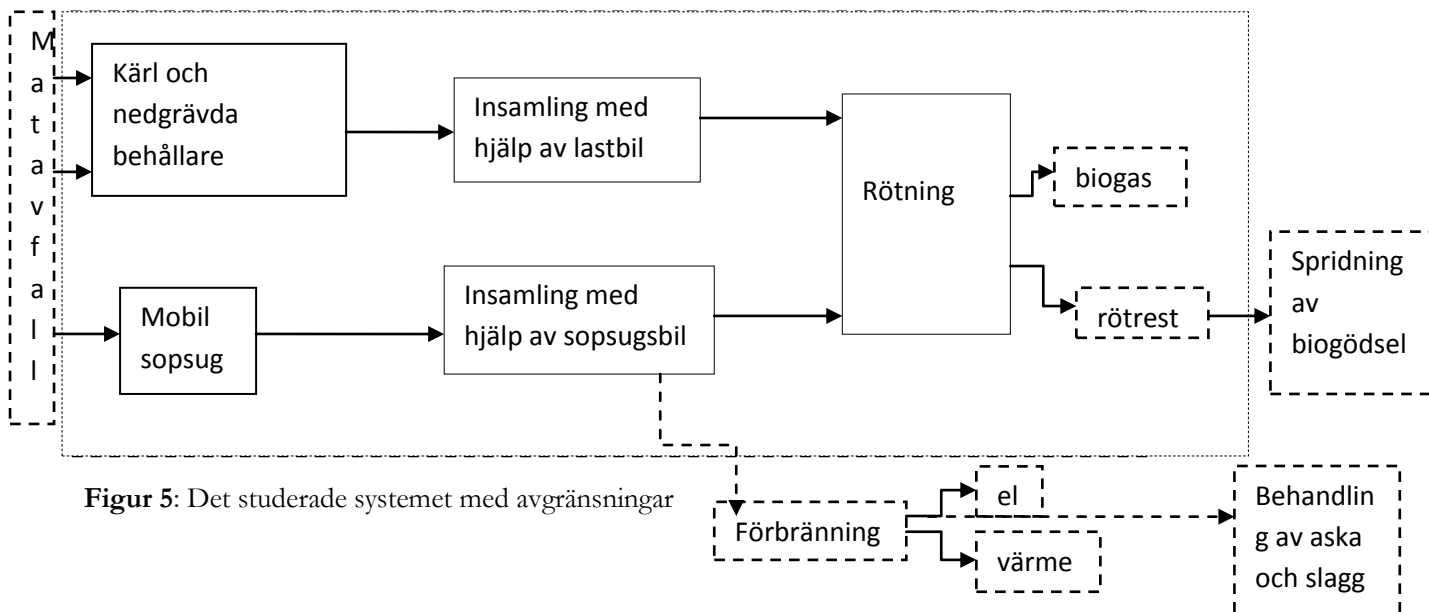
Känslighetsanalys kan användas för att visa hur känsligt ett resultat är för variationer. Genom att studera hur resultatet från modellen varierar då ingående variabler ändras eller sambandet mellan dem förändras genomförs en känslighetsanalys. (Nationalencyklopedin, 2011)

6.1 Avgränsningar och antaganden

Med avfallshanteringsystem menas insamling av det matavfall som uppstår i hushållen, transport av avfallet till behandling och slutligen behandling av avfallet genom rötning.

Anledningen till att alla avfallshanteringsystemen antas tillämpa rötning trots att detta inte sker i verkligheten (se avsnitt 4.7) är för att skapa en bättre jämförelse mellan de olika systemen och visa det önskvärda scenariet. Olikheterna mellan de olika behandlingsmetoderna analyseras sedan i en jämförelse mellan de olika behandlingsmetoderna.

Vid anaerob rötning utvinns biogas samt en rötrest vars växtnäring innehåll återförs till jordbruket som biogödsel. Den rötrest som bildas antas hålla en sådan kvalitet att den direkt kan återföras till åkermark men inkluderas inte i studien. Förbränning innebär att avfallets energiinnehåll utnyttjas som bränsle och genererar både värme, el samt slagg som slutprodukt. Borttransport och ytterligare efterbehandling av restprodukterna, rötrest och slagg, inkluderas inte i studien (se Figur 5).



Figur 5: Det studerade systemet med avgränsningar

Det kan eventuellt ske ett bortfall av organiskt material vid lagring av avfall då förmultningsprocessen redan påbörjats. Eftersom hämtning sker en gång i veckan, antas tiden för lagring av avfallet bli relativt begränsad (Tullberg, 2011). I och med detta antas förlusten av organiskt material genom förmultning vid lagring vara försumbar. Det lakvatten som kan uppstå när regnvatten passerar avfallet i de nedgrävda behållarna beaktas inte i studien.

Miljöpåverkan samt de kostnader som uppstår vid tillverkning av den apparatur som används vid insamling och behandling av matavfallet ingår inte i studien. Som exempel på apparatur kan

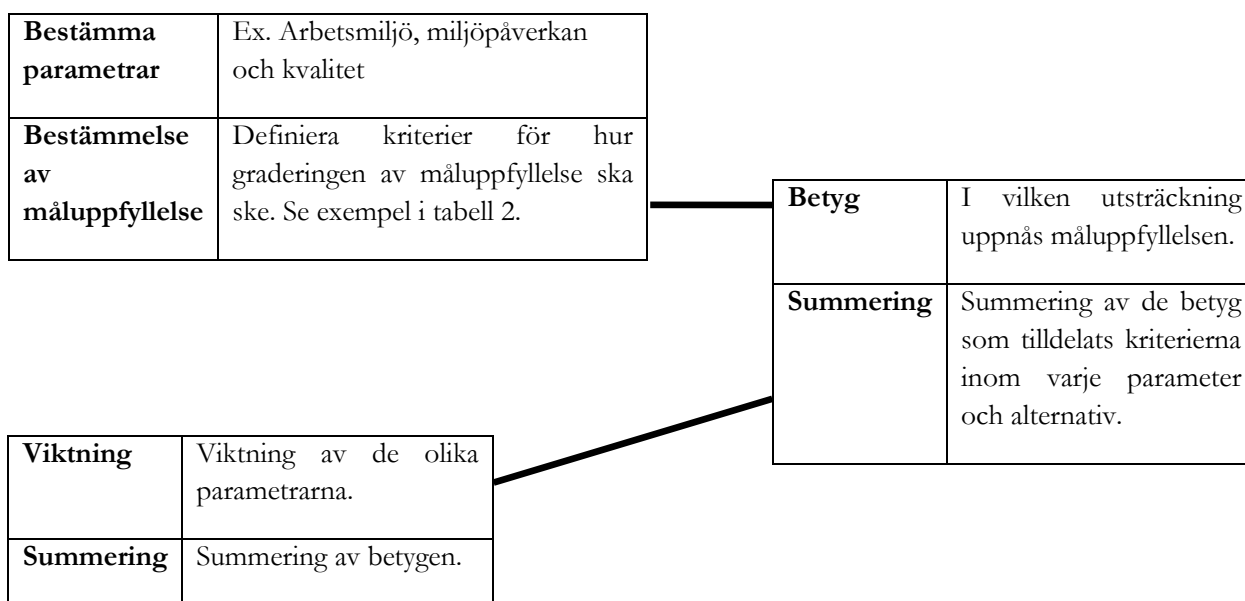
mobil sopsug, lastbil och rötningsanläggning nämnas. Studien innefattar dock vissa kostnader för inköp och drift av de olika systemen.

Miljöpåverkan från de tillbehör som används vid insamling av utsorterat matavfall som till exempel papperspåsar, påshållare samt kärl innefattas inte i studien. Kostnaderna för dessa innefattas dock i kostnadsberäkningarna för de olika avfallshanteringsystemen.

6.2 Multikriterieanalys

En multikriterieanalys (MKA) är en analysmetod som kan tillämpas för att utvärdera hur väl olika alternativ uppfyller ett eller flera mål. Målen beskrivs med hjälp av ett antal parametrar som värderas utifrån givna kriterier (Naturvårdsverket, 2002a). I figur 6 nedan redovisas en principiell arbetsstruktur för att arbeta med multikriterieanalys. (Triantaphyllou & Sánchez, 1997)

Målet för systemen som analyseras är att på bästa sätt ta tillvara den resurs som matavfall utgör. För att kunna värdera en övergripande måluppfyllelse krävs att man i beslutsprocessen tar hänsyn till ett flertal parametrar. Måluppfyllelsen för varje parameter graderas och betygsätts efter givna kriterier. Slutligen summeras samtliga betyg för samtliga parametrar i en samlad analys. Genom viktning kan de olika parametrarnas betydelse för det slutliga resultatet påverkas, olika viktningssystem kan därmed ge olika summerade resultat (Naturvårdsverket, 2002a).



Figur 6: Principiell arbetsstruktur för att arbeta med multikriterieanalys (Triantaphyllou & Sánchez, 1997).

Parametrarna bör vara oberoende av varandra för att analysen ska ge bästa möjliga resultat. Med oberoende menas att preferenserna för de olika parametrarna ska bestämmas utan hänsyn till någon av de andra parametrarna. Detta innebär att parametrarna inte är statistiskt oberoende och att det kan förekomma ett visst samband mellan parametrarna trots att preferenserna är oberoende (Multi Criteria Analysis- a manual, 2009). Som exempel kan parametrarna *Kvalitet* och *Miljöpåverkan* nämnas. Deras preferenser är oberoende men det finns även ett samband. Biogasproduktionen beror exempelvis av kvaliteten på matavfallet och produktionen av gas har

betydelse för miljöpåverkan. Det är därför viktigt att välja och definiera parametrarna med omsorg (Rosén. L et al, 2009).

6.3 Värdering av parametrar

Det finns ett flertal olika sätt att numeriskt värdera måluppfyllelsen för de olika parametrarna. En högre måluppfyllelse får högre betyg än lägre måluppfyllelse. En vanlig betygsgraderingsskala för denna betygsättning är 0 – 100 (Multi Criteria Analysis- a manual, 2009).

Syftar analysen till att jämföra olika alternativ med ett nollalternativ kan betygssättningen utgå från det. Till exempel genom att +2 betyder att alternativet uppfyller målen för en parameter mycket väl jämfört med nollalternativet, det omvända får -2. Nollalternativet har således poängställningen 0, vilket rimligtvis borde ge det mest lämpade alternativet det högsta positiva betyget (Rosén. L et al, 2009).

Tabell 1: Graderingsskala för måluppfyllelse av varje parameter.

Betygsgradering	Måluppfyllelse
5	Mycket stor
4	Stor
3	Medel
2	Liten
1	Mycket liten

I detta examensarbete graderas måluppfyllelsen för varje parameter numeriskt i en skala mellan 1 till 5 (se Tabell 1). Denna skala valdes för att skapa tydlighet i betygsättningen. Om skalan skulle bestå av flera steg skulle det bli svårt att särskilja nästkommande steg. Vid betyg 1 antas målet för parametern vara uppfyllt enligt kriteriet till en väldigt liten grad, medan vid betyg 5 är måluppfyllelsen mycket stor (se Tabell 2). Denna typ av gradering har även använts i tidigare studier med multikriterieanalys. (Asperö Lind, 2009)

Tabell 2: Kriterier för måluppfyllelse av parametern *Kostnad*.

Bestämma måluppfyllelse	Måluppfyllelse	Kriteriet	Betygsgrad
För parametern Kostnad	Mycket stor	Kriteriet för mycket stor måluppfyllelse för parametern kostnad är mycket låg kostnad	5
	Stor	Kriteriet för stor måluppfyllelse för parametern kostnad är låg kostnad	4
	Medel	Kriteriet för medel måluppfyllelse för parametern kostnad är normal kostnad	3
	Liten	Kriteriet för liten måluppfyllelse för parametern kostnad är hög kostnad	2
	Mycket liten	Kriteriet för mycket liten måluppfyllelse för parametern kostnad är mycket hög kostnad	1

Vissa parametrar är mer betydelsefulla för beslutet än andra och med hjälp av viktning av de olika parametrarna kan deras relevans för beslutet framhävas. Vanligtvis betyder olika parametrar olika mycket för de inblandande aktörerna, genom att använda viktningssystem kan en mer rättvis bedömning av alternativen ske. (Multi Criteria Analysis- a manual, 2009). Viktningens betydelse för det slutliga resultatet utreds senare i en känslighetsanalys.

6.4 Olika metoder för att genomföra en Multikriterieanalys

Det finns flera olika metoder att använda sig av inom multikriterieanalys (MKA). Den metod som används i detta examensarbete är Utsorteringsmetoden. En vanlig MKA-metod är den som ofta används i tidningar och tidskrifter för att granska och jämföra olika konsumentprodukter. Sådana tester genomförs ofta med en prestandamatrix där det redogörs för hur väl de olika produkterna uppfyller målen för parametrarna, till exempel pris, vikt och bekvämlighet. I en prestandamatrix tillämpas inte viktning av de olika parametrarna, istället är det upp till läsaren att värdera de olika parametrarnas betydelse. (Rosén. L et al, 2009)

Multi- attributmetoden

Multi - attributmetoden är en annan metod för att genomföra en multikriterieanalys och bestäms av följande byggstenar:

- En prestandamatrix
- Procedurer för att avgöra om de parametrar som används är oberoende eller inte.
- Metoder för att skatta parametrarna i en matematisk funktion som kan användas för att beskriva hur fördelaktigt ett alternativ är, baserat på hur väl det uppfyller de valda kriterierna.

Denna metod är effektiv och accepterad men är en av de mer omfattande och krävande MKA-metoderna. Den är därför mest användbar i projekt där kraven på resultatet är höga och tillräckliga resurser finns för att anlita specialister. Det som gör metoden mer krävande än andra är bland annat att osäkerhetshanteringen byggts in i modellen. (Rosén. L et al, 2009)

Analytisk hierarkisk process (AHP) metoden

Ytterligare en metod är den linjära additiva metoden, analytisk hierarkisk process (AHP), som tillämpar en parvis jämförelse. Det är en metod där de olika parametrarna ställs mot varandra genom att beslutsfattarna får en rad olika frågor att besvara. Vid en fullständig tillämpning av AHP jämförs alternativen och kriterierna parvis. Detta resulterar i olika matriser som det ofta krävs speciella beräkningsprogram för att lösa. (Rosén. L et al, 2009)

Utsorteringsmetoden

Utsorteringsmetoden är ytterligare en metod för att tillämpa MKA. Utsorteringsmetoden kan användas om parametrarna uppfyller följande punkter (Gal .T et al, 1999):

- Minst en av parametrarnas måluppfyllelse måste bedömas kvalitativt.
- Enheterna för de olika kriterierna är svåra att jämföra och att anpassa dem till samma enhet skulle ge felaktigt resultat.

Utsorteringsmetoden tillämpar en typ av parvis jämförelse mellan de olika parametrarna för att kunna identifiera vilket alternativ som framstår som bättre än de andra. Ett alternativ klassas som mer fördelaktigt än de övriga om tillräckligt många parametrar indikerar att det är bättre, detta förutsätter dock att det alternativet inte är avsevärt sämre med avseende på någon av de övriga parametrarna. (Rosén. L et al, 2009) Inom utsorteringsmetoden viktas de olika parametrarna efter deras relevans för beslutet. För att säkerställa att viktningssystemet används på rätt sätt genomförs en känslighetsanalys av resultatet (Gal.T et al, 1999). Enligt Utsorteringsmetoden kan två alternativ klassas som ”svåra att jämföra” om det till exempel saknas viktig information. Trots bristande information är det möjligt att värdera de olika alternativen, dock med viss osäkerhet i resultatet. Detta kan skapa svårigheter vid beslutssituationer där metoden används just för att utesluta vissa alternativ till förmån för andra (Rosén. L et al, 2002).

Det faktum att analysen går att genomföra trots att viktig information saknas gör att transparensen genom metodprocessen minskar (Multi Criteria Analysis- a manual, 2009). Ytterligare en svaghet med Utsorteringsmetoden är att det finns utrymme för viss godtycklighet inom metoden. Det kan därför många gånger upplevas svårt att definiera ett alternativ som bättre än ett annat (Rosén. L et al, 2002)

I detta examensarbete saknas en opartisk expertgrupp för bedömning av olika parametrar och viktningssystem. Det finns heller inte någon möjlighet att använda avancerade beräkningsmodeller och därför borde Utsorteringsmetoden väljas. Inom Utsorteringsmetoden tillämpas inte viktning men för att studera hur resultatet påverkas av olika viktningssystem görs en känslighetsanalys (se avsnitt 6.6).

6.5 Känslighetsanalys

Känslighetsanalys gällande viktning

Känslighetsanalysen gällande viktning genomförs för att studera hur olika viktningssystem påverkar resultatet av multikriterieanalysen. Känslighetsanalysen är en möjlighet att undersöka hur olika aktörers intressen påverkar det slutliga resultatet. Genom att vikta de olika parametrarna kan deras betydelse för resultatet ökas eller minskas. Eventuellt kan det slutgiltiga resultatet gällande det alternativ som får högst betyg förändras om ett annat viktningssystem används.

6.6 Jämförelse mellan olika behandlingsmetoder

Jämförelse mellan olika behandlingsmetoder med avseende på miljöpåverkan

I syfte att analysera de olika systemens påverkan på miljön görs en jämförelse mellan olika behandlingsmetoder. Jämförelsen visar hur en ändring av behandlingsmetod påverkar värderingen av parametern *Miljöpåverkan*. Varje avfallshanteringssystem analyseras för sig och genom att variera behandlingsmetod inom systemen belyses behandlingsmetodens betydelse för utsläpp av växthusgaser. Detta görs för att till exempel kunna påvisa hur stor miljönytta blir om matavfallet rötas och biogas istället för fossila bränslen används som fordonsbränsle.

7 Val av lämpliga parametrar

I avsnittet beskrivs vilka parametrar som analyseras i detta examensarbete samt varför de valts och andra utslutits.

Enligt tidigare studier av avfallshanteringssystem bör de parametrar som analyseras ha en tydlig koppling till miljömålen, till exempel miljöeffekter, ekonomi, servicegrad, hållbarhet. Ska ytterliga parametrar behandlas bör även de sättas i relation till miljömålen (RVF, 2003).

Tidigare studier visar att en vanlig preliminär kategorisering av parametrar är sociala, ekonomiska, och miljömässiga (Susangka & Chaerul, 2009). En multikriterieanalys över kommunal avfallshantering gjord i Finland tillämpar följande parametrar: ekonomi, miljö, politik, resursåtervinning samt sysselsättning (Hokkanen et al, 1995). Hokkanens parametrar faller in under den preliminära kategorisering som visas i Susangka och Chaerul studie (Susangka & Chaerul, 2009). Lämpliga kvantitativt mätbara parametrar kan vara kostnader, miljöpåverkan, och kvalitet (Hokkanen et al, 1995).<

För att skapa förutsättningar för långsiktigt hållbara avfallshanteringssystem måste även de ”mjuka” aspekterna behandlas. Dessa aspekter går sällan att mäta kvantitativt men spelar en viktig roll för bedömning av avfallshanteringssystemen (Bisaillon, 2011). Exempel på sådana parametrar är arbetsmiljö, användarvänlighet, driftsäkerhet och flexibilitet.

Val av parametrar baseras på tidigare studier, rapporter och utifrån diskussioner med handledare vid Solna stad och Lund Tekniska Högskola. (Asperö Lind, 2009) (Rosén et al, 2009) (Hokkanen et al, 1995) Personer från SÖRAB och grannkommuner till Solna har också konsulterats. De parametrar som valts för att genomföra multikriterieanalysen är följande: *Kostnad, Miljöpåverkan, Kvalitet, Kvantitet, Arbetsmiljö, Användarvänlighet samt Driftsäkerhet och Flexibilitet.*

Flera parametrar skulle kunna använts inom analysen, däribland *Fosfor tillförd produktiv mark*, *Omgivningspåverkan* och *Juridiska aspekter*. Anledningen till att parametern gällande *Fosfor tillförd produktiv mark* inte används i detta examensarbete är att de avgränsningar som gjorts i denna studie inte innefattar spridning av biogödsel. Parametrar som *Omgivningspåverkan* och *Juridiska aspekter* behandlas inte i examensarbetet eftersom de antas svåra att värdera samtidigt som de inte antas tillföra analysen något.

8 Beskrivning av de valda parametrarna.

I detta avsnitt beskrivs de parametrarna som valts att ingå i multikriterieanalysen samt vad de innefattar.

8.1 Kostnad

Vid kostnadsberäkningar är det viktigt att belysa kommunens hela kostnad för avfallshanteringsystemen. I detta inkluderas investeringskostnader, materialkostnader, insamlingskostnader, informationskostnader och behandlingskostnader (RVF, 2003). Vid kostnadskalkylering av de olika alternativen används annuitetsmetoden, som anger den årliga kostnaden för investeringen som funktion av kalkylräntan och avskrivningstiden (Olsson & Skärvad, 2008). Livslängden för sopsugen antas vara 15 år, 10 år för en nedgrävd behållare och 5 år för kärl (Tullberg, 2011)(Dolk, 2011). Avskrivningstiden antas vara 10 år för mobil sopsug, 7 år för nedgrävda behållare samt 5 år för kärl. (Svenska kommunförbundet, 2001) Kalkylräntan på 5 % antas vara samma för de olika systemen (Kärrman et al, 2005).

Vid beräkning av kostnaden antas informationskostnaderna för reklamkampanjer, informationsblad med mera fördelas jämnt mellan de olika alternativen. Informationskostnaderna antas vara en engångskostnad. Anledning till att informationskostnaderna anses vara en engångskostnad baseras på kommunens budget för en projektanställd informatör under ett år samt informationsmaterial.(Tullberg, 2011)

Materialkostnader för de påshållare som delas ut till alla brukare som vill sortera sitt matavfall antas vara en engångskostnad. Varje hushåll förbrukar i snitt 3 stycken papperspåsar i veckan till sitt utsorterade matavfall (Tullberg, 2011). Årskostnaderna för påsar och påshållare per ton avfall blir därför de samma för de olika avfallshanteringsystem, eftersom dessa kostnader baseras på samma antaganden om hur många påsar respektive hållare som behövs.

8.2 Miljöpåverkan

De olika avfallshanteringsystemen påverkar miljön på olika sätt genom energiförbrukning och utsläpp av växthusgaser. De utsläpp av växthusgaser som genereras från systemen kommer från bränsle och elförbrukning inom insamling, transport till behandling och behandling. Alla de tre avfallshanteringsystemen antas tillämpa rötning som behandlingsmetod. Detta antagande görs för att jämföra systemen för insamling av matavfall separat.

Genom att jämföra den förbrukade energin för behandling, transport och insamling med den energi som produceras inom systemen beräknas den totala energinyttan. Energinyttan anges i Mega Joule per ton (MJ/ton) och utsläpp av växthusgaser anges i kilokoldioxid-ekvivalenter per ton. (CO₂-ekv (kg)/ton).

Miljöpåverkan från avfallshantering har behandlats i ett flertal andra studier och därmed bedöms parametern som viktigt för att kunna genomföra en multikriterieanalys. (Asperö Lind, 2009) (Bisaillon et al, 2010)

8.3 Kvalitet

Bedömningen av kvaliteten på det utsorterade matavfallet från flerfamiljshus i Solna stad kommer att ske kvalitativt. Betydelsen av kvaliteten på matavfallet belyses i SÖRAB- regionens avfallsplan (se avsnitt 4.3). Kvaliteten på avfallet har stor betydelse både för gasproduktionen och för kvalitetssäkring av rötresten (Starberg, 2005). Utnyttjande av växtnäringen i rötresten omnämns även i de förslag till reviderade miljömål som presenterades 2008 och 2011, se avsnitt 3.3 och 3.4. (Miljömålsrådet, 2008)(Miljömålsberedningen, 2011).

Det matavfall som sorteras ut inom det mobila sopsugsystemet håller för närvarande inte den kvalitet som önskas och avfallet accepteras inte för närvarande som rötmaterial vid biogasanläggningen. Det är svårt att bedöma om den försämrade kvaliteten är ett resultat av dåliga tömningsrutiner eller de boendes utsortering. Föroreningsgraden kan även bero på att många väljer att lägga sin papperspåse med matavfall i en plastpåse. (Tullberg, 2011) För att kunna jämföra och utvärdera systemen objektivt jämförs sopsugsystemet i Solna med ett liknande system i stadsdelen Hammarby sjöstad i Stockholms kommun. Detta för att få en uppfattning om den låga sorteringskvaliteten är ett lokalt eller allmänt problem.

8.4 Kvantitet

Solna stad började aktivt samla in utsorterat matavfall i september 2010, därför finns det ingen statistik över mängden utsorterat matavfall från år 2010. Den teoretiska mängd matavfall som kan uppkomma beräknas utifrån hur mycket avfall ett genomsnittligt hushåll genererar (Avfall Sverige, 2009). Cirka 30 % av de som kan sortera ut sitt matavfall gör det, därmed fås en uppfattning om vilka teoretiska mängder som genereras från systemen (Särholm, 2011). Det förekommer inget bortfall av matavfall vid omlastning. (Andersson, 2011). Parametern kvantitet har tagits upp i tidigare systemstudier av avfallshantering och har en stark koppling till miljömålet gällande insamlade mängder matavfall (se avsnitt 3.3). Därför bör parametern kvantitet studeras i detta examensarbete. (Kärman et al, 2005)

8.5 Arbetsmiljö

De som arbetar med avfallshantering utsätts för olika typer av risker, till exempel tunga lyft, skjut- och dragmotstånd och exponering för bioaerosoler såsom mögelsporer och bakterier. (Avfall Sverige, 2008). Betydelsen av arbetsmiljön belyses även i Solna stads avfallsplan (avsnitt 4.3). Betygsgraderingen av arbetsmiljön för de studerade systemen kommer att ske kvalitativt med hjälp av tidigare studier och utifrån samtal med renhållningsarbetarna. I detta examensarbete kommer enbart arbetsmiljö vid insamling av matavfall att studeras.

Enligt Arbetsmiljöverket (Arbetsmiljöverket, 2010) stod verksamheter inom vattenförsörjning, avfallshantering och avloppsrensning för flest arbetsolyckor med sjukfrånvaro bland män under 2009. De vanligaste skadorna var skador på händer och fingrar men även belastningsskador från tunga lyft. Dålig arbetsmiljö kan ge upphov till arbetssjukdomar, sjukdomar som uppkommit genom annan inverkan än olycksfall. Exempel på arbetssjukdomar kan vara sjukdomar till följd av exponering för kemikalier med mera. (Arbetsmiljöverket, 2010)

Vid dålig syretillförsel vid nedbrytning av biologiskt avfall kan svavelväte och metan bildas. Svavelväte är en giftig gas och metangas kan tränga undan luftens syre och orsaka kvävning. God ventilationen är därmed en förutsättning för att minska risken för exponering för svavelväte och metangas. (AFS, 1984)

Tillväxten av bioaerosoler beror på ett flertal faktorer såsom temperatur, näringsåtkomst och fukt. Renhållningsarbetarna utsätts vanligtvis för låga halter av bioaerosoler och den största hälsoriskerna uppkommer främst vid långtidsexponering. De största halterna uppkommer vid hämtning av avfall, därför krävs det god ventilation och minskad direktkontakt med avfallet för att minska renhållningsarbetarnas exponering för bioaerosoler. (Avfall Sverige, 2008)

För att konkretisera parametern arbetsmiljö kommer två olika aspekter att belysas i analysen, tunga lyft och exponering för bioaerosoler. Dessa två aspekter valdes eftersom att de båda innefattar risken för arbetssjukdomar och arbetsolyckor (Arbetsmiljöverket, 2010). Risken för tunga lyft och exponering för bioaerosoler har även lyfts fram som viktiga aspekter i tidigare multikriterieanalyser och studier av avfallshantering. (Asperö Lind, 2009) (Kärrman et al, 2005)

8.6 Användarvänlighet

I förslaget till revidering av miljömålet gällande avfall betonas vikten av att avfallshantering ska vara lättillgängligt och estetiskt tilltalande, se avsnitt 3.4. (Miljömålsrådet, 2008) I avfallsplanen för Solna stad återfinns detta som ett mål för brukarnas tillfredsställelse över den kommunala avfallshanteringen. Målet innebär att insamlingen skall vara enkel, lätt att förstå och erbjuda den service som efterfrågas för att avfallsplanens mål skall uppfyllas (SÖRAB:s avfallsplan, 2008).

Naturvårdsverkets nationella avfallsplan pekar även den på vikten av att hushållen lätt och smidigt ska kunna sortera sitt avfall och att hushållen omfattas av en god servicenivå gällande avfallshantering. Enligt den nationella avfallsplanen ska resultatet av källsortering och ökad återvinning återkopplas till hushållen. Detta för att öka motivationen till fortsatt källsortering. (Naturvårdsverket, 2005)

Brukarnas syn på användarvänlighet och tillgänglighet är viktig då systemen i grunden bygger på att människor själva sorterar ut sitt organiska avfall. Upplever brukarna avfallshanteringssystemen som svårtillgängliga eller otillfredsställande minskar både kvalitet och kvantiteten på det utsorterade materialet (LRV, 2010). Hur brukarna ser på de olika avfallshanteringssystemen för insamling av matavfall har studerats i tidigare studier och är därmed en parameter som bör behandlas i denna analys. (Kärrman et al, 2005) (Naturvårdsverket, 2002b)

Studier från Naturvårdsverket visar att åtgärder som underlättar källsortering, som till exempel fastighetsnära insamling, bidrar till både ökade mängder och förbättrad kvalitet på det utsorterade materialet. (Naturvårdsverket, 2008c) En viktig faktor för att öka användarvänligheten inom avfallshanteringssystem är tillgänglighet. Avståndet till sophus, uppsamlingsplats eller soprum spelar roll för tillgängligheten. Ju kortare avståndet är till sophuset desto mer tillgängligt upplevs avfallshanteringssystemet. (Sörbom, 2003) Hygien och renheten i dessa utrymmen påverkar även brukarens motivation till att sortera ut matavfall. (Formas Fokuserar, 2004) En studie gjord i bostadsområdet Augustenborg i Malmö visar att majoriteten av de boende tycker att renheten i sophuset är en viktig faktor för motivationen till källsortering. (Altundal & Gullberg, 2007) Med

tillgänglighet menas att avfallshanteringssystem är lättbegripliga och att individen förstår hur, varför och vad som händer med det utsorterade matavfallet. (Sörbom, 2003)

De vanligaste anledningarna till att inte sortera sitt avfall är enligt en undersökning gjord i Lund, dålig lukt och hygien samt långt avstånd till sophus. (LRV, 2010) Dålig lukt och smutsiga kärl utpekade även som ett problem hos de 78 kommuner som deltog i en enkätundersökning gjord av Waste Refinery, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut 2010. (Henriksson, 2010)

För att konkretisera parametern användarvänlighet kommer tre aspekter att belysas i detta examensarbete. Hygienen i sopusrymmen, återkoppling gällande resultatet av utsortering av matavfall samt avståndet till sopusrymmen. Som nämns ovan är det bland annat dessa aspekter som anses viktiga när det gäller användarvänligheten inom systemen. Aspekten gällande hygien i soprum har tagits upp i tidigare studier (Asperö Lind, 2009). Bedömningen av parametern *Användarvänlighet* kommer att ske kvalitativt.

För att ta reda på hur brukarna upplever de olika avfallshanteringssystemen skickades en enkät ut via mejl med frågor gällande utsortering av matavfall. (se Bilaga 2) Enkäten skickades till bostadsrättsföreningen (Brf) Hagalunden, Brf Jungfrudansen 1, Moroten 1-3, Brf Bygatan och Brf Bergshamra Gård och till bostadsbolaget Signalisten. Enkäten innehöll frågor gällande hur de boende informerats, vilka synpunkter som framkommit gällande matavfallsinsamling samt om de upplevt några problem med insamlingen av matavfall. Svar inkom från fyra av sex bostadsområden och samtliga tre avfallshanteringssystem var representerade (se Tabell 3).

Tabell 3: Resultat från den enkätundersökning som skickades ut till bostadsrättsföreningar och bostadsbolag som tillämpar avfallshanteringssystemen.

	Brf Jungfrudansen 1 (Nedg. behållare)	Brf Moroten (Nedg. behållare)	Brf Bergshamra gård (Kärl)	Signalisten (mobil sopsug)
Information till de boende	Info på anslagstavla i varje entré och via föreningens hemsida.	Inga specifika informationsinsatser	Informationsmöte samt information via föreningens hemsida.	Information via hemsidan.
Framkomna synpunkter	Lukt, problem med fastfruset lås vintertid.	Dålig lukt, ful behållare	Rädsla för ökad andel skadedjur såsom råttor	
Upplevda problem	Dålig lukt			Lukt, smutsiga behållare, utebliven hämtning.

Den 16:e mars anordnades en informationsträff gällande utsortering av matavfall för de boende i Brf Jungfrudansen 1, Brf Moroten och Brf Bygatan. Under träffen framkom synpunkter om hur de boende uppfattar avfallshanteringsystemen med nedgrävda behållare och kärl.

8.7 Driftsäkerhet och flexibilitet

I detta examensarbete kommer driftsäkerheten och flexibiliteten inom insamling och behandling att utvärderas. Anledningen till att både insamling och behandling utvärderas utifrån denna parameter är att de i många fall är beroende av varandra. Ett driftstopp i en rötningsanläggning gör att det insamlade matavfallet inte kan behandlas biologiskt och därmed går till spillo. Uteblir hämtningen av utsorterat matavfall till exempel på grund av svår väderlek minskar mängden material till rötningsanläggningen. Driftsäkerhet och flexibilitet är aspekter som tagits upp i tidigare multikriterieanalyser och bör därmed utvärderas. (Kärman et al, 2005)(Asperö Lind 2009)

Driftsäkerhet påverkar bland annat användarvänligheten hos systemen. (Särnholm, 2011) Driftsäkerheten för insamling och behandling inom avfallssystemen bestäms kvalitativt. Genom att studera antalet driftstörningar inom de olika avfallssystemen föregående år kan sannolikheten för framtida störningar uppskattas. Driftsäkerheten för insamling påverkas även av yttre förhållanden som till exempel väder och felparkerade bilar vilket påverkar möjligheten för insamlingsfordonen att hämta avfallet (Berg & Mattson, 2001).

Driftsäkerheten inom avfallssystemen påverkas även av vilka insamlingsfordon som används. Tömning av kärl kan ske med olika varianter av baklastande sopbilar, medan det mobila sopsugsystemet endast kan tömmas med speciella sopsugslastbilar. (Tullberg, 2011) Det finns därmed mindre antal ”reservfordon” som kan ersätta en eventuellt trasig sopsugslastbil.

Flexibiliteten inom systemen, det vill säga hur känsliga systemen är för yttre framtida förändringar, påverkar bland annat användarvänligheten och ekonomin hos systemen. Skapas ett system utan möjlighet till anpassning för yttre förändringar sjunker flexibiliteten avsevärt. (Sjöblom, 2011) Exempel på förändringar kan vara ökade eller minskade mängder avfall, lagändringar, ombyggnationer eller den yta som tas i anspråk. Klarar inte systemet av att anpassas till omställningarna kan det behöva göras om eller rent av bytas ut. Flexibiliteten gällande behandlingsmetoden påverkas även av hur många anläggningar för biologisk behandling som finns tillgängliga (Olsson, 2011).

9 Resultat och diskussion

I detta avsnitt redovisas resultatet från multikriterieanalysen av de olika avfallshanteringsystemen och hur väl systemen uppfyller de uppsatta kriterierna.

Betygsgraderingen av de olika parametrarna och resultat har diskuterats i samarbete med Ingrid Olsson, Miljö – och utvecklingschef på SÖRAB, Kristina Sjöblom från Sollentuna Energi och Carin Tullberg, avfallsingenjör på Solna stad.

9.1 Kostnad

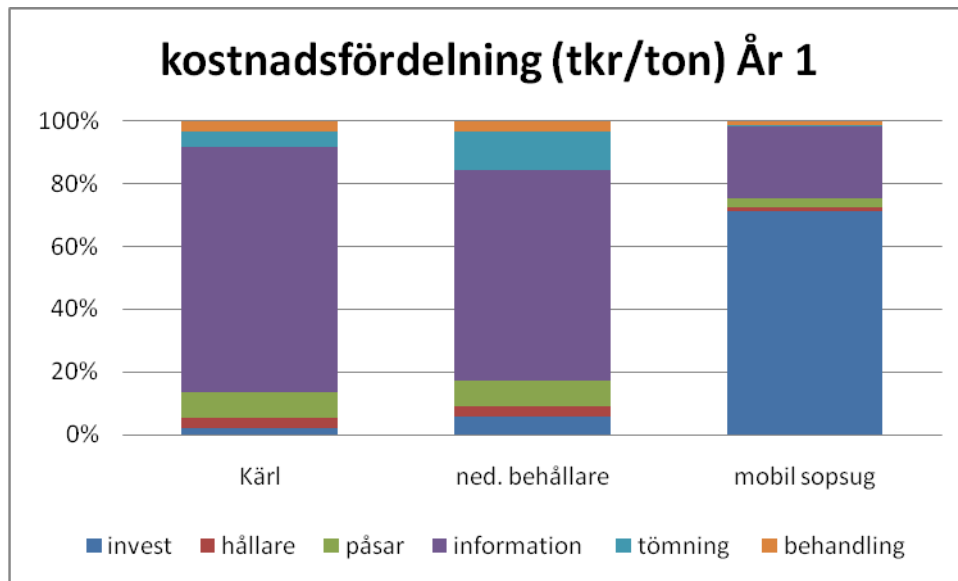
För att jämföra kostnaderna för de olika avfallshanteringsystemen beräknas kostnaden per ton omhändertaget avfall. Mängden omhändertaget avfall är baserat på de teoretiska mängder som beräknats i avsnitt 9.4. Kostnaden för de olika aktiviteterna utgör olika procentsatser av den totala kostnaden per ton omhändertaget avfall.

För kostnadskalkylering av de olika avfallshanteringsystemen användes annuitetsmetoden. Metoden anger den årliga kostnaden för en investering som funktion av kalkylräntan och avskrivningstiden (Olsson & Skärvad, 2008). Livslängd för en mobil sopsug antas vara 15 år, 10 år för en nedgrävd behållare och 7 år för kärl (Tullberg, 2011) (Dolk, 2011). Avskrivningstiden för mobil sopsug antas vara 10 år, 7 år för nedgrävda behållare och 5 år för kärl (Svenska kommunförbundet, 2001) Kalkylräntan på 5 % antas vara samma för de olika avfallshanteringsystemen (Kärrman et al, 2005) (se Bilaga 1 för beräkningar). I och med att det mobila sopsugsystemet har längre livslängd så behöver kärssystemet respektive systemet för nedgrävda behållare bytas ut tidigare än det mobila sopsugsystemet vilket leder till högre kostnader i ett långsiktigt perspektiv.

Kostnaden per ton omhändertaget avfall för de olika avfallshanteringsystemen varierar kraftigt. Som man ser i figur 7 är största delen av kostnaden inom det mobila sopsugsystemet investeringskostnader. Avfallshanteringsystemet med kärl har lägst investeringskostnaderna.

Kostnaden för tömning är högre för systemet med nedgrävda behållare, vilket syns i kostnadsfördelningen per ton avfall. Kostnaden för den informationsinsats som krävs antas vara lika för de tre avfallshanteringsystemen. Anledningen till att kostnaden för information per ton avfall är störst i systemet med kärllinsamling är att det i detta system samlas in minst antal ton per år (se avsnitt 9.4). I och med detta fördelas kostnaderna på ett mindre antal ton och därmed får kostnaden för information en större betydelse.

Som tidigare nämnts är investeringskostnaderna för det mobila sopsugsystemet betydligt högre än för de övriga avfallshanteringsystemen, vilket återspeglas i den totala kostnaden för systemet. (se Tabell 4).



Figur 7: Kostnaderna per ton behandlat avfall År 1.

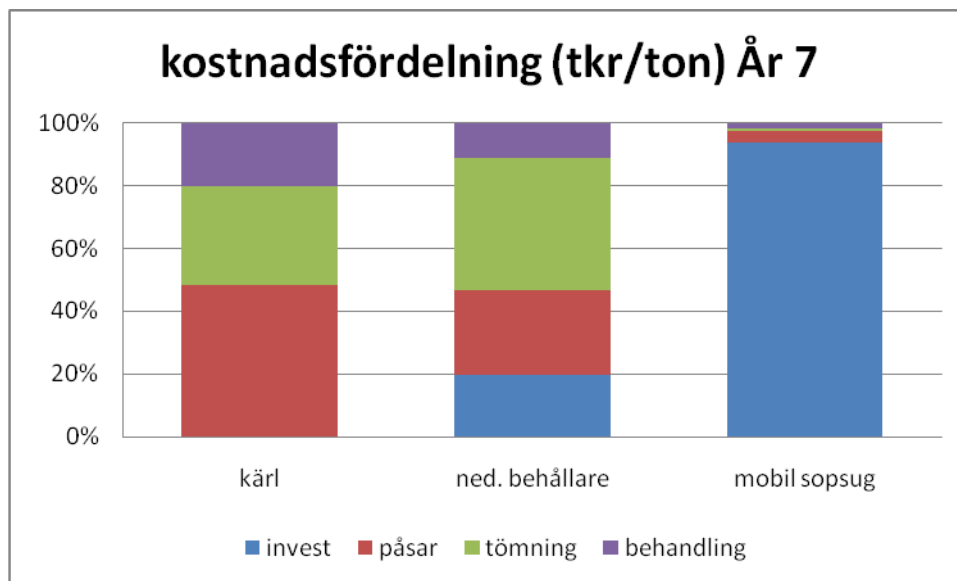
Tabell 4: Total kostnad per ton omhändertaget avfall (tkr/ton) år 1.

	Kärll	Nedgrävda behållare	Mobil Sopsug
Total kostnad (tkr/ton)	19,894	19,748	52,444

Kostnaderna för påshållare och informationsinsatser antas vara engångskostnader och finns således inte medräknade för kostnaderna 7 år efter investeringstillfället. Kostnadsandelen för investeringskostnaden i det mobila sopsugsystemet per ton avfall är år 7 större än vid år 1 (se Figur 7 och Figur 8). Detta beror på att den totala kostnaden för systemet minskat i och med att kostnaden för påshållare och information tagits bort. Därmed får investeringskostnadsandelen en större betydelse för den totala kostnaden. Kostnaden för påsar inom systemen för nedgrävda behållare och kärll får ökad betydelse beroende på att den totala kostnaden per ton sjunker (se Figur 8).

Kostnadsandelen för behandling per ton avfall är högre för kärllinsamlingssystemet, detta trots att avfallet behandlas på samma sätt inom alla de jämförda avfallshanteringssystemen. Anledningen till detta beror på att den totala kostnaden per ton insamlat avfall för systemet med kärll är lägre år 7 vilket beror på att investeringskostnaden för kärllerna då är avskriven. I och med detta utgör behandlingens kostnad en större del av den totala kostnaden (se Tabell 5).

År 7 är den totala kostnaden för det mobila sopsugsystemet fortfarande högre än för de övriga avfallshanteringssystemen men i och med att det mobila sopsugsystemet är nedgrävt tas mindre mark i anspråk. I områden med tät bebyggelse eller höga fastighetspriser minskar därmed kostnaden för avfallshanteringen med mobil sopsug på grund av att kostnaderna för soprum försvinner. (Naturvårdsverket, 2002b).



Figur 8: Kostnaden per ton behandlat avfall År 7.

Tabell 5: Total kostnad per omhändertaget avfall (tkr/ton) år 7.

	Kärll	Nedgrävda behållare	Mobil Sopsug
Total kostnad (tkr/ton)	3,259	5,653	39,849

Betygsmotivering

Tabell 6: Kriterier för måluppfyllelse för parametern *Kostnad*.

Bestämna måluppfyllelse	Måluppfyllelse	Kriterier	Betyg
För parametern kostnad	Mycket stor	Kriterier för mycket stor måluppfyllelse för kostnad är mycket låg kostnad	5
	Mycket liten	Kriterier för mycket liten måluppfyllelse för kostnad är mycket hög kostnad	1

Kostnaderna för de olika avfallshanteringsystemen varierar. Systemet med mobil sopsug har högst totala kostnader även efter en 7 års period och får därmed ett lägre betyg än de övriga systemen (2).

Nedgrävda behållare är billigare än mobil sopsug och kärll vid investeringstillfället men har en längre avskrivningstid. Därför är kostnaden per ton avfall år 7 högre för systemet med nedgrävda behållare än för kärll. Därmed graderas systemet med nedgrävda behållare till betyget 4. Avfallshanteringsystemet med kärll har näst lägst kostnad och därmed tilldelas detta system betyget 3.

Tabell 7: Betygsgradering av parametern *Kostnad*.

Parameter	Avfallshanteringsystem		
	Kärl	Nedgrävda behållare	Mobil sopsug
Kostnad	3	4	2

9.2 Miljöpåverkan

Insamling och transport

Vid insamling och transport till behandling av avfall genereras ett utsläpp av växthusgaser om de fordon som används drivs av fossila bränslen. De resultat som redovisas i figur 9 är baserade på drivmedelskonsumtionen för de olika fordonstyperna samt den körsträckan som de antas köra vid insamling respektive transport till behandling. (se Bilaga 1 för beräkningar)

Insamling av avfall från flerfamiljshus i kärl ger upphov till lägre utsläpp av växthusgaser än de övriga avfallshanteringsystemen. Detta beror på att insamling med kärl sker med sopbil som antas drivas med fordonsgas bestående av 50 % förnyelsebar biogas. (Boss, 2005)(Eon, 2011) I och med att biogas inte antas ge något nettoutsläpp av växthusgaser blir utsläppen lägre.

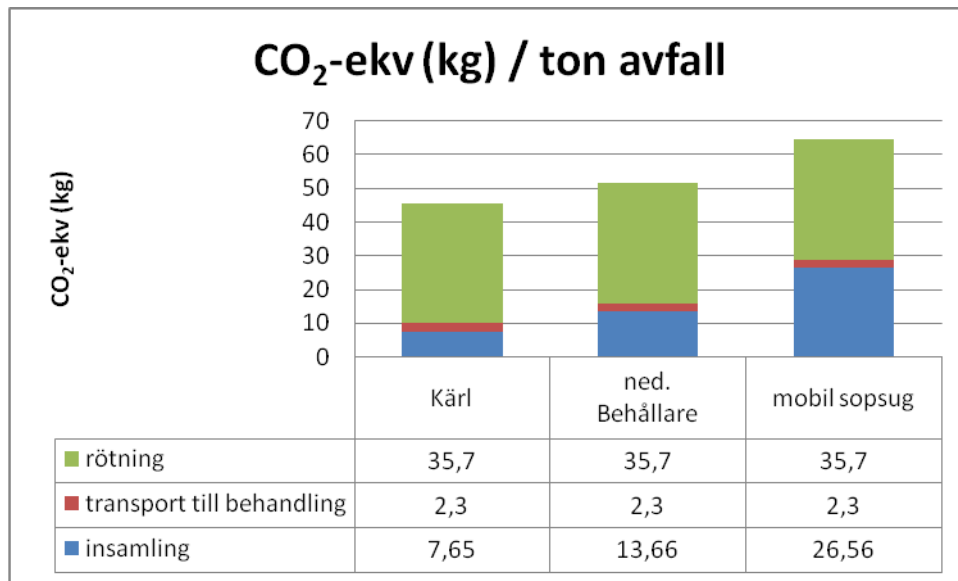
Insamling av avfall med mobil sopsugslastbil kan identifieras som en ”hot-spot” när det gäller miljöpåverkan inom avfallshanteringsystemet (se Figur 9). Att systemet genererar högre utsläpp av växthusgaser än de övriga beror på att sopsugslastbilen har en högre bränsleförbrukning, eftersom fordonet måste generera ett undertryck för att kunna hämta avfallet. Sopsugslastbilen har därmed mindre lastförmåga vilket gör att utsläppen av växthusgaser per ton blir högre. (Iriarte et al, 2009).

De utsläpp av CO₂(kg)-ekvivalenter per ton som redovisas i detta examensarbete är något högre än vad tidigare studier visar. (Eisted et al 2009)(Larsen et al, 2009). Detta beror troligen på att mängden last vid transport av avfall kan variera kraftigt, i storstadsområden är det vanligt att insamlingsfordonen inte fylls maximalt. Detta påverkar utsläppen av CO₂(kg)-ekvivalenter eftersom mindre antal ton per last ger större utsläpp av CO₂-ekv per ton. (Iriarte et al, 2009).

De längre transporterna mellan omlastning och behandlingsanläggning ger ett relativt litet bidrag till utsläpp av växthusgaser (se Figur 9), vilket även redovisats i tidigare studier (Bernstad, 2010).

Behandling

För att röta det avfall som samlas in behöver en viss mängd fossila bränslen och el användas. Inom rötningsprocessen är det nödvändigt att värma rötningssubstratet och el behövs till pumpar och uppgradering av biogasen till fordonsgas. Vid rötning av ett ton avfall krävs 0,01018 m³ olja och 0,1144 MWh el, vilket tillsammans genererar ett utsläpp på 35,7 CO₂-ekv per ton. (se Bilaga 1 för beräkningar)



Figur 9: CO₂(kg)-ekvivalenter per ton avfall från de studerade systemen.

Tabell 8: Den totala mängden CO₂-utsläpp per ton avfall för varje avfallshanteringsystem.

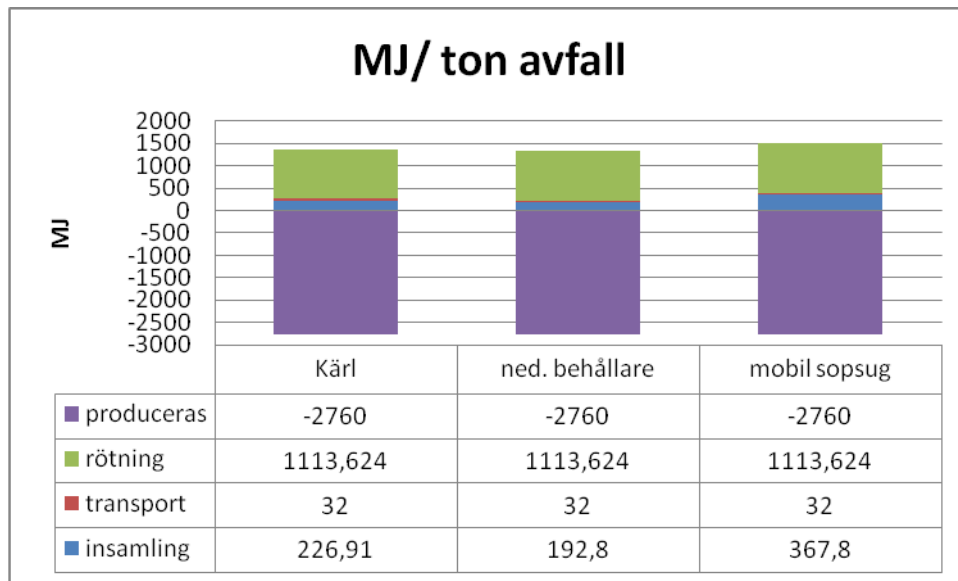
	Kär	Nedgrävda behållare	Mobil sopsug
Totala CO ₂ -utsläpp/ton avfall	45,79	51,8	64,7

Energinyttan

För att beräkna de olika avfallshanteringsystemens energinytta, jämförs den förbrukning och produktion av energi som varje system ger upphov till. Vid rötning produceras 120 m³ biogas/ton matavfall (Nordin, 2011). Biogasen antas ha ett värmevärde på 23 MJ/Nm³ (Basdata om biogas, 2006), vilket ger en produktion av energi på 2 760 MJ/ton. (se Bilaga 1 för beräkningar).

Den mobila sopsugslastbilen har en bränsleförbrukning på 10,667 liter/ton avfall (Jennische, 2011). Antas diesel ha ett energivärde på 43,1 MJ/kg och en densitet på 0,8 kg/liter (Preem, 2011a), blir energiförbrukning 367,79 MJ/ton vid insamling i det mobila sopsugsystemet. Energiförbrukningen vid insamlingen av avfall inom det mobila sopsugsystemet är mer än 1,5 gånger så hög som för de övriga systemen.(se Figur 10)

Tidigare studier visar att energiåtgången per ton insamlat avfall med konventionell sopbil hamnar runt 250 MJ/ton (Berglund & Börjesson, 2003a). Detta stämmer relativt väl med det redovisade resultatet gällande energiåtgången för insamling med kär samt nedgrävda behållare (se Figur 10 nedan).



Figur 10: Energinyttan för de olika studerade systemen.

Betygsmotivering

Tabell 9: Kriterier för måluppfyllelse av parametern *Miljöpåverkan*.

Måluppfyllelse för parametern miljöpåverkan	Måluppfyllelse	Kriterier	Betygsgrad
	Mycket stor-gällande utsläpp av CO ₂ - ekv/ energinytta	Kriterier för mycket stor måluppfyllelse inom miljöpåverkan är låga utsläpp av CO ₂ - ekv/ hög energinytta.	5
	Mycket liten -gällande utsläpp av CO ₂ - ekv/ energinytta	Kriterier för mycket liten måluppfyllelse inom miljöpåverkan är höga utsläpp av CO ₂ - ekv/ låg energinytta.	1

Avfallshanteringssystemet med kär ger upphov till lägst utsläpp av växthusgaser vid insamling och därmed tilldelas systemet med kär betyget 5 (se Figur 9). Avfallshanteringssystemet med nedgrävda behållare genererar ett högre utsläpp av CO₂-ekvivalenter per ton än systemet med kär och får betyget 4 (se Figur 9). Insamling i det mobila sopsugsystemet ger upphov till betydligt högre utsläpp av CO₂-ekvivalenter än de övriga systemen och får därmed betyget 2 (se Figur 9).

Energinyttan för avfallshanteringssystemen med nedgrävda behållare är något större än för systemet med kär vilket beror på att insamlingen kräver mindre energi (se Figur 10). Därmed tilldelas avfallshanteringssystemet med nedgrävda behållare betyget 5. Kärssystemet har inte en lika stor energinytta utan får betyget 3. Energinyttan för systemet med mobil sopsug är lägre än för de övriga avfallshanteringssystemen eftersom insamlingen kräver mer energi (se Figur 10). Systemet med mobil sopsug graderas till betyget 2.

Tabell 10: Betygsgradering av parametern *Miljöpåverkan*.

Parameter	Avfallshanteringsystem		
	Kärl	Nedgrävda behållare	Mobil sopsug
Utsläpp av CO ₂ -ekvivalenter/ ton	5	4	2
Energinyttan/ton	4	5	2
Medelvärde	4,5	4,5	2

9.3 Kvalitet

I dagsläget rötas det utsorterade matavfallet som samlas in genom kärl respektive nedgrävda behållare i Solna stad. Materialet från dessa avfallshanteringsystem håller generellt en hög kvalitet. (Andersson, 2011) Det avfall som sorteras ut i systemet med mobil sopsug håller för närvarande inte en sådan kvalitet att det accepteras som material till rötningsanläggningen i Uppsala.

En anledning till att avfallet från systemet med kärl håller en högre kvalitet kan vara att det är möjligt att spåra kvalitet tillbaka till brukaren. Vid kärllinsamling är det lätt för renhållningsarbetarna att bedöma kvaliteten genom att titta i kärlet. Detta är svårare för avfallsinsamlingsystemen med nedgrävda behållare och mobil sopsug (Olsson, 2011).

Under 2009 genomfördes en plockanalys av det matavfall som sorteras ut i det mobila sopsugsystemet. Enligt analysen innehöll 95 vikt-% av det utsorterade materialet enbart organiskt matavfall (Bartholdson, 2009). Det material som enligt analysen var felsorterat innehöll bland annat plastpåsar. Rötningsanläggningen i Uppsala kan acceptera en viss grad av föroreningar, som sorteras bort genom speciell förbehandling (se avsnitt 8.1). (Hendered, 2011).

Dåliga rutiner vid tömning av det mobila sopsugsystemet kan bidra till att det utsorterade matavfallet blir mer förorenat. Vid tömning öppnas de olika lagringstankarna maskinellt och töms inte tankarna helt finns det risk att påsar av restavfall från andra tankar finns kvar i ledningarna. Dessa påsar förs sedan med ut när det utsorterade matavfallet töms och skapar en större föroreningsgrad än vad matavfallet hade från början. (Lorentzon, 2011)

Avfallshanteringsystemet med mobil sopsug finns även installerat i stadsdelen Hammarby Sjöstad i Stockholm. Även i detta område har det varit problem med kvaliteten på det utsorterade matavfallet. (Olsson, 2011) Detta tyder på att en försämrad kvalitet på utsorterat matavfall från systemet med mobil sopsug inte enbart är ett lokalt problem utan även förekommande på andra platser.

Betygsmotivering

Tabell 11: Kriterier för måluppfyllelse för parametern *Kvalitet*.

Bestämning	Måluppfyllelse	Kriterier	Betygsgrad
Måluppfyllelse för parametern kvalitet	Mycket stor	Kriterier för mycket stor måluppfyllelse inom kvalitet är låg andel felsorterat material	5
	Mycket liten	Kriterier för mycket liten måluppfyllelse inom kvalitet är hög andel felsorterat material	1

Det matavfall som sorteras ut inom avfallshanteringsystemen med kärl och nedgrävd behållare håller en god kvalitet, även om den inte är exemplariskt god. (Andersson, 2011) Därmed tilldelas dessa avfallshanteringsystem betyget 4. Matavfallet från det mobila sopsugsystemet håller inte den kvalitet som biogasanläggningen efterfrågar och därmed kan det matavfall inte behandlas biologiskt så att växtnäring och energi utnyttjas. I och med detta tilldelas avfallshanteringsystemet med mobil sopsug betyget 1.

Tabell 12: Betygsgradering för parametern *Kvalitet*.

Parameter	Avfallshanteringsystem		
	Kärl	Nedgrävda behållare	Mobil sopsug
Kvalitet	4	4	1

9.4 Kvantitet

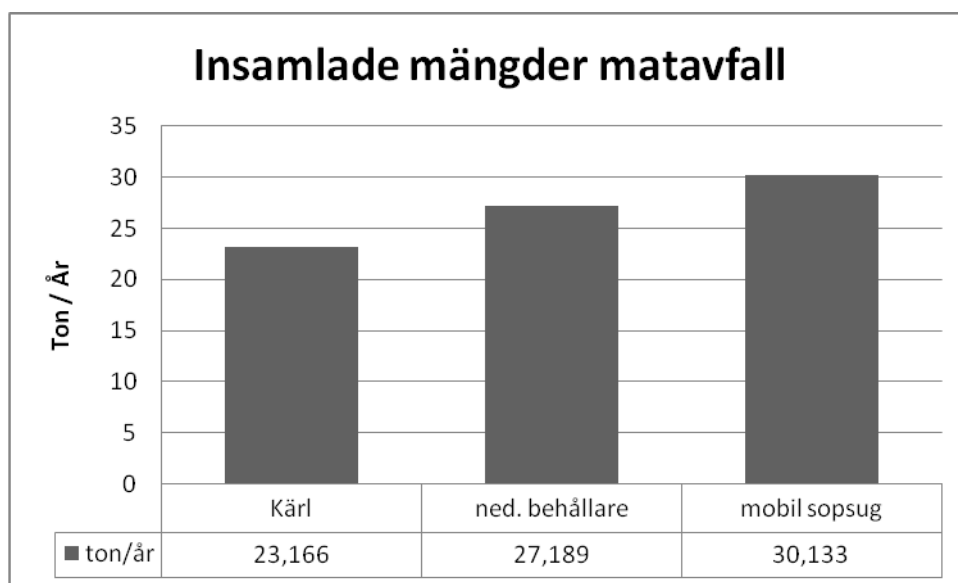
De insamlade mängderna av utsorterat matavfall har beräknats genom att varje hushåll i flerfamiljshus antas generera 10 liter matavfall per vecka. Densiteten för emballerat matavfall antas vara 0,22 liter/kg, vilket ger en total mängd matavfall på 2,2 kg per hushåll och vecka (Avfall Sverige, 2009).

Ungefär 30 % av de hushåll som har möjligheten att sortera ut sitt matavfall gör det (Särnholm, 2011) Det innebär att av de 878 hushåll som har möjlighet att sortera ut sitt avfall med mobil sopsug, är det 264 hushåll som verkligen gör det. (Se Bilaga 1 för beräkningar)

Genom att teoretiskt beräkna de mängder som genereras från de hushåll som sorterar fås mängden matavfall från respektive avfallshanteringsystem och år. De teoretiskt beräknade mängderna från systemen har sedan jämförts med insamlade mängder från tidigare år. För avfallshanteringsystemen med mobil sopsug och kärl stämmer de teoretiskt beräknade mängderna bra överens med de faktiskt uppmätta. (Tullberg, 2011)

För avfallshanteringsystemet med nedgrävda behållare är den teoretiskt beräknade mängden matavfall högre än den faktiskt uppmätta (Tullberg, 2011). Detta kan bero på att det är färre personer än genomsnittet i detta område som sorterar ut sitt matavfall. För att kunna jämföra de utsorterade mängderna från de olika avfallshanteringsystemen antas de teoretiskt beräknade mängderna gälla för samtliga system (Se Bilaga 1 för beräkningar). Därmed blir de mängder som

antas sorteras ut genom nedgrävda nergrävda behållare något skilt från verkligheten. Utsortering av matavfall är relativt nytt i Solna och de utsorterade mängderna kommer troligen att öka då fler väljer att sortera ut sitt matavfall.



Figur 11: Teoretisk beräknade mängder av utsorterat matavfall från de olika systemen i Solna stad.

Betygsmotivering

Tabell 13: Kriterier för måluppfyllelse av parametern *Kvantitet*.

Bestämna måluppfyllelse	Måluppfyllelse	Kriterier	Betygsgrad
för parametern kvantitet	Mycket stor	Kriterier för mycket stor måluppfyllelse inom kvantitet är stort antal ton utsorterat matavfall/år.	5
	Mycket liten	Kriterier för mycket liten måluppfyllelse inom kvantitet är litet antal ton utsorterat matavfall/år.	1

Eftersom de teoretiskt beräknade mängderna är baserade på samma uppgift gällande den mängd avfall som genereras per hushåll och vecka går de inte att jämföra. De teoretiskt beräknade mängderna ger ingen information om vilket system som i högst grad bidrar till att flest antal ton sorteras ut per år. Det enda som skiljer de olika avfallshanteringssystemen åt är hur många hushåll som är anslutna till respektive system. Eftersom de är flest hushåll som är anslutna till det mobila sopsugsystemet så genererar detta system teoretiskt flest antal ton per år.

Betygsgradering för parametern kvantitet blir därmed lika för alla avfallshanteringssystemen, de är alla godkända (3) när det gäller mängden utsorterat matavfall.

Tabell 14: Betygsgradering för parametern *Kvantitet*.

Parameter	Avfallshanteringsystem		
	Kärl	Nedgrävda behållare	Mobil sopsug
Kvantitet	3	3	3

9.5 Arbetsmiljö

Kärl

Vid hämtning av kärl används baklastande sopbilar och renhållningsarbetarna drar fram kärLEN till sopbilen. För att underlätta arbetet är det alltid två personer som arbetar med tömningen av kärl. De kärl som används är försedda med ”lockilock”, vilket gör att renhållningsarbetarna inte behöver vrida kärlet för att transportera det till sopbilen. Detta minskar arbetsbelastningen avsevärt (Berg & Mattson, 2001).

I många fall har kärLEN små hjul och är överfulla vilket gör att arbetsbelastningen i form av tunga lyft och drag ökar. Arbetsbelastning tilltar under vinterhalvåret då snö och is försvårar hämtning av kärLEN. (RVF, 2006) Under vinterhalvåret uppstår även problem med fastfruset material i kärLEN. (Sjöblom, 2011)(Henriksson, 2010)

Smutsiga och illaluktande kärl förekommer men om ventilerade kärl används ökar luftgenomströmningen och dålig lukt förebyggs.(Naturvårdsverket, 2002a) Ventilerade kärl bidrar även till ett torrare material vilket gör kärLEN lättare att transportera. Brukarna har i många fall vant sig vid att paketera avfallet i papperspåsar och därmed ökar upplevelsen av renhet vid hantering av avfallet. (Berg & Mattson, 2001) Erfarenhet har dock visat att luftgenomströmningen i ventilerade kärl som placerats inomhus är i det närmaste obefintlig. (Naturvårdsverket, 2002b)

I och med att renhållningsarbetarna måste transportera kärlet till sopbilen ökar deras kontakt med avfallet och risken för exponering för bioaerosoler ökar.(Berg & Mattson, 2001)

Nedgrävda behållare

I de nedgrävda behållarna förvaras avfallet under marknivån där temperaturen är lägre, därmed minskar risken för exponering för bioaerosoler vid hämtning av avfall (Naturvårdsverket, 2002b) Innehåller det utsorterade matavfallet mycket vätska ökar dock risken för exponering för bioaerosoler. Tömning av nedgrävda behållare sker maskinellt med hjälp av kranbil vilket minskar renhållningsarbetarna kontakt med avfallet. Vid tömning med kranbil minskar även arbetsbelastningen i form av tunga lyft (Branteman, 2011).

Vintertid försvåras inte hämtningen av att avfallet fryser, temperaturen i behållaren hålls högre tack vare att avfallet förvaras under jord.(Branteman, 2011)

Mobil sopsug

Eftersom avfallet suggs upp maskinellt minskar renhållningsarbetarnas kontakt med det utsorterade matavfallet. Viss exponering för bioaerosoler kan förekomma vid underhåll av insamlingsfordonet och vid stopp i ledningssystemet. (Alvarez de Davila, 2002)

Vintertid försvåras inte hämtningen av att avfallet fryser, dock kan problem uppstå om dockningsstationen är nedgrävd och täckt av snö och is. Dockningsstationerna i bostadsområdet Hagalund i Solna är upphöjda och därmed minskar risken för fastfrusna luckor (Jennische, 2011).

Betygsmotivering

Tabell 15: Kriterier för måluppfyllelse av parametern *Arbetsmiljö*.

Bestämna måluppfyllelse	Måluppfyllelse	Kriterier	Betyg
för parametern arbetsmiljö	Mycket stor – tunga lyft/exponering för bioaerosoler.	Kriterier för mycket stor måluppfyllelse inom arbetsmiljö är få antal tunga lyft/låg exponering för bioaerosoler.	5
	Mycket liten – tunga lyft/exponering för bioaerosoler.	Kriterier för mycket liten måluppfyllelse inom arbetsmiljö är flertal antal tunga lyft/hög exponering för bioaerosoler	1

Vid insamling inom avfallshanteringssystemet med kärl måste renhållningsarbetarna dra fram kärnen till insamlingsfordonet vilket ökar arbetsbelastningen. Därmed får avfallshanteringssystemet med kärl lägst betyg (2) gällande tunga lyft. I systemet med nedgrävda behållare minskas arbetsbelastningen eftersom tömningen sker maskinellt, därmed graderas det till en 4:a gällande tunga lyft. I systemet med mobil sopsug minimeras antalet tunga lyft och systemet betygsätts med en 5:a.

Renhållningsarbetarnas utsätts för nära kontakt med avfallet därmed får avfallshanteringssystemet med kärl lägst betyg (2) gällande exponering för bioaerosoler. Trots det att tömningen sker maskinellt inom systemet med nedgrävda behållare finns det risk att renhållningsarbetarna exponeras för bioaerosoler då blött avfall hanteras. Därför graderas exponering för bioaerosoler till betyget 3. Eftersom avfallet i det mobila sopsugsystemet suggs ut med hjälp av undertryck minskas renhållningsarbetarnas kontakt med avfallet. Därmed minskas exponeringen för bioaerosoler, vilket ger betyget 4.

Tabell 16: Betygsgradering av parametern *Arbetsmiljö*.

Parameter	Avfallshanteringssystem		
	Kärl	Nedgrävda behållare	Mobil sopsug
Tunga Lyft	2	4	5
Exponering för bioaerosoler	2	3	4
Medelvärde	2	3,5	4,5

9.6 Användarvänlighet

Kärl

I tidigare studier har det framkommit att många brukare upplever att det finns problem med lukt från kärl vid insamling av utsorterat matavfall. En vanlig uppfattning bland brukarna är att sophuset inte anses rena vilket minskar motivationen att sortera ut matavfall. (Henriksson, 2010) De ohygieniska förhållandena i sophuset kan bero på att det i många fall finns möjlighet att källsortera ett flertal olika fraktioner i samma sophus. Sophusens kärl är dimensionerade för en viss mängd avfall och överskrids den mängden svämmas kärlet över. (LRV, 2010) Detta kan t.ex. vara säsongbetonat, kring jul och andra högtider ökar mängden matavfall från hushållen. (Lorentzon, 2011) Att bristande hygien ska öka andelen skadedjur, såsom råttor, i området är någonting som oroar många brukare. (Corell, 2011)

Enligt de intervjuade bostadsrättsföreningarna som använder kärl för insamling av utsorterat matavfall sätts information gällande insamling upp i de gemensamma sophuset. Inga extra insatser har gjorts för att informera de nyinflyttade, de nya medlemmarna hänvisas istället till den information som finns på föreningarnas hemsida. I en av de intervjuade bostadsrättsföreningarna har det genomförts en enkätundersökning för att ta reda på hur många av de boende som var intresserade av att sortera ut sitt matavfall. Resultatet från undersökningen visade att drygt hälften av de boende var intresserade av att börja sortera ut sitt matavfall. I samband med starten för utsorteringen hölls även ett informationsmöte (Corell, 2011).

Vid insamling inom avfallshantering med kärl måste brukaren gå ut till sophuset med sitt utsorterade matavfall och därmed ökar avståndet till insamlingsplatsen.

Nedgrävda behållare

De nedgrävda behållare som används är placerade separat från andra avfallsfraktioner och försedda med lås så att enbart de boende inom föreningarna kan använda dem. Därmed minskar risken för nedskräpning runt omkring behållaren. Vintertid kan dålig snöröjning innebära att det är svårt att ta sig fram till behållaren. (Fernström, 2011)

Information gällande utsortering av matavfall sätts upp på en anslagstavla i varje trapphus och publiceras även på föreningarnas hemsida. Det kommer även att informeras om utsortering av matavfall vid föreningens stämma senare under våren 2011. Ingen extra insats har gjorts för att

informera de boende i föreningen (Fernström, 2011)(Åwall, 2011). Vid det informationsmöte som hölls den 16 mars framkom det att några av de nyinflyttade till föreningarna, som använder systemet med nedgrävda behållare, inte fått någon information om hur sorteringen i deras förening går till.

Vintertid har det funnits problem med att låset till de nedgrävda behållarna frusit fast (Fernström, 2011). Vid användning av nedgrävda behållare måste brukaren gå ut med sitt utsorterade matavfall och därmed ökar avståndet till insamlingsplatsen, eftersom det endast finns ett begränsat antal (i detta fall tre stycken) nedgrävda behållare i området. Vid det informationsmöte som hölls den 16 mars framkom det att några av de boende tyckte att avståndet till behållarna var för långt och de valde därför att inte sortera ut sitt matavfall.

Mobil sopsug

Signalisten som är förvaltare för de hyresrätter som sorterar ut matavfall med hjälp av mobil sopsug, uppger att hyresgästerna får information via deras hemsida. Från de boende har det framkommit synpunkter gällande smutsiga sopsugsbehållare (Grahn, 2011). Liksom insamling med nedgrävda behållare är lagringsbehållarna för det mobila sopsugsystemet separerade från andra avfallsfraktioner vilket minskar risken för nedskräpning runt behållarna.

Vid användning av mobil sopsug måste brukaren gå ut med sitt utsorterade matavfall och därmed ökar avståndet till insamlingsplatsen.

Betygsmotivering

Tabell 17: Kriterier för måluppfyllelse av parametern *Användarvänlighet*.

Bestämna måluppfyllelse	Måluppfyllelse	Kriterier	Betygsgrad
för parametern användarvänlighet	Mycket stor – hygien/återkoppling/avstånd	Kriterier för mycket stor måluppfyllelse inom användarvänlighet är god hygien/hög återkoppling/kort avstånd.	5
	Mycket liten – hygien/återkoppling/avstånd	Kriterier för mycket liten måluppfyllelse inom användarvänlighet är dålig hygien/låg återkoppling/långt avstånd.	1

Gällande upplevelsen av renheten omkring behållaren för insamling av matavfallet graderas avfallshanteringssystemet för kärllågt (2) och de övriga systemen högre (4). Anledningen till detta är att brukaren har mindre kontakt med avfallet i avfallshanteringssystemen med mobil sopsug och nedgrävda behållare.

Den återkoppling som brukaren får från systemen är genomgående låg och informationsinsatserna skiljer sig marginellt mellan de jämförda systemen. Därför betygssätts återkoppling från avfallshanteringssystemen lågt (2).

Det har framkommit att brukare som nyttjar systemet med nedgrävda behållare har långt till insamlingsplatsen. Detta är dock beroende på var brukaren bor och ingenting som karakteriserar något av de jämförda avfallshanteringsystemen, därmed graderas system lika gällande avstånd (3).

Tabell 18: Betygsgradering av parametern *Användarvänlighet*.

Parameter	Avfallshanteringsystem		
	Kärl	Nedgrävda behållare	Mobil sopsug
Hygien	2	4	4
Återkoppling	2	2	2
Avstånd	3	3	3
Medelvärde	2,3	3	3

9.7 Driftsäkerhet och flexibilitet

Kärl

De baklastande sopbilar som används vid insamling inom avfallshanteringsystemet med kärl är relativt vanliga vilket gör det lätt att hitta ersättningsfordon vid ett eventuellt driftstopp. (Tullberg, 2011) Driftsäkerheten gällande insamling av utsorterat matavfall i kärl påverkas även av väderleken, vid halt väglag och mycket snö kan sopbilen ha svårigheter att ta sig fram (Jennische, 2011).

Flexibiliteten när det gäller ökade eller minskade mängder matavfall är relativt hög för avfallshanteringsystemet med kärl. Detta beror på att kärl lätt kan flyttas och bytas ut vid behov. (Särnholm, 2011) Kärl tar upp en stor yta och för att klara avfallsinsamlingen från stora bostadsområden krävs ett stort antal kärl. (Naturvårdsverket, 2002b)

Rötning av organiskt material är en känslig process som kräver konstant temperatur, processen är även beroende av en konstant tillförsel av organiskt material (Nordin, 2011). Detta gör att flexibiliteten inom behandling av utsorterat matavfall genom rötning är låg.

Nedgrävda behållare

Driftsäkerheten inom avfallssystemet med insamling i nedgrävda behållare är relativt hög. Insamlingsfordonet är en kranbil, vilket det finns relativt många av.

Driftsäkerheten gällande insamling inom avfallshanteringsystemet med nedgrävda behållare påverkas ofta av väderleken, vid halt väglag och vid mycket snö kan kranbilen ha svårigheter att ta sig fram. Problem med felparkerade bilar kan även uppstå vilket försvårar hämtningen av avfall (Branteman, 2011).

Flexibiliteten när det gäller ökade och minskade mängder av matavfall inom systemet är däremot låg. Ökade mängder kan kräva att ytterligare en behållare grävs ned, vilket kräver resurser i form av både pengar och arbete. De befintliga behållarna är svåra att flytta men det faktum att

behållarna till stor del är nedgrävda gör att ytan som tas i anspråk minskas. (Berg & Mattson, 2001)

Som tidigare nämnts är rötning av organiskt material till biogas en känslig process och därmed minskar flexibiliteten inom behandlingen av matavfall från nedgrävda behållare (Nordin, 2011).

Mobil sopsug

Driftsäkerheten när det gäller insamlingsfordon för avfallshanteringsystemet med mobil sopsug är låg. För insamling krävs en speciell mobil sopsugslastbil som kan generera det undertryck som krävs för att tömma sopsugsbehållarna. Denna typ av fordon är dyra och ganska ovanliga, det finns därmed få bilar att sätta in vid eventuellt driftstopp. I Stockholmsområdet finns det i dagsläget tre stycken sopsugslastbilar för mobila sopsugssystem vilket täcker behovet (Dolk, 2011) (Tullberg, 2011).

Driftsäkerheten gällande insamling inom det mobila sopsugssystemet påverkas av väderleken, vid mycket snö kan det vara svårt att ansluta till dockningsstationen. Svårigheterna ökar om dockningsstationerna är nedgrävda men i bostadsområdet Hagalund i Solna är detta inte fallet.

Flexibiliteten för avfallshanteringsystemet med mobil sopsug är låg när det gäller ökade eller minskade mängder (Naturvårdsverket, 2002b). Ett befintligt system är svårt att förändra, skulle mängderna öka dramatiskt skulle det troligen behövas en ombyggnation. (Naturvårdsverket, 2002b). Det mobila sopsugssystemet är nedgrävt under jorden vilket gör att det endast är lite yta ovan jord som tas i anspråk. (Berg & Mattsson, 2001)

Betygsmotivering

Tabell 19: Kriteriet för måluppfyllelse av parametern *Driftsäkerhet och Flexibilitet*.

Bestämna måluppfyllelse	Måluppfyllelse	Kriterier	Betygsgrad
för parametern Driftsäkerhet och Flexibilitet	Mycket stor	Kriterier för mycket stor måluppfyllelse inom flexibilitet är hög driftsäkerhet och flexibilitet inom driftsäkerhet/framtida förändringar/ ökade mängder/yta som tas i anspråk.	5
	Mycket liten	Kriterier för mycket liten måluppfyllelse inom flexibilitet är låg driftsäkerhet och flexibilitet inom driftsäkerhet/framtida förändringar/ökade mängder/yta som tas i anspråk.	1

Det är relativt lätt att hitta alternativa lösningar för insamling av kärll, därmed graderas driftsäkerheten för insamling inom detta avfallssystem till betyget 4:a. Inom avfallshanteringsystemet för nedgrävda behållare graderas driftsäkerheten inom insamling till betyget 4:a, eftersom det i likhet med kärllsystemet relativt lätt går att hitta alternativa lösningar för insamling. Avfallshanteringsystemet med mobil sopsug har inte en lika hög driftsäkerhet när det gäller insamling, beroende på att det endast finns ett fåtal insamlingsfordon att tillgå, vilket ger systemet betyget 3.

Totalt skedde tre stycken driftstörningar vid biogasanläggningen vid Kungsängens gård i Uppsala år 2009. Dessa driftstopp berodde i stor utsträckning på störningar i rötningsprocessen (Uppsala Vatten, 2009) Rötning är en komplicerad och känslig process och driftsäkerheten för behandling genom rötning inom avfallshanteringssystemen graderas därmed till betyget 3.

Flexibiliteten när det gäller minskade och ökade mängder är hög vid insamling av kärl. Kärl är lätta att placera ut om mängden utsorterat matavfall skulle öka, betyget blir därmed 4. Avfallshanteringssystemet med nedgrävda behållare har lägre flexibilitet när det gäller ökade och minskade mängder och därmed blir betyget 3. Flexibiliteten för insamling inom det mobila sopsugsystemet är låg när mängderna varierar och betyget blir därmed 2.

Rötning av utsorterat matavfall sker i speciella röttningsanläggningar vilket det inte finns så många att tillgå i Stockholmsområdet. Därmed graderas flexibiliteten gällande behandling genom rötning till betyget 2.

Tabell 20: Betygsgradering av parametern *Driftsäkerhet och Flexibilitet*.

Parameter	Avfallshanteringssystem		
	Kärl	Nedgrävda behållare	Mobil Sopsug
Driftsäkerhet och Flexibilitet			
Driftsäkerhet			
Insamling	4	4	3
Behandling	3	3	3
Flexibilitet			
Insamling	4	3	2
Behandling	2	2	2
Medelvärde	3,25	3	2,5

9.8 Summering av resultatet från multikriterieanalysen

För att kunna bedöma vilket av de analyserade avfallshanteringssystemen som har högst måluppfyllelse utifrån de studerade parametrarna summeras resultatet. Avfallssystemet med nedgrävda behållare har högst måluppfyllelse (se Tabell 21) Skillnaden mellan de olika systemen är dock väldigt liten vilket betyder att inget av de studerade avfallshanteringssystemen kan förkastas rakt av.

Tabell 21: Summering av resultatet till en prestandamatrix.

Parameter	Avfallshanteringssystem		
	Kärl	Nedgräva behållare	Mobil sopsug
Kostnad	3	4	2
Miljöpåverkan	4,5	4,5	2
Kvalitet	4	4	1
Kvantitet	3	3	3
Arbetsmiljö	2	3,5	4,5
Användarvänlighet	2,3	3	3
Driftsäkerhet och flexibilitet	3,25	3	2,5
Totalt	22,05	25	18

10 Känslighetsanalys

10.1 Känslighetsanalys gällande viktningssystemet

De olika parametrarnas betydelse för resultatet kan påverkas av vilket viktningssystem som tillämpas. Hur de olika parametrarna värderas är olika beroende på vilka som anses viktigast. Det är vanligt att värdera *Miljöpåverkan* och energianvändning högt, det vill säga med viktningssystem 1. Parametrar som *Kostnad* och *Användarvänlighet* har i tidigare studier tilldelats viktningssystem 0,75. De resterande parametrarna, *Kvalitet*, *Kvantitet*, *Arbetsmiljö* och *Driftsäkerhet* och *Flexibilitet* har i tidigare studier tilldelats viktningssystem 0,5. (Asperö Lind, 2009)

Tabell 22: Resultatet då tidigare viktningssystem används (Asperö Lind, 2009).

Parameter	Avfallshanteringssystem		
	Kärl	Nedgrävd behållare	Mobil sopsug
Kostnad	3* 0,75	4* 0,75	2*0,75
Miljöpåverkan	4,5* 1	4,5*1	2*1
Kvalitet	4*0,5	4*0,5	1*0,5
Kvantitet	3*0,5	3 *0,5	3*0,5
Arbetsmiljö	2*0,5	3,5*0,5	4,5*0,5
Användarvänlighet	2,3*0,75	3*0,75	3*0,75
Driftsäkerhet och Flexibilitet	3,25*0,5	3*0,5	2,5*0,5
Totalt	14,6	16,5	11,25

Skulle istället viktningssystemet fokusera på att öka mängden utsorterat material skulle resultatet se annorlunda ut. Denna typ av viktningssystem skulle innebära att parametrar som ökar utsorteringen skulle ges ett högre viktningssystem. Parametrar som *Driftsäkerhet* och *Flexibilitet*, *Kvantitet*, *Användarvänlighet* tilldelas viktningssystem 1 eftersom de har en direkt koppling till ökade mängder. Parametrarna *Kvalitet* och *Arbetsmiljö* tilldelas viktningssystem 0,75 eftersom de påverkar systemen långsiktigt medan *Kostnader* och *Miljöpåverkan* får index 0,5.

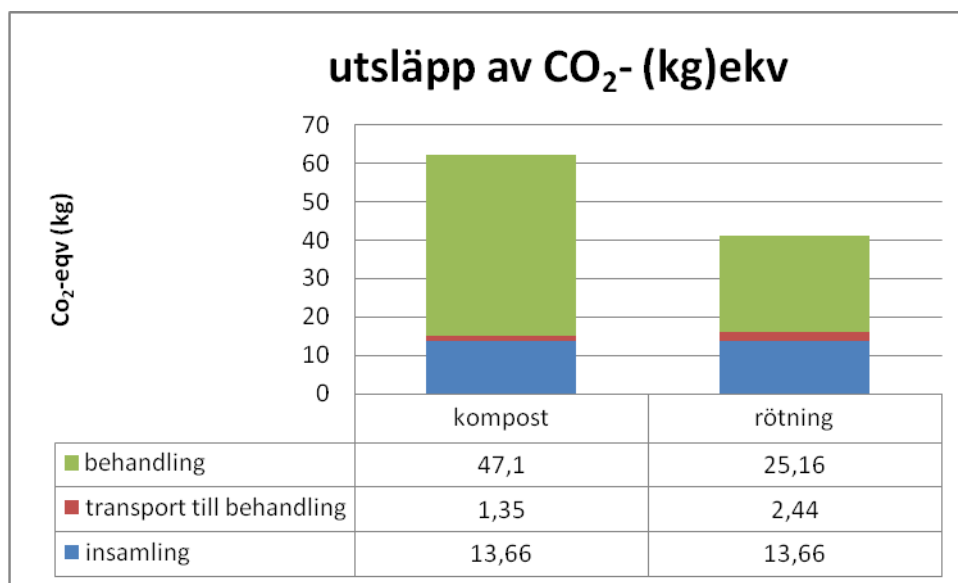
Tabell 23: Resultat då viktningssystemet fokuserar på ökad mängd utsorterat matavfall.

Parameter	Avfallshanteringssystem		
	Kärl	Nedgrävd behållare	Mobil sopsug
Kostnad	3* 0,5	4* 0,5	2* 0,5
Miljöpåverkan	4,5* 0,5	4,5* 0,5	2* 0,5
Kvalitet	4*0,75	4*0,75	1*0,75
Kvantitet	3*1	3 *1	3*1
Arbetsmiljö	2*0,75	3,5*0,75	4,5*0,75
Användarvänlighet	2,3* 1	3* 1	3*1
Driftsäkerhet och Flexibilitet	3,25* 1	3* 1	2,5*1
Totalt	16,8	18,88	14,63

11. Jämförelse mellan olika behandlingsmetoder med avseende på miljöpåverkan

11.1 Kompostering jämfört med rötning

Innan årsskiftet 2010/2011 behandlades det matavfall som sorterades ut i nedgrävda behållare genom kompostering (Tullberg, 2011).



Figur 12: Utsläpp av CO₂(kg)-ekvivalenter från rötning respektive kompostering.

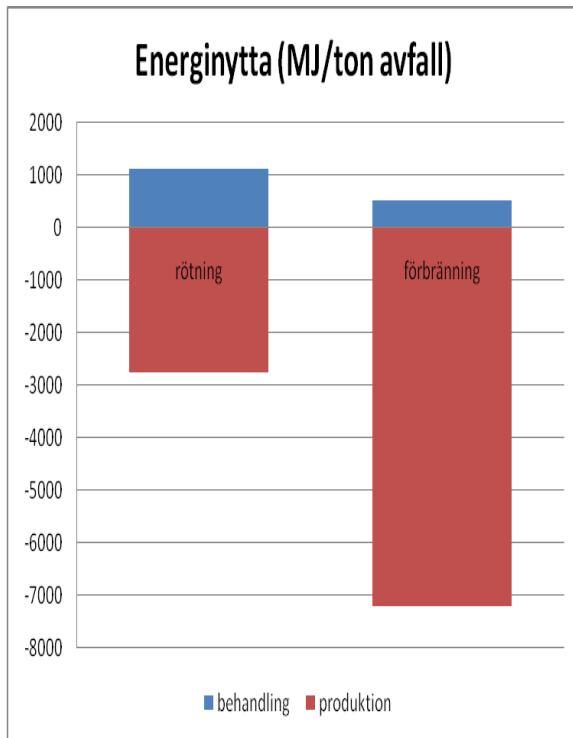
Utsläppen från insamling av matavfallet antas vara desamma i de båda fallen (se avsnitt 9.2). Transportsträckan till komposteringsanläggningen är något kortare och därmed minskar utsläppen från transporten till behandling.(se Bilaga 3 för beräkningar)

Vid komposteringsprocessen frigörs växthusgaser till atmosfären om inte emissionsgaser samlas in och detta antas inte se. Kompostering genererar ett utsläpp på 0,42 kg metangas/ton behandlat avfall och 0,120 kg lustgas/ ton avfall. De fordon som används vid vändning av materialet bidrar även till utsläpp av koldioxid. (Berglund & Börjesson, 2003a) (se bild 8) Eftersom emissionsgaserna inte samlas upp ger kompostering upphov till betydligt högre utsläpp av växthusgaser än rötning. (Carlström, 2006)(Bernstad, 2010) De emissioner av växthusgaser som antas genereras från röttningsprocessen är baserade på verksamhetsrapporter från röttningsanläggningen i Uppsala. (Uppsala vatten, 2009) Genom att byta behandlingsmetod från kompostering till rötning minskades utsläppet av CO₂-(kg)ekv med drygt 20 kg per behandlat ton avfall (se Figur 12 och Bilaga 3 för beräkningar)

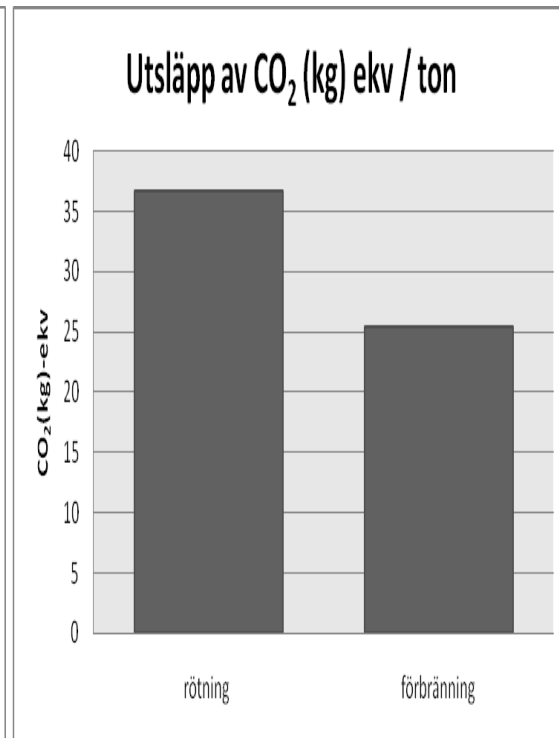
11.2 Rötning jämfört med förbränning

Det matavfall som samlas in genom det mobila sopsugsystemet håller inte den kvalitet som krävs för att materialet ska kunna rötas. Om materialet kunde rötas skulle miljöpåverkan från utsläpp av växthusgaser se annorlunda ut.

I jämförelsen mellan utsläpp av växthusgaser från de olika behandlingsmetoderna, rötning och förbränning, studeras enbart de utsläpp som genereras från röttnings- respektive förbränningsprocessen. Utsläppen genereras genom förbränning av fossila bränslen och den elanvändning som behövs inom behandlingsprocesserna (Uppsala vatten, 2009) (Vattenfall, 2009).



Figur 13: Jämförelse mellan rötning och förbränning i MJ/ton behandlat avfall.



Figur 14: Jämförelse mellan rötning och förbränning gällande utsläpp av CO₂(kg)-ekv per ton behandlat avfall.

I jämförelsen mellan energinyttan vid förbränning och rötning studeras den energi som går åt vid behandlingsprocessen för rötning respektive förbränning med den energi som produceras vid processen. Vid förbränning av matavfall genereras 2 MWh/ton och vid rötning produceras 120 Nm³ biogas per ton rötat avfall (RVF, 2003) (Nordin, 2011). Biogas har ett energiinnehåll på 23 MJ/Nm³ (Basdata om biogas, 2006). Detta ger en produktion av energi på 2 760 MJ/ton behandlat avfall från rötning (se Bilaga 1 för beräkningar).

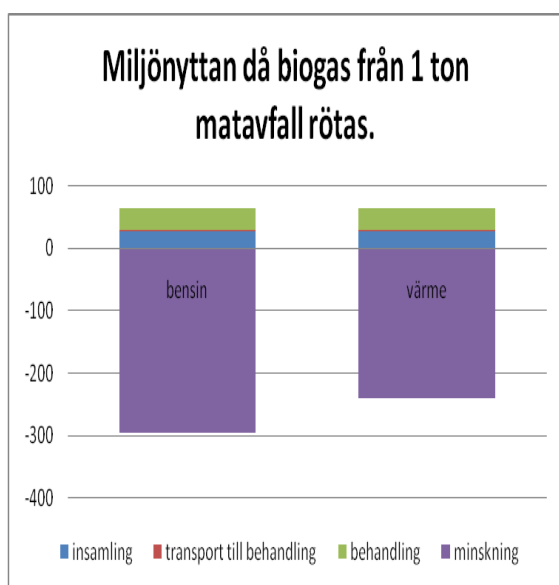
Den energi som antas gå åt vid de olika behandlingsprocesserna är baserad på de verksamhetsrapporter som finns från anläggningarna i Uppsala och Högdalen. (Uppsala vatten, 2009) (Vattenfall, 2009)(se Bilaga 1 för beräkningar). Rötning har en sämre energibalans än förbränning, vilket beror på att en del av de organiska föreningarna som används som bränsle vid förbränning stannar kvar i rötresten och återförs sedan till åkermark. (KSL, 2007) Enligt figur 13 är förbränningsprocessen ett mer effektivt sätt att ta hand om energiinnehållet i matavfall än rötning, eftersom mängden producerad energi är större vid förbränning än vid rötning. Detta har även visats i tidigare studier (Kirkeby et al, 2006). Som redovisas i figur 14 ger förbränningsprocessen upphov till mindre utsläpp av växthusgaser per ton behandlat avfall än rötning. Anledningen till att röttningsprocessen både har en sämre energinytta och genererar ett

större utsläpp av växthusgaser än förbränning är att det vid rötning krävs tillförsel av energi för att optimera röttningsprocessen (Berglund & Börjesson, 2003b).

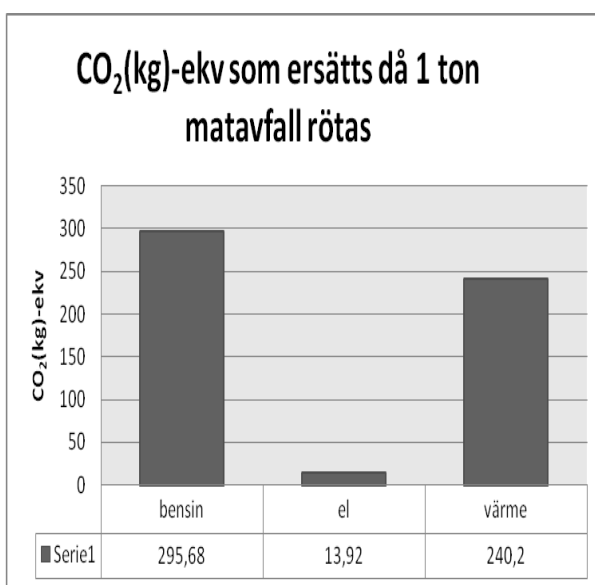
Förbränning som behandlingsmetod bidrar inte till att uppfylla det miljökvalitetsmål som finns gällande att utsorterat matavfall skall samlas in och behandlas biologiskt se avsnitt 3.3 och 3.4. (Miljömålsrådet, 2008) (Miljömålsberedningen, 2011)

11.3 Varför ska det utsorterade matavfallet rötas?

Det är viktigt att poängtera att resultaten i figur 13 och 14 påverkas av hur den producerade biogasen används. Används den biogas som produceras från ett ton matavfall som ersättning för bensen fås en minskning av utsläpp av växthusgaser (se Figur 15 och 16).



Figur 15: Miljönyttan då ett ton avfall från det mobila sopsugssystemet rötas och biogasen ersätter bensen respektive används till värmeproduktion.



Figur 16: Mängden CO₂-ekvivalenter som ersätts då ett ton matavfall rötas och biogasen används som ersättning för bensen samt inom el- och värmeproduktion.

Miljönyttan i figur 15 beräknas genom att de utsläpp av CO₂-ekvivalenter som genereras vid insamling, transport till behandling och rötning med den minskning som uppkommer då biogasen används som bränsle. Denna jämförelse görs för avfallshanteringsystemet med mobil sopsug. Vid rötning av 1 ton matavfall genereras 120 Nm³ biogas, 1 Nm³ biogas motsvarar 1,1 liter bensen (Nordin, 2011)(Basdata om biogas, 2006). Därmed kan 1 ton matavfall ersätta 132 liter bensen som vid förbränning genererar 2,24 kg CO₂-ekvivalenter/liter och bidrar till en minskning av utsläpp med 295,68 CO₂-ekvivalenter (se Bilaga 3 för beräkningar) (Konsumentverket, 2011). Transportsektorn står idag för en stor del av energianvändningen i Sverige. I denna sektor dominerar energianvändningen helt av fossila oljeprodukter, främst bensen och diesel. År 2009 utgjorde bensen och diesel 88 % av energianvändning för inrikestransporterna vilket bidrog till att transportsektorn stod för cirka 34 % av de totala utsläppen av växthusgaser från Sverige. (Energiläget, 2009) (Naturvårdsverket, 2010).

2009 beslutade riksdagen om en ny klimat- och energipolitik utifrån propositionerna 2008/09:163, 2008/09:163 och det bindande EG-direktivet 2009/28 gällande främjande av energi från förnyelsebara energikällor. Den nya klimat- och energipolitiken innebar bland annat att nya mål och strategier för Sveriges energianvändning sattes upp. Ett av målen för svensk energianvändning är att 50 % av den totala energianvändningen i Sverige år 2020 skall bestå av förnyelsebar energi. För transportsektorn innebär det att andelen förnyelsebar energi år 2020 skall uppgå till minst 10 % och den långsiktiga ambitionen är att den svenska fordonsflottan skall vara oberoende av fossila bränslen år 2030 (Energiläget, 2009). Totalt har utsläppen från trafiken ökat med 13 % från 1990, detta trots att fordonen blivit mer bränsleeffektiva. Bränslesnålare bilar hjälper inte för att kompensera för trafikökningen utan nya drivmedel och en förändrad syn på trafiken behövs för att minska miljöpåverkan från fordonssektorn. (Vi bilägare, 2010)

Ytterligare en fördel med att fokusera på transportsektorn när det gäller användning av biogas till fordonsbränsle är att biogas är ett inhemskt fordonsbränsle. Detta fordonsbränsle kan produceras i Sverige och därmed minskas beroendet av import av bränsle från andra delar av världen. (SGC, 2011) En stor fördel är att det redan idag finns gasbilar, vilket gör att omställningen till biogasdrivna gasbilar blir smidigare. En nackdel med biogasen är att den kräver stora omställningar när det gäller distribution och tankställen. (Hellström, 2009)

Om den producerade biogasen ersätter värmeproduktion genom förbränning av hushållsavfall minskar mängden CO₂-ekvivalenter som ersätts (se Figur 15). Vid förbränning av hushållsavfall genereras ett utsläpp av växthusgaser på 207 gram CO₂/producerad kWh (Vattenfall, 2009). Vid förbränning av 1 Nm³ biogas genereras 9,67 kWh och därmed skulle förbränning av biogas ge en minskning av utsläpp med 240,2 CO₂-ekvivalenter. (Basdata om biogas, 2006 och se Bilaga 3 för beräkningar)

Vid förbränning av avfall genereras el och fjärrvärme. I dagsläget värms de flesta flerbostadshus i Sverige med fjärrvärme. Till skillnad från vad som antas i dennas studie, att enbart hushållsavfall förbränns, består cirka 22 % av den totala energitillförseln i det svenska fjärrvärmesystemet av biobränslen. Detta betyder att den mängd koldioxid som antas ersättas vid förbränning av biogas troligtvis är lägre än vad som redovisas i figur 15 (Energiläget, 2010). Detta eftersom utsläppen vid förbränning av biobränslen, såsom skogsflis, inte antas ge något nettotillskott av koldioxid.

Som ses i figuren 15 och 16 ovan fås den största miljönyttan då biogas används som fordonsbränsle och ersätter fossila drivmedel. Vid framställning av el antas den el som framställs genom förbränning av biogas ersätta svensk elmix. Den svenska elmixen genererar idag ett relativt litet koldioxidutsläpp på 12 gram per kWh. (Mobjörk & Jonsson, 2009) Därmed blir mängden koldioxidekvivalenter som ersätts då el framställs genom förbränning av biogas väldigt liten (se Figur 16).

De klimataspekter som belyses ovan gör att rötning och uppgradering av biogas till fordonsbränsle framställs som det mest fördelaktiga alternativet för biologisk behandling av utsorterat matavfall. (SKL, 2007) Rötning av matavfall går i linje med det föreslagna miljömålet gällande att avfall skall ses som en resurs som skall tas till vara i så hög utsträckning som möjligt (Miljömålsrådet, 2008). Styrgruppen inom BUS-projektet (Starberg, 2005) anser därför att den biogas som produceras genom rötning av utsorterat matavfall skall användas som fordonsbränsle.

Genom att använda biogas som fordonsbränsle ersätts fossila bränslen och därmed ger biogasen störst klimatnytta (Bisaillon et al, 2010)

12. Slutsatser och slutdiskussion

Summeringen av resultatet från multikriterieanalysen visar att det är avfallshanteringsystemet med utsortering med nedgrävda behållare som får högst summerade poäng (se avsnitt 9.8). Det är dock viktigt att poängtera att det summerade resultatet från multikriterieanalysen skiljer väldigt lite mellan de jämförda systemen, detta betyder att de inte går att förkasta något av dessa rakt av (se Tabell 21).

Avfallshanteringsystemet med nedgrävda behållare får höga betyg för parametrarna *Kvalitet* och *Användarvänlighet*. Tidigare behandlades det utsorterade matavfallet från detta avfallshanteringsystem genom kompostering. Jämförelsen mellan olika behandlingsmetoder i avsnitt 10.1 visar att bytet av behandlingsmetod minskade utsläppen av växthusgaser från systemet med cirka 20 kg CO₂ (kg)- ekvivalenter per ton avfall. I avfallshanteringsystemet med kärl och nedgrävda behållare utgör behandling av avfallet genom rötning en "hot-spot" gällande utsläpp av växthusgaser (se Figur 9). Om röttningsprocessen optimeras och effektiviseras skulle utsläppen kunna minskas.

Av de jämförda avfallshanteringsystemen, genererar systemet med kärl minst utsläpp av växthusgaser. Detta beror till stor del på att insamling av kärl sker med gasdriven sopbil. I detta examensarbete har det antagits att drivmedlet består till hälften av naturgas och till hälften av biogas. Därmed minskar utsläppen av växthusgaser markant jämfört med avfallshanteringsystemet med nedgrävda behållare vars insamlingsfordon drivs med diesel. Avfallshanteringsystemet med kärl erhöi därmed högst betyg för parametern *Miljöpåverkan*. Kärlsystemet får dock lägre poäng för parametrarna *Användarvänlighet* och *Arbetsmiljö* (se Tabell 21).

Avfallshanteringsystemet med mobil sopsug får lägst summerade betyg jämfört med de övriga systemen (se Tabell 14). Systemet med mobil sopsug får höga betyg för parametrarna *Användarvänlighet* och *Arbetsmiljö*. Avfallshanteringsystemet med mobil sopsug ger upphov till högst kostnader per ton behandlat avfall och genererar de högsta utsläppen av växthusgaser (se avsnitt 9.1 och 9.2). Inom systemet mobil sopsug kan insamling identifierats som en "hot-spot" när det gäller utsläpp av växthusgaser. En optimering och effektivisering av insamlingsfordonet skulle därmed minska utsläppet från systemet avsevärt.

I jämförelsen mellan de olika behandlingsmetoderna i avsnitt 10.1 studeras skillnaden mellan behandlingsmetoderna rötning och förbränning. Rötning ger upphov till ett cirka 1,4 gånger högre utsläpp av växthusgaser än förbränning. Den största skillnaden finns dock i energiutvinningen från avfallet, vid förbränning av avfall produceras nästan 2,6 gånger mer energi än vid rötning. Därmed framställs förbränning som en mer energieffektiv behandlingsmetod med mindre miljöpåverkan (se avsnitt 10.1). Detta är dock beroende på hur den producerade biogasen används.

Den största miljönyttan fås då biogasen används som ersättning för bensin (se avsnitt 10.2) eftersom fordonssektorn är beroende av fossila bränslen. Vid framställning av el- och fjärrvärme i Sverige används i större utsträckning förnyelsebara energislag och bränslen.

Behandling genom förbränning bidrar inte till att uppnå det förslag till nationellt miljömål gällande avfallshantering som finns och inte heller till att minska transportsektorns beroende av fossila bränslen. Förslaget till nationellt miljömål lyder: minst 40 % av matavfallet från hushåll, storkök, restauranger och butiker ska behandlas biologiskt så att växtnäring och energi tas om hand. Det nya förslaget har krav på större insamlade mängder utsorterat och biologisk behandlat matavfall och detta indikerar att framtida miljö kvalitetsmål gällande avfall troligtvis kommer att kräva ökade insamlade mängder. För att kunna uppnå den största miljönyttan och de framtida målen bör därför ett avfallshanteringssystem som tillämpar rötning väljas i första hand.

Känslighetsanalysen av olika viktningssystem visade hur olika viktningssystem påverkar resultatet från multikriterieanalysen (se avsnitt 10.3). Avfallshanteringssystemet med nedgrävda behållare får högst summerade betyg vid båda typerna av viktningssystem. Detta betyder att skillnaden mellan de olika avfallshanteringssystem som jämförs i denna studie är liten och att val av viktningssystem troligen har liten betydelse för det slutliga resultatet.

I många fall är det svårt att värdera parametrarnas måluppfyllelse på en femgradig skala. Multikriterieanalys är en smidig och lättförståelig metod. De olika avfallshanteringssystemens möjlighet till att uppfylla målen för parametrarna har i många fall graderats lika, vilket i praktiken innebär att det enbart blir skillnad inom de parametrar som graderats olika. Därmed sker jämförelsen i själva verket mellan ett fåtal antal parametrar. Eventuellt skulle en analys innehållande fler parametrar och bredare graderingsskalor utgöra en mer rättvis bedömning. Eftersom inget av de jämförda avfallshanteringssystemen i denna studie är avsevärt mycket sämre eller bättre än de övriga är det svårt att entydigt visa vilket system som är mest lämpligt att använda.

Användarvänligheten är en parameter som betyder mycket för brukarens motivation att källsortera sitt matavfall. För att säkerställa tillfredställelsen av avfallshanteringssystemet borde därmed avfallshanteringssystemet med nedgrävda behållare användas. Avfallshanteringssystemet med kärll får högst betyg för parametern *Miljöpåverkan*, utsläppen av växthusgaser från insamling inom systemet är avsevärt lägre än för avfallshanteringssystemet med nedgrävda behållare (se Figur 9). För att minska utsläppen från insamling av avfall bör därmed avfallshanteringssystemet med kärll användas.

Den summerande slutsatsen blir att det är svårt att avgöra vilket av avfallshanteringssystemen, med nedgrävda behållare eller kärll, som är bäst lämpat att använda för utsortering av matavfall i Solna stad. Detta beror på vilka av de studerade parametrarna som anses viktigast. Den behandlingsmetod som anses bäst att tillämpa är rötning. Rötning är den behandlingsmetod som i högsta grad tar tillvara matavfallet som resurs och bidrar till att uppfylla det nationella miljö kvalitetsmålet gällande avfall.

12.1 Fortsatta Studier

Ett förslag till fortsatta studier skulle kunna vara att utöka antalet jämförda avfallshanteringssystem med till exempel köksavfallskvarn och stationär sopsug. Detta skulle ge ett bredare perspektiv på de insamlingsystem som finns representerade i storstadsområden idag.

Under ett seminarium som anordnades av Kommunförbundet Stockholms Län presenterades rapporten ”Ökad matavfallsinsamling för ökad biogasproduktion i Stockholms län” skriven av Daina Millers- Dalsjö och Katarina Starberg 2011. I rapporten presenterades planer på att öka antalet rötningsanläggningar i och omkring Stockholmsregionen för att tillgodose den efterfrågan på fordonsgas som finns i regionen. (Forsberg, 2009) Stockholmsområdet omges inte av den jordbruksbyggd vilket gör att det kan bli svårt att få avsättning för den biogödsel som bildas vid rötning. (Forsberg, 2009) Stockholm omges inte heller av några stora livsmedelsindustrier vilket ökar risken för att de rötningsanläggningar som byggs i området blir beroende av det utsorterade matavfall från hushållen. Detta skulle i sin tur inte bidra till att det främsta målet inom EU:s avfallshierarki uppnås, nämligen att minska uppkomsten av avfall. (Olsson, 2011) Den begränsade tillgången på mark i ett sådan tätbefolkat område som Stockholm kan skapa problem när det gäller att hitta utrymme som kan avsättas för källsortering av fler fraktioner. Ett ökat antal fraktioner ökar även arbetsbelastningen och risken för arbetsmiljömässiga olägenheter i form av tunga lyft och exponering av lukt och mögelsporer (SKL, 2007). I dagsläget är det enbart cirka 30 % av de som har möjlighet att sortera ut sitt matavfall som gör det, ett förslag till fortsatta studier kan vara möjligheten till att öka denna siffra.

Det matavfall som sorteras ut i Stockholm transporteras till Uppsala för rötning. Den miljöpåverkan som dessa transporter ger upphov till är relativt liten (se avsnitt 9.3) men det vore intressant att studera om resultatet skulle ändras om rötningsanläggningen låg närmare respektive längre bort.

I detta examensarbete antas att det inte ske någon biologisk nedbrytning vid lagring av det utsorterade matavfallet. Med stor sannolikhet stämmer inte detta antagande helt, därför vore det intressant att studera hur mycket organiskt material som bryts ned under lagring av avfall och om detta försämrar biogaspotentialen.

Referenser

Litteratur

- AFS (1984), *Arbetskyddsstyrelsens författarsamling – avloppsanläggningar*, AFS 1984:15, 1984 hämtad från http://www.av.se/dokument/afs/afs1984_15.pdf den 23 februari 2011
- Altundal Sadiye och Gullberg Meloujane (2007), *En fallstudie om hushållens källsortering i Augustenborg*, Examensarbete Teknik och Samhälle Miljövetenskap.
- Alvarez de Davila Eliana (2002), *Handfasta råd vid utformning av insamlingsystem för källsorterat avfall från hushåll och företag*, IVL B1451.
- Arbetsmiljöverket (2009), *Arbetsskador 2009 – arbetsmiljöstatistik*, Rapport 2010:1, 2010 hämtad från http://www.av.se/dokument/statistik/officiell_stat/STAT2010_01.pdf den 22 februari 2011
- Avfall Sverige(2010), *Svensk avfallsbaktering 2010*, 2010
- Avfall Sverige (2008), *Den mikrobiella arbetsmiljön vid insamling av avfall*, Rapport 2008:14, Avfall Sverige.
- Avfall Sverige (2009), *Torrkonservering av matavfall från hushåll*, Rapport 2009:07, Avfall Sverige. Basdata om biogas, Biogas- basdata om biogas, Svenskt gastekniskt center, 2006.
- Baumann H och Tillman A-M (2004), *The Hitch Hiker's guide to LCA*, Studentlitteratur, Lund, 2004
- Berg. P-O och Mattson C (2000), *Insamling av hushållsavfall en kartläggning och analys av system för hushållsavfall och förpackningar*, Naturvårdsverket.
- Bernstad A (2010), *Environmental evaluation of solid household waste management: the Augustenborg Ecocity Example*, Water and Environmental Engineering, Department of Chemical Engineering, Lund University, 2010.
- Bisaillon M, Sundberg J, Haraldsson M och Eriksson Norrman O (2010), *Systemstudie avfall i Göteborg - Delprojekt i Termisk och biologisk avfallsbehandling i ett systemperspektiv*, WASTE REFINERY SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2010
- Berglund M och Börjesson P (2003a) *Miljöanalys av biogassystem*, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för teknik och samhälle, avdelningen för miljö- och energisystem, Rapport 45,2003
- Berglund M och Börjesson P (2003b) *Energianalys av biogassystem*, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för teknik och samhälle, avdelningen för miljö- och energisystem, Rapport 44,2003.
- Boss Anna (2005), *Life Cycle Assessment of a Gas-Electric Hybrid Waste Collection Vehicle– Comparison with Conventional Waste Collection Vehicles*, Environmental Systems Analysis CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Rapport 2005:7.

Bovea M-D, Ibáñez-Forés.V, Gallardo.A, Colomer-Mendoza.F.J (2010), *Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies, A Spanish case study*, Waste Management 30.

Bartholdson Ola (2009), *Plockanalys 2009-03-06 av matanfall och restanfall från flerbostadshus Hagalundsgatan 1-24, Solna*, EPA miljö.

Eisted Rasmus. Larsen, Anna W and Christensen Thomas H (2009), *Collection, transfer and transport of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contribution*, Waste Management Research 2009 27: 738.

Forsberg Jonas (2009), *Biogas expansion i östra Mellansverige – Identifiering av potentiella biogasbostadsområden*, Uppsala Universitet.

Formas Fokuserar (2004), *Sopor hit och dit- på vinst och förlust*, Forskningsrådet Formas.

Fortum (2009), *Miljörapport 2009 Högdalenverket*, Forum.

Gal. T, Steward. J. T and Hanne. T (1999), *Multicriteria decision making – Advances in MCDM models, algorithms, Theory and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Vincke Philippe.

Hellström, Hanna (2009), *Avsättning av energiprodukter från biologisk behandling – vilka frågeställningar kommer att bli aktuella?* WASTE REFINERY SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Henriksson Gunilla (2010), *Kartläggning av utvecklingsarbete samt problem vid olika insamlingstekniker för matanfall*, WASTE REFINERY SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Hokkanen J, Salminen P, Rossi E and Ettala M (1995), *The Choice of a Solid Waste Management System Using the Electre II Decision-Aid Method*, Waste Management and Research, 1995, Vol. 13 Number 2 p175-193.

Iriarte Alfredo, Gabarrell Xavier, Rieradevall Joan (2009), *LCA of selective waste collection systems in dense urban areas*, Waste Management 29.

Johansson Håkan (2011), *PM Ökade utsläpp från vägtrafiken trots rekordartad energieffektivisering av nya bilar*, Trafikverket hämtat från

<http://www.transportstyrelsen.se/Global/Press/PM%20v%C3%A4gtrafikens%20utsl%C3%A4pp%20110218.pdf> den 5 april 2011.

Jönsson Johanna (2005), *Förbränning eller biologisk behandling? – en miljösystemanalys av olika behandlingsmetoder för det lättnedbrytbara organiska avfallet i Gästrikeregionen*, Examensarbete från Högskolan i Gävle.

Kirkeby Janus T, Birgisdóttir Harpa, Lund Hansen Trine, and Christensen Thomas H (2006), *“Evaluation of environmental impacts from municipal solid waste management in the municipality of Aarhus, Denmark (EASEWASTE)”*, Environment & Resources, Technical University of Denmark.

Kärrman Erik, Andras Baky, Edström Mats, Magnusson Ylva, Malmqvist Per-Arne, Palm Ola, Rogstrand Gustav (2005), *Rapport 2005004 Ecoloop i samarbete med JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik och CIT Urban Water Management AB*.

- Larsen Anna W, Vrgoc Marko, Christensen Thomas H. and Lieberknecht Poul (2009), *Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance*, Waste Management Research 2009 27: 652.
- Leander Jörgen, Sigroth Maria (2005), *Förutsättningar för insamling och behandling av matavfall i samarbete mellan Renhållningsförvaltningen och Stockholm Vatten AB*- Bilaga 1 till Slutrapport Miljömiljardsprojekt nr 58 (Rhf 945).
- LRV (2010), *Insamling av matavfall från flerfamiljsbus - erfarenheter från Lund*, Projekt rapport från Lunds Renhållningsverk och SYSAV Utveckling AB.
- Miljömålsrådet (2008) , *Miljömålen - nu är det bråttom, Miljörådets utvärdering av Sveriges miljömål*.
- Miljömålsberedningen (2011), *Etappmål i miljömålssystemet, delbetänkande av miljömålsberedningen*, SOU 2011:34.
- Mobjörk M och Jonsson D (2009), *Litteraturstudie om klimatpåverkan från svensk konsumtion*, FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut, Avdelningen för Försvarsanalys, Rapport FOI Memo 2594.
- Naturvårdsverket (2002a), *Ett ekologiskt hållbart omhändertagande av avfall*, Rapport 5177.
- Naturvårdsverket (2002b), *Källsortering och insamling av biologiskt nedbrytbart avfall – underlagsrapport till uppdrag om ett ekologiskt hållbart omhändertagande av avfall*, Rapport 5195.
- Naturvårdsverket (2002c), *Exempel på insamling och behandling av hushållsavfall underlagsrapport till uppdrag om ett ekologiskt hållbart omhändertagande av avfall*, Rapport 5243.
- Naturvårdsverket (2005), *Strategi för hållbar avfallsbantering - Sveriges avfallsplan*.
- Naturvårdsverket (2008a), *Solnabor sorterar med hjälp av sopsug, Goda exempel avfall – LIP lokala investeringsprogram*.
- Naturvårdsverket(2008b), *Vägledning till definitionen av hushållsavfall*.
- Naturvårdsverket (2008c), *Hållbara hushåll: Miljöpolitik och ekologisk hållbarhet i vardagen Slutrapport till Naturvårdsverket från forskningsprogrammet SHARP*, Rapport 5899.
- Olsson, Jan och Skärvad Per-Hugo, *Företagsekonomi 100 Faktabok*, Liber-Hermods, 2008
- Rosén, Lars, *Multikriterieanalys för hållbar efterbehandling av förorenade områden metodutveckling och exempel på tillämpningar*, Naturvårdsverket, 2009.
- RVF (2006), *Matavfall från restauranger, storkök och butiker Nyckeltal med användarhandledning*, RVF Utveckling, Rapport 2006:07.
- RVF (2005), *Avfall blir värme och el - en rapport om avfallsförbränning*, RVF Utveckling, Rapport 2005:02.
- RVF (2003), *Tips och råd vid utsortering av komposterbart avfall*, RVF Utveckling, Rapport 2003:09.
- RVF Utveckling (2002), *Belastningsdos hos sophämtare*, RVF Utveckling Rapport 02:16, 2002

SFS 1998:808, *Miljöbalken*, Miljödepartementet

Starberg Katarina (2005), *R/VF Utveckling Utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall – en rapport från BUS-projektet*, 2005:06.

Starberg Katarina och Daina Millers-Dalsjö (2011), *Ökad matavfallsinsamling för ökad biogasproduktion i Stockholms län*, Kommunförbundet Stockholms län.

Sundberg Cecilia (2003), *Food waste composting – effects of heat, acids and size*, Institutionen för lantbruksteknik, Rapport 254, Sveriges Lantbruksuniversitet SLU.

Susangka Adi and Chaerul Mochammad (2009), *Multicriteria analysis for selecting municipal solid waste composting technology*, Environmental Engineering Study Program, Faculty of Civil and Environment Engineering ITB, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132.

Svenska kommunförbundet (2001), hämtad från http://www.skl.se/vi_arbetar_med/ekonomi/redovisning/publikationer_redovisning/ovriga_publicationer_redovisning_publicationer den 23 maj 2011.

SÖRAB (2008), *Plan för avfallshantering i ett hållbart samhälle 2009-2020*.

Sörbom Adrienne (2003), *Den som kan - sorterar mer! Några slutsatser baserade på tidigare forskning kring källsortering i hushållen*, Totalförsvarets Forskningsinstitut, Forskningsgruppen för miljöstrategiska studier.

Triantaphyllou Evangelos and Sanchez Alfonso (1997), *A Sensitivity Analysis Approach for Some Deterministic Multi-Criteria Decision-Making Methods*.

Uppsala vatten (2009), *Miljörapport 2009- biogasanläggningen vid Kungsängens gård i Uppsala*, Uppsala vatten, 2009.

Vattenfall (2009), *Säkerhet, hälsa och miljö 2009*, Vattenfall Heat Uppsala.

Internet källor

Biogasportalen (2011a) hämtad från <http://www.biogasportalen.se/sv-SE/FranRavaraTillAnvandning/Produktion/Rotning.aspx> den 14 februari 2011.

Biogasportalen (2011b) hämtad från <http://www.biogasportalen.se/FranRavaraTillAnvandning/Produktion/Forbehandling.aspx> den 15 februari 2011.

Biogasportalen (2011c) hämtad från <http://www.biogasportalen.se/sv-SE/FranRavaraTillAnvandning/Produktion/Ragas.aspx> den 14 februari 2011.

Biogasportalen (2011d) hämtad från <http://www.biogasportalen.se/FranRavaraTillAnvandning/Produktion/Uppgradering.aspx> den 14 februari 2011.

Envac (2011) hämtad från http://www.envac.se/web/Mobil_sopsug.aspx den 18 februari 2011

Eon (2011) hämtad från

<http://www.eon.se/templates/Eon2TextPage.aspx?id=47699&epslanguage=SV> den 29 april 2011.

Hitta (2011a), hämtad från [http://www.hitta.se/Route.aspx#6597285;1624760;Hagby avfallsanläggning;;Täby;|6639060;1603067;Uppsala;;Uppsala](http://www.hitta.se/Route.aspx#6597285;1624760;Hagby%20avfallsanl%C3%A4ggning;;T%C3%A4by;|6639060;1603067;Uppsala;;Uppsala); den 30 maj 2011.

Hitta (2011b), hämtad från [http://www.hitta.se/Route.aspx#6597285;1624760;Hagby avfallsanläggning;;Täby;|6570344;1623658;Huddinge;;Huddinge](http://www.hitta.se/Route.aspx#6597285;1624760;Hagby%20avfallsanl%C3%A4ggning;;T%C3%A4by;|6570344;1623658;Huddinge;;Huddinge); den 30 maj 2011.

Konsumentverket (2011) hämtad från

<http://www.konsumentverket.se/bilar/Nybilsguiden/Drivmedelochutslapp/Drivmedel/> den 31 mars 2011.

Myntkabinettet (2011) hämtad från

http://www.myntkabinettet.se/web/Rakna_ut_penningvardet.aspx den 16 mars 2011

Naturvårdsverket (2011a) hämtad från

http://www.naturvardsverket.se/upload/03_lagar_och_andra_styrmedel/lag_och_ratt/Forskning_om_lag_och_ratt/Miljobalkens_framtidtema_avfall/Bilaga2_Avfallshanteringens_historiska_bakgrund.pdf den 26 april 2011.

Naturvårdsverket (2011b) hämtad från <http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Produkter-och-avfall/Avfall/Lagar-och-regler-om-avfall/Ramdirektivet-for-avfall/> den 14 mars 2011.

Naturvårdsverket (2011c) hämtad från

<http://www.naturvardsverket.se/en/Start/Klimat/Utslappsminskning/Berakna-utslapp/> den 6 maj 2011.

Retec (2011) bild hämtad från <http://www.retec.dk/side6770.html> den 2 maj 2011.

Preem (2011a) hämtad från

<http://ipreem.preem.se/sm/prod3NySite.nsf/vProductsByLinkID/569?OpenDocument> den 25 mars 2011.

Preem (2011b) hämtad från

<http://ipreem.preem.se/sm/prod3NySite.nsf/vProductsByLinkID/569?OpenDocument> den 20 mars 2011.

Skatteverket (2011), hämtad från

<http://www.skatteverket.se/foretagorganisationer/moms/vadarmoms/2512eller6procentsmoms/25procent.4.58d555751259e4d66168000342>. den 16 mars 2011

SCB, Statistiska centralbyrån (2011), hämtad från

<http://www.ssd.scb.se/databaser/makro/Visavar.asp?yp=bergman&xu=scb&huvudtabell=BefArealTathetKon&deltabell=K1&deltabellnamn=Befolkningst%E4thet+%28inv%E5nare+per+kvadratkilometer%29%2C+folkm%E4ngd+och+landareal+efter+kommun+och+k%F6n%2E+%C5r&omradekod=BE&omradetext=Befolkning&preskat=O&innehall=Areal&starttid=1991&stopptid=2010&Prodid=BE0101&fromSok=&Fromwhere=S&lang=1&langdb=1> den 18 mars.

SCG, 2011, hämtad från <http://www.sgc.se/index.asp?Menu=Energigas&ID=310&> den 19 april 2011.

Swegas (2011), hämtad från <http://www.swedegas.se/pub/436/informationsblad%20naturgas.pdf> den 18 april 2011.

Vattenfall (2011a), hämtad från <http://www.vattenfall.se/sv/sa-fungerar-ett-varmeverk.htm> den 14 februari 2011.

Vattenfall (2011b), hämtad från <http://www.vattenfall.se/sv/sa-produceras-bade-el-och-var.htm> den 14 februari 2011.

Vi bilägare (2010) hämtad från <http://www.vibilagare.se/nyheter/bilen-behover-fa-en-minskad-roll-28852> den 16 februari 2011.

Bilder

Bilden på omslaget är skapad av Christer Elmqvist, Fotograf, 2010.

Bilden på sidan 13 är hämtad från http://www.gastrikeatervinnare.se/ga/ga_sida.aspx?id=812 den 16 februari 2011.

Bilden på sidan 24 är hämtad från <http://www.retec.dk/side6770.html> den 2 maj 2011.

Övriga bilder som används i examensarbetet är tagna av författaren.

Personlig kontakt

Bisaillon Mattias, konsult Profu, telefonkontakt den 10 februari 2011.

Branteman Jan, avfallshämtare av nedgrävda behållare, SITA, personligt möte den 23 februari 2011.

Dolk Maud, Miljöchef på Envac, personliga möten den 3 och 17 mars.

Corell Mikael, Brf Bergshamra gård, mejlkontakt den 10 mars 2011.

Fernström Stig, Brf Jungfrudansen 1, mejlkontakt den 10 mars 2011.

Grahn Dennis, Signalisten, mejlkontakt den 22 mars 2011.

Grill Ylva, informatör, SÖRAB, mejlkontakt den 13 januari.

Hendered Tonny, ansvarig för omlastning och återvinning vid Haby Återvinningscentral, personligt möte den 18 februari 2011.

Jennische Jan, avfallshämtare av mobil sopsug, Reno Norden, personligt möte den 25 februari 2011.

Karlsson Anna, miljöspecialist Vattenfall Heat Uppsala, mejlkontakt den 10 februari 2011.

Lorentzson Barbro, Miljöansvarig Signalisten mejlkontakt den 13 februari.

Nordin Lennart, Sektionschef Biogas, Studiebesök Kungsängens Biogasanläggning personligt möte den 8 februari 2011.

Nordiska Museet, Guidad visning av utställningen ”Sopor” den 30 mars 2011.

Olsson Ingrid, Miljö – och utvecklingschef, SÖRAB, personligt möte den 7 april 2011.

Sjöblom Kristina, Sollentuna Energi, personligt möte den 17 februari 2011 samt mejlkontakt den 27 april 2011.

Särnholm Jenny, Informatör Solna stad, löpande kontakt under tiden för examensarbetet.

Tullberg Carin, Avfallsingenjör, Solna stad, löpande kontakt under tiden för examensarbetet.

Åwall Gun, Brf Moroten, mejlkontakt den 15 mars 2011.

Bilagor

Bilaga 1

Beräknad kvantitet

Varje hushåll i ett flerfamiljshus genererar 10 liter matavfall/vecka. Matavfallet har en densitet på 0,22 kg/liter (Avfall Sverige, 2009).

Sopsug: 878 hushåll ($878 \cdot 0,3 = 264$ hushåll)

$264 \cdot 10 \cdot 0,22 = 580$ kg/veckan * 52 veckor/år = 30,133 ton/år

Kärl: 675 hushåll ($675 \cdot 0,3 = 203$ hushåll) = 23,166 ton/år

Nedgrävda behållare: 792 hushåll ($792 \cdot 0,3 = 238$ hushåll) vilket ger 27,181 ton/år

Eftersom två av dessa system är begränsade av en volym, den nedgrävda behållaren är $3 \cdot 750$ liter vilket ger en max kvantitet på $3 \cdot 0,750 = 2,25$ kubikmeter. Matavfall har en densitet på 250 kg/m^3 (RVF, 2006). Detta ger en max kvantitet på $2,25 \text{ m}^3 \cdot 250 \cdot 52 = 29,25$ ton/år.

Sopsugen har 8 stycken lagringstankar som rymmer $1,5 \text{ m}^3$ vardera. För att kunna tömma utrymmena ordentligt fylls endast lagringstankarna med 1 m^3 . Detta gör att de maximalt kan samlas in 8 kubikmeter utsorterat matavfall i veckan med mobil sopsug, vilket ger $8 \cdot 250 \cdot 52 = 104$ ton/år.

Därmed klarar dessa system att samla in de teoretiskt beräknade mängderna.

Beräkning av miljöpåverkan

Kärl

Insamling sker med ett fordon som drivs av gas, $6,12 \text{ Nm}^3/\text{ton}$ (Boss, 2005). Siffran är baserad på en tidigare livscykelanalys av gaslastbilar som används inom avfallshanteringsbranschen. Varje fordon antas utnyttja 50 % av sin lastkapacitet (Baumann och Tillman, 2004). Varje Nm^3 naturgas genererar 2,5 kg koldioxid (Swedegas, 2011). Andelen biogas i fordonsgasen antas vara 50 % (Eon, 2011). Den andel bestående av biogas antas inte ge något nettotillskott av koldioxid till atmosfären.

$6,12 \cdot 0,5 \cdot 2,5 = 7,65 \text{ kg CO}_2/\text{ton}$.

Naturgas har ett energiinnehåll på $39,67 \text{ MJ/Nm}^3$, $6,12 \cdot 0,5 \cdot 39,67 \text{ MJ/Nm}^3 = 121,3902 \text{ MJ}$ (Swegas, 2011). Biogas har ett energiinnehåll på $34,812 \text{ MJ/Nm}^3$, $6,12 \cdot 0,5 \cdot 34,812 = 106,52 \text{ MJ}$. Sammanlagt kräver insamling av matavfall i kärl $121,39 \text{ MJ} + 106,52 \text{ MJ} = 227,91 \text{ MJ/ton}$

Transport till behandling

Avstånden mellan Hagby och Uppsala är 53,0 km (Hitta, 2011a), varje transportbil lastas med 40 ton avfall och antas dra 3,5 liter mer mil. På tillbaka vägen är lastbilen tom. (Johansson, 2011).

Detta ger en miljöpåverkan på: $5,3 * 2 * 3,5 = 37,1$ liter/40 ton = 0,9275 liter/ton.

Förbränning av 1 liter diesel ger 2,49 kg koldioxid (Preem, 2011a), vilket i detta fall ger ett utsläpp på $0,93$ liter/ton * $2,49$ CO₂ (kg) /liter = **2,3 kg CO₂ (kg)/ton**.

Energianvändning

Diesel har ett energivärde på 43,1 MJ/kg och en densitet på 0,8 kg/liter = $43,1 * 0,8 = 34,48$ MJ/liter (Preem, 2011a). Detta ger en energiförbrukning på $34,48 * 0,93 =$ **32 MJ/ton**.

Behandling via rötning

Enligt miljörapporten från Uppsala Vatten och Avlopp förbrukades 2 753,25 MWh energi för att ta om hand 8900 ton avfall (Uppsala Vatten, 2010).

Detta ger en förbrukning på $2\ 753,25$ MWh/8900 ton = 0,30934 MWh/ton.

37 % av denna energi kommer från el och 34 % kommer från förbränning av eldningsolja. Den resterande energin kommer från den producerade biogasen och antas därmed inte ge något tillskott till utsläpp av växthusgaser (Uppsala Vatten, 2010).

$0,30934 * 0,37 = 0,1144$ MWh/ton från el som antas bestå av svensk el mix vilket ger ett koldioxidutsläpp på 12 g/ kWh (Mobjörk & Jonsson, 2009). Detta ger ett tillskott på **1,37 kg CO₂**

$0,30934 * 0,34 = 0,10517$ MWh/ton från eldningsolja vilket genererar ett tillskott på 2,69 ton koldioxid per m³, oljan har ett energiinnehåll på 10,325 MWh/m³ (Preem, 2011b).

$0,10517$ MWh/ton/10,325 MWh/m³ = 0,01018 m³ vilket ger **27,40 kg koldioxid/ton**.

Vid rötning kan det förekomma spill av metangas från röttningsprocessen, vid rötning i Uppsala får ett metanspill på 0,37 % av gasflödet (Uppsala Vatten, 2010).

Varje ton matavfall som rötas ger 180 m³ biogas, innehållande 66 % metangas och 33 % koldioxid. (Nordin, 2011) 180 m³/ton * $0,66 = 118,8$ * $0,0037 = 0,444$ m³/ton . Detta ger ett metanspill på $0,444$ Nm³/ton, densiteten för metangas är $0,75$ kg/Nm³ vilket ger ett metanutsläpp på $0,33$ kg/ton (Swegas, 2011).

Metan är en kraftig växthusgas som har ett växthusgasindex på 21 kg CO₂-eqv/kg (se Tabell 6 i Bilaga 3) Vilket ger ett utsläpp på $0,033$ kg metan/ton * $21 =$ **6,93 kg koldioxid**.

Rötning av matavfall kräver $0,30934$ MWh/ton = **1113,624 MJ/ton** (Uppsala vatten, 2009).

Det produceras 120 m³ metangas/ton matavfall (Nordin, 2011). Biogas har ett värmevärde på 23 MJ/Nm³ (Basdata om biogas, 2006) detta ger en producerad energi på $23 * 120 =$ **2 760 MJ/ton**.

Nedgrävda behållare

Insamling sker med hjälp av en sopbil med kran som drivs med diesel, körsträckan antas vara 8 mil (Branteman, 2011).

En sopbil kräver 2,41MJ/ton, km *80 km = **192,8 MJ/ton**. (Baumann & Tillman, 2004). Diesel har ett värmevärde på 43,2 MJ/kg, vilket ger 4,46 kg diesel/ ton. (Preem, 2011a). Detta motsvarar 5,509 liter/ton, då densiteten för diesel är 0,81 kg/liter (Baumann & Tillman, 2004).

Vid förbränning av diesel genereras 2,49 kg koldioxid (Preem, 2011a), vilket ger **13,72 kg CO₂/ton**.

Transport och behandling se ovan.

Mobil sopsug

Den mobila sopsugslastbilen antas dra 4 liter/mil diesel och körsträckan antas vara 8 mil, när bilen är full rymmer den 12 m³ avfall. Sopsugslastbilen antas lastas maximalt eftersom insamling inom det mobila sopsugsystemet är förknippat med höga kostnader. (Tullberg, 2011)

Utsorterat matavfall har en densitet på 250 kg/m³ vilket ger en last på 3 ton (Avfall Sverige, 2011).

4*8 = 32/3 = 10,667 liter/ton. Varje liter genererar 2,49 kg koldioxid och därmed ger insamling med sopsug ett tillskott på 10,667 liter/ton * 2,49 CO₂(kg)/liter = **26,56 kg/ton** (Preem, 2011a).

Diesel har ett energivärde på 43,1 MJ/kg och en densitet på 0,8 kg/liter = 43,1 * 0,8 = 34,48 MJ/liter (Preem, 2011a). Detta ger en energiförbrukning på 10,667 liter/ton * 34,48 MJ/liter = **367,79 MJ/ton**.

Transport och behandling se ovan

Total sammanställning

Utsläpp av växthusgaser

Tabell 1: Utsläpp av kg CO₂- ekvivalenter från insamling, transport och behandling från de studerade systemen.

	Kärl	Nedgräv. behållare	Mobil sopsug
Insamling (CO ₂ -eqv/ton)	7,65	13,66	26,56
Transport till behandling (CO ₂ -eqv/ton)	2,3	2,3	2,3
Behandling (CO ₂ -eqv/ton)	35,7	35,7	35,7

Energinetto

Tabell 2: Energinetto från insamling, transport, behandling och producerad energi för de studerade systemen.

	Kärl	Nedgrävda behållare	Mobil sopsug
Insamling (MJ/ton)	243	192,8	367,8
Transport till behandling (MJ/ton)	32	32	32
Behandling (MJ/ton)	1113,624	1113,624	1113,624
Producerad energi (MJ/ton)	-2760	- 2760	-2760

Kostnadsberäkningar

Kärl

Investeringskostnaden för ett kärl är 660 kr (Tullberg, 2011). 675 hushåll har möjlighet att sortera ut matavfall i kärl. Vid dimensionering antas 10 hushåll/kärl (Särnholm, 2011). 675 hushåll/10 hushåll/kärl = 67,5 kärl dvs. $67,5 * 660 \text{ kr} = 44\,550 \text{ kr}$.

För att kunna ge en mer rättvis bild över investeringskostnaderna beräknas investeringarna år 1 samt år 7. Detta med hjälp av annuitetsmetoden och en kalkylränta på 5 %. Den beräknade livslängden för ett kärl antas vara 7 år och dess avskrivningstid 5 år (Tullberg, 2011) (Svenska kommunförbundet, 2001).

$$A = S_0 \times \frac{p(1+p)^n}{(1+p)^n - 1} = S_0 \times \frac{p}{1 - (1+p)^{-n}}$$
$$A = 44\,550 \times \frac{0,05(1+0,05)^5}{(1+0,05)^5 - 1} = 10\,289,92 \text{ kr}$$

Vid insamling av kärl samlas det in 23,166 ton/ år.

$$10\,289,92 \text{ kr} / 23,166 = 0,444 \text{ tkr/ton/år}$$

Varje hushåll får en plasthållare till sitt matavfall som kostar 22,5 kr. En papperspåse kostar 0,347 kr och varje hushåll beräknas använda 3 stycken i veckan (Tullberg, 2011). För att kunna slå ut dessa kostnader per ton avfall antas mängden insamlat avfall vara 23,166 ton/år. Antalet hushåll som använde sopsug är 675 st.

$$\text{Plasthållare: } 675 \text{ hushåll} * 22,5 \text{ kr} = 15\,187,5 / 23,166 \text{ ton} = 0,655 \text{ tkr/ton}$$

Pappåsar: $675 \text{ hushåll} * 0,347 \text{ kr} * 3 \text{ påsar/vecka} * 52 \text{ veckor} = 36\,539,1 \text{ kr/år} / 23,166 \text{ ton/år} = 1,53 \text{ tkr/ton}$

Information gällande utsortering av matavfall sker i form av projektanställd (680 000 kr) och informationsmaterial (400 000 kr). Denna kostnad fördelas jämt över de tre systemen.

Information $680\,000 \text{ kr} + 400\,000 \text{ kr} / 3 = 360\,000 \text{ kr} / 23,166 = 15,54 \text{ tkr/ton}$

Tömning och behandlingskostnader beräknas per ton.

Tömning kostar 36 kr/kärl, varje kärl får maximalt innehålla 35 kg (Tullberg, 2011). $1000 \text{ kg} / 35 \text{ kg} = 29 \text{ stycken kärl} * 36 = 1,03 \text{ tkr/ton}$

Behandlingen kostar $652 \text{ kr/ton} = 0,652 \text{ tkr/ton}$.

Tabell 3: Kostnaden per ton avfall år 1 och år 5 för systemet med kärl.

Aktivitet	År 1	År 7
Behandling	0,652	0,652
Information	15,54	-
Investering	0,44	-
Pappåse	1,57	1,57
Plasthållare	0,66	-
Tömning	1,03	1,03

Nedgrävda behållare

Investeringskostnaden för en nedgrävd behållare är 60 000 kr, i Solna finns det tre stycken (Tullberg, 2011). 792 hushåll har möjlighet att sortera ut matavfall i dessa behållare. Behållarens livslängd antas vara på 10 år och dess avskrivningstid 7 år (Tullberg, 2011)(Svenska kommunförbundet, 2001)

$60\,000 \text{ kr} * 3 = 180\,000 \text{ kr}$.

För att kunna ge en mer rättvis bild över investeringskostnaderna beräknas investeringarna år 1 samt år 7. Detta med hjälp av annuitetsmetoden och en kalkylränta på 5 %.

$$A = S_0 \times \frac{p(1+p)^n}{(1+p)^n - 1} = S_0 \times \frac{p}{1 - (1+p)^{-n}}$$

$$A = 180\,000 * 0,05(1+0,05)^7 / (1+0,05)^7 - 1 = 31\,107,56 \text{ kr}$$

Varje år samlas det in 27,189 ton/ år genom avfallshanteringssystemet med nedgrävda behållare.

$31\,107,56 \text{ kr} / 27,189 = 1,144 \text{ tkr/ ton}$

Varje hushåll får en plasthållare till sitt matavfall som kostar 22,5 kr. En papperspåse kostar 0,347 kr och varje hushåll beräknas använda 3 stycken i veckan (Tullberg, 2011). För att kunna slå ut dessa kostnader per ton avfall antas mängden insamlat avfall vara 27,189 ton/ton. Antalet hushåll som använder nedgrävda behållare är 792 st.

Plasthållare: 792 hushåll * 22,5kr = 15 187,5 kr/33,166 ton= 0,655 tkr/ton

Pappåsar: 792 hushåll * 0,347 kr *3 påsar/vecka * 52 veckor = 36 539,1 kr/år/27,189 ton/år = 1,57 tkr/ton

Information gällande utsortering av matavfall sker i form av projektanställd (680 000 kr) och informationsmaterial (400 000 kr). Denna kostnad fördelas jämt över de tre systemen.

Information 680 000kr + 400 000 kr/ 3 = 360 000 kr/27,189 = 13,24 tkr/ton

Tömning och behandlingskostnader beräknas per ton.

Tömning 410 kr/behållare, varje behållare innehåller maxinmalt 750 liter. Matavfall i papperspåse har en densitet på 0,22 kg/liter kg (Avfall Sverige, 2009). $1000\text{kg}/(750*0,22) = 6$ stycken behållare *410 =2,48 tkr/ton.

Behandlingen kostar 652 kr/ton = 0,652 tkr/ton.

Tabell 4: Kostnaden per ton avfall år 1 och år 5 för systemet med nedgrävda behållare.

Aktivitet	År 1	År 7
Behandling	0,652	0,652
Information	13,24	-
Investering	1,144	1,144
Pappåse	1,57	1,57
Plasthållare	0,66	-
Tömning	2,48	2,48

Mobil sopsug

Investeringskostnaden för sopsugen år 1999 var 7 460 000 kr exkl. moms. (Dolk, 2011). Med dagens penningvärde blir detta 8 682 458,02 kr. (Myntkabinettet, 2011)

Kostnaden per ton bli då 8 682 458,02 kr/30,166 ton = 288 tkr/ton/år

För att kunna ge en mer rättvis bild över investeringskostnaderna beräknas investeringarna år 1 samt år 7. Detta med hjälp av annuitetsmetoden och en kalkylränta på 5 %. Den beräknade livslängden för en sopsug antas vara 15 år och dess avskrivningstid antas vara 10 år (Dolk, 2011) (Svenska kommunförbundet, 2001).

$$A = S_0 \times \frac{p(1+p)^n}{(1+p)^n - 1} = S_0 \times \frac{p}{1 - (1+p)^{-n}}$$

$$A = 8682\,558,02 * 0,05(1+0,05)^{10} / ((1+0,05)^{10} - 1) = 1124430,986 \text{ kr}$$

$$1124430,986 \text{ kr}/30,166 \text{ ton} = 37,27 \text{ tkr/ton/år}$$

Varje hushåll får en plasthållare till sitt matavfall som kostar 22,5 kr. En papperspåse kostar 0,347 kr och varje hushåll beräknas använda 3 stycken i veckan (Tullberg, 2011). För att kunna slå ut

dessa kostnader per ton avfall antas mängden insamlat avfall vara 30,133 ton/ton. Antalet hushåll som använder sopsug är 878 st.

Plasthållare: $878 \text{ hushåll} * 22,5 \text{ kr} = 19755 \text{ kr} / 30,166 \text{ ton} = 654,876 \text{ kr/ton} = 0,6548 \text{ tkr/ton}$

Pappåsar: $878 \text{ hushåll} * 0,347 \text{ kr} * 3 \text{ stycken påsar/veckan} * 52 \text{ veckor} = 47527,896 \text{ kr/år} / 30,166 \text{ ton/år} = 1575,545 \text{ kr/ton} = 1,57 \text{ tkr/ton}$

Information gällande utsortering av matavfall sker i form av projektanställd (680 000 kr) och informationsmaterial (400 000 kr). Denna kostnad fördelas jämt över de tre systemen.

Information $680\,000 \text{ kr} + 400\,000 \text{ kr} / 3 = 360\,000 \text{ kr} / 30,166 \text{ ton} = 11\,933,96 \text{ kr/ton} = 11,93 \text{ tkr/ton}$

Tömning och behandlingskostnader beräknas per ton.

Tömning 80 kr/m^3 , varje m^3 väger 250 kg (RVF Rapport 2006), därmed krävs $1000/250 = 4$ tömningar/ton = $80 \text{ kr} * 4 = 320 \text{ kr/ton} = 0,320 \text{ tkr/ton}$

Behandlingen kostar $652 \text{ kr/ton} = 0,652 \text{ tkr/ton}$.

Tabell 5: Kostnaden per ton avfall år 1 och år 5 för systemet med mobil sopsug.

Aktivitet	År 1	År 7
Behandling	0,657	0,657
Information	11,94	-
Investering	37,3	37,3
Pappåse	1,57	1,57
Plasthållare	0,65	-
Tömning	0,320	0,320

Bilaga 2

Enkät som skickats till bostadsrättsföreningarna.

Hej Föreningen!

Jag heter Klara Gunnarsson och är civilingenjörstudent som just nu skriver mitt examensarbete om insamling av matavfall i Solna Kommun. Det är en studie som kommer att användas av kommunen för deras fortsatta arbete med insamling av matavfall. Jag fick tips av Solnas avfallsinformatör Jenny Särnholm om att ni samlar in matavfall.

Jag är intresserad av att veta hur det fungerar hos er när det gäller utsortering av matavfall. Jag skulle vara tacksam om ni kunde besvara nedanstående frågor och sedan mejla tillbaka till mig.

1. Hur informerar ni de boende i föreningen gällande utsortering av matavfall?

Exempel på detta kan vara information om hur många hushåll som sorterar, information till nyinflyttade eller information om felsortering.

2. Vilka synpunkter från medlemmarna har framkommit gällande utsortering av matavfall?

Har ni upplevt några/något av följande problem vid insamling av matavfall?

(Sätt ett (X) för det som stämmer in på er förening)

Dålig lukt ()

Skadedjur

t.ex. Råttor ()

Smutsiga kärl ()

Utebliven hämtning av matavfall ()

Flersortering ()

Tack på förhand!

Med Vänliga Hälsningar

Klara Gunnarsson 070-510 92 90

Bilaga 3

Jämförelse mellan olika behandlingsmetoder med avseende på parametern miljöpåverkan

Beräkning av miljöpåverkan från de olika behandlingsmetoderna.

Tabell 6: Växthuspotential för de vanligaste växthusgaserna. (Naturvårdsverket, 2011c)

Växthusgaspotential	
Växthusgas	GWP 100
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

Rötning

De siffror gällande rötning som används i jämförelsen är hämtade från **Bilaga 1**.

Kompostering

Insamling: Utsläpp av växthusgaser vid insamling antas vara samma som tidigare beräkningar, 13,66 CO₂(kg)- ekvivalenter/ton.(se Bilaga 1)

Värdena gällande utsläpp från kompostering är hämtade från Berglund & Börjesson (2003a).

Behandling: Utsläpp 420 g metan/ton = $420 * 21 = 8,82 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}$, metangas växthusgaspotential är 21 CO₂-ekv (se Tabell 6)

Utsläpp av lustgas sker, $120 \text{ g/ton} = 120 * 310 = 37,2 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}$, lustgas har en växthusgaspotential på 310 CO₂-ekv (se Tabell 6).

15 MJ/ton krävs för vändning, luftning mm av avfall. Antas kompostvändarmaskinen drivas med diesel ger detta ett utsläpp av CO₂- ekvivalenter.

Diesel har ett energivärde på 43,1 MJ/kg (Preem, 2011a), $15 \text{ MJ/ton}/43,1 \text{ MJ/kg} = 0,348 \text{ kg/ton}$. Diesel har en densitet på 0,8 kg/liter (Preem, 2011a), $0,348 \text{ kg/ton}/0,8 \text{ kg/liter} = 0,435 \text{ liter diesel}$.

Vid förbränning av en liter diesel frigörs 2,49 kg CO₂, $0,435 * 2,49 = \mathbf{1,08 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}}$.

Totalt genererar kompostering som behandling ett utsläpp på $8,82 + 37,2 + 1,08 = \mathbf{47,1 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}}$.

Transport

Transport till behandling: Avståndet mellan Hagby och behandlingsanläggningen i Sofielund är 44,5 km (Hitta, 2011b), varje transportbil lastas med 40 ton avfall och antas dra 3,5 liter mer mil. På vägen tillbaka är lastbilen tom. (Johansson, 2011).

Detta ger en miljöpåverkan på: $4,4 \text{ mil} * 2 * 3,5 \text{ liter/mil} = 20,8 \text{ liter}/40 \text{ ton} = 0,77 \text{ liter/ton}$.

Förbränning av 1 liter diesel ger 2,49 kg koldioxid (Preem, 2011a), vilket i detta fall ger ett utsläpp på $0,77 * 2,49 = \mathbf{1,92 \text{ kg CO}_2/\text{ton}}$.

Tabell 7: Jämförelse mellan behandlingsformerna *Kompostering* och *Rötning* med avseende på utsläpp av CO₂(kg)- ekv per ton behandlat avfall.

Aktivitet	Kompost	Rötning
Insamling (CO ₂ -kg ekv/ton)	13,66	13,66
Transport till behandling (CO ₂ -kg ekv/ton)	1,92	2,3
Behandling(CO ₂ -kg ekv/ton)	47,1	35,7

Förbrännig jämfört med Rötning.

Miljöpåverkan i CO₂(kg)- ekvivalenter per ton behandlat avfall.

Behandling genom Förbränning

Det utsorterade matavfallet som samlas in med sopsug förbränns, 75 % vid värmeverket i Uppsala och 25 % vid värmeverket i Högdalen, Stockholm.

Uppsala Värmeverk

Producerar varje år 1062 GWh, utsorterat matavfall har ett energiinnehåll på 2 MWh/ton (Uppsala Vatten, 2009). Antas enbart matavfall behandlas ger detta att värmeverket tar emot $1062 \text{ 000 MWh}/2 \text{ MWh/ton} = 531 \text{ 000 ton avfall}$.

Varje år förbrukas $48 \text{ 000 MWh} * 0,49 = 23 \text{ 520 MWh}$ eldningsolja vid avfallsförbränningsanläggningen i Uppsala. Energiinnehållet för eldningsolja är 10,325 MWh/m³, $23 \text{ 520 MWh}/10,325 \text{ MWh/m}^3 = 2278 \text{ m}^3/531 \text{ 000 ton} = 0,0043 \text{ m}^3 \text{ eldningsolja/ton}$. (Preem, 2011b)

Detta ger ett utsläpp på $0,0043 \text{ m}^3/\text{ton} * 2,69 \text{ CO}_2(\text{ton})/\text{m}^3 = \mathbf{11,54 \text{ kg koldioxid/ ton}}$. (Preem, 2011b)

Det krävs $111 \text{ GWh} * 0,49 = 54,39 \text{ GWh}/53 \text{ 1000 ton} = 0,1024 \text{ MWh}/\text{ton} = 102 \text{ kWh}/\text{ton}$. Svensk elmix ger $12 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$ (Mobjörk & Jonsson, 2009), $102 * 12 = \mathbf{1,229 \text{ kg koldioxid}}$.

Vid avfallsförbränning i Uppsala genereras ett utsläpp av lustgas på $0,0442 \text{ kg}/\text{ton}$ (Uppsala Vatten, 2009). Lustgas är en kraftig växthusgas som har ett växthusindex på $310 \text{ CO}_2\text{-eqv}/\text{kg}$. (Se Tabell 6)

Detta ger ett utsläpp på $0,0442 \text{ kg}/\text{ton} * 310 \text{ CO}_2\text{-eqv}/\text{kg} = \mathbf{13,709 \text{ kg koldioxid}/\text{ton}}$

Totalt ger detta $11,54 + 1,229 + 13,709 = 26,477 * 0,75 = \mathbf{19,86 \text{ kg koldioxid}/\text{ton}}$

Energiförbrukningen blir $0,0043 \text{ m}^3 * 10,325 \text{ MWh}/\text{m}^3 = 0,044 \text{ MWh} = 158,4 \text{ MJ}/\text{ton}$ och för el blir det $102 \text{ kWh} = 367,2 \text{ MJ}/\text{ton}$ (Preem, 2011b).

$158,4 + 367,2 = 525,6 \text{ MJ}/\text{ton} * 0,75 = \mathbf{394,2 \text{ MJ}/\text{ton}}$

Högdalens värmeverk

Varje år förbränns 393433 ton avfall, det används 1076 m^2 eldningsolja (Fortum, 2010).

$1076 \text{ m}^3/393433 \text{ ton} = 0,00273 \text{ m}^3 \text{ olja}/\text{ton}$ vilket $0,00273 \text{ m}^3 * 2,69 \text{ ton CO}_2/\text{m}^3$ genererar $\mathbf{7,35 \text{ kg koldioxid}}$.

Lustgas genereras vid förbrännig, vid högdalens värmeverk genereras $0,0442 \text{ kg}$ lustgas/ton (Fortum, 2010). Lustgas är en kraftig växthusgas som har ett växthusindex på $310 \text{ CO}_2\text{-eqv}/\text{kg}$ (se Tabell 6). Detta ger ett utsläpp på $\mathbf{13,709 \text{ kg koldioxid}/\text{ton}}$

Elförbrukningen antas vara samma som för Uppsala vatten och värme dvs. $102 \text{ kWh}/\text{ton}$. Svensk elmix ger $12 \text{ g CO}_2/\text{kWh}$ (Mobjörk & Jonsson, 2009), $102 * 12 = \mathbf{1,229 \text{ kg koldioxid}}$.

Totalt blir detta $13,709 + 7,35 + 1,229 = 22,281 * 0,25 = \mathbf{5,57 \text{ kg koldioxid}/\text{ton}}$.

Energiförbrukning är $0,00273 \text{ m}^3 * 10,325 \text{ MWh}/\text{m}^3$ (Preem, 2011b) = $0,0281 \text{ MWh} = 101,47 \text{ MJ}/\text{ton}$.

Elförbrukningen är $102 \text{ kWh}/\text{ton}$ (Fortum, 2010) vilket är $367,2 \text{ MJ}/\text{ton}$.

$101,47 + 367,2 = 468,67 \text{ MJ}/\text{ton} * 0,25 = \mathbf{117,16 \text{ MJ}/\text{ton}}$.

Totalt ger detta ett utsläpp från förbränning; $\mathbf{19,86 \text{ kg koldioxid}/\text{ton} + 5,57 \text{ kg koldioxid}/\text{ton} = \mathbf{25,43 \text{ kg koldioxid}/\text{ton}}$.

Total energiförbrukning från förbränning är; $\mathbf{394,2 \text{ MJ}/\text{ton} + 117,16 \text{ MJ}/\text{ton} = \mathbf{511,36 \text{ MJ}/\text{ton}}$.

Energiframställningen av avfall antas vara $2 \text{ MWh}/\text{ton} = \mathbf{7 \text{ 200 MJ}/\text{ton}}$. (RVF, 2003)

Behandling genom rötning

Enligt miljörapporten från Uppsala Vatten och Avlopp (Uppsala Vatten, 2010). Förbrukades 2 753,25 MWh energi för att ta om hand 8900 ton avfall.

Detta ger en förbrukning på $2\,753,25 \text{ MWh}/8900 \text{ ton} = 0,30934 \text{ MWh/ton}$.

37 % av denna energi kommer från el och 34 % kommer från förbränning av eldningsolja. Den resterande energin kommer från den producerade biogasen och antas därmed inte ge något tillskott till utsläpp av växthusgaser (Uppsala Vatten, 2010).

$0,30934 * 0,37 = 0,1144 \text{ MWh/ton}$ från el som antas bestå av svensk el mix vilket ger ett koldioxidutsläpp på 12 g/kWh (Mobjörk & Jonsson, 2009). Detta ger ett tillskott på **1,37 kg CO₂**

$0,30934 * 0,34 = 0,10517 \text{ MWh/ton}$ från eldningsolja vilket genererar ett tillskott på 2,69 ton koldioxid per m³, oljan har ett energiinnehåll på 10,325 MWh/m³ (Preem, 2011b).

$0,10517 \text{ MWh/ton}/10,325 \text{ MWh/m}^3 = 0,01018 \text{ m}^3$ vilket ger **27,40 kg koldioxid/ton**.

Vid rötning kan det förekomma spill av metangas från rötningsprocessen, vid rötning i Uppsala får ett metanspill på 0,37 % av gasflödet (Uppsala Vatten, 2010).

Varje ton ger 180 m³ biogas, innehållande 66 % metangas och 33 % koldioxid. (Nordin, 2011) $180 \text{ m}^3/\text{ton} * 0,66 = 118,8 * 0,0037 = 0,444 \text{ m}^3/\text{ton}$. Detta ger ett metanspill på 0,444 m³/ton, densiteten för metangas är 0,75 kg/Nm³ vilket ger ett metanutsläpp på 0,33 kg/ton (swegas, 2011).

Metan är en kraftig växthusgas som har ett växthusgasindex på 21 kg CO₂-ekv/kg. Vilket ger ett utsläpp på $0,33 \text{ kg metan/ton} * 21 = \mathbf{6,93 \text{ kg koldioxid}}$.

Total ger detta ett utsläpp på $1,37 + 27,40 + 6,93 = \mathbf{35,7 \text{ CO}_2(\text{kg})\text{-ekv}}$.

Rötning av matavfall kräver $0,30934 \text{ MWh/ton} = \mathbf{1113,624 \text{ MJ/ton}}$ (Uppsala vatten, 2009)

Det produceras 120 Nm³ biogas/ton matavfall (Nordin, 2011). Biogas har ett värmevärde på 23 MJ/Nm³ (Basdata om biogas, 2006) detta ger en producerad energi på $23 * 120 = \mathbf{2\,760 \text{ MJ/ton}}$.

Tabell 8: Jämförelse mellan behandlingsformerna Förbränning och Rötning med avseende på utsläpp av CO₂(kg)- ekv per ton behandlat avfall.

	Förbränning	Rötning
Behandling(CO ₂ -kg ekv/ton)	25,43	35,7

Energinetto i MJ per behandlat ton avfall.

Tabell 9: Jämförelse mellan behandlingsformerna Förbränning och Rötning med avseende på energinetto per ton behandlat avfall.

	Rötning	Förbränning
Behandling (MJ/ton)	1113,624	511
Producerad energi (MJ/ton)	-2760	- 7200

Hur ska biogasen användas?

Vid rötning produceras det 120 m³ biogas per ton avfall. 1 m³ biogas kan likställas med det energiinnehåll som motsvarar 1,132 liter bensin. (Basdata om biogas, 2006) Vid förbränning av 1 liter bensin genereras 2,24 kg koldioxid (Konsumentverket, 2011), vilket ger 2,24 kg CO₂* 1,132 liter/ m³ * 120 m³ = 299,22 kg koldioxid.

1 m³ har ett värmevärde på 9,67 kWh = 34,812 MJ. (Basdata om biogas, 2006)

Svensk elmix genererar 12 g koldioxid per kWh (Mobjörk & Jonsson, 2009).

Detta ger ett utsläpp på 12 g * 9,67 kWh/m³ * 120 m³ = 13 924,8 gram/ton = 13,92 kg/ton.

Energiinnehållet i 1 m³ biogas är 9,67 kWh * 120 = 1 160,4 kWh.

När avfall förbränns genereras ett utsläpp på 207 kg/MWh (Vattenfall, 2009). 1 m³ har ett energiinnehåll på 9,67 kWh och per ton avfall som rötas produceras 120 m³ biogas.

120 m³ * 9,67 kWh/m³ = 1 160,4 kWh = 1,1604 MWh * 207 kg/MWh = 240,2 kg CO₂/ton avfall.

Tabell 10: Jämförelse mellan användningsområden för den biogas som produceras av ett ton behandlat avfall.

Bensin	El	Värme
299,22 (CO ₂ kg - ekv)	13,92 (CO ₂ kg- ekv)	240,2 (CO ₂ kg- ekv)