

Utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall

Bilaga 1b: Teknisk utvärdering gasuppgraderingsanläggningar

RVF Utveckling

2005:06

En rapport från BUS-projektet

BUS-projektet – uppföljning och utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall

Delprojekt 1: Utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall (RVF Utveckling rapport nr 2005:06)

Delprojekt 2: Metoder att mäta och reducera emissioner från system med rötning och uppgradering av biogas (RVF Utveckling rapport nr 2005:07)

Delprojekt 3: Driftdatainsamling via webben (ingen rapport)

Delprojekt 4: Innsamling av bioavfall från flerbildningshus – lösningar og virkemidler for store fellesløsninger (RVF Utveckling rapport nr 2005:08)

Delprojekt 5: Tips och råd med kvalitetsarbetet vid insamling av källsorterat bioavfall (RVF Utveckling rapport nr 2005:09)

Delprojekt 6: Användning av biogödsel (RVF Utveckling rapport nr 2005:10)

Delprojekt 7: Smittspridning via kompost och biogödsel från behandling av organiskt avfall – litteratursammanställning och riskhantering (RVF Utveckling rapport nr 2005:11)

Delprojekt 8: Organiske forurensninger i kompost og biorest (RVF Utveckling rapport nr 2005:12)

Delprojekt 9: Emissioner fra kompostering (RVF Utveckling rapport nr 2005:13)

Delprojekt 10: Biologisk avfallsbehandling i Sverige och Norge: Vad fungerar bra och vad kan fungera bättre? En syntesstudie av de nio delprojekten (RVF Utveckling rapport nr 2005:14)

Projektet är finansierat av:

- RVF – Svenska Renhållningsverksförbundet
- Naturvårdsverket
- Energimyndigheten
- NRF – Norsk renholdsverksforening
- VA-Forsk
- Reforsk



RVF Utveckling2005:06
©RVF Service AB

Förord

Betydande investeringar i system för biologisk avfallsbehandling har gjorts under senare år. Samtidigt är tekniken som används vid anläggningarna ny och befinner sig i en utvecklingsfas. Det finns därför starka skäl för att utvärdera befintliga anläggningar. Genom att samla drifterfarenheter och göra dem tillgängliga, kan nya system konstrueras och byggas på ett säkrare och mer tillförlitligt sätt. Detta är huvudmotivet för den serie av utvärderingar som samlats under arbetsnamnet BUS. I dess första etapp har erfarenheter och driftdata från alla delar i kedjan avfallsinsamling, process och produktanvändning dokumenterats på ett enhetligt sätt i ett *utvärderingsprogram*. Föreliggande rapport utgör en delrapport i projektserien. Samtliga delrapporter finns tillgängliga i elektronisk form. Hela ramprogrammet har sammanfattats i en avslutande syntesrapport. Projektserien har genomförts och finansierats i ett samarbete mellan Energimyndigheten, Norsk renholdsverksforening (NRF), Naturvårdsverket, RVF Utveckling, Stiftelsen Reforsk samt VA-Forsk.

April 2005

Håkan Rylander

Ordf. RVFs Utvecklingskommitté

Weine Wiquist

VD RVF

Innehåll

Innehåll	3
1 Metodik och omfattning	4
2 Anläggningsbeskrivning och gasreningsteknik	5
2.1 Allmänt	5
2.2 Avskiljning av koldioxid	5
2.2.1 Skrubbersystem	6
2.2.2 PSA-system	18
2.3 Avskiljning av svavelväte	20
3 Resultat och diskussion	21
3.1 Anläggningstyper	21
3.2 Val av anläggning	22
3.3 Driftstatus och utnyttjad kapacitet	22
3.4 Tillgänglighet	24
3.5 Prestanda och nyckeltal	25
3.5.1 Metanhalt och daggpunkt	25
3.6 Miljöpåverkan	26
3.6.1 Metanförluster till omgivningen	26
3.6.2 Lukt	29
3.6.3 Kemikalieanvändning	29
3.7 Drifterfarenheter	29
3.7.1 Skrubberanläggningar	29
3.7.2 PSA-anläggningar	31
3.8 Ekonomi	32
3.8.1 Investering	32
3.8.2 Driftkostnader	32
3.9 Upphandling och konkurrens	34
3.10 Tekniska utvecklingsbehov	34

1 Metodik och omfattning

Gasuppgraderingsanläggningarna har utvärderats på samma sätt som rötningsanläggningarna, dvs genom studiebesök, enkätsvar och driftdatainsamling (se beskrivning i Bilaga 1a). Enkätfrågorna som skickats ut till anläggningarna före besöken bifogas sist i denna bilaga.

I likhet med rötningsanläggningarna har en anonymisering av anläggningarna delvis skett för att fokusera utvärderingen på mer systemövergripande mönster. Dock har det generellt varit av intresse att studera eventuella skillnader mellan olika metoder vilket gjort en fullständig anonymisering svår eftersom flera metoder endast är representerade av en eller två anläggningar.

Liksom för rötnings- och komposteringsanläggningarna varierar fullständigheten i de lämnade uppgifterna. Generellt mäts dock fler parametrar kontinuerligt vid gasreningsanläggningarna än vid rötningsanläggningarna.

De anläggningar som har ingått i studien redovisas nedan. Ursprungligen inkluderades de anläggningar som behandlar biogas från de aktuella rötningsanläggningarna för organiskt avfall som utvärderats. För att komplettera bilden och få ett mer fullständigt tekniskt underlag samt fler drifterfarenheter har även ett antal gasuppgraderingsanläggningar som behandlar biogas från avloppsreningsverk inkluderats i den tekniska utvärderingen. Vissa gasreningsanläggningar behandlar både gas från avloppsreningsverk och avfallsrötningsanläggningar.

På grund av den pågående utvecklingen och snabba förändringar i driftstatus kan inhämtade data ha förändrats från utvärderingstillfället till dagsläget.

Tabell 1 Anläggningar som ingått i studien

ID	Rötningsanläggning
1	Helsingborg
2	Kalmar
3	Kristianstad
4	Laholm
5	Linköping
6	Uppsala
7	Vänersborg (Trollhättans ARV)
8	Jönköping (Simsholmens ARV)
9	Borås
10	Bromma (ARV)
11	Henriksdal (ARV)
12	Eslöv (ARV)
13	Eskilstuna (ARV)

2 Anläggningsbeskrivning och gasreningsteknik

2.1 Allmänt

Uppgradering av biogas krävs för att gasen skall kunna nyttjas som fordonsbränsle alternativt ledas in på naturgasnätet. I det fall biogasen skall nyttjas direkt för uppvärmning krävs vanligtvis ingen rening (vid användning i gasmotorer kan dock ibland viss rening krävas beroende på gaskvalitet). Biogasen som behandlas i anläggningen anges som *rågas*, den renade gasen som *rengas*. Efter uppgradering komprimeras den renade gasen genom högtryckskompression och förvaras i gaslager (högtryckstuber).

Vid uppgradering av rågasen avskiljs framför allt biogasens koldioxidinnehåll (vanligtvis ca 35 %) och därigenom erhålls en förhöjd metanhalt i den renade gasen. De flesta metoder som avskiljer koldioxid avskiljer även andra oönskade komponenter i gasen, såsom svavelväte, ammoniak och partiklar. Koncentrationen av dess komponenter varierar beroende på substratsammansättningen vid rötningsanläggningen. I många fall är det fördelaktigt att ha ett separat avskiljningssteg för svavelväte före koldioxidavskiljningen.

Även rågasens vatteninnehåll måste avskiljas, främst för att undvika problem med frysning av tankmunstycken samt korrosion. Gas som leds in på naturgasnätet behöver inte högtryckskomprimeras och kan därför också ha en högre vattenhalt.

Biogas som uppgraderas till fordonsbränsle skall uppfylla vissa kvalitetskrav med avseende på metanhalt, vattenhalt, etc. Kraven anges i en svensk standard för användning av gasen i personbilar respektive tunga fordon¹, samt även en tankstationsföreskrift². Dessa krav utgör normalt basen för de garantivärden som anges vid upphandling av gasuppgraderingssystem.

2.2 Avskiljning av koldioxid

Ett mindre antal metoder finns tillgängliga för rening/uppgradering av biogas. Vid de utvärderade anläggningarna används huvudsakligen två olika tekniker: skrubbersystem samt sk Pressure Swing Adsorption (PSA). Ett fåtal andra metoder finns, dock inte i Sverige.

Skrubbersystemen kan indelas efter systemutformning och absorptionsmedium. Dels finns system med genomströmmande absorptionsmedium och system som använder recirkulerande absorptionsmedium. I de recirkulerande systemen kan någon annan typ av absorptionsmedium än vatten användas alternativt kan kemika-

¹ SS 15 54 38

² SÄIFS 1998:5

lier tillsätts vattnet för att erhålla en bättre avskiljning. Således kan de utvärderade anläggningarna grovt indelas i fyra olika typer av system, varav tre utgörs av någon typ av skrubbersystem.

Tabell 2 Tekniker för uppgradering av biogas vid de utvärderade anläggningarna

	Metod	Utformning av system	Absorptionsmedium
1	Skrubbersystem	Genomströmmande	Vatten
2	Skrubbersystem	Recirkulerande	Vatten
3	Skrubbersystem	Recirkulerande	Kemikalie
4	PSA (Pressure Swing Absorption)		Kol

Nedan beskrivs de olika teknikerna för gasuppgradering samt de anläggningar som använder respektive teknik.

Utformningen av anläggningar som använder samma teknik för gasuppgradering skiljer sig ofta mycket litet åt. Anläggningsbeskrivningen är därför integrerad i beskrivningen nedan av de olika teknikerna och eventuella unika egenskaper eller skillnader mellan de olika anläggningarna noteras. Anläggningarnas prestanda och drifterfarenheter kan dock skilja sig åt vilket redovisas och diskuteras i efterföljande resultatkapitel.

Vid de anläggningar som går i kontinuerlig drift råder av säkerhetsskäl fotoförbud, varför relativt få foton av anläggningarna har kunnat inkluderas i rapporten.

2.2.1 Skrubbersystem

I vattenskrubbersystem renas biogas från koldioxid, svavelväte och ammoniak genom tryckvattenabsorption, dvs komponenterna löses i vatten under tryck. En avskiljning erhålls genom att dessa komponenter har högre löslighet i vatten än metan. Absorptionen är rent fysikalisk och sker vanligtvis vid ca 8-35 bar. Lösligheten för koldioxid ökar med ökande tryck (och lägre temperatur).

Det finns huvudsakligen två huvudprinciper för vattenabsorptionsprocesser:

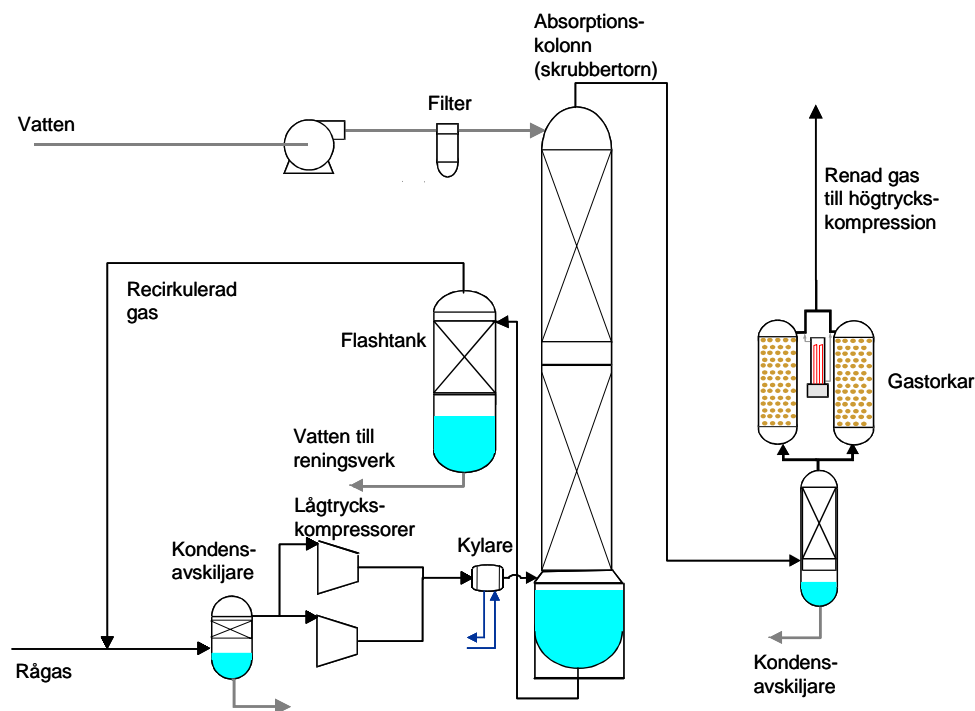
- Genomströmmande system (där vattnet passerar endast en gång genom systemet)
- Recirkulerande system där vattnet regenereras (avgasas) innan det återanvänds i systemet

2.2.1.1 VATTENSKRUBBERSYSTEM, GENOMSTRÖMMANDE

I Figur 1 nedan visas ett processschema för ett genomströmmande vattenskrubber-system.

Rågas komprimeras efter avskiljning av vatten i vätskefas och leds in i botten av en absorptionskolonn där gasen får möta ett motströms vattenflöde. Kolonnen är fylld med fyllkroppar för att effektivt sprida vätskan och öka kontaktytan mellan gas och vätska.

Den renade gasen tas ut i kolonnens topp och leds till ett torksteg. Vanligt är adsorptionstorkar, dvs kolonner med vattenadsorberande material, där gasens vatteninnehåll avlägsnas. Minst två torkkolonner används parallellt, där vattenadsorption sker i den ena kolonnen samtidigt som den andra regenereras genom uppvärmning.



Figur 1 Genomströmmande vattenskrubbersystem, principskiss

Efter torkning komprimeras gasen i flera steg. Normalt sker högtryckskompression sker till 200 bars tryck, men tryck upp till 300 förekommer.

Vattenflödet tas ut i botten på absorptionskolonnen och passerar en flashtank där trycket sänks och en del av den lösta gasen avgår.

Genomströmmande skrubbersystem kan teoretiskt sett använda färskvatten men av ekonomiska skäl används huvudsakligen renat avloppsvatten (RAV). I praktiken är denna typ av reningsanläggning därmed endast aktuell vid avloppsreningsverk.

Metanförlusterna är svåra att mäta vid anläggningen eftersom all metan inte går över i gasform vid flashsteget utan är löst i vattnet. Vattnet leds oftast tillbaka till reningsverkets inlopp efter flashsteget.

Fyra av de utvärderade anläggningarna är genomströmmande vattenskrubbersystem.

Tabell 3 Anläggningar med genomströmmande vattenskrubbersystem

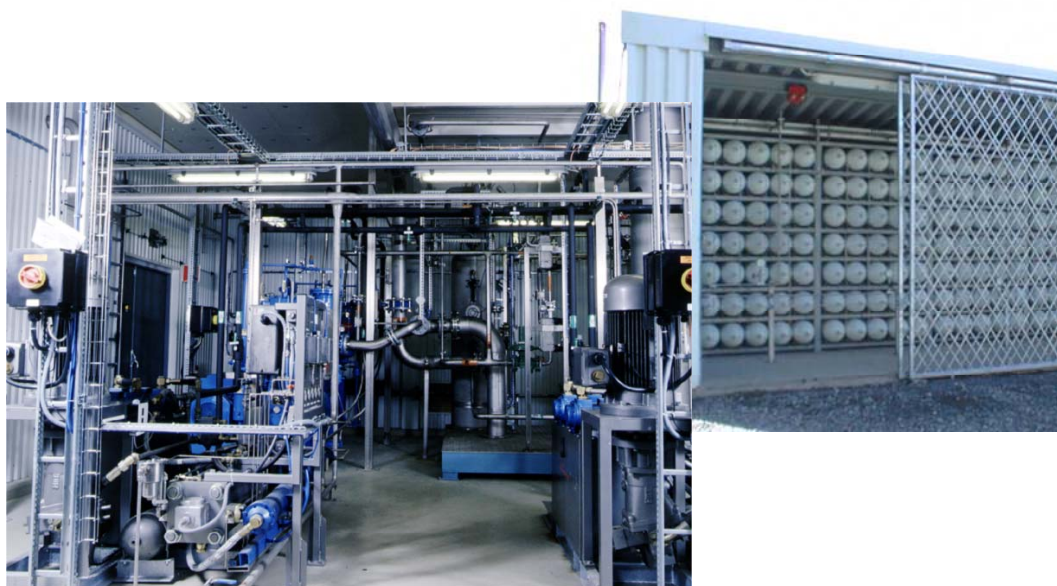
Anläggning	Dimensionerad rågaskapacitet Nm ³ /h	Drifttagen år	Driftstatus	Levererad av
Kristianstad	175	1999	I drift	Malmberg Water AB
	300	2002	I drift	
Uppsala	400	2001	I drift	Malmberg Water AB
Eslöv (ARV)	80	1997, 1999	I drift	Egen regi, levererad i delkomponenter
Jönköping (ARV)	300	2002	I drift	Malmberg Water AB



*Figur 2 Genomströmmande vattenskrubberanläggning i Kristianstad
(Foto: Malmberg Water AB)*



Figur 3 Genomströmmande vattenskrubberanläggning med tillhörande lågtryckskompressorer i Uppsala (Foto: Malmberg Water AB)



Figur 4 Genomströmmande vattenskrubberanläggning samt högtryckslager vid Simsholmens ARV, Jönköping (Foto: Malmberg Water AB)

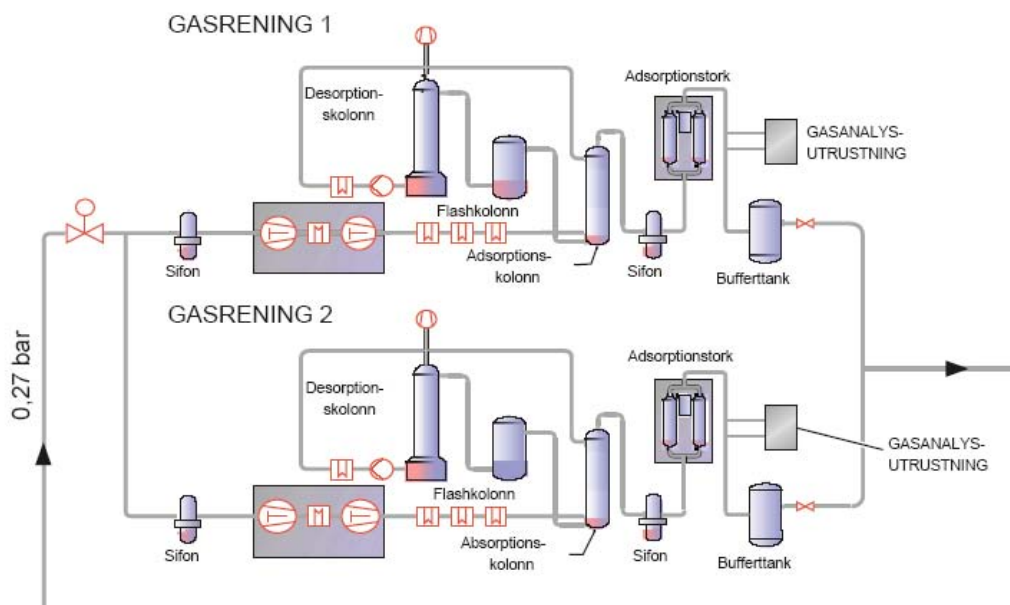
2.2.1.2 VATTENSKRUBBERSYSTEM, RECIRKULERANDE

Recirkulerande skrubbersystem är med avseende på absorptionssteget i princip lika som genomströmmande system som beskrivits ovan. Skillnaden är att vattnet måste regenereras före återanvändning.

Detta innebär att löst gas måste avlägsnas och vattnet måste även kylas före regenerering. Genom att vattnet blir smutsigt från partiklar och föroreningar i gasen måste en viss andel använt vatten blödas av och motsvarande mängd färskt vatten tillsättas.

Hur väl vattnet regenereras är tillsammans med absorptionsstrycket generellt det som bestämmer avskiljningsgraden vid fysikaliska absorptionsprocesser. En dålig regenerering kan till viss del kompenseras genom ett högre tryck.

Regenerering av vattnet kan utföras på olika sätt, till exempel genom trycksänkning till undertryck, temperaturhöjning eller genom att en inert gas (oftast väljs luft) blåses genom vattnet och driver ut gaserna. Metoderna kan även kombineras. Vanligast vid de svenska anläggningarna är luftinblåsning. Figur 5 och Figur 6 nedan illustrerar principen.

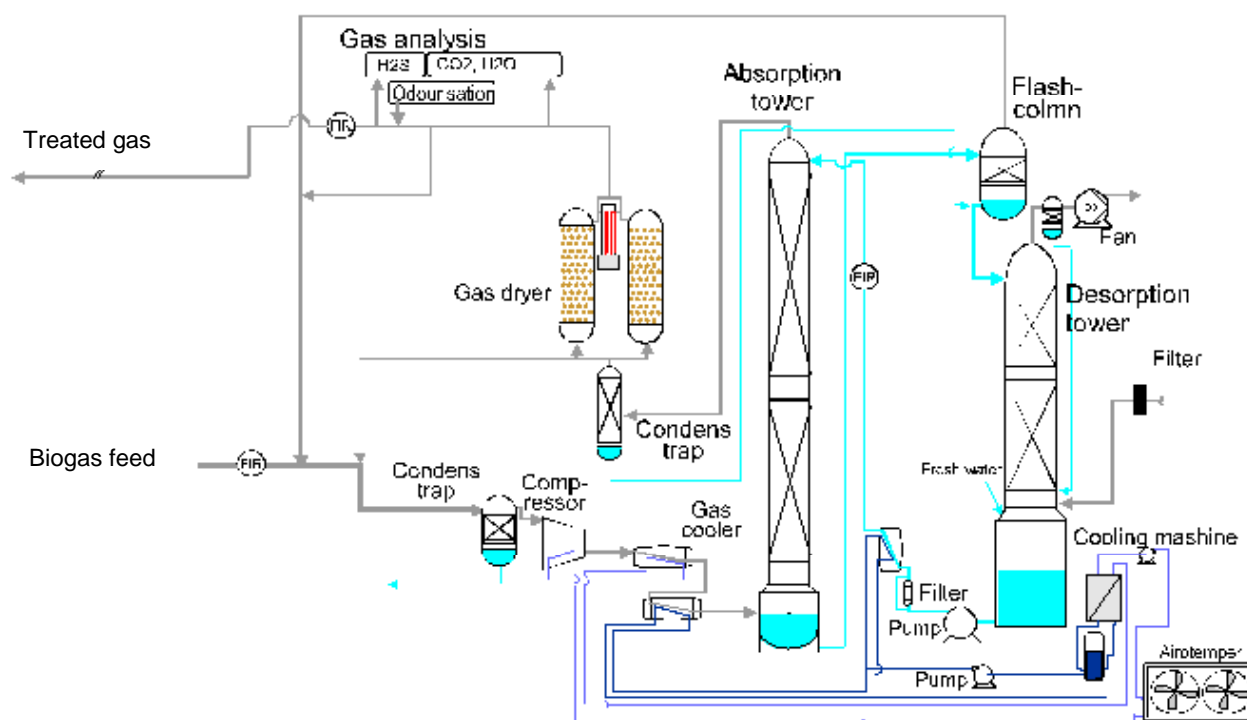


Figur 5 Recirkulerande vattenskrubber vid Henriksdals ARV, översiktligt processschema (Stockholm Vatten)

Vattenflödet tas ut i botten på absorptionskolonnen och avgasas i ett eller flera steg via flashtankar (trycksänkning). Gas som frigjorts i det första flashsteget innehåller bland annat metan som lösts i vattnet under absorptionen, och eftersom metan lättare desorberas än koldioxid kan man återföra gasen till inkommande rågasflöde, före kompressionssteget. Gasen innehåller även metan som och eftersom. I det slutliga flashsteget sänks trycket till undertryck, eventuellt samtidigt som vätskan värms

upp, vilket medför att ytterligare löst gas avlägsnas. Denna mängd utgör den sk restgasen, som normalt går ut till atmosfären.

I det fall luft används för avdrivningen sker detta i en desorptionskolonn, utformad med fyllkroppar på samma sätt som absorptionskolonnen, där gasen drivs av från vattnet med luft. Regenerering genom avdrivning med luft bör undvikas då höga halter svavelväte är löst i vattnet. Svavelvätet reagerar med syre till elementärt svavel, vilket ger upphov till beläggningar i den maskinella utrustningen med funktionsproblem som följd. Absorptionen av svavelväte försämras också.



Figur 6 Recirkulerande vattenskrubberanläggning, principschema Henriksdals ARV (Malmbergs Water AB)

Svavelväte avskiljs ibland i ett separat avskiljningssteg före skrubbersystemet för att undvika problem (se Svavelväte, nedan).

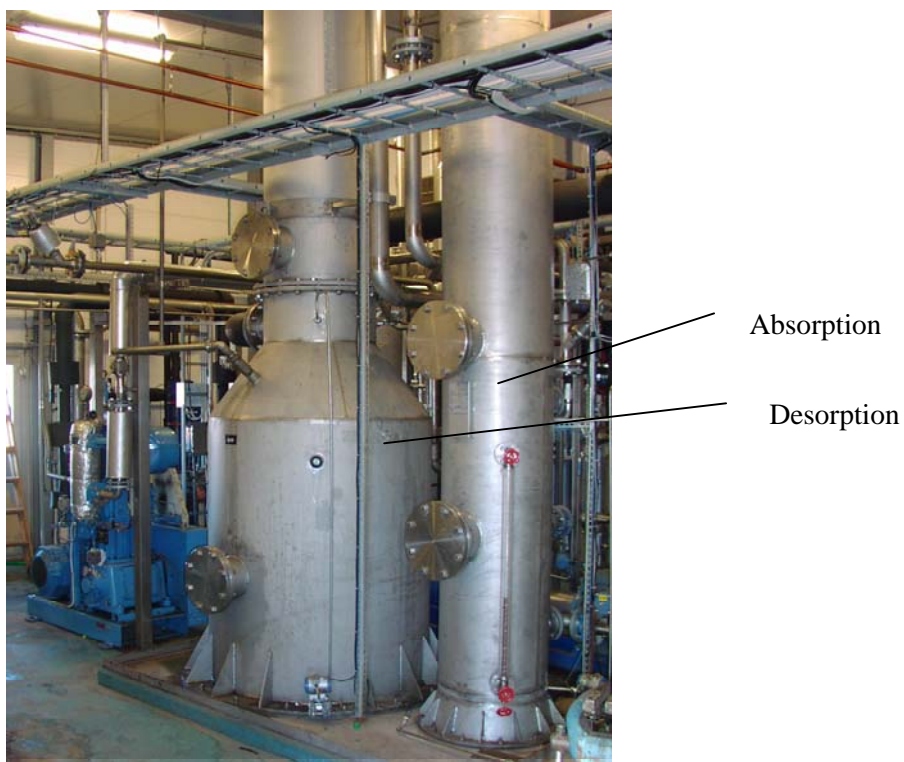
Vattnet kyls slutligen före återförsel till skrubbertornets inlopp.

Recirkulerande skrubbersystem har generellt större dimensioner än motsvarande genomströmmande system. De är ofta aktuella vid avfallsrötning eftersom tillgången på vatten i många fall är begränsad.

Av de utvärderade anläggningarna är det 6 st som använder recirkulerande system, se Tabell 4 nedan.

Tabell 4 Anläggningar med recirkulerande vattenskrubbersystem

Anläggning	Dimensionerad rågaskapacitet Nm ³ /h	Drifttagen år	Driftstatus	Levererad av
Kalmar	75	1998	I drift	Feab
Linköping	2x350	2003	Under idrift- tagning	YIT
Trollhättan	400	1996	I drift	Feab
Uppsala	200	1996	I drift	Feab
Eskilstuna (ARV)	320	2003	Under idrift- tagning	YIT
Henriksdal (ARV)	800	2003	Under in- trimning	Malmberg Water AB



Figur 7 Desorptions- och absorptionstorn vid skrubberanläggningen vid Henriksdals ARV
(Foto: Malmbergs Water AB)



Figur 8 Lågtryckskompressorer, Henriksdals ARV (Foto: Malmberg Water AB)



Figur 9 Recirkulerande vattenskrubberanläggning, Eskilstuna ARV



Figur 10 Recirkulerande vattenskrubberanläggning, Trollhättans ARV



Figur 11 Recirkulerande vattenskrubberanläggning i Kalmar. I förgrunden högtryckskompressorer av äldre typ (i gasreningssammanhang).

2.2.1.3 SKRUBBERSYSTEM, RECIRKULERANDE, MED KEMI-KALIETILLSATS

Två anläggningar som använder olika kemikalier för absorptionen finns i Sverige idag, Laholm respektive Borås.

2.2.1.3.1 *Selexolsystem*

I Laholm finns denna anläggning där ett lösningsmedel används som absorptionsmedium i stället för vatten. Anläggningen är dimensionerad för rågaskapacitet 500 Nm³/h och har varit under utbyggnad under utvärderingsperioden. Lös-ningsmedlet som används är ett dimetyleterderivat av polyetylenglykol, allmänt känt under varumärkesnamnet Selexol eller Genosorb. Principen för absorption är mycket lika både vad gäller systemets uppbyggnad och reningsfunktion.

I Selexol är lösligheten för koldioxid ca 3 gånger så hög som för vatten och löslig-heten för svavelväte ca 10 ggr så hög som för koldioxid (processen används ibland för selektiv avskiljning av svavelföreningar). Mediet löser även vatten och ammo-niak och en viss andel metan. Genom den ökade lösligheten kan skrubberanlägg-ningen dimensioneras mindre än motsvarande vattenabsorptionsanläggning. Selex-olen är icke-korrosiv och biologiskt nedbrytbar.

Vid den aktuella anläggningen anger man att metoden delvis kommit ifråga efter-som vattentillgången vid anläggningen är mycket begränsad (både vad gäller färsk-vatten och renat avloppsvatten).

På grund av svavelvätets höga löslighet avskiljs detta i ett separat steg före absorp-tion av koldioxid. Även här återförs metan i restgasen till rågasen före kompres-sionssteget.



Figur 12 Selexolanläggningen i Laholm

Som framgår av figuren ovan är systemet till sin utformning mycket likt vattenskrubbersystem (jfr t ex Figur 7 ovan).

Regenerering av Selexolen sker genom desorption med luft följt av kylning. Lösningemedlet har lågt ångtryck och förlusterna var i den tidigare anläggningen relativt små: enligt uppgift ca 2-5 % per år av total mängd använd lösningsmedel. Efter utbyggnaden har man dock erfarit en rad problem, bland annat en "förbrukning" av lösningsmedlet som gjort att detta kontinuerligt måste tillsättas till hög kostnad.

Vid den aktuella anläggningen leds gasen efter rening in på naturgasnätet vilket gör att högtryckskompression inte krävs. Gasens daggpunkt behöver då inte vara så låg som för fordonsbränsle utan är -15 -20°C . Gasen används därefter till både uppvärmning och fordonsbränsle.

2.2.1.3.2 System för Kemisorption (Coab-anläggning)

I Borås har uppförts en uppgraderingsanläggning där absorptionsmedlet är en kemikalie som leverantören kallar för "Coab". Exakt formel lämnas inte ut av leverantören av systemet, men generellt används någon typ av amin, vanligast är monoetanolamin (MEA) i den här typen av system. Denna absorbent är selektiv för koldioxid och svavelväte, vilket medför att endast mycket små mängder metan absorberas. Detta medför en hög metanhalt i den renade gasen och små metanföruster.

Systemutformningen är även här mycket lik recirkulerande vattenskrubbersystem. Absorptionen är i detta fall dock kemisk, dvs koldioxid binds kemiskt till absorptionsmedlet, vilket medför att lösligheten och avskiljningen förbättras. Dessutom är absorptionstrycket betydligt lägre än i vattenekrubbersystem, ca 100 mbar. Eftersom koldioxiden och svavelvätet binds hårt till absorbenten är regenereringen dock mycket energikrävande: vätskan måste upphettas kraftigt för att avskiljning ska ske. Detta sker genom att ånga produceras och tillförs absorbenten i en speciell tank för regenerering. Den tillförda värmen återvinns som värme vid anläggningen.

Genom den höga värmeförbrukningen är denna typ av anläggning i praktiken endast aktuell vid anläggningar där återvunnen värme kan nyttiggöras på något sätt. Anläggningen har under utvärderingsperioden varit under intrimning och endast erhållit små mängder biogas från avfallsrötningsanläggningen; därför finns endast begränsade mängder data från denna anläggning.



Figur 13 Kemisorptionssystem i Borås. Absorptionstorn med Coab.



Figur 14 Kemisorptionssystem i Borås. Bilden visar regenereringstank där absorbenten hettas upp med ånga (horisontell ångtank i bakgrunden)



Figur 15 Högtryckskompressorer vid anläggningen i Borås.

2.2.2 PSA-system

PSA-system (Pressure Swing Adsorption) är en typ av molekylsikt, där avskiljning sker med hjälp av adsorption på aktivt kol eller zeolitmaterial. Adsorptionen sker utifrån såväl fysikaliska krafter som molekylstorlek vilket skiljer molekylsiktat från andra typer av adsorptionssystem.

I PSA-system för rening av biogas sker adsorptionen i trycksatta kolonner fyllda med siktmaterial. Kolbäddarna regenereras därefter genom att ett undertryck appliceras vilket åstadkommer desorption. Vid kontinuerlig drift används normalt fyra kolonner omväxlande för adsorption och desorption. Det ”pulserande” driftsättet med tryckhöjning och trycksänkning har gett tekniken dess engelska namn.

Molekylsiktat av kol kan användas för att avskilja både koldioxid, ammoniak, svavelväte och vatten. Adsorptionen av svavelväte är irreversibel och tillsammans med adsorption av ammoniak och vatten leder detta till en försämrad avskiljning av koldioxid. Föravskiljning av dessa komponenter sker därför oftast för att minska behovet av siktmaterial.

Kolmolekylsiktarna kan också vara känsliga för flyktiga kolväten vilket kan avhjälpas genom ett förfilter på ingången till respektive kolonn för avskiljning av flyktiga kolväten. Dessa förfilter kan regenereras samtidigt som det övriga siktmaterial.

PSA var den teknik som först användes i Sverige för biogasupptradering. I Linköping byggdes t ex en anläggning för kapaciteten 170 m³/h. Där har dock nu en nyinvestering skett i ett större vattenskrubbersystem och några uppgifter har inte

erhållits från den äldre PSA-anläggningen. En PSA-anläggning i pilotskala uppfördes även vid biogasanläggningen i Helsingborg, vilket nu ersatts med ett nytt fullskalesystem, som var under intrimning under utvärderingsperioden. Bromma avloppsreningsverk har en större PSA-anläggning som varit i kontinuerlig drift under ett antal år.

Tabell 5 PSA-anläggningar

Anläggning	Dimensionerad rågaskapacitet Nm ³ /h	Drifttagen år	Driftstatus	Tillverkad av
Bromma	600	2000-2002	I drift	Carbo-Tech ¹⁾
Helsingborg	300	2002-2003	Under intrimning	Carbo-Tech
(Linköping)	170	1996	i.u.	i.u.

1) via leverantörsföretaget Hahnemann/Scantech (nu nedlagt)

Vid anläggningen i Bromma sker processen enligt följande.

Gasbehandlingsanläggningen består av två parallella linjer. Rågasen tas från reningsverkets gasklocka och förs in i gasbehandlingsanläggningen vid ett tryck av 20-60 mbar. Gasen passerar en kondensfälla där fritt vatten separeras innan gasen leds till PSA-anläggningens förfilter (aktivt kol) där svavelväte avlägsnas. Efter svavelväteavskiljningen passerar gasen genom ett partikelfilter innan trycket ökas till ca 5-7 bar i en lågtryckskompressor. Kompressorn pumpar därefter in gasen till anläggningens PSA-reaktorer där koldioxid avskiljs. Gasen torkas med hjälp av en gaskylare (plattvärmeväxlare) samt kyltork.



Figur 16 PSA-system (Bromma ARV, Stockholm Vatten)

PSA-systemet har fyra reaktorer som står i förbindelse med varandra och arbetar cykliskt mellan de olika stegen: undertryck, tryckutjämning, adsorption och utblåsning.

Normalt arbetstryck vid anläggningen är 5-7 bar (ju högre tryck desto bättre adsorption och desto lägre daggpunkt erhålls). För att minimera metanförlusterna sker tryckutjämning mellan kolonner med olika tryck i adsorptionscykeln. Detta innebär att en tryckutjämning till ca 3 bar sker mellan kolonner efter en adsorptionsfas. Trycket tas sedan ned till atmosfärstryck i den kolonn som just slutfört adsorption och denna restgas förs tillbaka till inkommande rågasflöde till dess att metanhalten gått ned. Restgas från period med undertryck avleds mot atmosfär.

2.3 Avskiljning av svavelväte

Även svavelväte kan behöva avskiljas vid uppgradering av biogas till fordonsbränsle. Svavelväte bildas i rötningsprocessen och halten svavelväte i biogasen varierar beroende på substratet vid rötningsprocessen. Anläggningar som tar emot slakteriavfall får ofta betydligt högre halter svavelväte i biogasen på grund av högt svavelinnehåll från proteiner. Biogas från avloppsreningsverk har å andra sidan ofta låga halter svavelväte.

Ett sätt att minska svavelvätebildningen vid rötningen är att tillsätta järnklorid till röttkammaren, varvid järnsulfid fälls ut. En stor del av gasens svavelinnehåll kan därmed bindas i rötresten. Två av anläggningarna anger att de tillsätter järnklorid till rötningsprocessen. Båda dessa tar emot slakteriavfall.

Det finns även metoder för avskiljning av svavelväte ur rågasen före uppgradering, t ex:

- Adsorption på aktivt kol (används vid de svenska PSA-anläggningarna, samt vid Coab-anläggningen i Borås)
- Absorption på metalloxid, t ex så kallad Sulfa-Treat® (används vid Selexo-lanläggningen i Laholm). Gasen får här passera en kolonn fylld med fast material som är belagt med någon typ av metalloxid som absorberar svavelvätet.
- Separat avskiljning i vattenskrubber före det huvudsakliga absorptionssteget (används i det recirkulerande skrubbersystemet vid Henriksdals ARV).

3 Resultat och diskussion

3.1 Anläggningstyper

Tabell nedan sammanfattar de system som används vid de olika anläggningarna samt driftstatus vid utvärderingsperioden/tillfället.

Tabell 6 Anläggningstyper och driftstatus vid utvärderingstillfället

ID	Anläggning	Typ av teknik	Drifftagningsår	Driftstatus vid besöks- och utvärderingstillfället
1	Helsingborg	PSA	2002	Under idrifttagning
2	Kalmar	Vattenskrubber, R	1998	Kontinuerlig drift
3	Kristianstad (vid ARV)	Vattenskrubber, G	1999-2002	Kontinuerlig drift
4	Laholm	Skrubber, R med Selexol	2000	Kontinuerlig drift, under utbyggnad
5	Linköping	1. Vattenskrubber, R		Ej i drift, nedmonterad för reparation
		2. PSA-system	1996	(inga uppgifter, ej utvärderad)
6	Uppsala	1. Vattenskrubber, R	1996	Kontinuerlig drift
		2. Vattenskrubber, G	2001	Kontinuerlig drift
7	Vänersborg (Trollhättans ARV)	Vattenskrubber, R	2003 (ny linje)	Under ombyggnation och idrifttagning
8	Jönköping (Simsholmens ARV)	Vattenskrubber, G	2002	Kontinuerlig drift
9	Borås	Skrubber, R med Coab (kemisorption)	2002	I kontinuerlig drift
10	Bromma (ARV)	1. Vattenskrubber, G		Avställd
		2. PSA	2000-2002	Kontinuerlig drift
11	Henriksdal (ARV)	Vattenskrubber, R (2 linjer)	2003	System under idrifttagning och utbyggnad
12	Eslöv (ARV)	Vattenskrubber, G	1999	Kontinuerlig drift
13	Eskilstuna (ARV)	Vattenskrubber, R	2003	Under idrifttagning

*G=genomströmmande, R=recirkulerande

De flesta anläggningar har således uppförts under de senaste 2-3 åren. Drifterfarenheter och prestanda skiljer sig markant åt mellan äldre och nyare anläggningar och har i efterföljande resultatdelar utvärderats utifrån detta perspektiv.

3.2 Val av anläggning

Majoriteten (8 av 13) av anläggningar anger att aktuell teknik har valts på grund av investeringskostnad (oavsett teknik). Av dessa är det 4 st som anger att investering tillsammans med drift- och underhållskostnader ingått i bedömningen.

1 anläggning (vattenskrubber) anger prestanda som huvudsakligt skäl.

Tre anläggningar anger ytterligare bidragande faktorer till valet:

- Brist på vattentillgång (Selexolanläggningen).
- Låga metanförluster (Kemisorptionsanläggningen).
- Tillgång på billigt renat avloppsvatten (genomströmmande vattenskrubberanläggning)

Kostnaden har alltså i de allra flesta fall varit helt avgörande för teknikvalet.

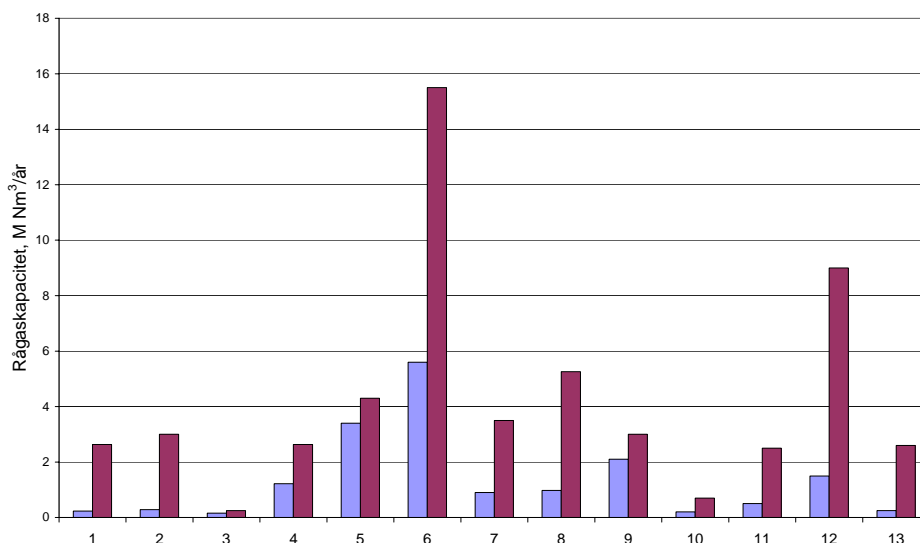
Analys av kostnaderna visar att skillnaderna i såväl investering som drift är ganska små mellan olika anläggningstyper. Det som i dagsläget i praktiken är avgörande är underhållskostnaderna. Se vidare Ekonomi, kap 3.8.

3.3 Driftstatus och utnyttjad kapacitet

Av den biogas som produceras vid de utvärderade avfallsrötningsanläggningarna uppgraderas ca 40 % till fordonsbränsle (se Bilaga 1a). Ytterligare ca 17 % uppgraderas vid en anläggning till naturgaskvalitet varefter denna gas används både till fordonsbränsle och till uppvärmning (några uppgifter om aktuell fördelning av användningen har inte erhållits).

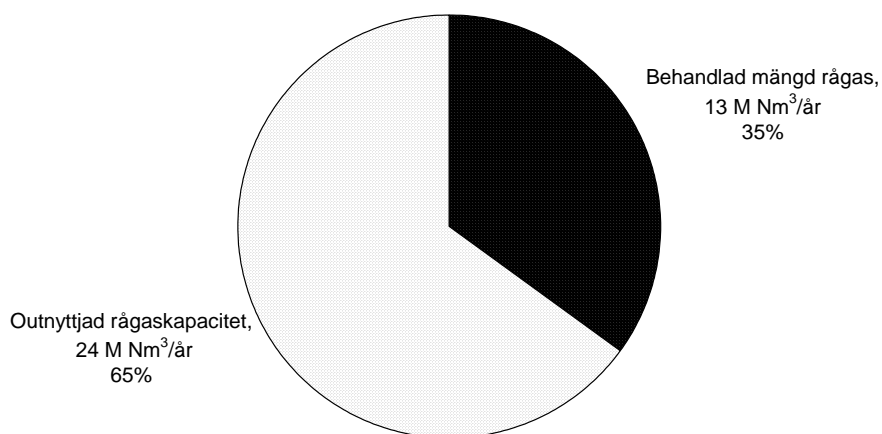
Kapaciteten vid samtliga anläggningar är i dagsläget långt ifrån utnyttjad till fullo. Detta förklaras delvis av att flera anläggningar är under idrifttagning och intrimning (se Tabell 6 ovan). Det är också vanligt att utbyggnad sker etappvis. Men även av de anläggningar som går i kontinuerlig drift idag är flera anläggningar underutnyttjade. Figur 17 nedan visar utnyttjad kapacitet jämfört med dimensionerad kapacitet vid samtliga anläggningar.

Det skall poängteras att data är en ”ögonblicksbild” vid utvärderingstillfället och på grund av den snabba utvecklingen förändras situationen kontinuerligt.



Figur 17 Dimensionerad respektive utnyttjad kapacitet vid de utvärderade gasuppgraderingsanläggningarna

Denna utvärdering fokuserar framför allt på *avfallsrötning*. Den totala kapaciteten vid gasreningssanläggningar som behandlar gas från *avfallsrötning* är ca 37 MNm³ rågas/år. Vid dessa behandlas ca 13 M Nm³ rågas/år, vilket motsvarar ca 35 % av total dimensionerad kapacitet, vilket illustreras av Figur 18 nedan. (Av denna mängd kommer en viss andel från avloppsreningsverk varför mängden skiljer sig från den gasmängd som tidigare angivits uppgraderas till fordonsbränsle i Bilaga 1a).



Figur 18 Total utnyttjad respektive outnyttjad kapacitet vid utvärderade gasuppgraderingsanläggningarna

Ungefär samma förhållande erhålls i det fall samtliga utvärderade gasreningsanläggningar tas med (32 % av dimensionerad kapacitet utnyttjas då).

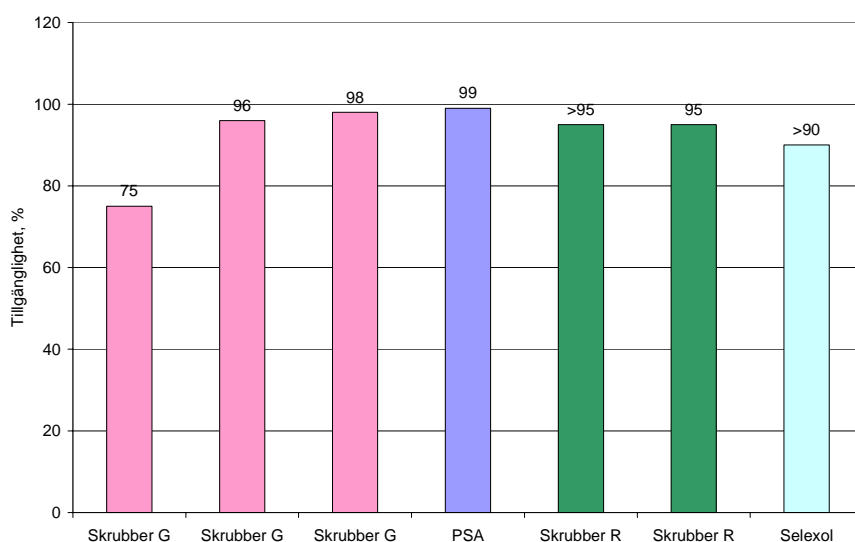
Skälen till underutnyttjandet är flera. Huvudsaklig anledning har varit:

Problem med leverans av rågas på grund av problem vid produktionsanläggningen av rågas (avfallsrötning)	5 st (varav 1 pga utbyggnad)
Otillräcklig efterfrågan på biogas	2 st
Gasuppgraderingsanläggningen är under uppstart/intrimning	3 st
Gasuppgraderingsanläggningen har driftproblem (låg tillgänglighet)	3 st

Bristande leverans ger större påverkan än låg tillgänglighet och förefaller vara den avgjort största anledningen till kapacitetsbristen. Driftproblemen vid gasreningsanläggningarna leder till försämrad tillgänglighet men kan i dagsläget inte sägas bero på att fel gasreningsmetod har valts (mindre lyckade komponentval förekommer dock).

3.4 Tillgänglighet

Anläggningarnas tillgänglighet är generellt relativt hög. Av 7 anläggningar anger 5 en tillgänglighet mellan 95-99 %. Den anläggning som har markant lägre tillgänglighet (75 %) är en anläggning som använder tidig vattenskrubberteknik. Selexol-anläggningen har något lägre tillgänglighet än övriga, 90 % (före utbyggnad). Någon skillnad i övrigt mellan de olika metoderna kan inte detekteras.



Figur 19 Gasuppgraderingsanläggningarnas tillgänglighet

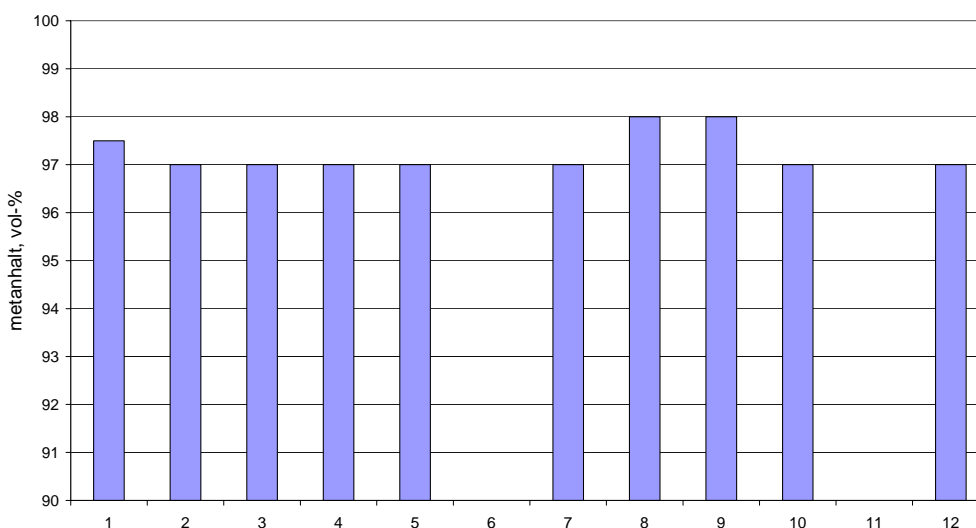
Gasuppgraderingsanläggningar är komplexa anläggningar som är försedda med en stor mängd givare och larm. I det fall fel uppstår, såsom t ex för lågt tryck i in-

kommande gasflöde, kommer anläggningen att stoppas för att förhindra skador och problem i systemets olika delar. Systemen är således relativt känsliga. Denna typ av driftstopp är dock normalt relativt korta men kräver ändå en hel del åtgärder.

3.5 Prestanda och nyckeltal

3.5.1 Metanhalt och daggpunkt

Anläggningarnas prestanda med avseende på gaskvalitet kan framför allt mätas genom två parametrar: gasens renhet och gasens torrhet. Renheten mäts huvudsakligen genom metanhalten i gasen. Figur 20 nedan redovisar uppnådd genomsnittlig metanhalt vid anläggningarna. Som figuren visar uppnår samtliga anläggningar en hög metanhalt, minst 97 %. Variationen anges till mellan ± 1 till $\pm 2,5$ %. Någon skillnad mellan olika reningstekniker kan inte urskiljas.



Figur 20 Metanhalt i rengas

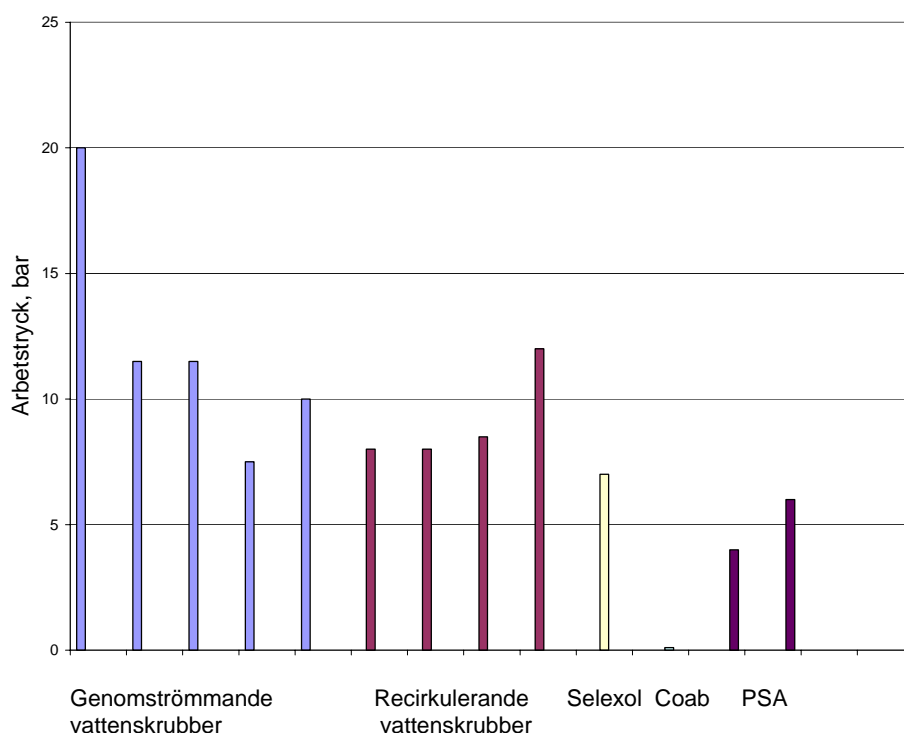
Torrheten mäts genom daggpunkten (dvs den temperatur då gasens vatteninnehåll börjar kondensera; ju lägre daggpunkt desto torrare gas). Torr gas är framför allt nödvändigt för att undvika frysning i munstyckena vid tankställena. Kraven på torrhet varierar med användningen. För fordonsgas bör daggpunkten vara minst -80°C . I det fall gasen skall introduceras på naturgasnätet räcker det med en daggpunkten mellan -15 och -20°C . Ju torrare gas som krävs desto högre blir driftkostnaden.

Grundläggande och avgörande för att uppnå rätt metanhalt och daggpunkt är dimensionering av anläggningen. Om anläggningen är rätt dimensionerad är det med dagens teknik inga problem att uppnå önskad daggpunkt (se Drifterfarenheter, nedan).

Vid de anläggningar som körs intermittent är det svårare att uppnå tillräckligt låg daggpunkt, eftersom torkarnas funktion är utformad för att gå i kontinuerlig drift

för att fungera väl. Dessa problem försvinner ofta då anläggningen körs i kontinuerlig drift.

Genomsnittligt arbetstryck för anläggningarna redovisas i Figur 21 nedan. I genomströmmande vattenskrubberanläggningar tenderar absorptionssteget genomgående att vara något högre än vid recirkulerande vattenskrubbar. Baserat på erhållna data går det inte att se någon korrelation mellan arbetstrycket och övriga parametrar såsom anläggningarnas storlek eller vattenflödet genom skrubbern (som man skulle kunna förvänta sig). Den anläggning som har högst tryck (20 bar) använder äldre teknik som inte längre är aktuell. De två skrubbrarna med kemikalier samt PSA-anläggningar arbetar vid lägre tryck och kemisorptionen har allra lägst absorptionsstryck. Lågt tryck är naturligtvis fördelaktigt för driftkostnaderna.



Figur 21 Genomsnittligt arbetstryck i gasreningssteget (absorptions- respektive adsorptionssteget)

3.6 Miljöpåverkan

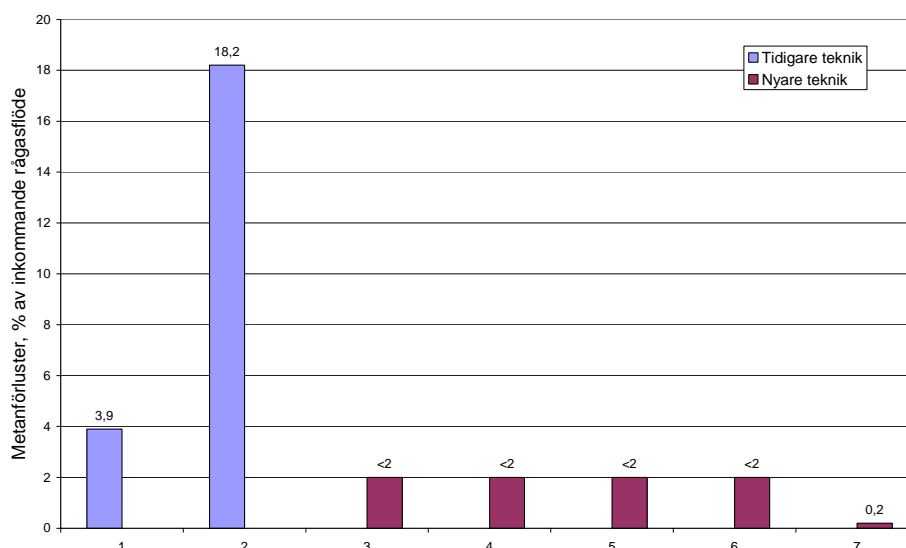
3.6.1 Metanförluster till omgivningen

Huvudsaklig negativ miljöpåverkan från gasuppgraderingsanläggningar rör sig om metanförluster till luft.

Endaste ett fåtal anläggningar har genomfört några noggrannare mätningar av metanförluster. Två av skrubberanläggningarna har mätt metanhalten i desorptionsluften. Båda PSA-anläggningarna har genomfört mätningar.

De flesta anläggningar genomför endast en enkel uppskattning av metanförlusterna genom att beräkna skillnaden mellan metanhalten i inkommande och utgående flöde enligt följande formel:

Figur 22 nedan redovisar de angivna metanförlusterna. Som framgår är skillnaderna mycket stora mellan anläggningarna.



Figur 22 Metanförluster vid utvärderade gasuppgraderingsanläggningar

Så gott som samtliga anläggningar (vattenskrubbersystem och PSA-system) uppförs i dagsläget med ett garantivärde på metanförlusterna på max 2 % av inkommande rågasflöde, vilket är vad som angivits i enkätsvaren. Dessa värden är alltså som nämnts tidigare i de flesta fall inte verifierade genom mätningar.

Stockholm Vatten har genomfört mätningar (på restgasen) vid såväl sin recirkulerande skrubberanläggning som vid PSA-anläggningen. Dessa visade 2,7 % för den skrubberanläggningen och 2,1 % för PSA-anläggningen. Att man erhöll något förhöjda värden jämfört med garantivärdet beror sannolikt på att anläggningarna vid mättillfället gick i intermittant drift, vilket inte är optimalt och försämrar systemets prestanda. Mätningar av metanhalten genomfördes med FID-teknik³. Värdena är också behäftade med en viss mätosäkerhet, framför allt på grund av flödesmätningen. När anläggningarna går i kontinuerlig drift bedömer man att garantivärdena kan klaras, vilket förefaller sannolikt.

I samband med ett examensarbete⁴ som utfördes samtidigt som denna studie genomfördes mätningar vid den andra större svenska PSA-anläggningen. Dessa mätningar visade på metanförluster av hela 10 %. Tänkbara förklaringar till det höga läckaget är de pneumatiska ventilernas funktion (konstruktionsfel av samma

³ Flamjonisationsdetektor, mäter halten kolväten (HC).

⁴ M. Persson, Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas, Svenskt Gastekniskt Center Rapport 142, nov 2003.

typ som anläggningen i Bromma initialt erfor), att anläggningen inte är kalibrerad för den relativt höga metanhalten i inkommande rågas (vilket påverkar PSA-cykeln drifttider) samt att gas inte återförs tillbaka till inloppet under tömningsfasen (till skillnad från anläggningen i Bromma). Man jobbar nu med att komma till rätta med problemen och leverantören anser att garantivärdet $<2\%$ kunna uppnås efter att olika åtgärder vidtagits. Detta har ej verifierats, men förefaller sannolikt under förutsättning att felen åtgärdas på ett korrekt sätt.

Mätning har även skett på restgas från Selexolanläggningen. Här användes gas-kromatograf och förluster mellan 3-4 % uppmättes. Även här är dock garantivärdet 2 % och leverantören arbetar för att lösa problemet. Anläggningen erfar en hel del olika problem och de alltför höga värdena beror sannolikt på en kombination av orsaker (se Drifterfarenheter, nedan), huvudsakligt problem är att Selexolen absorberar alltför mycket vatten vilket medför att anläggningens prestanda försämras.

Coab-anläggningen anger mycket låga 0,2 %, vilket beror på kemisorptionens selektivitet och sannolikt även det låga arbetstrycket. Coab-anläggningen har inte varit i drift under någon längre period varför det ännu finns en viss osäkerhet här, men några större förändringar förväntas inte.

Vid de genomströmmande vattenskrubberanläggningarna är det mycket svårt att mäta metanförlusterna eftersom löst metan går ut med vattenströmmen. Teoretisk beräkning av metanförlusterna vid en genomströmmande anläggning har genomförts inom ramarna för ett examensarbete och visar på ca 3 % metanförluster vid denna anläggning. Beräkningarna ger dock endast en indikation på vad verkliga förhållanden skulle kunna vara.

Anläggningarna som står för de största metanförlusterna är anläggningar som utformats med tidigare teknik. Exempelvis är den anläggning som visar 18 % en mindre anläggning med liten kapacitet som haft en mängd driftproblem. Denna anläggning är inte representativ för gasuppgraderingsanläggningar i stort och tekniken som används är inaktuell för nya system.

Sammantaget kan konstateras att stora variationer finns med avseende på metanförluster och att verkliga förhållanden i dagsläget till viss del är osäkra eller okända. Data bekräftar att stora förbättringar skett de senaste åren. Anläggningar som uppförs i dagsläget med ny, förbättrad teknik bedöms ha betydligt större möjligheter att minimera metanförlusterna än tidigare system. Orsakerna till förbättringen är dels att medvetenheten om metanförlusternas betydelse har ökat vilket gör att kraven skärpts vid upphandling. Det har även det skett och sker fortlöpande en teknikutveckling som resulterar i kontinuerligt förbättrad utformning och drift av systemen. Förutsättningen är dock naturligtvis att anläggningarna uppförs och drivs på ett korrekt sätt (se även Drifterfarenheter, maskinell utrustning). Genom processoptimering bedömer leverantörer av systemen att man på sikt kan minska metanförlusterna ytterligare.

Ovanstående pekar även på behovet av utveckling av tillförlitliga mätmetoder och rutiner för mätning av metanförluster. Det är naturligtvis speciellt viktigt att metanförlusterna hålls nere vid de större anläggningarna med hög kapacitet.

3.6.2 Lukt

Lukt utgör generellt inte något problem vid av anläggningarna. Endast 1 av 9 anläggningar anger att de har fått klagomål på lukt. Denna anläggning ligger vid en avfallsrötningsanläggning som erhållit klagomål på lukt och det är naturligtvis svårt att avgöra den exakta källan till luktolägenheten.

3.6.3 Kemikalieanvändning

Kemikalieåtgången vid vattenskrubberanläggningarna är generellt liten och rör sig främst om ytaktiva medel. Samtliga genomströmmande vattenskrubbrar samt en äldre recirkulerande anläggning använder sig av någon typ av tvätt- eller skumdämpande medel. Dessa är harmlösa med avseende på miljöpåverkan och mängderna är små.

Kemikalieanvändningen i Selexol- och Coab-skrubbrar är per definition högre än i vattenskrubbersystem.

Selexol är ett biologiskt nedbrytbart, icke giftigt lösningsmedel.

Regenereringsbehovet av Coab-anläggningen är ännu inte helt klarlagt på grund av den korta drifttiden. Leverantören anger att hela lösningen bör bytas vart 5 år.

3.7 Drifterfarenheter

Flest drifterfarenheter finns av naturliga skäl från skrubberanläggningarna eftersom denna typ av anläggningar är vanligast.

3.7.1 Skrubberanläggningar

3.7.1.1 IGENSÄTTNINGAR I SKRUBBERKOLONNERN

Många anläggningar som använt renat avloppsvatten har erfarit påväxt och avsättningar på fyllkropparna i skrubbertornen (vilket mer sällan erfars när färskvatten används). Påväxten utgörs av biologiskt material och de olika avsättningarna består bland annat av fett och järnsulfat som finns i det renade avloppsvattnet. I synnerhet är det avloppsreningsverk som har ett kemiskt fällningssteg med järnklorid som erfarit dessa problem. Påväxten orsakar försämrat reningsresultat, igensättningar, förhöjda tryckfall och driftsstopp med höga underhållskostnader som följd.

Anläggningsägare och leverantörer av skrubbersystem arbetar kontinuerligt med olika angreppssätt för att åtgärda problemet med avsättningar. Bland annat har olika typer av ytaktiva ämnen (tvättmedel) och andra kemikalier använts. Två av anläggningarna anger att de åtgärdat problemet genom att tillsätta ”flytande grön”. Man har även provat att värma fyllkropparna (som vanligtvis tillverkas i någon typ av plastmaterial) men här kan det finnas risk för att dessa blir spröda av behandlingen. Något som också diskuteras är alternativa material för fyllkropparna som gör att påväxt inte så lätt fastnar.

Skrubbersystem med recirkulerande vatten som nyttjar färskvatten har erfarit betydligt mindre problem med avsättningar på fyllkropparna än genomströmmande

system med renat avloppsvatten. Vid Selexolanläggningen har man inte erfårit några problem med igensättningar av skrubberkolonnen.

Skumning förekommer vid två av de genomströmmande vattenskrubberanläggningarna, vilka anger att de tillsätter skumdämpande medel.

3.7.1.2 OTILLRÄCKLIG GASKVALITET

Svårigheter att uppnå rätt metanhalt och daggpunkt i den renade gasen har erfårits på olika håll. I de flesta fall beror detta på att systemet är underdimensionerat, dvs torksteget är för litet. I flera fall körs anläggningar endast intermittent (pga till exempel otillräckliga avsättningsmöjligheter för den renade gasen) vilket också gör det svårt att uppnå rätt gaskvalitet (gastorkarna kråver kontinuerlig drift för att fungera väl). Problemet kan åven orsakas av igensättningar i skrubberkolonnen vilket medför att vatten följer med i gasströmmen.

I Selexolanläggningen har hög vattenhalt i lösningsmedlet varit ett återkommande problem, vilket ger svårigheter att uppnå tillräckligt hög metanhalt i rengasen. För att komma till rätta med problemet har en delström av lösningsmedlet hettats upp genom värmeväxling med komprimerad rågas så att vatteninnehållet förångats. Dock räcker inte denna behandling för att regenerera lösningsmedlet tillräckligt varför man nu nödgats komplettera med kylning av lösningsmedlet under absorptionen. Igensättningar i värmeväxlaren har åven erfårits. Under senare tid har åven förbrukningen av Selexol stigit markant och orsaken till detta är inte kånd.

Leverantören av Selexolsystemet anger att de fortsåttningsvis inte kommer att leverera denna typ av system på grund av de drifterfarenheter man gjort.

3.7.1.3 MASKINELL UTRUSTNING

Problem med maskinell utrustning måste ses i ett "historiskt" perspektiv. Vid så gott som samtliga tidiga anläggningar som byggdes erfors en mångd problem med den maskinella utrustningen som orsakade stora driftstörningar och en rad följdproblem inklusive stora metanläckage.

Problemen med de tidiga anläggningarna orsakades huvudsakligen av feldimensionering i kombination med felaktigt val av maskinell utrustning. Framför allt har man erfårit en mångd problem med torkutrustning samt kompressorer. Ett vanligt scenario var följande: alltför små torkar ledde till att höga gasflöden tvingades igenom torkarna vilket i sin tur medförde att torkmaterial följde med i gasflödet. Torkmaterialet, som är ett granulat, fortsatte med gasen in till högtryckskompressorerna. Dessa var högvarviga kolvkompressorer och granulatet orsakade oljeläckage. Oljan och torkmaterialet blandades till en kletig slig som, i kombination med de snabbgående kolvorna, skapade ett extremt högt slitage. De alltför små torkarna ledde åven till svårigheter att uppnå rätt daggpunkt i den renade gasen.

Kylningen på kompressorerna var dessutom otillräcklig (luftkylning) vilket ytterligare förvärrade problemen och gjorde det svårt att uppnå tillräckligt hög metanhalt i rengasen. Genom att kompressorerna var snabbgående uppstod även mycket kraftiga vibrationer i systemet som ofta orsakade rörbrott på anslutningarna med stora gasläckage och höga underhållskostnader som följd. Tekniken var importerad och de ursprungliga systemen var av allt att döma inte primärt avsedda att gå kontinuerligt i 24h-drift utan sannolikt utformade för mindre anläggningar med intermittent drift.

Från dessa tidiga anläggningar har ett stort utvecklingsarbete skett och pågår fortfarande. Tidigare erfarenheter och ny kunskap har beaktats vid utformningen av senare skrubbersystem, där justeringar har gjorts på bland annat följande områden:

- Maskin- och komponentval har generellt förbättrats
- Mer *långsamtgående* maskiner används (t ex hydrauliska kompressorer i stället för kolvkompressorer), framför allt på systemens högtryckssida.
- Förättrad kylning, vilket ökar systemens prestanda
- Större lagertankar för den komprimerade gasen (i vissa fall med nya kompositmaterial) vilket kräver färre kopplingar och leder till minskad risk för läckage
- Bättre systemutformning och processoptimering för att minimera metanförbrukning. Bland annat jobbar man här med att optimera flashtrycket vid avgasningen. En tänkbar lösning kan på sikt vara att förbränna restgasen från reningsanläggningarna.

3.7.2 PSA-anläggningar

Relativt få driftfarenheter finns från PSA-anläggningar i full skala. Mindre, tidigare pilotanläggningar är inte helt representativa för dagens teknik.

3.7.2.1 MASKINELL UTRUSTNING

Problemet kan sannolikt elimineras genom optimering drifttiderna för de olika stegen i PSA-cykeln. Alternativt kan det mindre dammande zeolitmaterialen användas som adsorptionsmaterial, detta är dock dyrare.

PSA-anläggningen i Bromma var initialt behäftad med ett antal konstruktionsfel som konstaterades av anläggningsägaren vid uppförandet av anläggningen. De pneumatiska ventilernas funktion var otillräcklig på grund av fel antal returfjädrar i anläggningen, vilket gjorde att ventilerna inte stängde ordentligt. Kompressorsystemet var otillräckligt stabiliserat (monterat) vilket orsakade kraftiga vibrationer i anläggningen med flera brott på utrustningen som följd. Även värme- och kylsystemen var felaktigt konstruerade. Dessutom erfors en del problem med datorkommunikation samt felaktig placering av utrustning vilket krävde viss ombyggnation av anläggningen.

Den här typen av fel är av mer generell karaktär och kan inte sägas direkt ha att göra med PSA-tekniken. Mer bekymmersamt är att det finns risk för att vissa av

konstruktionsfelen nu har upprepats i Helsingborgsanläggningen. Vid denna anläggning rapporterar man nu exempelvis problem med de pneumatiska ventilerna (vilket dock kan ha flera orsaker).

3.8 Ekonomi

3.8.1 Investering

Nedan redovisas investeringskostnaderna för olika gasuppgraderingssystem, exklusive byggkostnader. Kostnaden är relativt lika, kring 12-15 MSEK för lite större system (kapacitet $\geq 300 \text{ Nm}^3/\text{h}$).

Figur 23 Ungefärlig investeringskostnad för olika systemen

	Anläggningens kapacitet (rågasflöde), Nm^3/h	Investeringskostnad för gasrening M SEK	Investering för högtryckskompression	Totalt gasrening + högtryckskompression
Vattenskrubber, recirkulerande	800 Nm^3/h	13	2	15
Vattenskrubber med Selexol	500 Nm^3/h			
Kemisorption	300 Nm^3/h			14,5
PSA	600 Nm^3/h	8	4	12 (15*)

*merkostnader 3 MSEK tillkom pga att leverantören gick i konkurs

3.8.2 Driftkostnader

Driftkostnader utgörs huvudsakligen personalkostnader, elförbrukning och underhåll. För Selexol- och Coabanläggningarna tillkommer även kemikaliekostnader. Dessa är i dagsläget relativt höga för Selexolanläggningen på grund av driftproblem och ännu ej verifierade för Coab-anläggningen.

Elförbrukningen varierar något mellan olika system men storleksordningen är relativt lika. Personalkostnader skiljer sig mycket litet för de olika systemen.

El- och underhållskostnader per mängd renad biogas redovisas nedan.

Underhållskostnaderna är ofta helt avgörande när det gäller driftkostnader för gasreningssystem. För mindre anläggningar kan underhållskostnaden utgöra en mycket stor andel av totala driftkostnaderna. Det är därför mycket viktigt att underhållskostnaderna beaktas vid upphandling av system.

Tabell 7 Personalbehov

Anläggningstyp	Tillsyn h/d		Jourtid h/månad		Underhåll h/mån	
	Gasrening	Högtrycks- kompresso- rer	Gasrening	Högtrycks- kompresso- rer	Gasrening	Högtrycks- kompresso- rer
Vattenskrubber, recirkulerande	0,5	0,5	2-8	5	8-10	5
Vattenskrubber, genomströmman- de	0,25-0,5	0,2-0,5	1-5	i.u.	12	4
Vattenskrubber med Selexol	1	-	2	-	2	-
PSA	0,5	0,5	8	2	8	5

Tiden för tillsyn, jourtid och underhåll är relativt oberoende av anläggningens kapacitet. Detta innebär att en mindre anläggning kostnadseffektiv. Selexolanläggningen anger mindre jourtid och underhåll än övriga vilket kan antas bero på avsaknaden av igensättningar av skrubbertornets fyllkroppar.

Elförbrukningen för de olika anläggningstyperna redovisas i Tabell 8 nedan.

Tabell 8 Elförbrukning

	Elförbrukning gasrening, kWh/Nm ³ rengas	Elförbrukning gasrening inklusive högtryckskompression, kWh/Nm ³ rengas	Baserat på antal svar
Vattenskrubber, recirkulerande	0,33	i.u.	1
Vattenskrubber, genomströmmande	0,36-0,6	0,5-1	3
Skrubber med Coab	0,15*	i.u.	1
Vattenskrubber med Selexol	0,15	i.u.	1
PSA	0,5	0,8	1

*av leverantören uppskattat värde, ej verifierat vid kontinuerlig drift

Skrubberanläggningarna med kemikalier (Selexol och Coab) har lägre elförbrukning eftersom dessa system har mindre dimensioner.

Underhållskostnaderna anges till mellan 10 000-50 000 kr/månad. Genomsnittliga underhållskostnaderna per Nm³ renad gas blir mycket höga. Detta beror på dels på det låga kapacitetsutnyttjandet vid anläggningarna, dels på att flera anläggningar är under intrimning (då fler problem normalt uppstår än vid kontinuerlig drift). När kapaciteten utnyttjas fullt ut och anläggningarna optimerats kommer dessa kostnader med all sannolikhet att sjunka väsentligt. Underlaget är relativt litet eftersom få anläggningar har angivit underhållskostnader, varför det finns en osäkerhet i uppgifterna.

Tabell 9

Underhållskostnader

	Underhållskostnad gasrening (exklusive högtryckskompression) SEK/Nm ³ ren gas	Underhållskostnad högtryckskompression SEK/Nm ³ ren gas
Vattenskrubber, genomströmmande	0,8-1,0	0,5
Vattenskrubber med Selexol	0,3*	i.u.
PSA	i.u.	i.u.

*osäkert efter utbyggnaden av systemet

3.9 Upphandling och konkurrens

Aktörerna på den svenska marknaden är relativt få för varje teknik. Totalt sett finns det dock ett flertal leverantörer av gasuppgraderingssystem, vilket förmodligen bidragit till att systemens tekniska prestanda förbättrats väsentligt sedan de tidigare anläggningarna.

Jämfört med de utvärderade förbehandlingssystemen för avfall är den grundläggande tekniken här relativt etablerad och likartad, och variationer i råvaran mindre.

3.10 Tekniska utvecklingsbehov

Teknisk utveckling av gasuppgraderingssystem bör fokusera på följande:

- Metanförlusterna har minskat men bör på sikt elimineras helt genom fortsatt processoptimering. Här ingår även olika metoder att omhänderta eventuella läckage, t ex genom förbränning av restgasen i värmepanna. Sådan förbränning kan idag vara svår att genomföra på grund av de stora luftmängder (restgas) som måste omhändertas.
- Mätteknik för att mäta metanförluster i genomströmmande skrubbersystem saknas. Skall genomströmmande system användas måste lämpliga mätmetoder utvecklas.
- Utveckling av vattenskrubbersystem bör dock företrädesvis fokusera på recirkulerande system. Dessa är något mer komplexa än genomströmmande system, men har större förutsättningar att såväl mäta som minimera metanförluster till omgivningen jämfört med genomströmmande system.
- Generellt bör fortsatt utveckling ske när det gäller att optimera valet av olika systemkomponenter.
- Metoder för att hantera igensättningar i skrubbertornen bör utvecklas vidare, framför allt om genomströmmande system skall användas (problemet verkar dock kunna uppstå även i recirkulerande anläggningar). Sådana metoder inkluderar t ex materialval, tvätteklik- och kemikalier, driftsätt, mm.

- De senaste vattenskrubbersystemen har delvis eller helt levererats i containere, dvs prefabricerats istället för platsbyggts. Denna teknik bör utvecklas vidare. Fördelarna är att systemen enkelt kan flyttas samt att leverans och uppstart förenklas (med kortare projektider som följd).
- För att minimera metanförlusterna och öka prestandan hos PSA-system bör även här optimering av processen ske. Idag kalibreras varje system för en specifik metanhalt i inkommande rågasflöde. En möjlighet är här att utveckla processtyrningen PSA-system så att PSA-cykeln tider kan styras kontinuerligt på varierande metanhalt i inkommande rågasflöde.

Rapporter från RVF 2005

- 2005:01** Vägledning för klassificering av förbränningsrester enligt Avfallsförordningen
- 2005:02** Avfall blir värme och el. En rapport om avfallsförbränning
- 2005:03** IT-verktyg för kundservice, entreprenörsuppföljning och fakturering
- 2005:04** Effektivitet av fordonsdesinfektion för transport av biogödsel
- 2005:05** Trender och variationer i hushållsavfallets sammansättning
Plockanalys av hushållens säck- och kärlavfall i sju svenska kommuner
- 2005:06** Utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall
En rapport från BUS-projektet