

BENCHMARKING FÖR EFFEKTIVARE BIOGASPRODUKTION

RAPPORT 2017:353



ENERGIGASTEKNIK



Energiforsk

Benchmarking för effektivare biogasproduktion

JOHAN YNGVESSON

DANIEL TAMM

ISBN 978-91-7673-353-0 | © ENERGIFORSK februari 2017

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

I detta projekt har metoden benchmarking använts för att identifiera förbättringsmöjligheter på befintliga anläggningar för produktion av biogas.

Projektet har genomförts av Johan Yngvesson på SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut tillsammans med och Daniel Tamm på IVL Svenska Miljöinstitutet. Deltagande anläggningar har även bidragit med underlag och kompetens till projektet.

Projektet ingår i samverkansprogram Energigasteknik som drivs av Energiforsk och har finansierats av Energimyndigheten tillsammans med Avfall Sverige och de deltagande anläggningarna.

Projektledaren vill rikta ett särskilt tack till projektgruppen och de anläggningar som har bidragit med sin tid och sina kunskaper till projektet. Deras engagemang har varit av stor vikt för projektets resultat. Ett stort tack riktas också till Gunilla Henriksson på SP och till Emelie Persson på IVL för deras arbete i projektet och till Christian Clarin på Idhammar AB som bidragit med värdefull kunskap om underhåll och driftsäkerhet.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet och publiceringen innebär inte att Energiforsk har tagit ställning till innehållet.

Sammanfattning

I detta projekt har benchmarking använts som metod för att identifiera förbättringsmöjligheter på befintliga anläggningar i biogasens produktionskedja. Utifrån en gemensamt framtagna avgränsning av de funktioner som ingår i kedjan har data insamlats från anläggningarna för jämförelser av definierade nyckeltal. Resultaten avslöjar stor potential i outnyttjad kapacitet, minskade kvalitetsförluster i produktionen och effektivare underhåll.

Lågt utnyttjande av den installerade kapaciteten utgör den största förbättringspotentialen och härleds huvudsakligen till osäkerheter och bristande förutsättningar på gasmarknaden. Rejektet i förbehandlingen utgör också en väsentlig del av förlusterna genom att det upptar kapacitet och resurser i samma utsträckning som acceptet och genom att dess innehåll av rötbart material går förlorat.

Anläggningarna uppvisar relativt hög tillgänglighet vilket är positivt, men underhållet är omfattande och i stor utsträckning baserat på avhjälpande aktiviteter. Jämförelser av underhållskostnaderna avslöjar en tydlig förbättringspotential, framförallt i förbehandlingen. De härleds till undermålig utrustning, kvalitetsbrister i substrat och bristande underhållsstrategier som t.ex. otillräckligt förebyggande underhåll och grundorsaksanalys.

För att komma tillrätta med brister i tekniken behövs ökad samverkan med teknikleverantörer t.ex. inom grundorsaksanalyser och ett större ansvar från leverantörerna att utveckla en driftsäker produktion. Projektet belyser förbättringspotential i uppföljningen på anläggningarna. Mätning av t.ex. driftstörningar, underhållsinsatser och andra grundläggande underhållsparametrar är ofta bristfällig. Sådana åtgärder tillsammans med ökad kompetens inom driftsäkerhet, underhållsekonomi och produktionsuppföljning bidrar till att effektivisera underhållet på anläggningarna.

Projektet visar att benchmarking är en bra metod för att identifiera förbättringsmöjligheter hos enskilda anläggningar. Benchmarkingsmetodiken kan även bidra till att öka kunskapen om fördelar och nackdelar med olika tekniker och arbetssätt, men för det behövs ett större underlag i form av fler antal anläggningar. Det i sin tur kräver samsyn och förankring i branschen avseende definitioner och tillvägagångssätt, något som man i projektet bara delvis lyckades få till. Denna rapport kan utgöra ett beprövat underlag till en sådan process.

Summary

Biogas production has over the years become increasingly important as a part of the waste management system in Sweden. Food waste is source separated, collected and utilized as a substrate for producing nutrients and fuel. However, biogas production companies have had difficulties to gain profit. This project used benchmarking as a method for identifying potential for improvements within the biogas production chain. The main potentials found are related to performance losses, quality losses and inefficient maintenance strategies.

The methodology in this project was based on a separation of the biogas production chain into sub-processes, denominated as functions, with a fair description and defined boundaries well adapted to the Swedish production setup. The outline boundaries of the biogas production were defined as: The reception point of the waste material and the delivery point of compressed biogas and bio-fertilizer. The included functions persist of:

F1	Pretreatment
F2	Separated material handling
F3	Hygienisation
F4	Anaerobic digestion, AD
F5	Bio-fertilizer handling
F6	Biogas upgrading process
F7	High pressure compression
F8	Odor control

Distribution systems for biogas were not included. Cost/revenues of substrates and revenues from selling biogas were also excluded from the project due to competitive reasons. A definition of parameters and KPIs (key performance indicators) was established and annual data from participating producers was collected for 2014 and 2015. This model for benchmarking biogas production is specified in a guide, see Appendix A (Bilaga A).

Analysis of the benchmarking result was made partly as a workshop activity together with included partners. The results are synthesized into this report. Project partners have been SP Technical Research Institute of Sweden, IVL Environmental Institute of Sweden and participating companies or municipalities listed below, see Table A.

Table A. Participating companies/municipalities and their comprised functions and types of substrate.

Company/ Municipality	Pre- treatment	Anaerobic digestion	Uppgrading biogas	High-pressure compression	Substrate
Borås Energi och Miljö	X	X	X	X	Source separated food waste Food packages Industrial food waste
Södra Hallands Kraft		X			Industrial food waste Source separated food waste Manure
Sysav	X				Source separated food waste Food packages
OX2 (f.d. NSR)		X			Source separated food waste
Norrmejerier		X			Industrial food waste
Jönköping Energi Biogas	X	X	X	X	Source separated food waste Food packages
Uppsala Vatten Avfall	X	X	X	X	Source separated food waste
Hadeland og Ringerike Avfallssällskap	X	X	X	X	Source separated food waste
Oslo kommun, Romerike biogasanläggning	X	X	X	X	Source separated food waste

The model of dividing the production chain into functions resulted in the following allocation of cost, se Figure A. The highest costs are found in pretreatment (F1), biofertilizer handling (F5), separated material (F2) and AD (F4). Pretreatment cost is by its largest part maintenance cost followed by depreciation cost. Biofertilizer cost is mainly made up of its distribution cost while separated material mainly consists of fees for energy recovery (in energy-from-waste plants). AD has high depreciation cost and maintenance cost, as the energy cost is largely allocated to hygenization (F3).

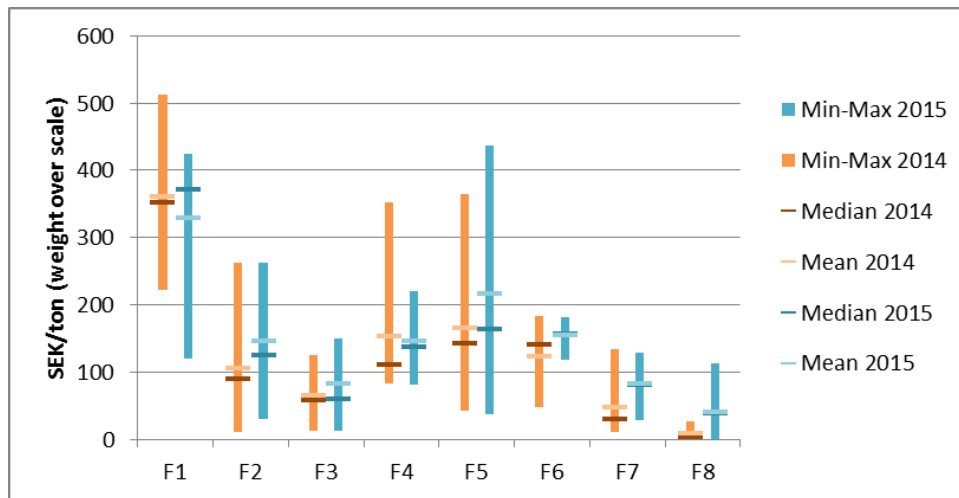


Figure A. Mean value, median and variation of cost in the defined functions in the biogas production chain.

Maintenance cost in pretreatment is due to poor equipment quality, inadequate substrate quality and inefficient maintenance management. All are more or less possible to improve on existing plants. The potential from median to benchmark is 72 SEK/ton w.w. and 310 SEK/ton w.w. from "worst case", see Figure B.

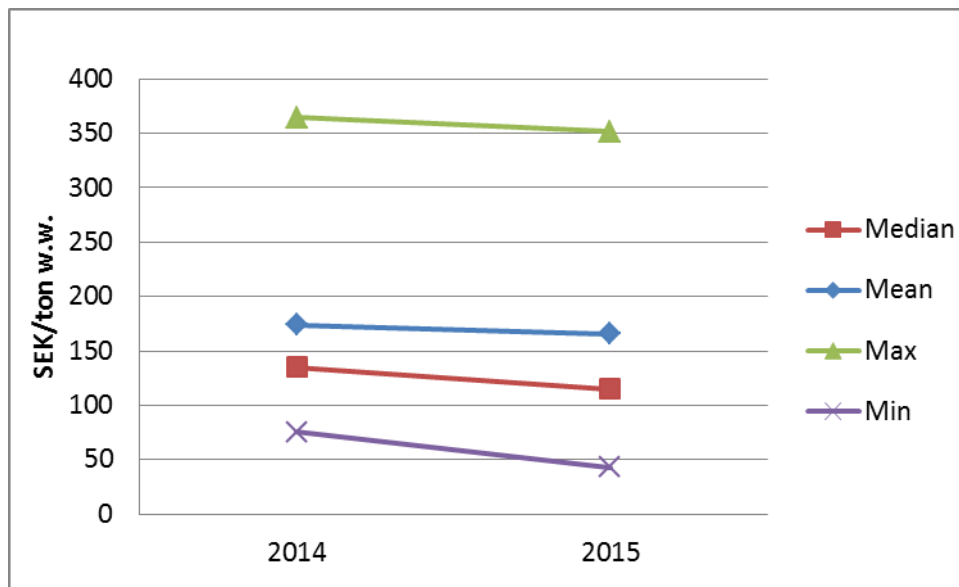


Figure B. Maintenance cost benchmark, mean value, median and "worst case" in pretreatment.

The largest potential is identified as loss in performance. In the pretreatment, see Figure C, it often relates to a strategy to install a much higher capacity than necessary as a means to handle variations in logistics and make up for technical failure. In AD the low performance is mainly due to uncertainty in the gas market which affects the ability to contract higher volumes of substrates. In the upgrading unit the main reasons are low raw gas flow due to the aforementioned uncertainty

in gas market or internal usage of raw gas (for heat production) and fluctuations in the raw gas flow that cause equipment to halt.

Another big loss is identified as the quality loss of separated material from the pretreatment, see Figure C. This is related to the problem that source separated food waste and packaged food are partly contaminated by unwanted, indigestible materials (sand, plastics, metal) that needs to be separated to protect downstream equipment and to guarantee a certified biofertilizer. These quality losses can be reduced by using better pretreatment technology and by improvements on the substrate quality. Quality losses in AD are only measured as flared gas, which is often related to inability to utilize the gas downstream. In this context it can be considered as “over production” of raw gas, but it is preferably improved by increased availability in the upgrading unit. The gas potential in the digestate has not been taken into account in this project.

Availability losses of the functions are generally much lower than expected given previous knowledge about extensive technical problems in the industry. At the same time some plants do have a very high maintenance cost, partly because of extensive technical problems. Figure C shows availability losses in pretreatment within the project.

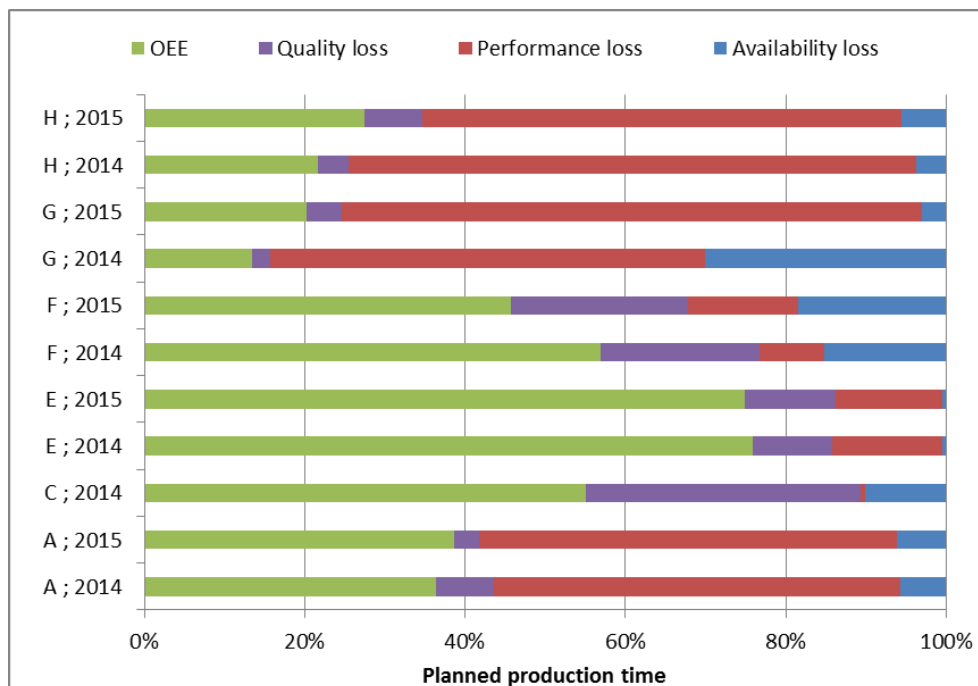


Figure C. Losses in pretreatment that reduce the overall equipment efficiency (OEE) to less than its theoretical value.

Used maintenance strategies include a high amount of corrective maintenance activities at the plants, see Figure D. At the same time, it is important to note that maintenance activities, failure type, number of failures and downtime often are poorly measured which leaves a high uncertainty in many of the maintenance related parameters measured in the project. Other basic KPIs to follow should include MTTF (Mean time to failure), MTTR (Mean time to repair), MWT (Mean

waiting time) and PM/CM/RCA (Preventive maintenance, Corrective maintenance, Root-cause-analysis). It may require financial resources and competence support to implement this.

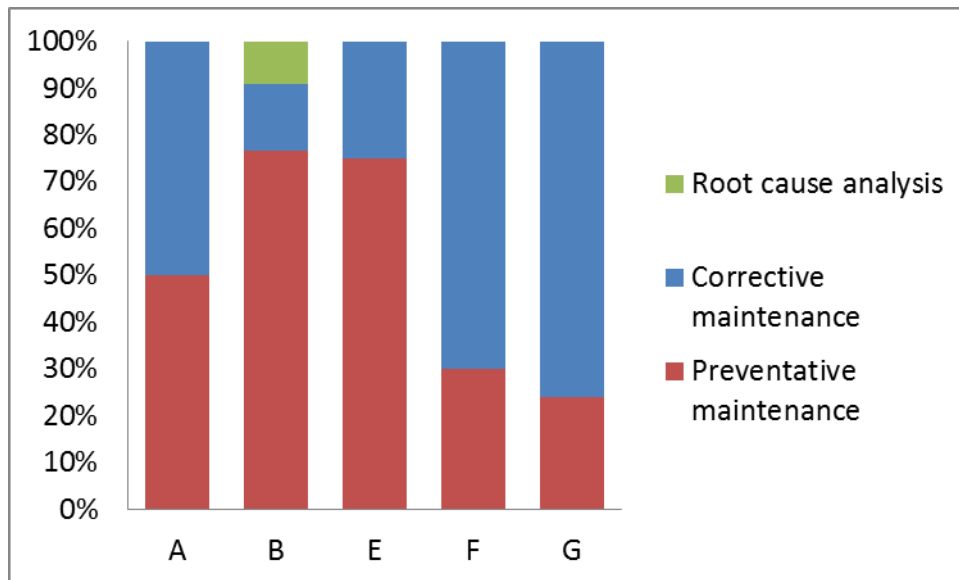


Figure D. Division of maintenance strategies on several plants in the biogas production chain.

To improve biogas production, producers need to work together, and benchmarking is a useful tool. This does however require broader coordination in the biogas industry regarding KPIs definitions and data collection, which this project has accomplished only partly. Furthermore, closer collaboration with technology providers is often suggested as an effective way to perform root-cause-analysis while at the same time accomplish a knowledge transfer for technical development. A higher awareness about availability, functionality and maintainability in a production system is also important to drive the development in the right direction.

Some potential to benchmark identified are:

- Production increase in pretreatment: 380 % (median is 190 %).
- Production increase in AD: 450 % (median is 290 %).
- Production increase in upgrading: 400 % (median is 50 %)
- Cost reduction in pretreatment: 440 SEK/ton (median is 280 SEK/ton)
- Maintenance cost reduction in pretreatment: 310 SEK/ton (median is 72 SEK/ton).
- Maintenance cost reduction in AD: 62 SEK/ton (median is 24 SEK/ton)
- Maintenance cost reduction in upgrading: 0.31 SEK/kWh gas (median is 0.07 SEK/kWh gas).
- Cost reduction in biofertilizer handling: 63 SEK/ton (median is 43 SEK/ton).

Innehåll

1	Inledning	12
1.1	Bakgrund	12
1.2	Definitioner och begrepp	13
1.3	Introduktion till benchmarking	15
2	Syfte och mål	17
3	Genomförande	18
3.1	Avgränsningar	19
3.2	Workshops	20
3.3	Val av nyckeltal	20
3.4	Datainsamling	20
4	Resultat	22
4.1	Fördelning av kostnaderna mellan funktionerna	22
4.2	Förbehandling (F1) och Rejekthantering (F2)	23
4.2.1	Totaleffektivitet i förbehandlingen	24
4.2.2	Kostnader i förbehandlingen	28
4.3	Hygienisering	31
4.3.1	Energi i hygieniseringen	32
4.3.2	Kostnader i hygieniseringen	32
4.3.3	Driftstopp i hygieniseringen	33
4.4	Rötningen	33
4.4.1	Totaleffektivitet i rötningen	34
4.4.2	Kostnader i rötningen	36
4.4.3	Gasutbyte	37
4.5	Biogödsel	38
4.6	Uppgradering	39
4.6.1	Totaleffektivitet i uppgraderingen	40
4.6.2	Energianvändning i uppgraderingen	42
4.6.3	Kostnader i uppgraderingen	43
4.7	Högtryckskomprimering	44
4.7.1	Totaleffektivitet i komprimeringen	44
4.7.2	Energi i komprimeringen	44
4.7.3	Kostnader i komprimeringen	44
4.8	Luktreducering	44
4.9	Sammanfattning förbättringsområden	44
4.9.1	Övergripande förbättringsområden	45
4.9.2	Förbehandlings förbättringsområden	45
4.9.3	Hygieniseringens förbättringsområden	46
4.9.4	Rötningens förbättringsområden	46
4.9.5	Biogödsel	47

4.9.6	Uppgradering	47
4.9.7	Högtryckskomprimering	47
4.9.8	Luktreducering	47
5	Diskussion och slutsatser	48
5.1	Diskussion	48
5.1.1	Diskussion om TAK	48
5.1.2	Underhåll och driftsäkerhet	49
5.1.3	Underhållsstrategier	50
5.1.4	Driftstrategier	51
5.1.5	Kostnader	52
5.2	Slutsatser	52
6	Förslag på fortsatt arbete	54
7	Referenser	55
Bilaga A	Guide till benchmarking inom biogasproduktion	56
Bilaga B	Nyckeltal och värden i förbehandlingen (F1)	68
Bilaga C	Nyckeltal och värden i rejekthanteringen (F2)	69
Bilaga D	Nyckeltal och värden i hygieniseringen (F3)	70
Bilaga E	Nyckeltal och värden i rötningen (F4)	71
Bilaga F	Nyckeltal och värden i biogödselhanteringen (F5)	72
Bilaga G	Nyckeltal och värden i uppgraderingen (F6)	73
Bilaga H	Nyckeltal och värden i högtryckskomprimeringen (F7)	74
Bilaga I	Nyckeltal och värden i luktreduceringen (F8)	75

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Biogasanläggningar i Sverige har länge haft svårigheter att visa lönsamhet. Mycket har gjorts och görs för att skapa bättre förutsättningar och kontinuitet för branschen. Men parallellt med subventioner, investeringsstöd och utveckling av affärsmöjligheter för branschen krävs ett aktivt förbättringsarbete att effektivisera produktionen och reducera resursbehov och kostnader.

Biogasbranschen är en relativt ung bransch och framförallt så har den inte utsatts för konkurrens på samma sätt som t.ex. konventionell bränsleproduktion, tillverkningsindustri och processindustri. Med ökad konkurrens från nya alternativa bränslen och ökade lönsamhetskrav måste branschen fokusera mer på att förbättra sina system. Det inkluderar även att effektivisera produktionen. Inom branschen är maskinhaverier och oplanerade underhållsstopp vardagsmat. Matavfallet man behandlar innehåller önskat material eller objekt som orsakar driftstopp och sliter på utrustningen. Projektet "Energi- och kostnadseffektiv biogasproduktion" (WR-54) som avslutades hösten 2013 visade på mycket höga underhållskostnader och stor variation mellan anläggningar [1]. Som exempel uppgick reservdelskostnaderna till mellan 50 – 250 kr/ton substrat och år.

WR-54 var ett banbrytande projekt för utvecklingen av benchmarking inom biogasbranschen. Det visade att det finns goda möjligheter att effektivisera biogasproduktionen genom att skapa samsyn kring gemensamma och utvecklingsdrivande nyckeltal. Det födde också en insikt om att anläggningarna har mycket att vinna på att dela med sig av sin kunskap och lära sig av varandra. Benchmarking av nyckeltal erbjuder anläggningarna kompletterande information till förbättringsarbete och effektivisering vilket i sin tur leder till bättre och billigare biogasproduktion och i förlängningen minskar kostnader för avfallshanteringen totalt sett.

Energimyndigheten sammanställer varje år statistik över användningen av biogas. Dock saknas det statistik över hur effektivt biogasen produceras och vilken potential som finns i den installerade industriparken. Sådan information är av stor vikt vid beslut om stöd för investeringar, produktion och användning. Det är också viktigt att ledning och styrelse för en enskild anläggning har kunskap om dess fulla potential och begränsningar för att kunna fatta kloka beslut.

Ett strukturerat förbättringsarbete avseende resurs- och energianvändning hos anläggningarna är viktigt ur ett samhällsekonomiskt perspektiv och för att minimera avfallshanteringens miljöpåverkan. Då biogas kan spela en viktig roll i det framtida hållbara energisystemet är det av stor vikt att öka kunskapen kring drift och underhåll och att minimera förluster i produktionskedjan. Den kunskap som kommer från benchmarking och workshops med erfarenhetsutbyte kommer att utgöra en viktig grund för förbättringsarbetet på befintliga anläggningar vilket ger en snabb effekt på såväl kostnader som effektiviteten i produktionskedjan.

Projektresultaten kommer också att vara viktiga vid nyetableringar och erbjuda teknikleverantörer kunskap om utvecklingsbehoven i branschen. Projektet knyter

an till ett flertal av de svenska miljömålen, bland annat God bebyggd miljö, Begränsad klimatpåverkan och Frisk luft.

I detta projekt har vi genom benchmarking av anläggningar inom biogasens produktionskedja försökt att identifiera enskilda anläggningars förbättringspotential och möjliga åtgärder men också försökt hitta generella och branschgemensamma förbättringsområden. Metodiken bygger på gemensamma, tekniska avgränsningar av produktionsanläggningar och definitioner av parametrar och nyckeltal. Metodiken som tillämpats har huvudsakligen utgått ifrån tidigare projekt WR-54.

1.2 DEFINITIONER OCH BEGREPP

I detta projekt användes ett antal begrepp som definieras enligt nedan:

Accept

Material från förbehandling som accepteras som substrat till rötningen.

Anläggningsutnyttjande

Andel av kapaciteten hos en utrustning eller anläggningsdel som utnyttjas. Utgör en parameter i beräkningen av TAK.

AU

Avhjälpande underhåll. Underhåll som genomförs efter det att funktionsfel upptäcks och med avsikt att få enheten i ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion. [4]

Benchmarking

Arbetsmetod för att lära av andra i syfte att uppnå egna förbättringar.

FU

Förebyggande underhåll. Förebyggande underhåll som görs i förutbestämda intervall eller enligt förutbestämda kriterier och i avsikt att minska sannolikheten för fel eller degradering av en enhets funktion. [4]

Funktion

Används i rapporten för att beskriva och dela in anläggningarna i delprocesser som är jämförbara mellan olika anläggningar.

Grundorsaksanalys

Se RCA.

Kvalitetsutbyte

Andel av total behandlad mängd som är godkänd produkt. Utgör en parameter i beräkningen av TAK.

MTTF

Genomsnittlig operativ tid mellan fel, eller genomsnittlig upptid. Eng. Mean time to failure. Mäter en enhets funktionssäkerhet.

MTTR

Genomsnittlig tid till återställande av funktion. Eng. Mean time to repair [4]. Mäter en enhets underhållsmässighet.

MWT

Genomsnittlig väntetid. Eng. Mean waiting time. Utgör tid för beredning och planering av underhållsinsats. Innefattar bl.a. leveranstid för reservdelar. Mäter underhållssäkerheten, d.v.s. organisationens förmåga att ställa upp med resurser för underhållet.

Nedtid

Tidsintervall som ett objekt är ur funktion. Genomsnittlig nedtid är summan av MTTR + MWT.

Nyckeltal

Beskriver ett resultat eller mätdata i relation till något som är relevant för företagets specifika bransch. Det kallas nyckeltal för att man ser det som en "nyckel" till att förstå företagets utveckling.

RCA

Grundorsaksanalys. Eng. Root cause analysis. Analys av grundorsaken till att ett funktionsbortfall eller en avvikelse inträffar.

Redundans

Existerande av mer än ett sätt att utföra krävd funktion om nödvändigt. t.ex. dubblett av maskin eller system [4]. Redundans har i projektet begränsats till att definiera installerade, aktiva maskiner eller system men inte passiva (lagerhållda).

Rejekt

Material från förbehandling som inte accepteras som substrat till rötning.

Slurry

Definieras i rapporten som pumpbart substrat till biogasproduktion. Utgörs av förbehandlat matavfall med tillsatts av vatten och/eller redan pumpbara substrat från livsmedelsindustri.

Substrat

Organiskt material med potential att rötas till biogas. Kan bestå av matavfall men också stallgödsel, grödor och slam.

TAK

Ett mått på en maskins eller en process förmåga att prestera i enlighet med specificerad funktion. Benämns ofta totaleffektivitet. (eng. OEE – Overall Equipment Efficiency). TAK är produkten av Tillgänglighet * Anläggningsutnyttjande * Kvalitetsutbyte.

Tillgänglighet

Andel av planerad tid som objektet är i funktionsdugligt skick och kan producera. Utgör en parameter i beräkningen av TAK.

TS

Torrsubstans. Beskriver vikten av materialet exklusive eventuellt vatten.

Underhållsmässighet

Förmåga hos en enhet att vidmakthållas eller återställas till ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion [4]

Upptid

Tidsintervall som ett objekt är i funktionellt skick. Genomsnittlig upptid är MTTF.

v.v.

Våtvikt. Beskriver vikten av materialet inklusive dess vattenmängd.

ö.v.

”över våg”. Används för att markera mätpunkten för inkommande substrat.

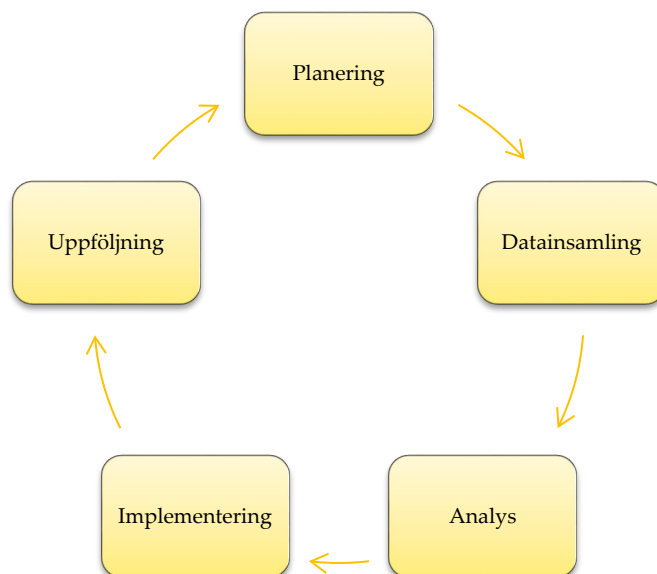
1.3 INTRODUKTION TILL BENCHMARKING

För att ett företag ska kunna bli framgångsrikt behöver det kontinuerligt utvärdera sin effektivitet. Benchmarking innebär att jämföra utvalda delar av sin organisation mot andra organisationer i syfte att lära sig av andra och förbättra den egna verksamheten. Vanliga exempel på benchmarking är att jämföra pris, kostnader, kvalitet, marknadsandelar, m.m. Det finns olika typer av benchmarking. Den kan vara intern där man jämför olika avdelningar eller geografiska enheter inom sin organisation. Extern benchmarking innebär att jämföra sig mot konkurrenter. Med funktionell benchmarking lär man sig av liknande verksamheter och med generisk benchmarking jämför man med helt andra branscher. För att kunna åstadkomma relevanta jämförelser behöver branscher sätta standarder och mäta sina processer och sin effektivitet mot de bästa i klassen och även mot de bästa i andra liknande branscher. Figur 1 illustrerar benchmarkingens olika faser.

Fördelarna med benchmarking är att man får en uppfattning om sina prestationer relativt andra verksamheter vilket kan bidra till att identifiera den egna verksamhetens styrkor och svagheter. Samarbetet med andra inom benchmarkingen och utbytet av erfarenheter mellan dessa bidrar till nytta för förbättringsarbetet. Det är alltid lättare att genomföra förändringar om man vet att nya arbetssätt och tekniker används framgångsrikt i andra verksamheter. Enligt

samma logik är det enklare att avstå från en del förändringar eller tekniker som redan testats utan framgång på andra anläggningar. Benchmarking i sig är en relativt okomplicerad metod. Svårigheterna ligger i att ta fram bra nyckeltal att jämföra och i att få tillgång till bra data.

Det finns även risker förenat med benchmarking där den främsta är att man exponerar sig mot konkurrenter och, om resultat offentliggörs, riskerar att utsättas för negativ kritik och skuldbeläggande. Därför rekommenderas ofta anonym rapportering, där man erhåller sina data i relation till andras medelvärden, till dess att förtroende mellan deltagare byggts upp som leder till större öppenhet gentemot varandra. I denna rapport har vi valt att inte koppla anläggningarna till respektive nyckeltal. Istället försöker vi lyfta fram vad som är utmärkande för resultaten. Under projektet och på workshops har dock förtroendet varit sådant att man kunnat vara öppna med sina data. Öppenheten har bidragit till konstruktiva diskussioner om orsaker till skillnaderna och en bättre förståelse kring eventuella brister och svagheter i dataunderlaget. Det har också varit en viktig orsak till att man kunnat dra slutsatser från resultaten.



Figur 1 Illustration av benchmarkingens olika faser

2 Syfte och mål

Syftet med projektet har varit att effektivisera biogasens värdekedja för en framtid utan subventioner men med ökad konkurrens och lönsamhetskrav. Projektets mål har varit att identifiera och beskriva behovet av förbättringsarbete på produktionsanläggningar inom biogasens värdekedja genom en systematisk jämförelse av nyckeltal för kostnader, energianvändning och produktionsuppföljning.

Effektmål för projektet har varit:

- Att ta fram korrekta nyckeltal och indikatorer gällande för biogasbranschen generellt.
- Att bidra till att medverkande anläggningar minskar sina kostnader med 10 %.
- Att bidra till att medverkande anläggningar minskar energianvändningen med 10 %.
- Stärka utvecklingen inom biogasbranschen genom att skapa en kreativ innovationsmiljö inom området drift och underhåll.

Projektet har haft följande delmål:

- Samla in data från 12 anläggningar.
- Designa jämförelsen så det går att separera brister i handhavande från brister i teknik.
- Kvalitetssäkra datainsamlingen genom avgränsningar av delprocesser och funktioner, och genom tydliga instruktioner till användarna.
- Identifiera minst tre förbättringsområden och potentiella lösningar för varje deltagande anläggning.
- Identifiera minst tre teknikområden för branschen med stor potential till produktionsökningar, kostnadsreduceringar och/eller effektiviseringar genom tillämpning av ny eller förbättrad teknik, kvalitetsförbättringar och/eller kompetenshöjande insatser.

3 Genomförande

Projektet har genom systematisk datainsamling studerat och jämfört anläggningar inom produktionskedjan för biogas (samrötningsanläggningar och industrianläggningar). I projektet har deltagit anläggningar med flera år på nacken tillsammans med relativt nya eller helt nyetablerade anläggningar. De anläggningar som deltagit producerar antingen fordonsgas, biogas och biogödsel eller matavfallsslurry till en biogasanläggning. Merparten av deltagarna omfattar hela produktionskedjan. I projektet finns representerat sex förbehandlingsanläggningar, åtta rötningsanläggningar och fem anläggningar med gasuppgradering, se Tabell 1. Huvudparten av substraten utgörs av källsorterat matavfall eller industriellt matavfall. De flesta anläggningar behandlar också förpackat matavfall från butik, grossist eller industri i olika utsträckning. Några tar emot en mindre andel stallgödsel. Ingen av de deltagande anläggningarna använder avloppsslam som substrat. Fem av deltagarna producerar certifierad biogödsel enligt SPCR 120, som är Avfall Sveriges system för tredjepartskontrollerad, spårbar produktkvalitet. Ytterligare en anläggning levererar sin producerade matavfallsslurry till certifierade biogasanläggningar.

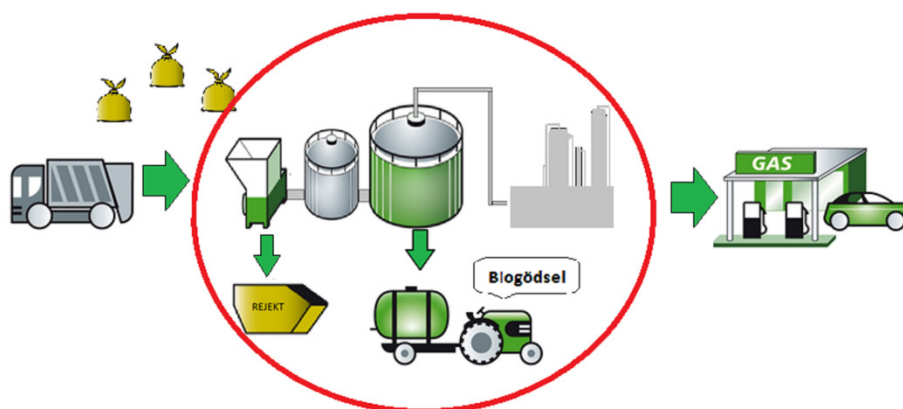
Tabell 1. Deltagande anläggningar och ingående substrat.

Företag/kommun	För- behandling	Rötning	Gasupp- gradering	Högtrycks- komprimering	Substrat
Borås Energi och Miljö	X	X	X	X	Källsorterat matavfall Förpackat livsmedel
Södra Hallands Kraft		X			Avfall från livsmedelsindustri
Sysav	X				Avfall från livsmedelsindustri, Källsorterat matavfall
OX2 (f.d. NSR)		X			Källsorterat matavfall
Norrmejerier		X			Källsorterat matavfall Förpackat livsmedel
Jönköping Energi Biogas	X	X	X	X	Källsorterat matavfall
Uppsala Vatten Avfall	X	X	X	X	Källsorterat matavfall
Hadeland og Ringerike Avfallssällskap	X	X	X	X	Källsorterat matavfall
Oslo kommun, Romerike biogasanläggning	X	X	X	X	Källsorterat matavfall

3.1 AVGRÄNSNINGAR

Projektet omfattar följande steg i produktionskedjan för biogas: mottagandet av matavfall och substrat, förbehandlingen, hygienisering och rötning, gasrening, uppgradering och komprimering. Dessutom inkluderas kostnader för hanteringen av biogödsel och rejektmaterial.

Projektet tar inte upp kostnader för inköp av substrat, intäkter för mottagning av substrat, försäljning av gas och biogödsel då de upplevs som alltför känslig information att dela med sig av. Studien inkluderar inte heller produktion av flytande biogas, LBG. Avgränsningen av projektet visas i Figur 2.



Figur 2. Avgränsningen av projektet inkluderar hela gasproduktionen från förbehandling av inkommande substrat till biogödselhantering och gaskomprimering.

För att möjliggöra benchmarking var det nödvändigt att dela in anläggningarna i jämförbara delprocesser, eller funktioner som de benämns fortsättningsvis. Funktionernas avgränsningar utgör tillsammans en modell för hela produktionssystemet från mottagning av materialet till avsättning av biogödseln och fordonsgasen. Modellen utgick ifrån erfarenheter från ett tidigare projekt [1] men anpassades till deltagarnas möjligheter att tillämpa indelningen. Detta arbete genomfördes i början av projektet, för att förankras väl inför datainsamlingen.

Funktionerna beskrivs i en särskild guide till benchmarking för biogasproducenter tillsammans med parametrar och nyckeltal som ingått i studien (Bilaga A).

Funktionerna utgörs av:

F1	Förbehandling
F2	Rejekthantering
F3	Hygienisering
F4	Rötning
F5	Biogödselhantering
F6	Uppgradering
F7	Högtryckskomprimering
F8	Luktbehandling

Vid analys av olika nyckeltal har det i vissa fall varit lämpligt att slå ihop en eller flera funktioner för att erhålla intressanta och jämförbara resultat. Utöver funktionsbaserade nyckeltal har även nyckeltal för hela processen tagits fram.

3.2 WORKSHOPS

Totalt har fyra workshops hållits under projektet. Den första användes för att diskutera avgränsningar och nyckeltal. Vid den andra workshopen diskuterades deltagarnas erfarenheter av att använda guiden (Bilaga A) och av att mäta och jämföra data. Detta gav återkoppling på avgränsningarna och nyckeltalen. Vid den andra workshopen introducerades även flera nya nyckeltal med hjälp av konsultbolaget Idhammar AB. Vid de två avslutande workshoparna diskuterades dataunderlaget och resultaten för 2014 respektive 2015 jämfördes.

3.3 VAL AV NYCKELTAL

I arbetet med att välja ut nyckeltal för utvärdering och jämförelser mellan anläggningar har projektet framförallt utgått ifrån tidigare utförda studier inom branschen [1, 2] och från representerade företags behov, begränsningar och önskemål. I projektet var det av hänsyn till företagets konkurrens om substrat aldrig aktuellt att samla in information rörande anläggningarnas intäkter eller deras substratkostnader.

Några nyckeltal har kunnat definieras utifrån tillämpbara standarder SS-EN13306 [4] och SS-EN 15341 [5] samt från SSG 2001 [6] som är en tolkning av ovan nämnda standarder anpassad till massa- och papper och annan tillämplig industri.

Nyckeltalen och dess ingående parametrar har diskuterats tillsammans med anläggningarnas representanter på gemensamma workshops och i individuella samtal. Urvalet har därefter skett utifrån följande kriterier:

- Relevans/nytta för anläggning internt eller för jämförelse mellan anläggningar
- Möjlighet att mäta med rimlig resursinsats (enskildes bedömning)

Nyckeltal med hög relevans/stor nytta och enkelhet att mäta har på detta vis identifierats. I några fall har även intressanta nyckeltal som upplevts svåra att mäta tagits med. Projektgruppen har för några nyckeltal tvingats kompromissa med hur man önskat mäta och vad som varit möjligt inom projektet. Det har samtidigt inneburit en ökad medvetenhet kring tillkortakommanden för specifika mätdata. Arbetet har varit iterativt och efter varje insats av datainsamling har kvaliteten och nyttan granskats och diskuterats på workshops. Utfallet från detta arbete har lett till förändringar och förtydliganden i guiden. Nyckeltalen och dess ingående parametrar definieras i guiden (Bilaga A).

3.4 DATAINSAMLING

Att samla in data är något som anläggningsägarna gör kontinuerligt i sin verksamhet för den egna styrningen och uppföljningen av anläggningen. Man tillämpar både automatisk och manuell datainsamling för detta. Data samlas in för

underlag till interna uppföljningar, miljörapporter, myndigheter, branschorganisationer, hållbarhetskriterier, mm.

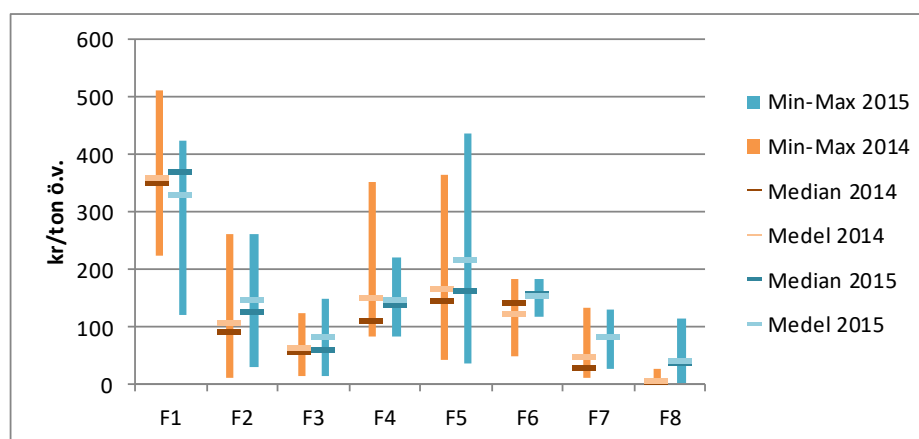
Datainsamlingen i detta projekt har till stor del utgått ifrån befintliga data som redan används eller finns tillgängliga hos många av företagen. Mycket har trots det behövt anpassas eller bearbetas för att passa in i den gemensamma benchmarkingmodellen. För att underlätta arbetet har en särskild mall tagits fram för ändamålet, se Bilaga A. De data som samlats in har kompletterats med ytterligare information om processer, teknik och arbetsmetoder på anläggningarna. Informationen har sedan utgjort underlag till workshops där resultaten har redovisats och diskuterats inom projektgruppen. Dataunderlag för två verksamhetsår, 2014 och 2015, ingår i studien.

4 Resultat

Detta kapitel redovisar valda delar av resultaten från studien baserade på datainsamlingen från deltagande anläggningar. Resultaten av samtliga nyckeltal presenteras i bilagor.

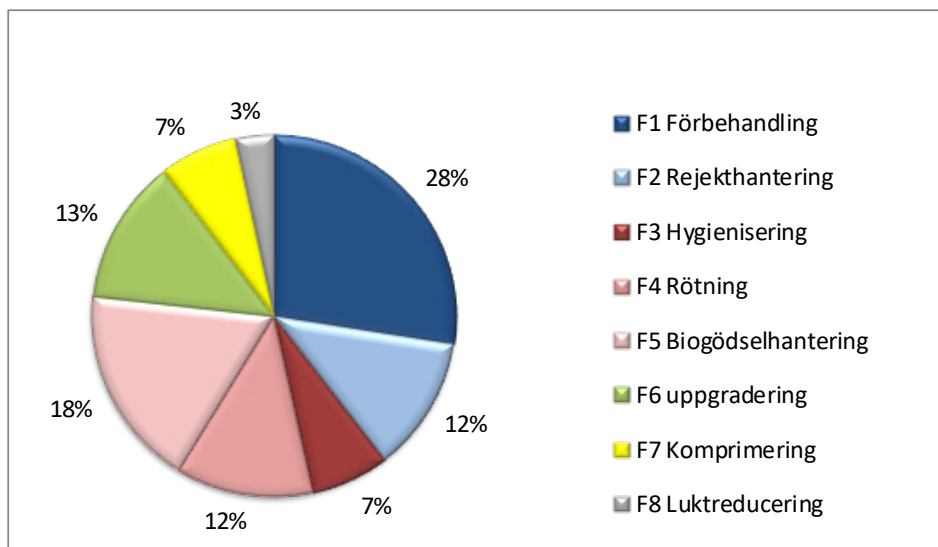
4.1 FÖRDELNING AV KOSTNADERNA MELLAN FUNKTIONERNA

Kostnaderna för de olika funktionerna redovisas som intervall-, median- och medelvärden i kr/ton ö.v. Figur 3 visar kostnaderna i respektive funktion samt antalet anläggningar som utgör underlag för beräkningarna. Spridningen mellan min och max är stor i de flesta funktioner men avsevärt mindre för rötning (F4) och uppgradering (F6) år 2015.



Figur 3 Spridning av kostnaderna i funktionerna samt median- och medelkostnad 2015.

Behandlingskostnaden, fasta och rörliga kostnader, för matavfall till fordonsgas inom projektets avgränsning var i medel 1200 kr/ton. Medianen beräknas till 1130 kr/ton. Fördelningen av kostnaderna mellan funktionerna visas i Figur 4. Sammantaget fördelas ca 40 % av kostnaderna över förbehandling (F1) och rejekthantering (F2). Ytterligare 37 % fördelas över hygienisering (F3), rötning (F4) och biogödselhantering (F5). 20 % fördelas på gasuppgradering (F6) och komprimering (F7). Luktreducering (F8) utgör 3 % av kostnaderna.



Figur 4 Kostnadsfördelning mellan funktionerna beräknat som andel av medelkostnaden för hela behandlingskostnaden av matavfall till fordonsgas, för år 2015.

4.2 FÖRBEHANDLING (F1) OCH REJEKTHANTERING (F2)

Sex anläggningar med förbehandlingssteg har bidragit med data. Vid dessa anläggningar behandlas i huvudsak källsorterat matavfall från hushåll samt mindre mängder industriellt avfall och verksamhetsavfall från restaurang- och storkök. Man använder vatten och flytande substrat till att späda och homogenisera materialet i förbehandlingen och för tvättning av utrustning. Detta sker i olika utsträckning beroende på anläggningens specifika behov och tekniska förutsättningar. En sammanställning av de tekniker som representeras i projektet listas i Tabell 2.

Tabell 2 Lista över förbehandlingstekniker och kapacitet hos studerade anläggningar.

Teknik	Kapacitet
Sedimentation, kvarn, silpress	16 ton/h
Skruvpress	10 ton/h
Trumsikt, silgaller, strainpress	10 ton/h
Skruvpress	2x 10 ton/h
Bioseparering	2 x 12 ton/h
Pulper	2 x 12 ton/h

I Bilaga B och Bilaga C finns en sammanställning av alla ingående nyckeltal i förbehandlingen (F1) och rejekthanteringen (F2).

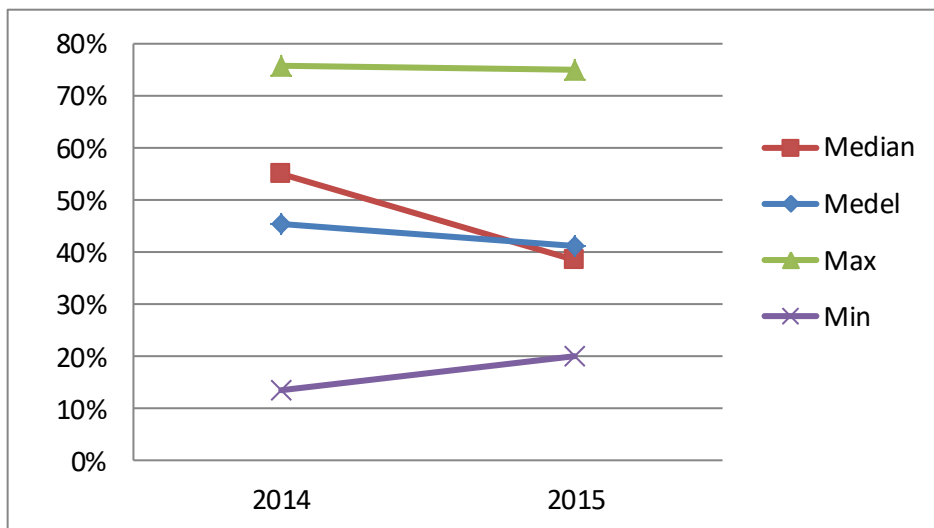
Jämförelser i förbehandlingen har relaterats till mängden mottaget avfall vilket i förbehandlingen är detsamma som invägd mängd. Substrat som tas emot på anläggningen men som inte förbehandlas utan matas direkt till en bufferttank eller röttkammare (t.ex. många pumpbara substrat) har exkluderats. Inflöden till förbehandlingen omfattar källsorterat matavfall, förpackat verksamhetsavfall och vatten. På några anläggningar förekommer också flytande fraktioner såsom

fettavskiljarslam, slaktavfall och avfall från foder- och livsmedelsindustri. Ut från förbehandlingen kommer minst två fraktioner: den rötbara slurryn, så kallat accept, pumpas via bufferttankar till rötningen för att omvandlas till biogas och biogödsel och avskilt material, så kallat rejekt, samlas upp för vidare behandling eller skickas till förbränning.

I förbehandlingen har vi mätt kostnader, energi- och resursåtgång, tidsförluster och effektivitet. Det har varit svårt att mäta tidsförlusterna då underlag som antal driftstopp och stopptid inte mäts eller samlas in. Även planerad produktionstid i förbehandlingen har varit oklar på flera anläggningar där man inte tidigare följt upp detta. Resurser och kostnader har därför ofta uppskattats som en andel av företagets totala användning. På flera anläggningar, särskilt äldre och modifierade förbehandlingsanläggningar, var kapaciteten inte fullt utvärderad och därmed osäker.

4.2.1 Totaleffektivitet i förbehandlingen

Totaleffektiviteten på förbehandlingen mäts som TAK. Högst värde beräknas till 76 % och utgör benchmark, median och medelvärden beräknas till 38 % respektive 40 % (år 2015). På benchmark-anläggningen är tillgängligheten hög och kapaciteten utnyttjas ganska väl samtidigt som man har relativt låg kvalitetsförlust, rejekt, i förbehandlingen. Totaleffektiviteten i förbehandlingen hos deltagande anläggningar visas i Figur 5. Potentialen från lägsta till högsta innebär teoretiskt en ökning på 380 % vilket i det specifika fallet motsvarar 54 000 ton matavfall. Medianpotentialen är 190 %, eller nästan en fördubbling av behandlad mängd.



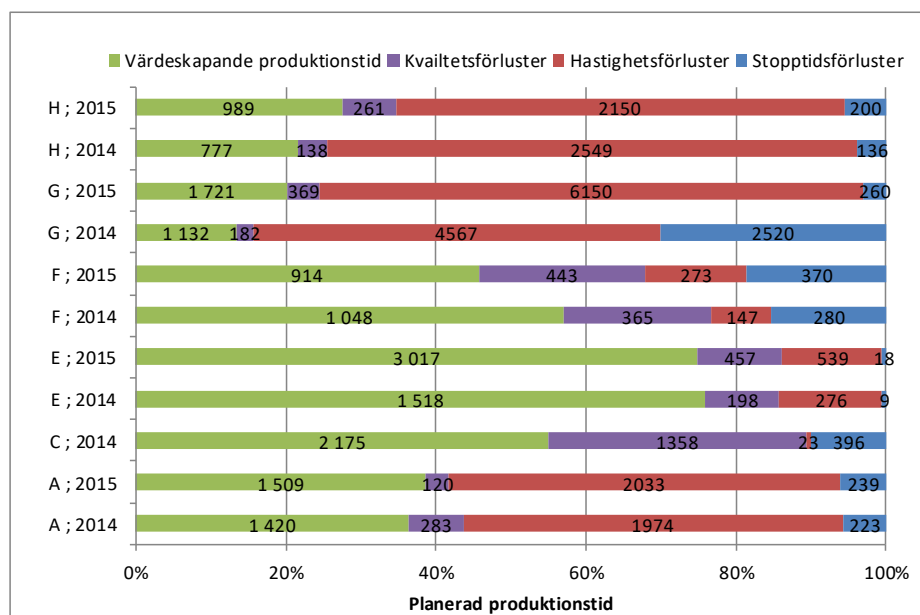
Figur 5 Högsta och lägsta totaleffektiviteten samt median- och medelvärde i förbehandlingen för 2014 och 2015.

För att förbättra totaleffektiviteten behöver man identifiera sina förluster. Det låter sig göras genom att titta närmare på de ingående parametrarna i TAK. Dessa redovisas i Tabell 3. Förlusterna illustreras även i Figur 6 som andelar av planerad produktionstid som ej skapar något värde. De benämns som stopptidsförluster, hastighetsförluster och kvalitetsförluster. På de flesta anläggningar återfinns störst

förbättringspotential inom anläggningsutnyttjandet och kvalitetsutbytet. Det motsvarar potentialen att öka produktionshastigheten respektive att minska rejekt-mängderna.

Tabell 3 Tillgänglighet, Anläggningsutnyttjande och Kvalitetsutbyte samt TAK i förbehandlingen för 2014 och 2015. *Drifttagande av en ny anläggning/anläggningsdel som påverkat framförallt tillgängligheten respektive substratbehovet.

Anläggning	År	Tillgänglighet	Anläggningsutnyttjande	Kvalitetsutbyte	T*A*K
A	2014	94%	46%	83%	36%
	2015	94%	44%	93%	39%
C	2014	90%	99%	62%	55%
	2015	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.
E	2014	100%	86%	88%	76%
	2015	100%	87%	87%	75%
F	2014	85%	91%	74%	57%
	2015	82%	83%*	67%	46%
G	2014	70%*	22%	86%	13%
	2015	97%	25%	82%	20%
H	2014	96%	26%	85%	22%
	2015	94%	37%	79%	27%



Figur 6. Identifierade förluster som andelar av planerad produktionstid i förbehandlingarna hos deltagarna 2014 respektive 2015. Tiden i staplarna anger antal timmar per år.

Tillgänglighet i förbehandlingen

Tillgänglighet i förbehandlingen mäts som

$$T = (\text{planerad drifttid} - \text{stopptid}) / \text{planerad drifttid}$$

Tillgängligheten i förbehandlingen ligger mellan 70 – 100 %. Ett lågt värde innebär att förbehandlingen har stått stilla under delar av den planerade produktionstiden. Stoptiden utgör därmed förlorad produktionstid och benämns stopptidsförlust.

Tillgängligheten i förbehandlingen är högre än förväntat med tanke på omfattningen av underhåll som man ändå har, se kapitel 4.2.2. Det kan dock förklaras av att man på många anläggningar har redundans som gör att ett maskinstopp inte orsakar stopp i produktionen. Samtidigt brister de flesta i mätning av funktionsfel och stopptid. Överkapacitet och buffertar som också är vanligt i förbehandlingen bidrar också till att upprätthålla produktionen under kortare perioder vid eventuella driftstopp. Överkapacitet gör att man kan "köra ikapp" tappad produktion. I anläggningar med möjligheter att köra ikapp innebär förbättringar av tillgängligheten inte ökad produktion [7]. Generellt sett bör högre kapacitet och buffertkapacitet även innebära större kapitalkostnader. Några sådana samband har dock inte visat sig i resultaten.

Den genomsnittliga tiden mellan stopp, MTTF, i förbehandlingen beräknas till mellan 18 och 340 timmar, se Tabell 4. Ett lågt MTTF, kort tid mellan felen, innebär fler underhållsinsatser än motsatsen vilket kan ge en bra indikation på var underhållskostnaderna ligger. Detta kan tolkas som att utrustning inte klarar av att hantera materialet och/eller att anläggningarna brister avseende det förebyggande underhållet. Den genomsnittliga nedtiden, MTTR + MWT, ligger mellan 0,1 – 25 timmar. Detta är en indikator på hur snabbt det går att återställa ett inträffat stopp och beror på maskinens underhållsmässighet och organisationens förmåga att utföra underhållet. Inom projektet kunde man konstatera att merparten av deltagarna saknar systematisk mätning av stopptider i förbehandlingen. Resultaten ska därför betraktas som osäkra.

Tabell 4 Antal driftstopp, genomsnittlig nedtid (MTTR + MWT) och genomsnittlig upptid (MTTF) i förbehandlingen för respektive år.

	År	Tekniska fel (antal/år)	Hand-havandefel (antal/år)	MTTF (timmar)	MTTR + MWT (timmar)
A	2014	200	5	18	0,6
	2015	200	5	18	0,7
C	2014	69	0	52	5,7
	2015	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.
D	2014	500	0	18	i.u.
	2015	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.
E	2014	100	10	32	0,1
	2015	48	4	68	0,3
F	2014	25	5	52	11
	2015	10	5	109	25
G	2014	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.
	2015	200	0	41	1,3
H	2014	20	30	69	4,8
	2015	4	6	340	15

Flera anläggningar har redundans i förbehandlingen vilket normalt sett tillämpas för att minska stopptiden och öka tillgängligheten. Osäkerheten i mätningarna i kombination med att redundansen sällan omfattar hela förbehandlingen, utan endast specifika utrustningar i den, gör att det inte går att se någon koppling mellan låg stopptid och redundans.

Ju mer kunskap man har om sin anläggning desto mer detaljerad kan uppföljningen vara. Projektgruppen ansåg att MTTF över hela förbehandlingen ger alltför diffus information och att det är viktigare att fokusera på enskilda objekt istället.

Stopptid i förbehandlingen har främst tekniska orsaker. Samtidigt utförs sällan en grundorsaksanalys, RCA, vilket bör vägas in när man tittar på resultaten. Driftstörningar i förbehandlingen har kvantifierats som antal tekniska fel respektive handhavandefel. Definitionen av dessa har varit uppe för diskussion under projektets gång och någon riktigt bra distinktion har ej kunnat erhållas. Fördelningen bygger på personalens egna bedömningar och möjligheter att identifiera grundorsaken. Generella orsaker till driftstopp som framkommit hos deltagarna är:

- Underhållsstopp. Dessa utgörs av både avhjälpande eller förebyggande underhåll som har utförts under ordinarie drifttid.
- Materialbrist. Svårplanerad logistik har periodvis orsakat sådan brist på substrat till förbehandlingen att man har valt att stanna produktionen.
- Bristande avsättning av produkten, slurryn. Detta har i sin tur att göra med händelser i efterföljande produktionssteg, t.ex. driftstörningar i rötningen.

Anläggningsutnyttjande i förbehandlingen

Anläggningsutnyttjandet i förbehandlingen beräknas som andelen behandlad mängd genom teoretiskt möjlig mängd.

$A = \text{verklig behandlad mängd} / (\text{kapacitet} * \text{producerad tid})$

Utnyttjandet av anläggningens kapacitet avslöjar tidsförluster, eller hastighetsförluster, som uppstår när man belastar förbehandlingen med mindre material än vad den maximalt klarar av. Förlusterna kan delas in i två typer: långsam produktion samt småstopp.

Hastighetsförluster i förbehandlingen beror i första hand på att man medvetet har investerat i utrustning med högre kapacitet än vad dagsbehovet varit eller att man valt att utöka produktionstiden p.g.a. mycket strul med maskinerna, d.v.s. begränsad tillgänglighet. Viss överkapacitet i förbehandlingen anses vara nödvändig för att kunna hantera fluktuationer i inleveranser av matavfall. Mycket av leveranserna inkommer på förmiddagen och det är inte alltid möjligt att lagra material. Det är också svårt att förutspå hur stora mängder som levereras från dag till dag. Förbehandlingen måste också kunna ackumulera material i bufferttankar inför helger, då förbehandlingen hos de flesta står stilla men rötkamrarna fortfarande behöver substrat. Överkapaciteten används också till att ta igen förlorad produktion vid kortare driftstopp, då substratbrist i rötkammaren snabbt påverkar biogasproduktionen negativt.

En viktig orsak till att anläggningen inte går på full kapacitet uppges också vara marknadsmässig, d v s tillgång på substrat till rätt pris.

Hastighetsförluster omfattar även småstopp och störningar i produktionen som är svåra att mäta eller tidsuppskatta. Det kan vara korta mikrostopp i processen men även handla om brister i hur anläggningen driftas eller kvalitetsbrister hos det behandlade materialet som fördröjer processen. Ett sådant exempel är när det inkommande materialet är fruset och måste tinas vilket tar extra tid i anspråk.

På vissa anläggningar kan man köra redundanta system parallellt och på så vis fördubbla eller kraftigt öka kapaciteten i förbehandlingen. Hur man ska bestämma kapaciteten har därför varit uppe i diskussion i projektgruppen. I dessa fall är troligen det bästa att mäta på respektive produktionslinje separat. T.ex. två förbehandlingsanläggningar där planerad produktion delas mellan respektive linje. Det ger möjlighet att över tid jämföra de båda linjerna internt och vid behov styra över mer produktion till den effektivaste av dem.

Kvalitetsutbyte i förbehandlingen

Kvalitetsutbytet anger hur stor del av det behandlade materialet som blir godkänt produkt, dvs. accepterad slurry. Det beräknas i förbehandlingen som:

$$K = (\text{behandlad mängd} - \text{rejekt}) / \text{behandlad mängd}$$

Kvalitetsförlusterna i förbehandlingen omfattar sådant material som behandlas men som inte accepteras för biogas-/biogödselproduktionen av olika orsaker. Det sorteras ut och kasseras eller omarbetas. Detta material mäts som rejekt. Rejektet upptar produktionskapacitet i förbehandlingen och det medför extra hanteringskostnader och avgifter att ta hand om, se kapitel 4.2.2. Det är alltså inte enbart det rötbara materialet i rejektet som utgör kvalitetsförlusterna utan även det oönskade materialet. Mellan 7 - 38 % av det mottagna materialet hos deltagande förbehandlingsanläggningar sorteras bort som rejekt. Avfall Sverige anger ett genomsnitt på 26 % rejekt av insamlad matavfall [3].

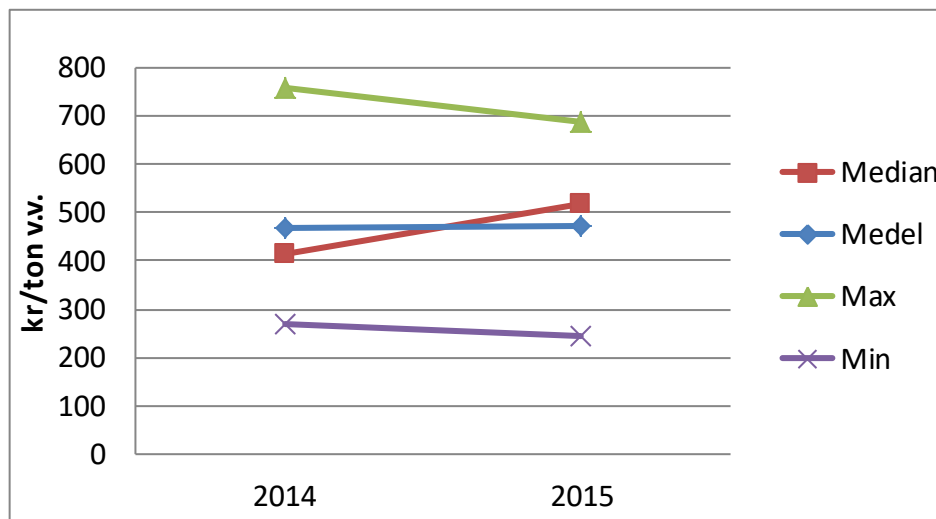
Kvalitetsförlusterna i förbehandlingen har två primära orsaker. Dels innehåller det insamlade matavfallet en del felsorterat material, förpackningar m.m. Detta kan vara viktigt att sortera bort för att säkerställa kvaliteten i biogödseln och för att skydda utrustningen i efterföljande steg. Samtidigt leder separationen aldrig till helt rena flöden, så även en del rötbart matavfall sorteras bort.

Kvalitetsförlusterna kan framförallt påverkas genom förbättrad kvalitet på inkommande material och genom tekniskförbättringar i förbehandlingen och separeringen av oönskat material. Sekundära åtgärder kan vara att omarbete rejektet för att få ut mer rötbart material från det, t.ex. genom att tvätta det med varmvatten och utnyttja vattenfasen i produktionen.

4.2.2 Kostnader i förbehandlingen

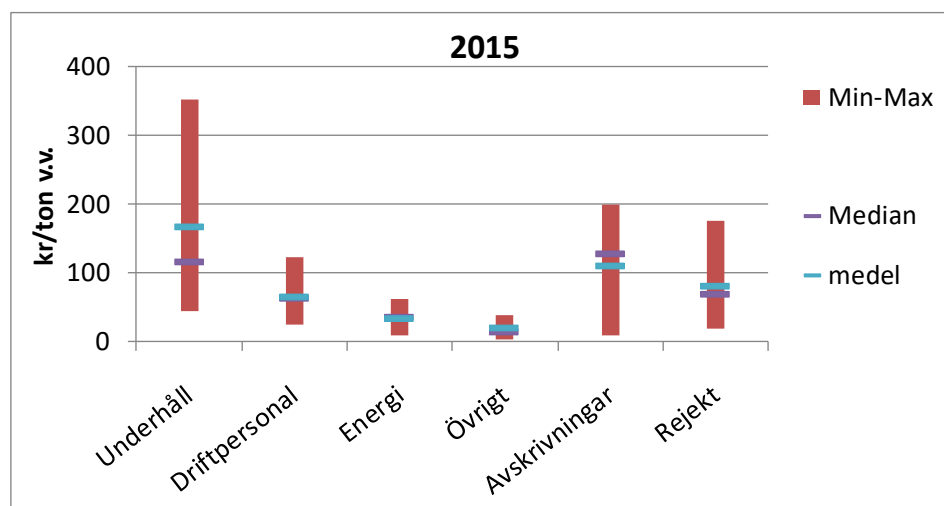
Kostnaderna för förbehandlingen av matavfall utgör i snitt 30 – 40 % av totalkostnaden för biogasproduktionen, se Figur 4. Kostnadsintervallen och beräknade median- och medelvärden presenteras i Figur 7. Benchmark hamnar på 240 kr/ton v.v. och mediankostnaden på 520 kr/ton v.v. Kostnaderna kan jämföras

med behandlingsavgiften för hushåll som i Sverige 2014 var inom ett intervall av 360 – 710 kr/ton och 515 kr/ton i genomsnitt [3].



Figur 7. Kostnadsintervall i förbehandlingen, inklusive kostnader för rejekthantering.

Kostnaderna har även uppmätts på mer detaljerad nivå för olika kostnadsposter i förbehandlingen. Dessa utgörs av: driftpersonal, underhåll (reservdelar och personal), energi, avsättning av rejekt, avskrivningar och övrigt. Dessa presenteras i Figur 8. Störst post är underhåll följt av avskrivningar och rejektkostnader. Tittar man på mediankostnaden är det dock avskrivningar som utgör den största kostnadsposten. Energikostnaden utgör mindre än 10 % av totalkostnaden. I förbättringshänseende på en befintlig förbehandling är det främst underhålls- och rejektkostnaderna som är intressanta att fokusera på.

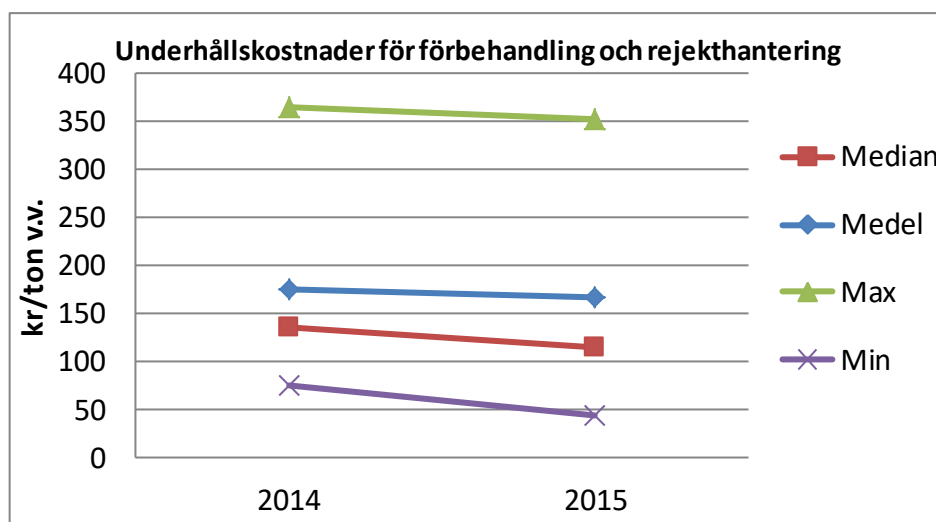


Figur 8. Fördelning mellan olika kostnader i förbehandlingen 2015.

Underhållskostnader i förbehandlingen har varit svåra att uppskatta. En orsak till detta är att personalen inte gör någon skillnad i tidsskrivning mellan driftarbete och underhållsarbete. En annan orsak kan vara att mindre investeringar ibland bokförs som underhåll. För underlaget har man i projektet utgått ifrån inköpsnotor, entreprenörsfakturer och sin egen tiduppföljning. Några har försökt att uppskatta andelen tid utav en arbetsdag eller vecka som personalen jobbar med underhåll.

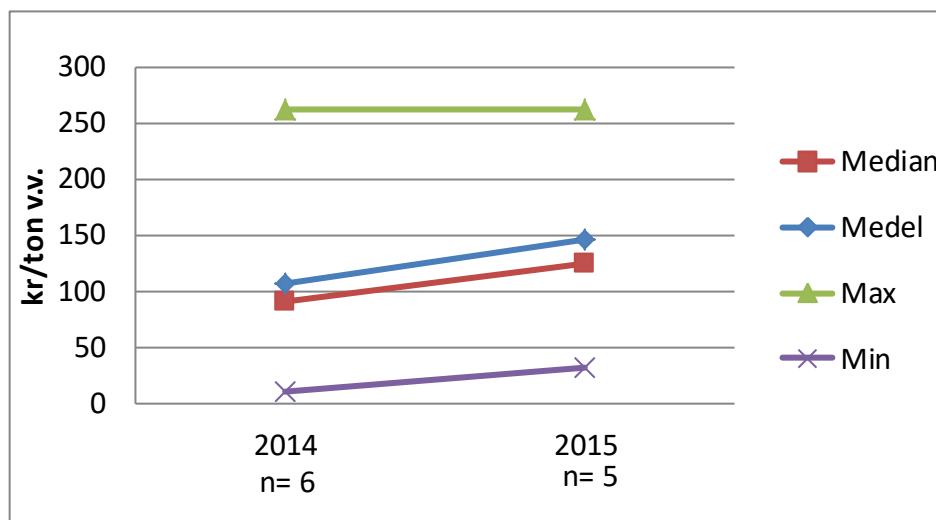
Underhållskostnaden presenteras i Figur 9. Benchmark är 43 kr/ton och medianen beräknas till 115 kr/ton. Spridningen är stor och potentialen från max till benchmark är hela 310 kr/ton. Från medianen till benchmark är potentialen 72 kr/ton.

Orsaker till höga underhållskostnader uppges vara tekniska brister i utrustningen i kombination med brister i kvalitet på inkommande matavfall. En låg andel förebyggande underhåll bedöms också vara en del av förklaringen. Avhjälpan underhåll är generellt sett dyrare än förebyggande underhåll.



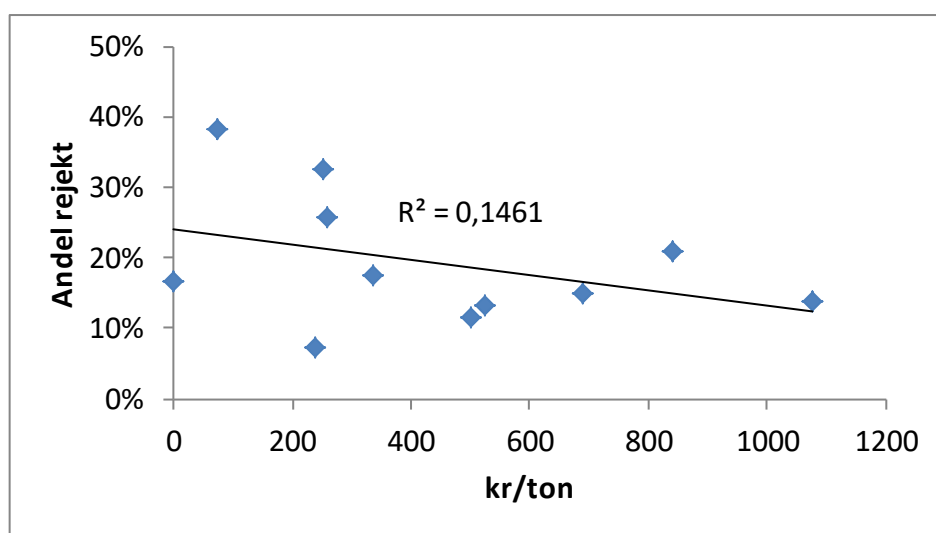
Figur 9. Underhållskostnader i förbehandlingen och rejekthanteringen 2014 och 2015.

Rejekthanteringen utgör drygt 10 % av biogasproduktionens totala kostnader, se Figur 4. Funktionen innehåller utrustning som tvättutrustning, transportörer, och containrar för korttidslagring och transport. I vissa fall kan komprimatorer förekomma. Figur 10 visar kostnaderna för rejekthanteringen (F2) i kr/ton substrat. Störst påverkan på kostnaderna har avgiften för förbränning av rejektet (som även inkluderar transport). Därefter kommer kostnader för underhåll och avskrivning av utrustning. Mängden rejekt verkar ha mindre betydelse.



Figur 10. Kostnader för rejekthanteringen i förbehandlingen 2014 och 2015.

Det finns möjligtvis ett samband mellan låga avgifter och hög rejektandel, se Figur 11. Eftersom rejektet skickas till förbränning är det relevant att jämföra det med kostnaderna för avfall som går till energiåtervinning. Behandlingsavgifterna för energiåtervinning var för 2014 i genomsnitt 485 kr/ton för Svenska hushåll och inom ett intervall mellan 370 – 660 kr/ton [3]. Medianavgiften i studien har beräknats till 380 kr/ton rejekt år 2014 och 340 kr/ton rejekt år 2015, se Bilaga B.



Figur 11. Andel rejekt som en funktion av avgiften för energiåtervinning 2014 och 2015.

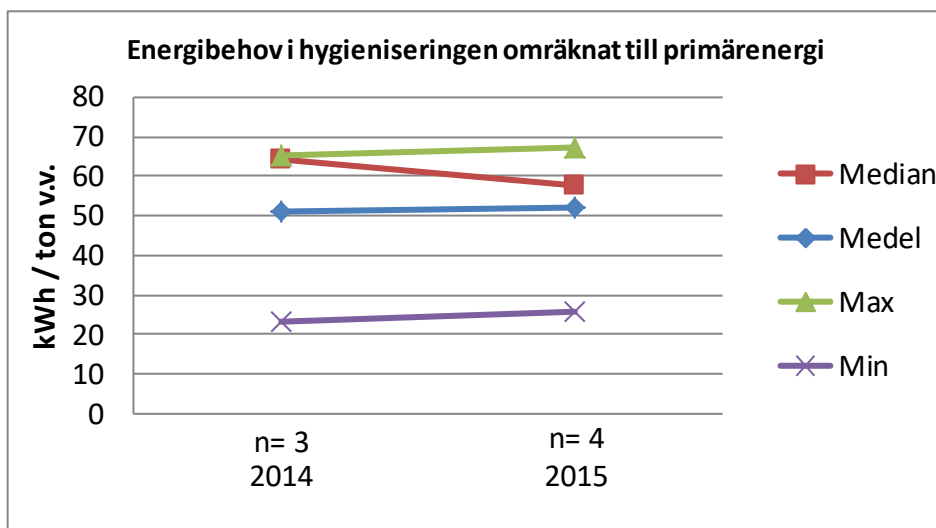
4.3 HYGIENISERING

I hygieniseringen används utrustning som rörvärmewäxlare för värmeåtervinning till inkommande material, isolerade tankar med givare för kontroll av temperatur under hygieniseringen och pumpar. Några anläggningar i projektet använder

direktverkande ånga för att hygienisera substraten. Nyckeltal och värden för hygieniseringen presenteras i Bilaga D.

4.3.1 Energi i hygieniseringen

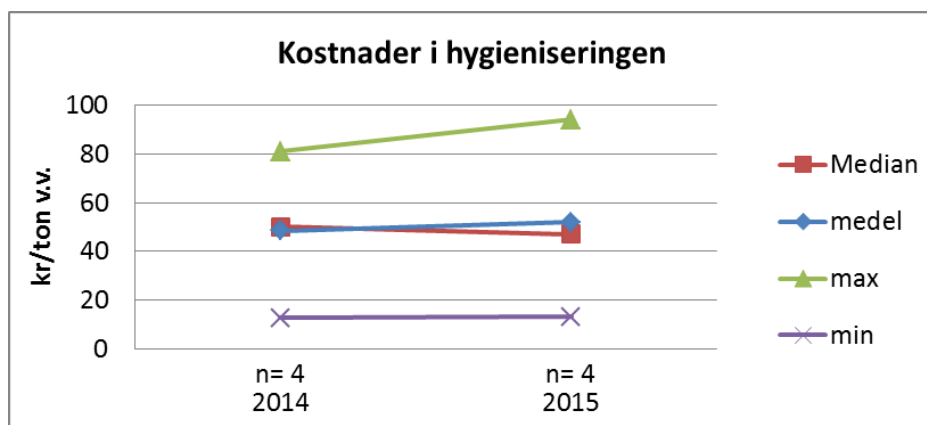
Fyra anläggningar lyckades ta fram underlag för energibehovet i hygieniseringen. Samtliga har en hygieniseringsmetod som innebär varmhållning av substratet i 70 °C i en timma. Figur 12 visar energibehovet för hygieniseringen som högst och lägst rapporterat samt beräknade medel-, och medianvärden. Benchmark ligger på 26 kWh/ton (2015). För detta krävs goda möjligheter att värmeväxla mellan olika processflöden. Anläggningen i fråga har goda möjligheter att värma inkommande substrat med flödet ut från rötkammaren (ca 37 °C) och flödet ut från hygieniseringen (ca 70 °C). Den tar emot ganska lite hushållsavfall och har inte behövt byta till rostfria värmeväxlare som annars är ganska vanligt. De har även en s.k. "multicrucher" som maler ner inkommande material och har därför sällan stopp i funktionen. En halvering av energibehovet har identifierats som möjlig potential av en enskild anläggning. Det förväntas ske genom utökad förbehandling.



Figur 12. Energibehovet i hygieniseringen 2014 och 2015.

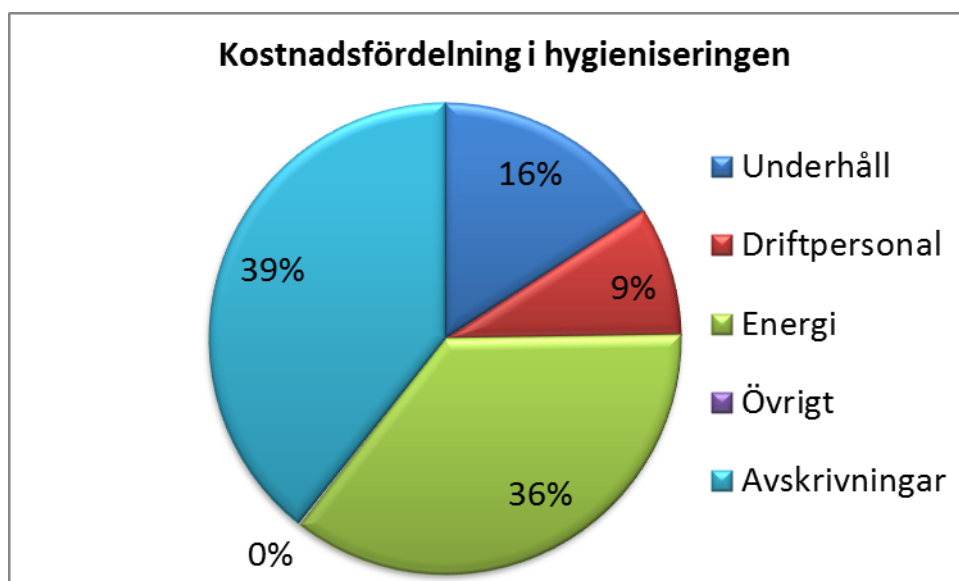
4.3.2 Kostnader i hygieniseringen

Kostnaderna för hygienisering varierar mycket mellan anläggningarna vilket delvis bedöms bero på svårigheterna att allokera kostnader mellan hygienisering och rötning. Underlaget utgörs av data från fyra anläggningar. På en av anläggningarna är hygieniseringen en integrerad process i rötkammaren vilket gjort det extra svårt att uppskatta dess kostnader. Figur 13 visar behandlingskostnaderna för hygienisering där benchmark ligger på 13 kr/ton. Medelkostnaden och medianen hamnar kring 50 kr/ton.



Figur 13 Kostnader i hygieniseringen.

Fördelningen av kostnaderna som medelvärden för 2015 visas i Figur 14. Energi och avskrivningar utgör vardera knappt 40 % av kostnaden och underhållet ca 16 %. Anläggningar som tar emot mycket matavfall har investerat i rostfria värmeväxlare vilket driver upp avskrivningskostnaden. Hos en anläggning uppgår underhållet till 30 kr/ton och erbjuder goda möjligheter till kostnadsreduktion, se Bilaga D.



Figur 14 Kostnadsfördelning i hygieniseringen 2015. Underlaget utgörs av medelvärdesberäkningar.

4.3.3 Driftstopp i hygieniseringen

Hygieniseringen har få driftstopp per år, med undantag av en anläggning. Medianvärdet är 5 stycken/år. Det är nästan uteslutande tekniska fel som orsakar driftstörningarna och endast ett fåtal härleds till handhavandefel.

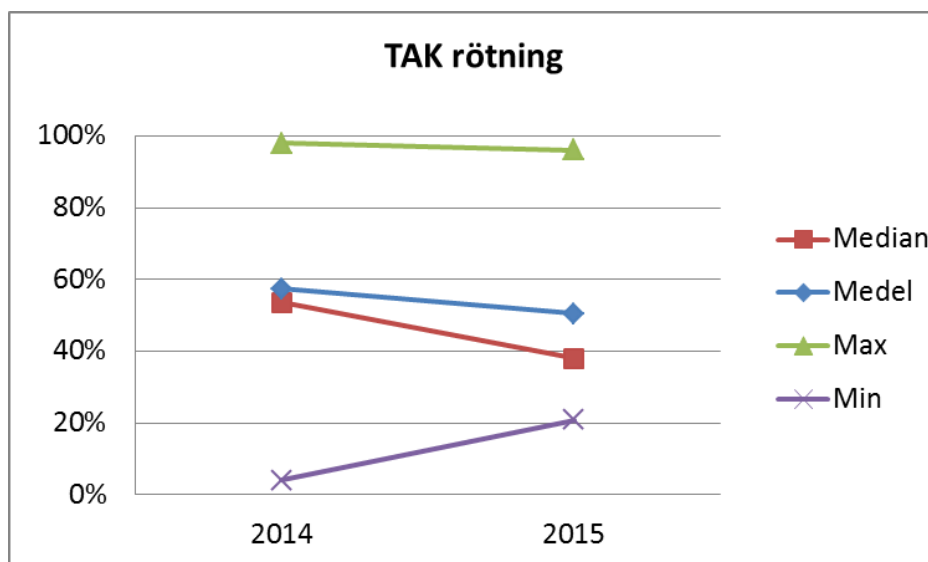
4.4 RÖTNINGEN

Rötningen består huvudsakligen av rötkammare med omrörare och pumpar. Nyckeltal och värden för rötningen presenteras i Bilaga E.

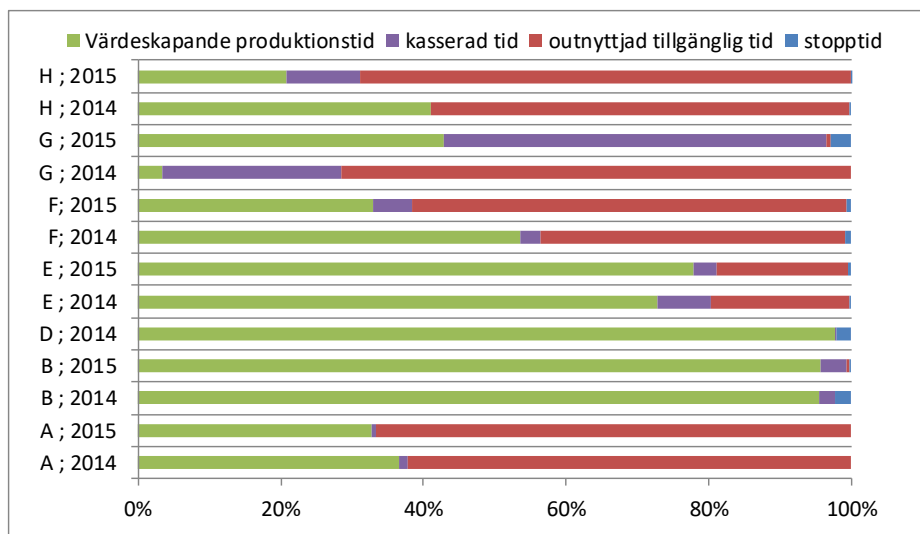
4.4.1 Totaleffektivitet i rötningen

Den bästa anläggningen avseende totaleffektiviteten ligger på höga 98 % men variationen är väldigt stor, se Figur 15. 2015 saknas data från en av de riktigt effektiva anläggningarna vilket bidrar till att sänka medianen från 54 % till 38 %. Potentialen innebär en fördubbling av totaleffektiviteten. För en specifik anläggning är dock potentialen nästan fem gånger dagens produktion.

Förlusterna, som illustreras i Figur 16, återfinns som lågt anläggningsutnyttjande vilket innebär lägre belastning av rötkammare än vad som är maximalt möjligt. Några anläggningar har också stora förluster i form av facklad gas. Orsaker till låg belastning är i första hand affärsmässiga: osäker avsättning av fordonsgasen och brist på lämpliga substrat. Det är fördelaktigt att ha stabila leveranser av relativt homogena substrat och en garanterad avsättning för den rågas man producerar vilket gör att man inte behöver justera ner produktionen för att uppgraderingen stannar eller för att efterfrågan på gas fluktuerar.



Figur 15 Totaleffektiviteten, TAK, i rötningen.



Figur 16 Identifierade förluster i rötningen som andelar av planerad produktionstid 2014 och 2015.

Tillgänglighet i rötningen

Tillgängligheten i rötningen mäts som andelen verklig produktionstid genom planerad produktionstid.

$$T = (\text{planerad tid} - \text{stopptid}) / \text{planerad tid}$$

Tillgängligheten i rötkammaren är hög. Benchmark är 100 % och nås av flera anläggningar. De stopp som sker är ofta planerat underhåll på pumpar några timmar per år. Stopptid och antalet stopp varierar mycket mellan anläggningarna och MTTF beräknas till mellan 250 – 8638 timmar.

Anläggningsutnyttjande i rötningen

Anläggningsutnyttjandet i rötningen beräknas som verklig belastning genom teoretisk belastning:

$$A = \text{inmatad mängd} / (\text{kapacitet} * \text{tillgänglig produktionstid})$$

Skillnaden från teoretisk belastning benämns hastighetsförlust.

Hastighetsförlusterna uppvisar den största förbättringspotentialen till ökad produktion i rötningen. Orsak till lågt utnyttjande av kapaciteten är framförallt brist på substrat till rätt pris. Att man inte tar in mer substrat har i sin tur att göra med osäkerhet/risk i gasaffären. Övriga orsaker är tillfälliga driftstörningar i den biologiska processen, som har stor påverkan på hur mycket det går att belasta rötkammaren. Variationer i avsättningen av gas (gasuppgradering, distribution, försäljning) kan också bidra till att man belastar rötkammaren med mindre material än vad som är möjligt. Brist på substrat på grund av långvariga stopp i förbehandlingen eller hygieniseringen förekommer också.

Eftersom hastighetsförlusterna utgår ifrån angiven kapacitet är det viktigt att känna till rötkammarens kapacitet. Denna kan uppskattas med hjälp av belastningstester och kan annars både överskattas och underskattas vilket påverkar TAK-värdet. I praktiken lägger man sig alltid medvetet några procent

under den maximala kapaciteten för att minska risken för en biologisk överbelastning, eftersom en kollapsande biologi normalt innebär höga kostnader.

Rötkammarens belastning kan mätas och uttryckas på olika sätt. Mest vanligt är att ange belastningen i mängd organiskt material per kubikmeter aktiv rötkammarvolym och dygn ($\text{kg}_{\text{vs}}/\text{m}^3\text{d}$). Det förekommer också att rötkamrarnas kapacitet dimensioneras med en maximal gasbelastning (gasmängd per rötkammarvolym och dygn, $\text{Nm}^3/\text{m}^3\text{d}$). Värden för både dessa nyckeltal redovisas i Bilaga E.

Kvalitetsutbytet i rötningen

Kvalitetsutbytet beräknas ur mängderna producerad och facklad gas.

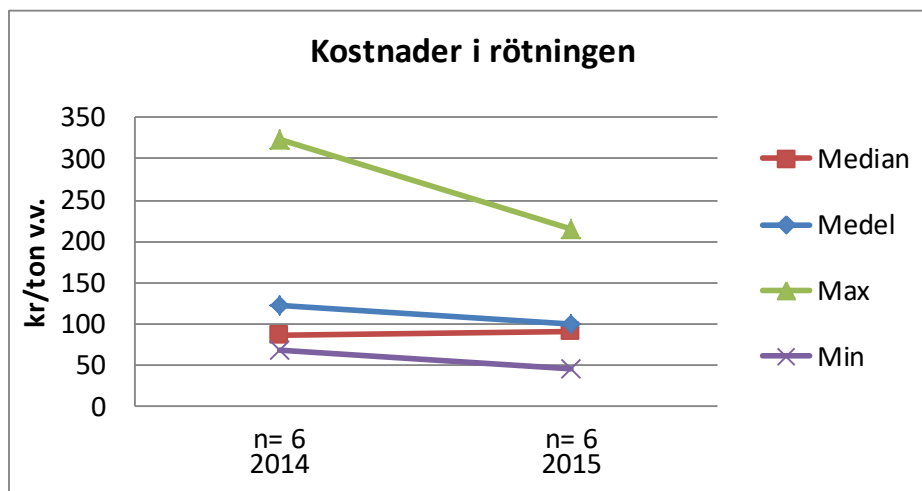
$$K = (\text{producerad} - \text{facklad gasmängd}) / \text{producerad gasmängd}$$

Kvalitetsförlusterna i rötningen orsakas främst av driftstörningar i uppgraderingen eller efterföljande distributionssteg alternativt begränsat värmebehov i de fall man utnyttjar gasen i en panna. Den facklade gasen kan därför betraktas som överproduktion eftersom avsättning och lagringsmöjligheter saknas. Förbättringsåtgärder bör således riktas mot efterföljande produktions- och distributionssteg till exempel genom att öka tillgängligheten i dessa och genom utökad samverkan med gaskunder för en stabilare efterfrågan. Fluktuationer i rågasflödet till uppgraderingen kan också vara en orsak till förlorad tillgänglighet.

Fackling utgör en uppenbar intäktsförlust för anläggningar med potential att öka produktionen av fordonsgas. Osäkerheter i flödesmätare för producerad mängd rågas utgör på många anläggningar ett problem.

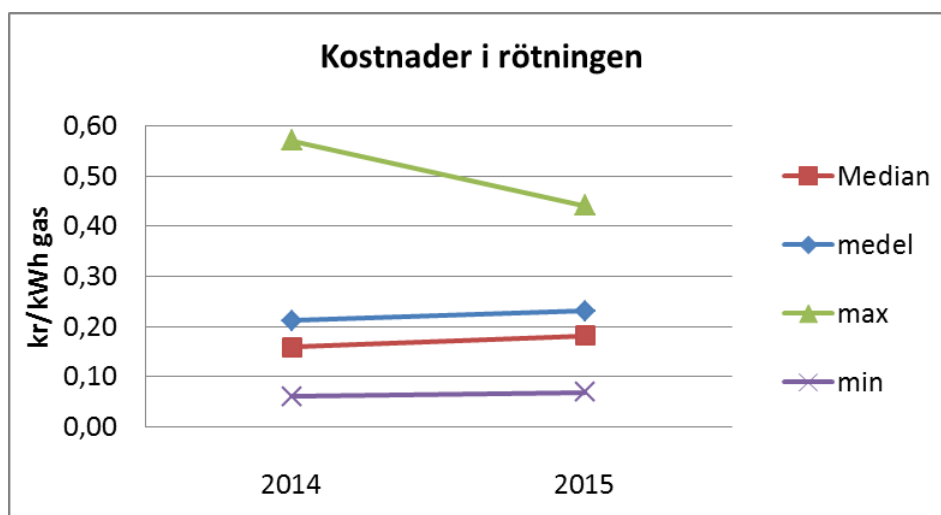
4.4.2 Kostnader i rötningen

Benchmark för rötningen år 2015 ligger på 46 kr/ton v.v. och median- och medelkostnaden på 90 respektive 100 kr/ton v.v., se Figur 17. Potentialen beräknas därmed till 44 kr/ton från median och 170 kr/ton för en specifik anläggning. En anläggning hade strax innan projektet helt avskrivit sina rötkammare och en annan har installerat och tagit i drift en ny rötkammare under perioden. Kostnaderna utgörs annars framförallt av avskrivningar och underhåll.



Figur 17. Kostnader i rötningen 2014 och 2015 relativt behandlad mängd substrat.

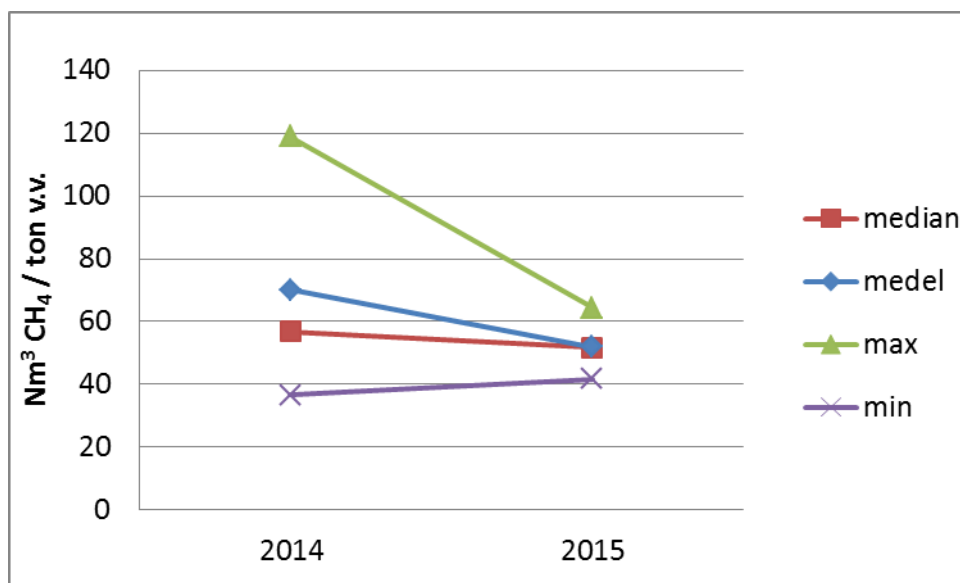
Produktionskostnaderna för biogasen visas i Figur 18.



Figur 18 Kostnader i rötningen relativt producerad mängd gas.

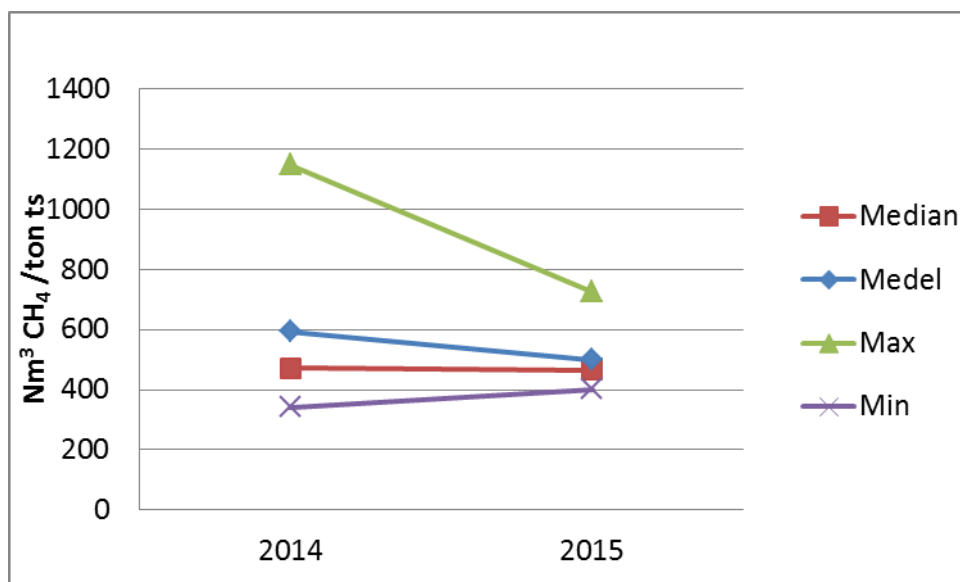
4.4.3 Gasutbyte

Gasutbytet, se Figur 19, anger hur mycket metan som erhålls för varje ton substrat. Det har beräknats utifrån mottagen mängd, inmatad mängd eller inmatad mängd torrsbstans. Biogasproduktionen påverkas mycket av vilken typ av substrat man använder i rötammaren. I praktiken är möjligheten att välja substrat oftast begränsad, eftersom de flesta substrat uppstår lokalt. Dessutom måste gasutbytet ställas i relation till andra affärsmässiga parametrar såsom behandlingsavgifter, krav på förbehandling mm.



Figur 19. Gasutbytet i rötningen per ton våtvikt.

Även torrhalten i substratet spelar roll och kontrolleras därför med återkommande mätningar. Gasutbytet per ton TS redovisas Figur 20. Där hamnar benchmark på 730 Nm³ CH₄ / ton TS. Det avviker dock kraftigt från övriga som 2015 ligger mellan 400 – 500 Nm³ CH₄ / ton TS. Medianvärdet hamnar på 470 Nm³ CH₄ / ton TS.



Figur 20. Produktiviteten i rötningen per ton ts substrat.

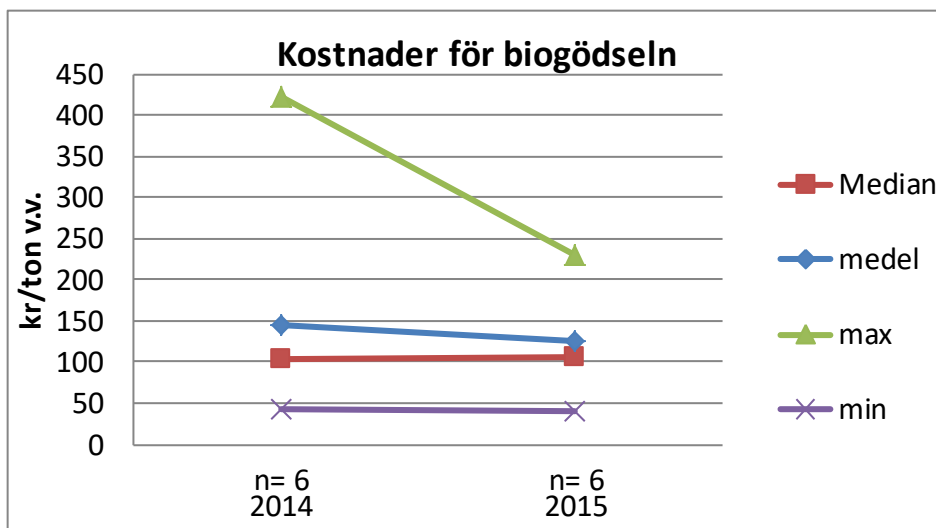
4.5 BIOGÖDSEL

Kostnader relaterade till hantering och avsättning av biogödsel står för i snitt en femtedel av anläggningarnas totala kostnader, se Figur 4. Nyckeltal och värden redovisas i Bilaga F.

Figur 21 visar kostnaderna för biogödseln där benchmark är 39 kr/ton. Medel- och medianvärden är 130 respektive 100 kr/ton v.v. om man räknar med de norska anläggningarna som har nästan dubbelt så höga kostnader som de svenska.

Biogödselhanteringen utgörs nästan uteslutande av kostnader för transport och avsättning utom för en deltagare. Denna har omfattande utrustning för bearbetning av rötresten och producerar tre olika fraktioner ur denna. Hos denna har man därför summerat kostnaderna för samtliga fraktioner och använder det uppmätta utflödet från rötkammare som funktionens relativa flöde.

Kort avstånd till spridningsbar jordbruksmark är en avgörande parameter för riktigt låga kostnader. Växelvisa transporter, d.v.s. där bilen lämnar substrat (stallgödsel) och tar med biogödsel tillbaka är också kostnadseffektivt. Biogödselns kvalitet och näringsinnehåll uppges också vara viktiga parametrar för avsättningsmöjligheterna och kostnaden. Bland de med långa avstånd och högre kostnader finns det ändå goda möjligheter att förbättra sina avtal.



Figur 21. Kostnader för biogödseln 2014 och 2015. Merparten utgörs av avsättningskostnader inklusive transport.

Samtliga deltagare anlitar entreprenörer för distribution av biogödseln och kostnaderna påverkas mycket av geografisk region och tillgänglighet till jordbruksmark för spridning men är för den skull inte omöjliga att påverka.

4.6 UPPGRADERING

Uppgraderingen utgör en fysiskt avgränsad anläggningsdel som teoretiskt skulle innebära goda möjligheter till mätning och uppföljning. Så var också fallet med kostnaderna som hos flera deltagare redovisas separat för uppgraderingen. Det var dock i likhet med övriga funktioner svårt att mäta stopptid och energi. I ett fall har data från flera uppgraderingar, dock med samma teknik, slagits ihop. Tekniker och kapaciteter på uppgraderingarna listas i Tabell 5. Nyckeltal och värden redovisas i Bilaga G.

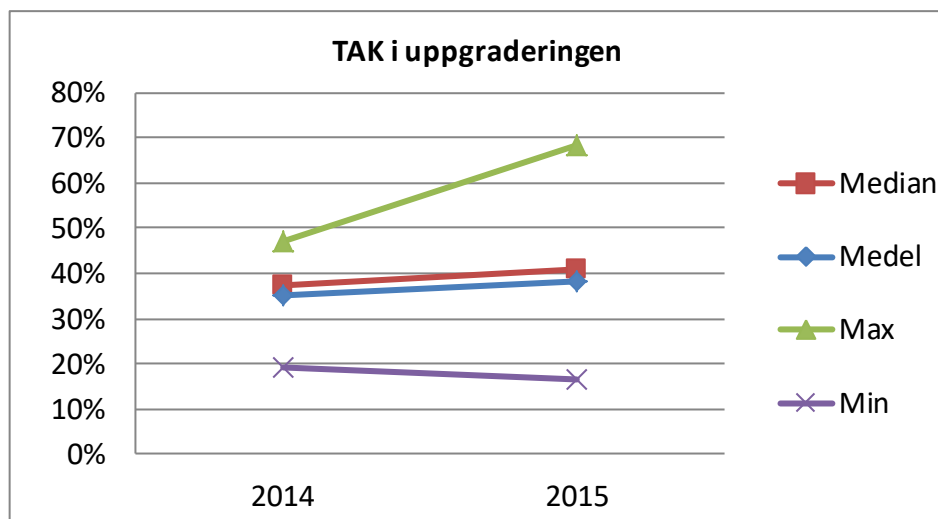
Tabell 5. Tekniker representerade i studien. Kapacitet anger rågasflöde.

Teknik	Kapacitet
Vattenskrubber	640 Nm ³ /h
Vattenskrubber	1200 Nm ³ /h (2 st)
Vattenskrubber	300 Nm ³ /h
Vattenskrubber	470 Nm ³ /h
Membran	400 Nm ³ /h

4.6.1 Totaleffektivitet i uppgraderingen

I uppgraderingen ligger benchmark i totaleffektivitet på 68 %. Median- och medelvärden 2015 beräknas till 41 % respektive 38 %, se Figur 22. Förbättringen i benchmark från 2014 är avsevärd och beror på ett högre utnyttjande av installerad kapacitet.

Identifierad potential till benchmark innebär produktionsökningar mellan 1,8 - 2,4 miljoner Nm³ CH₄ beroende på nuvarande prestation och installerad kapacitet. Detta förutsätter dock att det finns tillräckliga mängder rågas tillgängligt.



Figur 22. TAK-värden i uppgraderingen för 2014 och 2015.

Tillgänglighet och kvalitetsutbytet i uppgraderingen är hos de flesta höga. Den största förlusten utgörs framförallt av lågt anläggningsutnyttjande, se Tabell 6.

Tabell 6. Anläggningarnas TAK-värden och ingående parametrar i uppgraderingen. *Alternativ användning av gasen finns. **Beräknats med antagande om < 100 % kvalitetsutbyte.

	År	Tillgänglighet	Anläggningsutnyttjande	Kvalitetsutbyte	T*A*K
A	2014	100 %	55 %	87 %	47 %
	2015	100 %	69 %	99 %	68 %
E	2014	100 %	41 %	98 %	41 %
	2015	99 %	45 %	98 %	44 %

	År	Tillgänglighet	Anläggningsutnyttjande	Kvalitetsutbyte	T*A*K
F	2014	31 %	63 %	99 %	19 %
	2015	75 %	23 %	98 %	17 %
G*	2014	100 %	34 %	i.u.	< 34 % **
	2015	97 %	43 %	98 %	41 %
H*	2014	100 %	i.u.	i.u.	i.u.
	2015	99 %	22 %	98 %	22 %

Tillgänglighet i uppgraderingen

Tillgängligheten i uppgraderingen är hög, med ett undantag. Benchmark är 100 %. Anledningen till hög tillgänglighet är att man planerar in en eller några serviceinsatser per år, s.k. revisioner och att man därför exkluderar dem från den planerade produktionstiden. I de fall man har en gasklocka (buffert) eller flera uppgraderingar som inte går på max (redundans) går det att parera kortare stopp i en uppgradering och på så vis uppnå hög tillgänglighet.

Den avvikande anläggningen hade omfattande tekniska brister i utrustningen så att den aldrig presterat enligt köpt kapacitet. Man har ofta tvingats stå still med anläggningen under långa perioder i väntan på kompetens eller reservdelar.

Tabell 7 visar benchmark för MTTF mellan ca 1200 – 2900 timmar för membranteknik medan vattenskrubberteknik ligger kring 50 – 320 timmar. Driftstörningar åtgärdas generellt sett snabbt. Endast en membranläggning och inga andra tekniker förutom vattenskrubbar ingår i underlaget vilket gör att man inte kan avgöra om det finns någon generell skillnad mellan teknikerna gällande driftstörningar.

Tabell 7 Antal driftstopp, genomsnittlig nedtid (MTTR + MWT) och genomsnittlig upptid (MTTF) i uppgraderingen för respektive år.

	År	Tekniska fel (antal/år)	Handhavandefel (antal/år)	MTTF (timmar)	MTTR + MWT (timmar)
Vatten- skrubber 1	2014	30	5	249	0,9
	2015	30	5	249	0,9
Vatten- skrubber 2	2014	52	1	164	0,4
	2015	13	2	580	4,0
Vatten- skrubber 3	2014	20	3	113	294
	2015	15	5	323	110
Vatten- skrubber 4	2014	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.
	2015	160	20	46	1,4
Membran	2014	5	2	1242	6,4
	2015	1	2	2888	32

Anläggningsutnyttjandet i uppgraderingen

Lågt anläggningsutnyttjande står för nästan hela förbättringspotentialen. Benchmark är 69 %. I SGC 2014:296 rapporteras en utnyttjandegrad på 63 % [2]. Orsaker till lågt anläggningsutnyttjandet hos deltagarna är bl.a.:

- Mindre rågasproduktion än planerat. Detta beror ofta på en minskning av mängden substrat till rötningen.
- Fluktuationer i rågasflödet som stoppar uppgraderingen.
- Alternativa avsättningsmöjligheter för rågasen såsom värmeproduktion.
- Tekniska brister i utrustningen som påverkar kapaciteten.

För ökning av TAK i uppgraderingen kan det vara nödvändigt att ställa högre krav på ett jämnt rågasflöde hos vissa typer av anläggningar, bl.a. vattenskrubber. Detta eftersom uppgraderingen är designad att arbeta inom ett begränsat område av tryck- och flöde.

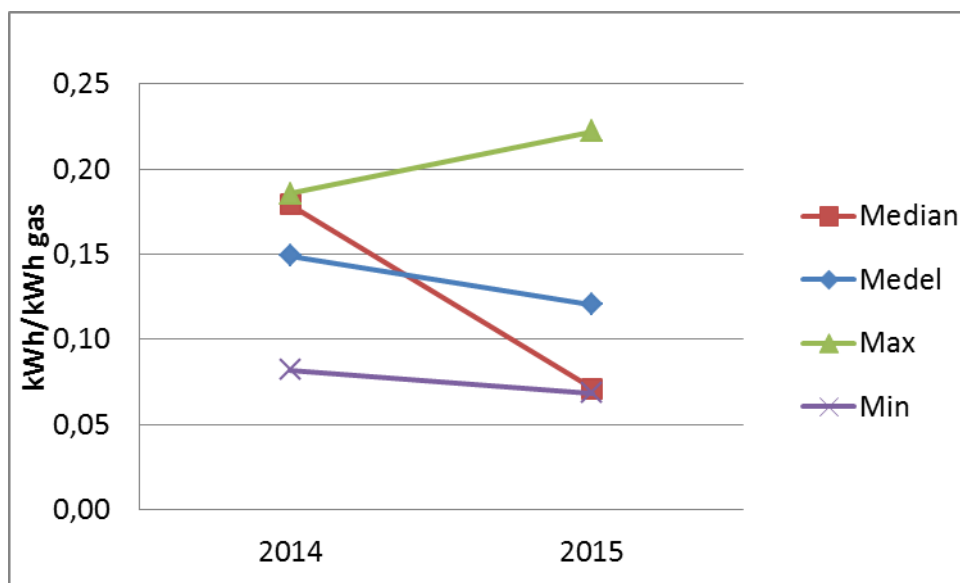
Kvalitetsutbytet i uppgraderingen

Kvalitetsförlusterna mäts som metanflöde i restgasen, även kallat metanslip, inklusive eventuella läckage. Metanflödet mäts före eventuell destrueringsanläggning. Här har man angivit tillverkarens specifikationer eller uppmätta resultat från mätningar man gör inom egenkontroll metanutsläpp - Frivilligt Åtagande. Benchmark är 99 % och median och medel beräknas båda till 98 %. Förbättringspotentialen är därmed relativt liten men omfattar åtgärder inom optimering, flödesstabilisering och läckageeliminering. Vid begränsad tillgång på rågas och tillfredsställande tillgänglighet är det en relevant förlust att bearbeta som dessutom kan ha stor effekt på miljöbelastningen och riskhanteringen.

Minimering av metanutsläpp är något man arbetar med på de flesta anläggningar då det har en tydlig klimatpåverkan att släppa ut metan. Vissa anläggningar har därför någon typ av destrueringsutrustning inkopplad på restgasflödet som minskar metanutsläppet till atmosfären. Detta påverkar dock inte kvalitetsutbytet och TAK-värdet för uppgraderingen.

4.6.2 Energianvändning i uppgraderingen

Energianvändningen i uppgraderingen har räknats om till primärenergi och relateras till producerad energi i form av uppgraderad gas. Figur 23 visar att benchmark år 2015 är 0,07 kWh/kWh gas. Medianvärdet har förbättrats kraftigt från 0,18 till 0,07 kWh/kWh gas mellan åren 2014 till 2015. Orsaken till det är oklar men år 2014 omfattar bara av tre uppgraderingar mot fem stycken år 2015.

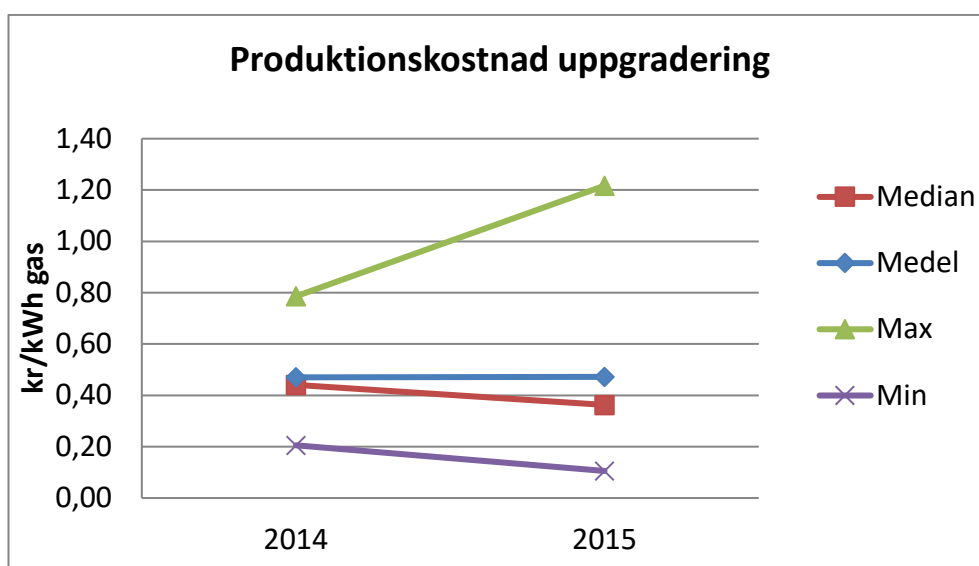


Figur 23. Primärenergianvändningen i uppgraderingen. 2014 n=3 och 2015 n=5.

4.6.3 Kostnader i uppgraderingen

Kostnaderna i uppgraderingen presenteras som kr per kWh producerad gas i Figur 24. Produktionskostnaderna år 2015 i uppgraderingen är i medeltal 0,58 kr/kWh gas. Medianen ligger på 0,49 kr/kWh gas och benchmark är 0,11 kr/kWh gas.

Anläggningen som representerar benchmark har nästan inga avskrivningskostnader medan de hos övriga utgör i genomsnitt 43 % av totalkostnaden. Benchmark för anläggningar med avskrivningar ligger istället på 0,20 kr/kWh gas. Som jämförelse rapporteras i SGC 2014:296 en mediankostnad på 0,31 kr/kWh inklusive komprimering. Den höga kostnaden 2015 beror på låg tillgänglighet och produktion på uppgraderingen.



Figur 24. Kostnader i uppgraderingen 2014 och 2015.

4.7 HÖGTRYCKSKOMPRIMERING

Högtryckskomprimeringen klassas oftast som en del av distributionen i biogasens värdekedja men det fanns ett intresse av att jämföra den då flera av projektdeltagarna har en sådan under sitt tak. Det visade sig dock vara svårt att allokera energi- och personalresurser till denna funktion. Man hade även svårt att ta fram underlag rörande stopptid och kapacitet. Nyckeltal för högtryckskomprimeringen redovisas i Bilaga H.

4.7.1 Totaleffektivitet i komprimeringen

Endast fyra deltagare lyckades ta fram underlag för beräkning av TAK-talet. Det innefattar dock ett antagande om 100 % kvalitetsutbyte för samtliga. Benchmark hamnar på 52 %. Tillgängligheten är hög och det är i huvudsak i lågt anläggningsutnyttjande som förlusterna står att finna.

4.7.2 Energi i komprimeringen

Det var svårt att samla in energiåtgång för högtryckskomprimeringen. Benchmark hamnar på 0,05 kWh/kWh gas. Medianvärdet är 0,07 kWh/kWh gas.

4.7.3 Kostnader i komprimeringen

Det var svårt att samla in kostnader rörande komprimeringen och resultaten uppfattas som osäkra. Avskrivningar är största kostnadsposten där sådana finns. Annars är det energikostnaden som väger tyngst.

4.8 LUKTREDUCERING

Funktionen luktreducering kan främst kopplas till förbehandling och rötning där det finns som krav i tillstånd att vidta åtgärder för att minimera lukt från verksamheten. Stora volymer luft behandlas i ett eller flera filter innan den släpps ut till omgivningen. Kostnaderna omfattas av drift och underhåll av utrustning såsom filter och fläktar m.m. samt energikostnader för att transportera luften. I sammanhanget utgör luktreduceringen en mycket liten del av verksamhetens utgifter. Det har varit svårt att få fram underlag om energibehovet och kostnaderna på flera anläggningar. Orsaken är oftast att man har många små flöden från flera byggnader till ett eller ibland flera filter. Servicekostnader går att ta ut i efterhand, men för mätning av energianvändandet krävs separata mätare på fläktarna vilket oftast saknas. Nyckeltal från luktreduceringen presenteras i Bilaga I.

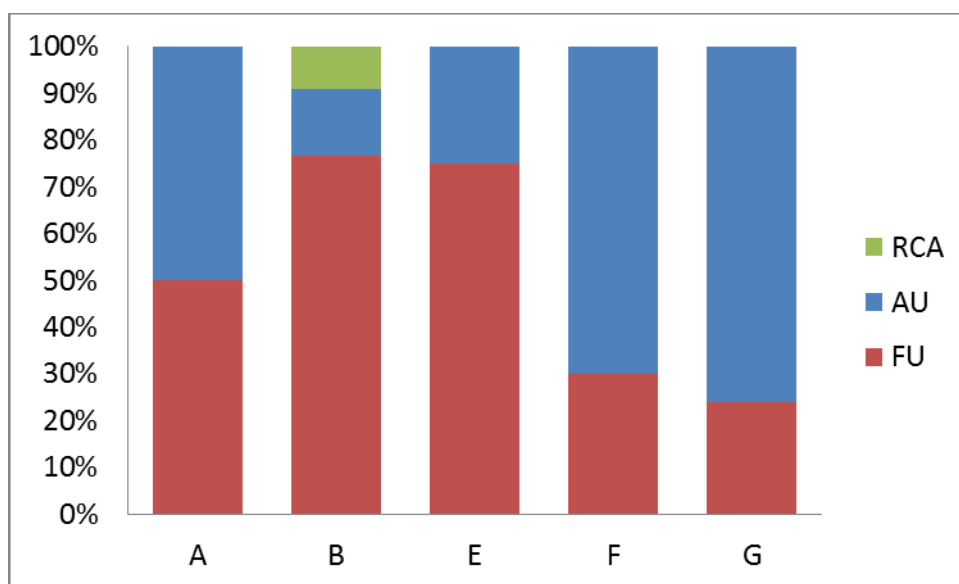
4.9 SAMMANFATTNING FÖRBÄTTRINGSOMRÅDEN

Samtliga deltagare har lagt ner tid och energi på att kartlägga och samla in data och sedan jämföra dessa mot andra. En benchmarkstudie av detta slag innebär störst nytta för deltagande parter, som kan identifiera förbättringsområden utifrån underlaget i kombination med kunskap om sin egen anläggning och sina egna förutsättningar. En del underlag måste få tid att sjunka in. Andra behöver kompletteras med mer kunskap. Här sammanfattas dock de områden som sticker ut i studien eller som identifierats av deltagarna som intressanta.

4.9.1 Övergripande förbättringsområden

Övergripande förbättringspotential för deltagarna och samtliga funktioner/områden gäller förbättrad mätning och uppföljning av prestationsparametrar som rör driftsäkerhet, utnyttjande av kapacitet och kvalitet. För det behövs bättre kunskap om det egna systemets maximala kapacitet och begränsningar. Vidare behövs en branschgemensam samsyn kring hur en del av dessa parametrar och viktiga nyckeltal ska mätas.

Det finns stort förbättringsbehov inom underhållsarbetet där man behöver bli duktigare på att planera, bereda och utföra förebyggande underhåll för att reducera kostnaderna för underhållet och minimera konsekvenserna av slitage och korrosion. Detta bör även adresseras genom högre underhållsmässighet på utrustningen. Man behöver dessutom arbeta mer med grundorsakanalyser vilket med fördel görs i samarbete med leverantörerna. Det i sin tur ökar även leverantörernas förståelse och därmed deras möjligheter att utveckla bättre produkter eller förbättra materialkvaliteten. Fördelning av underhållsstrategier hos deltagarna redovisas i Figur 25.



Figur 25. Fördelningen av tid man på anläggningarna arbetar med förebyggande underhåll, avhjälpande underhåll och grundorsaksanalys.

4.9.2 Förbehandlings förbättringsområden

Det finns en stor potential att reducera kostnaderna för underhållet och reservdelar. Höga underhållskostnader beror på omfattande driftstörningar och slitage, med även på otillräckligt eller ineffektivt förebyggande underhåll, vilket tydligt indikeras i avsaknaden av mätning av viktiga underhållsparametrar.

Tekniken är ibland inte designad eller konstruerad för krävd funktion vilket bidrar till höga underhållskostnader och/eller låg tillgänglighet. Sorteringstekniken hos deltagande anläggningar når inte behoven av driftsäkerhet och kvalitetsutbyte. Tillgängligheten upprätthålls istället genom omfattande underhållsinsatser, redundans, buffertar och hög överkapacitet.

Samtidigt utnyttjas förbehandlings kapacitet inte särskilt bra. Det beror på svårigheter att planera leveranser av substrat i kombination med behovet av att buffra förbehandlat substrat för rötningsprocessen under arbetsfria dagar samt att kunna "köra ikapp" tappad produktion. Bättre utnyttjande av förbehandlings kapacitet kan öka produktionen alternativt frigöra mer tid för förebyggande underhåll på ordinarie arbetstider.

Det uppkommer stora kvalitetsförluster i form av rejekt i processen. Det beror på behovet av att separera oönskat material från matavfallet innan det pumpas till efterföljande processer. Det primära behovet med separeringen är att undvika att få föroreningar i biogödseln samt att skydda utrustningen från skador och överdrivet slitage m.m. Separationsteknik som skiljer av mindre mängd organiskt material erbjuder en produktionsökning. Separationsteknik som bättre skiljer av oönskat material innebär mindre slitage, mindre stopptid och minskat underhåll i efterföljande utrustning. Omarbetning av rejektet, t.ex. tvättning, kan innebära ökat utbyte. Kvalitetåtgärder på substratet, t.ex. i insamlade steg, angriper samtliga av dessa förbättringspotentialer.

4.9.3 Hygieniseringens förbättringsområden

Effektiv värmeväxling kräver god nedmalning av substrat. Hos enskilda anläggningar finns betydande besparingspotential i form av minskade underhållskostnader. Detta förväntas kunna åtgärdas genom utökad förbehandling och förbättrad substratkvalitet.

4.9.4 Rötningens förbättringsområden

Det främsta problemet är lågt anlägningsutnyttjande av rötkammaren. Det beror framförallt på begränsad tillgång på lämpliga substrat och ibland på variationer i efterfrågan på gasen. En ökning av utnyttjandet innebär en produktionsökning av rågas. Osäkerheter i belastningskapacitet förekommer.

Kapacitet går förlorad när material ackumuleras på botten eller i toppen av rötkammaren. Förbättringar i konstruktionen av dessa, som erbjuder enklare tömning av ackumulerat material, ger bättre förutsättningar att upprätthålla rötkammarkapaciteten. Kvalitetsförbättrande åtgärder på substraten, t.ex. i källsorteringen av matavfall och separering i förbehandlingssteget, kan reducera mängderna grus och sand och annat icke rötbart material som riskerar att ackumuleras.

Kvalitetsförluster i form av facklad gas har i projektet allokerats som en förlust i rötningen. Fackling av gas är dock oftast en konsekvens av att uppgraderingen inte är tillgänglig eller redan går på maximal kapacitet. Fackling kan också bero på att efterfrågan på gas är låg. Förbättrad tillgänglighet och utnyttjande av uppgraderingen spelar därför en stor roll. Samtidigt kan fluktuationer i gasproduktionen ha en påverkan på dessa parametrar i uppgraderingen, särskilt för vattenskrubber-tekniken. Ett för högt eller för lågt tryck i rågassystemet kan få uppgraderingsanläggningen att stoppa.

Flödesmätning av rågasen är i flera fall osäker. Bristande flödesmätning kan ge effekter på styrning av och prioriteringar på rötningen och efterföljande steg. Rätt

teknik och installation samt återkommande service och kalibrering av mätare är viktiga åtgärder.

4.9.5 Biogödsel

Det kan finnas stor potential för enskilda anläggningar att minska kostnaderna för hanteringen av biogödsel, som utgör i snitt 18 % av totalkostnaden i produktionskedjan. Möjligheten att minska kostnaderna för biogödsel kan därför ha stor påverkan på lönsamheten. Det finns här en stor nytta med att jämföra sig med andra anläggningar och deras förutsättningar.

4.9.6 Uppgradering

Tillgängligheten är redan hög, men minsta stopp kan medföra fackling av rågas. Åtgärder som kan reducera underhållskostnaderna med bibehållen tillgänglighet kräver troligtvis bättre mätning och uppföljning av viktiga underhållsparametrar.

Anläggningsutnyttjande är lågt. Begränsat utbud av rågas i kombination med variationer i efterfrågan på gas är några viktiga orsaker. Även begränsningar i arbetstryck och flöde i kombination med fluktuationer i rågasproduktionen påverkar.

Kvalitetsförluster i form av restgas och läckage förekommer, om än i liten omfattning. Det beror på tekniska och designmässiga begränsningar i uppgraderingen och på läckage. Metaninnehållet i restgasen kan kontrolleras och optimeras till designnivå. Läckage kan detekteras och elimineras.

4.9.7 Högtryckskomprimering

Effektiva underhållsinsatser blir viktiga när funktionen har kontinuerlig produktion och alternativ avsättning för rengasen saknas.

Förbättrat anläggningsutnyttjande kräver tillgång till mer uppgraderad gas.

4.9.8 Luktreducering

Området kan ha stor prioritet för enskilda anläggningar. Förbättrad energimätning och uppföljning krävs dock för att man ska kunna göra bedömningar.

5 Diskussion och slutsatser

5.1 DISKUSSION

Det nya och innovativa med detta projekt är att datainsamlingen skapat mervärde av en del av de befintliga data som ofta sparas på anläggningarna. Informationen har kunnat lyftas in i ett sammanhang av unika processkunskaper och erfarenheter och på så vis bidragit till ett mervärde jämfört med om man bara tittat på den solitärt. De erfarenheter som branschen har relaterat till dessa data har på så vis kunnat användas på ett effektivt sätt. Underlaget på typiskt ca sex anläggningar anses dock vara alltför begränsat för att man ska kunna dra långtgående slutsatser, t.ex. gällande teknikval.

5.1.1 Diskussion om TAK

Som jämförelse till resultaten anges ofta totaleffektiviteten inom tillverkande industrier ligga på 40 % när företaget börjar mäta den och 60 % i medeltal för de som arbetat med uppföljning och målsättning av TAK. Totaleffektiviteten kan aldrig förväntas uppnå 100 % då det innebär en helt förlustfri produktion. Ett TAK på 85 % anses som världsklass i tillverkande industri medan processindustrier, till vilka biogasanläggningar kan klassas som, ligger något högre och där anses 95 % vara världsklass¹. Det är viktigt att inse att det är marknadens krav och efterfrågan som styr hur mycket man producerar. Därför är det mycket relevant att veta var man vill ligga och till vilken kostnad man vill producera. Detta ställer krav på marknadsanalys men även på uppföljning av den egna produktionen. Ingen av de svenska anläggningarna uppger sig ha svårigheter att sälja gasen medan norska anläggningar har låg efterfrågan på CNG vilket avspeglades i TAK-mätningen.

Resultaten av TAK-mätningar visar på stor potential till produktionsökning genom bättre anläggningsutnyttjande i förbehandling, rötning och uppgradering. I förbehandlingen och rötningen är överkapaciteten ofta medvetna val som styrs av tillgången på substrat och behovet av att vidmakthålla den biologiska processen över helger och vid kortare driftstopp. I uppgraderingen erbjuder dock det låga utnyttjandet en potential till produktionsökning, förutsatt att rågas finns tillgängligt.

Planering och bra logistik är viktiga komponenter för att kunna köra på full kapacitet under en längre period. Detta måste underbyggas med långsiktiga avtal som säkerställer produktion och gasleverans. Delad risk och flexibilitet kan eventuellt trumfa pris i dessa fall. Det är viktigt att utbudet av substrat undersöks ordentligt innan man bygger en anläggning, annars riskerar man att sitta med en stor överkapacitet. Investeringar kräver därför bra samordning mellan ägare, leverantörer och kunder. För vissa anläggningar i projektet är osäkerheten i gasaffären en stor bromskloss för investeringar i biogasanläggningen. Status Quo bedöms vara bättre än att satsa fel, trots att man har höga driftkostnader eller en ineffektiv anläggning.

¹ <http://www.leanproduction.com/oe.html>

Kompetens kring hur man driftar och underhåller utrustningen är också viktiga för att producera maximalt varje dag. Ett bra förebyggande underhåll och hög kvalitet på substraten bidrar till att förhindra småstopp som drar ner produktionshastigheten. Det är viktigt att ta reda på vilken anläggningsdel som är kapacitetsbegränsande för korrekt mätning och prioritering.

Högt anläggningsutnyttjande är särskilt angeläget på uppgraderingsanläggningen där man antas ha störst ekonomisk marginal på producerad gas och där de rörliga kostnaderna är lägre än i resten av produktionskedjan. Detta kan angripas framförallt genom ökad rågasproduktion, genom högre belastning av rötchammare, minskad fackling och intern användning av gas samt förbättrad produktionsuppföljning och processtyrning.

Förpackat matavfall innehåller en varierad grad av emballagematerial som t.ex. plast. I källsorterat hushållsavfall kan innehållet av felsorterat material också variera beroende på insamlingssystem och annat. Det betyder att en anläggning som får in mycket önskat material också behöver separera ut mycket rejekt. Det ansågs därför vara svårt att jämföra kvalitetsutbytet med andra förbehandlingsanläggningar utan betydande insikt om substratens kvalitet och sammansättning. Men kvalitetsutbytet är bra att använda sig av internt när man vill ändra sin materialmix eller se effekten av att man tar in matavfall med mindre emballage/förpackning.

För rågasen har kvalitetsförlust mätts som facklad gas och eventuella läckage, vilket har varit en kompromiss i projektet. Facklingen är en angelägen parameter att beakta och den är lätt att mäta, men den är främst relaterad till hur väl efterföljande steg fungerar. Ett bättre mått på kvalitetsutbytet skulle inkludera förluster i form av kvarvarande gaspotential i rötresten efter rötningen.

Kvalitetsbrister i uppgraderingen omfattar metanflödet i restgasen och i läckage. På en optimerad uppgradering är det läckage som är den enda påverkbara kvalitetsförlusten. Destruering av restgasen, som förekommer på flera anläggningar, påverkar inte de parametrar som mäter totaleffektiviteten.

5.1.2 Underhåll och driftsäkerhet

Brister i driftsäkerheten anges som en stor orsak till anläggningarnas höga underhållskostnader. Detta gäller framförallt i förbehandlingen. Förbehandlingen kräver i genomsnitt 40 % av kostnaderna i produktionskedjan. En mycket stor del av dessa relateras till direkta underhållskostnader. Driftsäkerheten i förbehandlingen är viktig för att tillgodose substratförsörjningen och hålla nere underhållskostnaderna men även för att undvika överträdelser i gällande tillstånd om lagring med tillhörande luktproblem. Driftsäkerhet brukar delas in i funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet [7].

Funktionssäkerhet

Funktionssäkerhet är en fråga om design, materialval, konstruktion och funktion. Brister i teknik och funktionalitet är något som måste lyftas till teknikleverantörerna för utveckling. Flera av deltagarna har äldre utrustning och det är därför rimligt att en del av deras problem redan har lösts och bättre

lösningar finns tillgängliga på marknaden. Ett vanligt måttetal för funktionssäkerheten är MTTF.

Underhållsmässighet

Dålig underhållsmässighet försvårar möjligheterna att gå mot mer förebyggande underhåll. Om utrustningen inte är designad och installerad för det underhåll som funktionen kräver kommer man istället att köra utrustningen till haveri. En sådan strategi ökar underhållskostnaderna och förlänger stilleståndstiden vilket påverkar produktionen negativt. Det innebär också att man i större utsträckning måste ha reservdelar hemma när ett haveri inträffar. Lagerkostnaden utgör också en väsentlig del av bundet kapital men detta har inte uppmätts i projektet.

Underhållsmässighet kan mätas med MTTR, något som ingen av de ingående anläggningarna gjorde innan projektet. För de anläggningar som har underhållssystem eller arbetar med arbetsordrar är det en förhållandevis enkel sak att selektera ut och mäta tiden det tar att åtgärda fel på utrustningen. Denna parameter bör vara i fokus redan i upphandlingen av utrustningen och under hela installationsfasen till drifttagning och därefter mätas och följas upp. Inom vissa branscher ställs garantikrav på MTTR eller liknande parametrar vid köp av utrustning, på ungefär samma sätt som man i ett serviceavtal ställer krav på inställelsetid. Underhållsmässigheten har även stor betydelse för säkerheten vid underhållsarbete varför det även finns arbetsmiljömässiga incitament att arbeta med detta nyckeltal.

Underhållssäkerhet

Underhållssäkerheten beror på organisationens förmåga att underhålla utrustningen. Det adresserar strategier, kompetens, stödresurser, rutiner och planering mm. Det mäts vanligen med MWT. Deltagarna saknar i de flesta fall systematisk sammanställning och uppföljning över antalet fel och stopptider som uppstår på utrustningen.

5.1.3 Underhållsstrategier

Underhållet i förbehandlingen utförs framförallt som avhjälpande aktiviteter medan förebyggande aktiviteter hos de flesta deltagarna är mindre förekommande. Att etablera ett strukturerat sätt att arbeta med förebyggande underhåll kräver att organisationen avsätter resurser för detta arbete, samtidigt som den ordinarie driften pågår. I en övergångsperiod krävs det därmed en ökad bemanning på anläggningen. När strukturen och rutiner för förebyggande underhåll väl är på plats kan och bör arbetsbelastningen och bemanningsbehovet gå ner i och med att underhållet kan utföras på ett mer effektivt sätt. Därmed blir införandet av mer förebyggande underhåll på många anläggningar till ett moment 22, där driftorganisationen är för upptagen med avhjälpande av akuta fel för att hinna ta sig an ett mer långsiktigt och strategiskt arbete för att på sikt minska arbetsbelastningen. Den bristande lönsamheten bidrar således självt till det ekonomiskt fortsatt ansträngda läget.

Bristande mätning av stopp och stopptid samt grundorsaksanalys gör att man har ett otillräckligt underlag för att prioritera felorsaker. Det ökar risken att man

prioriterar fel. Ett bra sätt att börja förbättra detta är genom kartläggning av de vanligaste kända felen på en begränsad anläggningsdel. Det viktigaste är dock att fokusera på att stoppen över huvud taget registreras. Då har man möjlighet att utföra grundorsaksanalyser på de allvarligaste och/eller de mest förekommande typerna av fel för att kunna åtgärda dessa. Stopptiden bör vara inplanerad i så stor utsträckning som möjligt för att vara effektiv.

5.1.4 Driftstrategier

Alla funktionsbortfall orsakar inte produktionsstopp, t.ex. när buffertkapacitet finns tillgängligt. Många anläggningar har redundans i utrustningen som gör att man kan fortsätta produktionen utan avbrott när en utrustningsdel felar. Även om detta kan vara bra på kort sikt är risken stor att man samtidigt accepterar en högre grad av funktionsbortfall hos en individuell maskin, då det inte längre stoppar produktionen. Detta kan i sin tur leda till ökade kostnader i form av mer övertid, högre lagerhållningskostnader och reservdelskostnader. Detta är dock inget som kunnat påvisas i projektet. Kostnaderna för att åtgärda felen kvarstår dock även om produktionen fortgår. Åtgärder som överkapacitet, buffertkapacitet och redundans reducerar således bara konsekvensen av funktionsfel men inte underhållsbehovet. Åtgärderna innebär även dyrare investeringar. För att åstadkomma hög driftsäkerhet i processen är redundanta system ett dyrt alternativ som endast bör väljas när andra alternativ inte är tillräckligt bra eller av säkerhetsskäl. Några alternativ till redundanta system kan vara:

- Minimera feltiden genom förebyggande underhåll.
- Minimera nedtiden vid avhjälpande underhåll genom hög underhållsmässighet på utrustningen och hög underhållssäkerhet i organisationen.
- Installera viss överkapacitet eller buffertkapacitet för att kunna köra ikapp produktionsbortfall i samband med underhållsinsatser.
- Skapa möjlighet till alternativ behandling, t.ex. genom avtal med andra anläggningar.
- Arbeta med kvalitetskontroller och kvalitetshöjande åtgärder på substratet.

Omarbetning av rejektet kan vara ett sätt att ta tillvara på mer av det rötbara materialet och reducera mängderna rejekt. Tvättning av rejektet förekommer hos flera av anläggningarna. För effektiv tvätt används hetvatten som löser fett bättre. Tvättvattnet återförs till processen, ofta som späd-media i förbehandlingen. På vintern hjälper tvättvattnet till att tina inkommande material i förbehandlingen. På en anläggning kör man periodvis om rejektet i förbehandlingen för att reducera det rötbara materialet i det. Det uppges reducera rejektmängden men innebär också merkostnader i form av ökad förbehandlingskostnad för varje omarbetat ton.

Det finns anläggningar som, för att hantera bristande separation i förbehandlingen, har byggt om sina bufferttankar som de tömmer med några månaders intervall för att det inte ska ackumuleras för mycket material. På så vis kan de upprätthålla en tillfredsställande volymkapacitet, och därmed stabil metanproduktion, och samtidigt undvika uppbyggnad av alltför omfattande sedimenteringar som riskerar att förorsaka ett haveri. Lösningen innebär samtidigt ökade kostnader för underhåll i bufferttankarna, såsom tömningar.

Att sträva efter behovsstyrd produktion är generellt sett eftersträfvansvärt. I biogassammanhang är det dock svårt och ineffektivt att variera produktionen alltför mycket. Istället kan en styrning av behovet vara en väg att gå. Ett sätt för biogasproducenten att jämna ut efterfrågan på gas över veckan är att i samråd med stora kunder som bussbolag styra vilka tider och dagar som de tankar. Det kan vara värt mycket pengar att få en mer kontinuerlig avsättning med mindre fluktuationer i flödet då det minskar risken för överproduktion och reducerar behovet av gaslager.

5.1.5 Kostnader

Kostnaderna fördelar sig över produktionskedjan på ett sätt som erbjuder stor potential till kostnadsminskningar inom framförallt underhållet, hantering av rejekt i förbehandlingen och avsättning för biogödsel. Energianvändningen visar störst förbättringspotential i processerna hygienisering och rötning där merparten av energin används.

5.2 SLUTSATSER

En nyckelfråga för lönsamheten i biogasens produktionskedja är tillgången på substrat och avsättningsmöjligheterna för gasen och biogödsel. Osäkerheterna i gasaffären gör att man inte vågar satsa på investeringar utan tvingas köra med ineffektiva metoder och teknik och utnyttja endast en bråkdel av anläggningens kapacitet. Det är därför väldigt angeläget att öka kunskapen om biogassystemets nyckelfaktorer hos nationella och regionala politiker och beslutsfattare som har stor makt att påverka avsättningsmöjligheterna för fordonsgasen.

Projektet hade som mål att identifiera enskilda deltagande anläggningars förbättringspotential och möjliga åtgärder samt mer generella och branschgemensamma förbättringsområden. De teoretiska slutsatserna utifrån materialet visar på stora förbättringsmöjligheter, både för enskilda anläggningar och för branschen i stort. I resultatsammanställningen nedan, Tabell 8, relateras anläggningarna med sämst och bäst resultat inom respektive utvärderingsområde till varandra, vilket illustrerar de enskilda anläggningarnas förbättringspotential. För att illustrera branschgemensamma förbättringsområden jämförs medianvärdet med det bästa resultatet inom respektive utvärderingsområde.

Tabell 8. Sammanställning av teoretiska potentialer utifrån resultat av benchmarkingen.

Utvärderingsområde	Potential, enskild anläggning	Potential, bransch (median)
Produktionsökning, förbehandling	+ 380 %	+ 190 %
Produktionsökning, rötning	+ 450 %	+ 250 %
Produktionsökning, uppgradering	+ 400 %	+ 50 %
Kostnader, förbehandling	- 440 kr/ton	- 280 kr/ton
varav underhållskostnader	- 310 kr/ton	- 72 kr/ton

Utvärderingsområde	Potential, enskild anläggning	Potential, bransch (median)
Underhållskostnader hygienisering	-29 kr/ton	- 2 kr/ton
Energibehov hygieniseringen	- 42 kWh/ton	- 32 kWh/ton
Underhållskostnad, rötning	- 62 kr/ton	- 24 kr/ton
Underhållskostnad, uppgradering	- 0,31 kr/kWh rengas	- 0,07 kr/kWh rengas
Avsättningskostnad, biogödsel	- 63 kr/ton	- 43 kr/ton

De värden som anges i Tabell 8 är teoretiska potentialer utifrån underlaget i studien. I flera fall finns det förklaringar till de höga potentialerna för enskilda anläggningar, som t.ex. att man medvetet konstruerat funktioner med överkapacitet. Områden som uppvisar stora potentialer som medianvärde (exempelvis produktionsökning i rötning och kostnader i förbehandling) ger dock en viktig fingervisning om var det finns förbättringsmöjligheter i branschen och storleksordningen på potentialerna.

Under projektets gång har flera deltagande anläggningar vidtagit åtgärder i samband med diskussioner kring nyckeltal och potentialer, för att öka produktionen och/eller lönsamheten.

Det är i dagsläget inte fler innovationer som är det största omedelbara behovet i branschen, utan kompetenshöjning inom bl.a. produktionsuppföljning och underhållsekonomi hos anläggningarna samt underhållsmässighet och tillförlitlighet hos teknikleverantörer. Resultatet av sådana satsningar kommer att ge underlag till relevanta och angelägna förbättringsåtgärder och innovationsbehov.

Samverkan mellan anläggningar som ingår i produktionskedjan för biogas och med teknikleverantörer kan inte nog framhållas. För att ett sådant arbete ska ge frukt krävs dock att man generellt blir mycket bättre på att analysera grundorsaker till uppkomna fel och brister. Man bör diskutera möjligheterna med att få garantier för MTBF eller MTTR när man köper utrustning. Det bör också vara möjligt att börja ställa krav på implementerad produktionsuppföljning som innefattar t.ex. TAK.

6 Förslag på fortsatt arbete

Flera av de nyckeltal som definierats är grundläggande i konventionella produktionsuppföljningssystem inom industrin. Det gäller i första hand TAK, MTTF, MTTR, MWT och FU/AU/RCA. Dessa kan med fördel fortsätta att mätas på anläggningar. För implementering av effektiva produktionsuppföljningssystem eller enskilda nyckeltal behövs det både ekonomiskt och kompetensmässigt stöd på anläggningarna.

Fortsatt benchmarking av en del nyckeltal skulle på sikt erbjuda mer kunskap om fördelar och nackdelar med olika tekniker och arbetssätt. För att detta ska vara effektivt krävs en större förankring i branschen avseende definitioner och tillvägagångssätt, något som man i projektet bara delvis lyckades få till. Denna rapport kan dock utgöra ett beprövat underlag till en sådan process. Ett sätt att förenkla processen kan vara att inkludera vissa nyckeltal till Avfall Sveriges statistikdatabas AvfallWeb².

Ökad samverkan mellan anläggningarna och deras teknikleverantörer behövs för att åstadkomma förbättrade egenskaper och funktionalitet i produktionen. För att ett sådant arbete ska bära frukt krävs dock generellt att man blir bättre på att analysera grundorsaker till uppkomna fel och brister.

Man bör diskutera möjligheterna att få garantier för MTTF eller MTTR när man köper en utrustning. Det bör också vara möjligt att börja ställa krav på att produktionsuppföljningssystem innefattar t.ex. TAK i samband med investeringar och nybyggnation, då detta redan finns i många andra branscher.

² www.avfallweb.se

7 Referenser

1. Energi och kostnadseffektiv biogasproduktion, 2013, Waste Refinery rapport 54
2. Vestman J., Liljemark S., Svensson M., Kostnadsbild för produktion och distribution av fordonsgas (2014), SGC Rapport 2014:296.
3. Svensk avfallshantering 2014
4. SS-EN 13306:2010, Svensk Standard
5. SS-EN 15341:2007, Svensk Standard
6. SSG 2001, Underhållseffektivitet, terminologi och nyckeltal
7. Hagberg L., Henriksson T., *Underhåll i Världsklass*, (2015). OEE Consultants AB.

Bilaga A Guide till benchmarking inom biogasproduktion

Denna guide beskriver den gemensamma modell av en biogasanläggning och dess funktioner som utgör grunden för benchmarkingen. Guiden beskriver även parametrar och nyckeltal som används för benchmarking. Till hjälp för insamling av data och för beräkningar av nyckeltalen finns en datamall i form av en Excelfil.

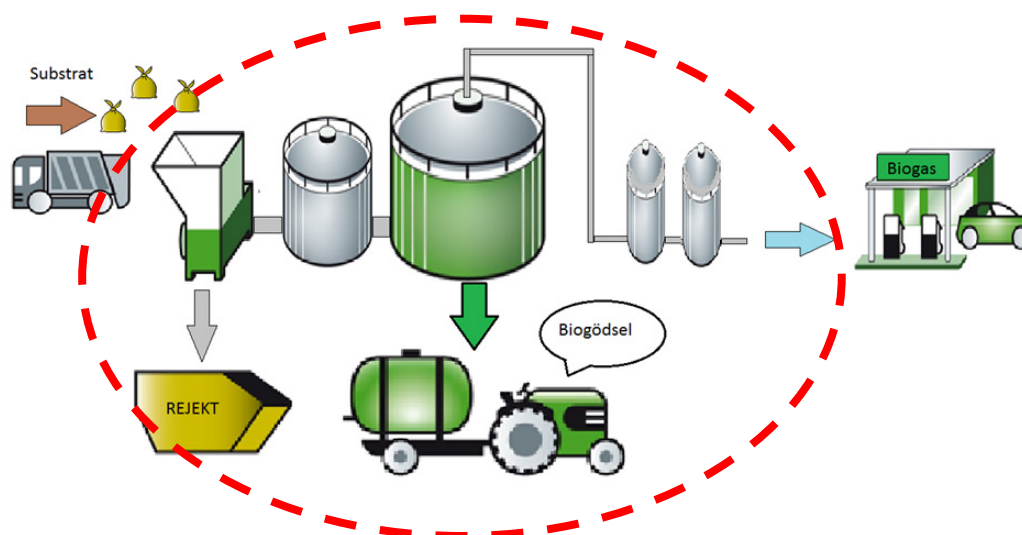
1. FUNKTIONELL INDELNING

Indelningen utgör den modell som ligger till grund för jämförelser mellan olika anläggningar. Syftet är att man vill kunna utföra relevanta jämförelser och analyser av olika delar av anläggningarna, på en rimlig och intressant detaljnivå.

Anläggningen delas in i ett antal generella funktionella delprocesser som i huvudsak utgörs av de maskiner och den utrustning som gemensamt används för att uppnå den specifika funktionen. Dessa funktioner angränsar alla till varandra och representerar tillsammans hela biogasanläggningen från mottagning av substrat till produktion av rengas och biogödsel.

Funktioner som ligger utanför studien är utrustning och logistik som har att göra med insamling av substrat och distribution av produktgas.

I de fall då en funktion på anläggningen avviker från modellens beskrivning och gränsdragningar är det viktigt att detta framkommer i underlaget. Antingen som kommentarer eller på annat sätt.



Totalt delas biogasanläggningen upp i följande funktioner:

- F1. Mottagning och förbehandling
- F2. Rejekthantering
- F3. Hygienisering
- F4. Rötning och rågasproduktion
- F5. Biogödselhantering
- F6. Uppgradering
- F7. Högtryckskomprimering
- F8. Luktreducering

Funktion 1 – Mottagning och förbehandling

Denna funktion omfattar utrustning för omhändertagande av inkommande substratströmmar så som tippvall, lastare och kranar, tippficka och matarskruvar för fast material, mottagningsutrustning och pumpar för flytande material, mottagningstankar med omrörare och pumpar.

Denna funktion omfattar även arbetet med rivning, krossning, separering eller annan bearbetning av substratet till en rötbar slurry. Detta omfattar all utrustning som krossar, maler, river och grovfördelar substrat samt separerar bort oönskat material (bl.a. plast, textil, metall och grus) med cykloner, silar, skruvpressar, magnetavskiljare eller genom sedimentering. Även utrustning som öppnar och separerar förpackningar samt bufferttankar för slurryn ingår i denna funktion.

Funktion 2 – Rejekthantering

Funktionen omfattar hanteringen av utseparerat material från förbehandlingen och eventuell utrustning som används för detta. Lagring, bortförsel och avgifter kopplat till eventuella rejektströmmar ingår således i denna funktion.

Funktion 3 – Hygienisering

Funktionen har syftet att hygienisera ABP-material enligt gällande lagstiftning. Vanligast är pastöriseringsmetoden vilket innebär att materialet hettas upp till 70 °C i en timma innan det rötas. Alternativa metoder finns dock.

Till hygieniseringen tillhör då värmeväxlare och tankar avsedda för att hygienisera material. Även pumpar, omrörare eller annan utrustning som installerats för hygieniseringsfunktionen ska inkluderas.

Funktion 4 – Rötning

Denna funktion omfattar rötning och den utrustning som installerats för dess funktions skull. Rötningen inkluderar bland annat hydrolystank, rötkammare, efterrötkammare, omrörare och pumpar för in- och utpumpning. Dock ska endast tankar och reaktorer som är anslutna till gassystemet ingå i denna funktion.

Funktionen omfattar även all utrustning och aktiviteter som har till syfte att hantera rågasen till användning (uppgradering, kraftvärme, gaspanna). Detta inkluderar bland annat gasklocka, gasfläktar, eventuella kylmaskiner och fackla.

Funktion 5 – Biogödselhantering

Biogödselhanteringen inkluderar utrustningar som biogödsellager med omrörare och pumpar. Även avsättningskostnaden för biogödseln inkluderas, dock ej eventuella kostnader för certifiering.

Funktion 6 – Uppgradering

Uppgraderingen är utrustning som syftar till att rena biogasen från koldioxid och andra oönskade komponenter för uppgradering till biometan (fordonsgas eller naturgaskvalitet). Uppgraderingsutrustning och utrustning för eventuell behandling eller destruering av restgasen, vilken påverkar metanutsläppen, inkluderas.

Funktion 7 – HT-komprimering

Kompressionen av rengas från uppgradering är en egen funktion. Fortsatt distribution av komprimerad gas inkluderas ej.

Funktion 8 – Luktreducering

Denna funktion omfattar all utrustning som har till syfte att minska luktproblem på anläggningen och i luften. Aktivt kolfilter, biofilter, andra typer av filter samt fläktar för lufttransport.

2. INSAMLING AV DATA

Till hjälp för datainsamling finns en datamall i form av en Excel-fil som tydligt visar vilken data som ska samlas in för respektive funktion.

Nedan följer en förklaring av respektive data som ska samlas in.

2.1 Allmänt

Denna kategori av data avser generell information om anläggningen.

2.1.1 Enhetskostnader

Här kan varje anläggning själv specificera egna enhetskostnader för personal, el, värme, etc. Datamallen är dock förfylld med generella schablonvärden.

2.1.2 Aktiv rötkammarvolym

Den totala aktiva rötkammarvolymen (m^3) som anläggningen utnyttjar ska här fyllas i. Endast reaktorer som är anslutna till gassystemet och således samlar upp producerad gas ska inkluderas.

Exempel: En anläggning har 2 rötkammare à 1500 m^3 som är anslutna till gassystemet vilket ger en total aktiv rötkammarvolym på 3000 m^3 .

2.2 Resurser

Denna kategori av data avser information om behovet av olika resurser för att driva processen.

2.2.1 Egen personal

Här avses antal personaltimmar per år som den egna anställda personalen lägger ner för drift respektive underhåll på respektive funktion.

Observera att det endast är personaltimmar som direkt kan kopplas till drift respektive underhåll av anläggningen. Det är upp till varje anläggning att själva göra bedömningen kring vad man anser vara driftarbete respektive underhållsarbete.

Att samla in dessa data upplevs ofta som en mycket svår uppgift men i datamallen visas även en summering av det totala antalet timmar vilket kan vara till hjälp när personaltimmar ska fördelas över alla funktioner. T.ex. har Anläggning X två stycken heltidsanställda i driften vilket motsvarar 3600 h (2×1800 h). Dessa timmar ska nu fördelas över alla aktuella funktioner och en bedömning ska även göras kring hur deras tid fördelas mellan arbete med den dagliga driften och med underhållsarbete. Ett bra tips kan vara att tänka i procentsatser vid fördelningen, t.ex. hur stor del av den totala tiden läggs ner på driftarbete respektive underhållsarbete?

2.2.2 Extern personal

Här ska alla kostnader för inhyrd personal ingå. På samma sätt som med egen personal ska kostnaderna för inhyrd personal allokeras till respektive funktion samt om arbetet kan klassas som driftarbete eller underhållsarbete.

Denna kostnad bör lämpligtvis beräknas genom att sammanställa fakturor för den aktuella perioden.

2.2.3 Reservdelar

Alla kostnader för reservdelar för respektive funktion ska samlas in. Detta görs lämpligtvis genom att sammanställa fakturor för den aktuella perioden. Det är upp till respektive anläggning att göra bedömningen huruvida en större och sällan förekommande reservdelskostnad bör fördelas över flera år.

2.2.4 Avskrivningar

Avskrivningskostnaden för respektive funktion ska här fyllas i som kronor per år. Detta ska i princip motsvara det minskade värdet på anläggningen och beräknas vanligtvis med annuitetsmetoden med hjälp av kalkylränta och livslängd.

Då olika organisationer har olika syn på avskrivningskostnader, är det upp till respektive anläggning att själv beräkna avskrivningskostnaden och sedan fylla i den i datamallen.

Exempel: Investeringskostnaden för hygienisering bedöms till 10 Mkr. Kalkylräntan sätts till 5% och avskrivningstiden (ska vanligtvis kunna relateras till bedömd livslängd) till 10 år. Avskrivningskostnaden enligt annuitetsmetoden blir då ca 1 295 000 kr/år.

2.2.5 Förbrukningsmedia

Data för all förbrukningsmedia för respektive funktion ska samlas in. Följande typer av "förbrukningsmedia" har i projektet definierats:

- Processvatten. Här ska antal m³ vatten som förbrukas inom respektive funktion specificeras. Det spelar ingen roll om vattnet kommer från det kommunala nätet (dvs dricksvatten) eller från någon annan källa eller vattendrag.
- Elektricitet. Antal kWh/år för respektive funktion ska samlas in. I första hand ska uppmätta värden användas och i andra hand kan en bedömning utifrån t.ex. märkeffekt, belastning och drifttimmar på utrustning inom funktionen användas.
- Värme. Antal kWh/år värme för respektive funktion ska samlas in. Värme som används för uppvärmning av processhallar, personalbyggnad, etc allokeras till Funktion 1 – Mottagning och förbehandling.
- Ånga. Antal ton ånga som årligen förbrukas ska sammanställas för respektive funktion.
- Övriga processhjälpmedel. Alla övriga processhjälpmedel och processtillätsmedel ska sammanställas och fördelas på respektive funktion. Exempel på detta kan vara järnklorid, polymer, skumdämpare, olja och smörjmedel, desinficeringsmedel, etc. Denna kostnad sammanställs lämpligtvis genom en fakturagenomgång.

2.2.6 Avsättning

Kostnader förknippade med avsättning av rejekt respektive biogödsel ska rapporteras som årlig kostnad och inkluderar t.ex. avgifter och transporter som anläggningen får betala.

2.3 Flöden

För att kunna relatera mängden förbrukade resurser till någonting relevant, ska data kring flöden genom anläggningen samlas in.

2.3.1 Mottagen mängd substrat

Mängden (ton/år) substrat som tas emot till anläggningen ska rapporteras in. Det är uppmätta mängder våtvikt som gäller. Substrat kan klassificeras som:

1. Fast (t.ex. källsorterat matavfall)
2. Flytande (t.ex. matavfallslurry eller flytgödsel)
3. Förpackningar (t.ex. förpackad yoghurt, smör, grönsaker, mm)

I datamallen visas en summering av den totala mängden substrat som tas emot.

2.3.2 Behandlad mängd

Mängden substrat som behandlas i anläggningen ska rapporteras i ton per år. Detta utgör inflödet till funktionen.

För-ifyllda fält kan ändras manuellt om de beräknade värdena inte stämmer.

Exempel: Anläggning X tar emot 20 000 årston, varav 15 000 ton utgörs av källsorterat hushållsavfall som förbehandlas och 5000 ton utgörs av en flytande fraktion som går direkt till buffertank innan hygienisering. Behandlad mängd substrat i förbehandlingen är då 15 000 ton/år.

2.3.3 Producerad mängd

Mängden substrat som produceras i anläggningen ska rapporteras i ton per år. Producerad mängd substrat utgör hela eller delar av utflödet från funktionen. Det mäts ofta i m³ slurry eller som ton över våg.

Vissa fält är för-ifyllda men kan manuellt ändras om värdena inte stämmer.

2.3.4 TS-halt på producerad slurry

Här ifylls årsmedelvärdet på TS-halten, som procent av producerad slurry ut från funktionen.

2.3.5 Organisk belastning i rötkammare

Den organiska belastningen på rötningen ska rapporteras i kg VS/m³ och dag.

2.3.6 Rejekt

Här samlas data om mängden rejekt som uppstår i processerna. Det rapporteras som ton per år. Ange om möjligt andelen organiskt innehåll för beräkning av förlust av rötbart material.

2.3.7 Behandlad mängd luft

Här ska data om mängden luft, m³/år som omhändertas för luktreduktion fyllas i.

2.3.8 Behandlad mängd gas

Här rapporteras mängden rågas respektive rengas som inflöden till uppgradering och komprimering, omräknat till normalkubikmeter.

Värdena är för-ifyllda men kan ändras manuellt om värdena inte stämmer.

2.3.9 Producerad mängd gas

Här anges den årliga mängden producerad gas från respektive funktion omräknat till normalkubikmeter. Såväl metanhalt som gastryck ska anges.

Korrigerade förifyllda värden vid behov.

2.3.10 Facklad gas

Ange mängden facklad biogas i normalkubikmeter per år.

2.3.11 Metanförluster

Metanförluster i form av systematiska förluster samt läckage ska rapporteras. Ange genomsnittlig metanförlust före eventuell destruktionsutrustning på uppgraderingen.

Ange även mängden diffusa metanförluster på grund av läckage i respektive funktion. Skriv gärna i kommentar om värdena är uppmätta eller antagna.

2.4 Analyser

Detta har lyfts bort ur mallen.

2.5 Kapacitet och Tillgänglighet

2.5.1 Kapacitet

Här samlas data för den specifika funktionens kapacitet att ta emot och behandla material. Kapaciteten anges som den högsta produktion/flöde som utrustningen är specificerad för alternativt förväntas kunna uppbåda utifrån relevanta antaganden.

I första hand bör man använda sig av egen uppmätt kapacitet i de fall detta har varit möjligt att testa på anläggningen. Det är särskilt viktigt om utrustningen eller förutsättningarna har modifierats efter installation, t.ex. förändringar i typ av substrat eller vattenförbrukning. I annat fall får man förlita sig till leverantörens specifikation.

I förbehandlingen anges kapaciteten som inmatad mängd substrat per timma. I rötningen anges kapaciteten som inmatad mängd substrat per dag. I uppgraderingen och komprimeringen anges kapaciteten som kubikmeter gas in per timma.

2.5.2 Schemalagd produktionstid

Schemalagd produktionstid är antalet timmar som funktionen planerats vara i drift. En annan benämning är "planerad drifttid". Det inkluderar alltså även produktion som sker på övertid.

2.5.3 Stopptid

Stopptid är tid under schemalagd produktionstid som funktionen står stilla. Stopptiden bör kategoriseras som underhållsstopp (förebyggande och avhjälpande underhåll på utrustningen) respektive övriga stopp.

Underhållsstopp utgörs av alla stopp orsakade av underhållsaktiviteter på aktuell funktion, vare sig de är planerade eller oplanerade, förebyggande eller avhjälpande insatser. Underhåll som utförs utanför schemalagd produktionstid räknas dock inte som stopptid.

Övrig stopptid utgörs av produktionsstopp som inte kategoriseras som underhållsstopp. Det är alltså all annan stopptid.

Exempel: Anläggning X har under året haft 170 timmar stillestånd under planerad drift som orsakats av någon form av funktionsfel, med en underhållsinsats till följd. Den har även stått still sammanlagt 30 timmar på grund av materialbrist. Total stopptid summeras därför till 200 timmar av schemalagd drifttid.

2.5.4 Driftstörningar

Här kan antalet driftstörningar per vecka rapporteras för respektive funktion. Det är även av värde att försöka kategorisera driftstörningen avseende om det orsakades av tekniskt fel eller brister i handhavande. Driftstörningar som är kortare än 1 minut exkluderas från statistiken, för att få någon slags likformighet för jämförelser mellan anläggningarna. Registreras ändå dessa kortare stopp, < 1 minut, kan de istället omnämnas och kvantifieras i en kommentar.

2.5.5 Underhåll

Här rapporteras antalet timmar av förebyggande underhåll, avhjälpande underhåll samt felorsaksanalys som utförs inom respektive funktion. Det omfattar såväl underhåll under och utanför schemalagd produktionstid.

3. NYCKELTAL

3.1 Allmänt

Ett antal primärenergifaktorer används för att kunna beräkna några nyckeltal som har till uppgift att visa på den totala energianvändningen.

Ett normaliserat sluttryck för uppgraderad gas används för att jämföra uppgraderingar oberoende olika utgångstryck på den renade gasen.

3.2 Behandlingskostnad

Nyckeltal för behandlingskostnaden beräknas för respektive funktion. Behandlingskostnaden är alla kostnader för en funktion divideras med flödet in till aktuell funktion.

En alternativ behandlingskostnad beräknas även där kostnaderna divideras med mängden substrat anläggningen tagit emot.

3.3 Produktionskostnad

Produktionskostnad är ett alternativt nyckeltal till behandlingskostnaden och kan vara ett mer relevant för de funktioner som ger en produkt med ett tydligt försäljningsvärde.

Produktionskostnaden är alla kostnader för en funktion divideras med flödet ut från funktionen.

Produktionskostnad biogödsel

Kostnaden för en funktion divideras med producerad mängd biogödsel.

Produktionskostnad rågas

Kostnaden för en funktion dividerat med producerad mängd metan före fackling.

Ett alternativ beräknas också där kostnader för en funktion divideras med energiinnehållet i producerad rågasmängd efter fackling.

3.4 Underhållskostnad

Underhållskostnaden är en delmängd av behandlingskostnaden. Den beräknas som underhållskostnader för intern- och extern personal samt reservdelskostnader dividerat med flödet in till aktuell funktion.

3.5 Kapitalkostnad

Kapitalkostnad är en delmängd av behandlingskostnaden. Den beräknas som avskrivningskostnader dividerat med flödet in till aktuell funktion.

3.6 Energikostnad

Energikostnad är en delmängd av behandlingskostnaden. Den beräknas som avskrivningskostnader dividerat med flödet in till aktuell funktion.

Även nyckeltal som visar på det totala energibehovet per behandlad enhet beräknas.

3.7 Avsättningskostnader

Avsättningskostnad är en delmängd av behandlingskostnaden. Den beräknas som avsättningskostnad genom flöde in till funktionen.

3.8 Driftstörningar

Här listas antalet driftstörningar per vecka. Detta för att ge en indikation om vilka funktioner som utmärker sig vad gäller driftstörningar.

3.9 Analyser

Dessa nyckeltal har exkluderats ur guiden.

3.10 Effektivitet*Tillgänglighet*

Detta nyckeltal beskriver hur stor andel av den schemalagda tiden (planerad drifttid) som anläggningen har producerat. Tillgängligheten beräknas som kvoten av producerad tid och schemalagd tid där den producerade tiden utgörs av schemalagd tid minus stopptid. Produktion på övertid är också schemalagd.

Tillgängligheten kan aldrig bli högre än 100 %. Hög automatiseringsgrad kan ge mycket hög tillgänglighet.

$$T = \frac{t_{planerad} - t_{stopp}}{t_{planerad}}$$

Anläggningsutnyttjande

Anläggningsutnyttjande (eller anläggningsutbyte) är ett mått på hur effektiv anläggningen är när den är i drift och producerar. Nyckeltalet beräknas som kvoten av verklig produktion och teoretisk produktion (maximal produktion). Den teoretiska produktionen beräknas i sin tur av den tillgängliga produktionstiden och utrustningens kapacitet (maximal kapacitet). I samtliga funktioner utgår man istället ifrån behandlad mängd då det är den vanligaste parametern för kapacitetsangivelse på utrustningen.

$$A = \frac{\text{behandlad mängd}}{\text{kapacitet} \times (t_{planerad} - t_{stopp})}$$

Anläggningsutnyttjande mäter påverkan från mikrostopp, störningar och reducerad produktionshastighet (behandlingshastighet) och kan betraktas som ett nyckeltal på organisationens förmåga att utnyttja anläggningen den tid den är tillgänglig.

Kvalitetsutbyte

Kvalitetsförluster utgörs av producerat material som av olika skäl kasseras. På en biogasanläggning kasseras material framförallt i förbehandlingen, efter gasproduktionen och ibland i biogödselhanteringen. Kvalitetsutbytet beräknas som kvoten av godkänd mängd och producerad mängd.

I förbehandlingen (F1) beräknas kvalitetsutbytet som producerad mängd slurry dividerat med behandlad mängd substrat inklusive tillsatt spädmedia. Rejektet betraktas därmed som kasserat material. Det omfattar även rejekt som tas ut från bufferttankar eller andra delar av processen.

$$K_{F1} = \frac{\text{behandlad mängd} - \text{rejekt}}{\text{behandlad mängd}}$$

I rötchkammaren (F4) utgör mängden facklad gas kasserad produkt i funktionen rötning.

$$K_{F4} = \frac{\text{producerad mängd gas} - \text{facklad gas}}{\text{producerad mängd gas}}$$

I uppgraderingen (F6) utgör mängden metan i restgasen samt metanläckage kasserad produkt.

$$K_{F6} = \frac{\text{metan in} - \text{restgas} - \text{läckage}}{\text{metan in}}$$

Totaleffektivitet, TAK

Totaleffektiviteten är ett mått på funktionens förmåga att prestera i enlighet med specifikation. Den beräknas som produkten av tillgängligheten, anläggningsutnyttjandet och kvalitetsutbytet.

3.11 Produktivitet

Dessa nyckeltal beräknas för att beskriva hur mycket metan som produceras per aktiv rötkammarvolym och dag samt hur mycket metan som produceras per ton inkommande substrat.

Arbetsproduktivitet beskriver produktionen av metan respektive slurry per arbetad timma.

3.12 Förluster*Metanförlust vid uppgradering*

Metanförlusten vid uppgradering har ofta ett direkt samband med energiinstasen i processen varför det är intressant att jämföra detta. Metanförlusten redovisas som en kvot av producerad mängd rågas in till uppgraderingen.

Förluster vid gasproduktion

Fackling utgör en direkt förlust av producerad gas.

3.13 Driftkostnader personal

Kostnader för egen driftpersonal samt inhyrd driftpersonal är en delmängd av behandlingskostnaden. Den beräknas som summan av driftpersonalkostnader dividerat med flödet in till aktuell funktion.

3.14 Övriga driftkostnader

Övriga kostnader är en delmängd av behandlingskostnaden som omfattar främst vatten och kemikalier. Den beräknas som summan av övriga kostnader dividerat med flödet in till aktuell funktion.

3.15 Energieffektivitet

Energieffektiviteten beräknas som använd primärenergi dividerat med flödet in till aktuell funktion.

Verkningsgrad beräknas för uppgraderingen som energi ut dividerat med energi in.

Energibehovet beräknas som använd primärenergi dividerat med mottagen mängd substrat in till anläggningen.

3.16 Produktion

Produktionen från förbehandlingen (slurry) och rötningen (metan) relateras till mottagen mängd substrat in till anläggningen.

Produktionen i rötningen relateras även till mängden torrsbstans in till rötningen.

3.17 Underhållsparametrar

MTTF är genomsnittlig "upptid". Det beräknas som producerad tid dividerat med antalet stopp.

MTTR + MWT är genomsnittlig "nedtid" och omfattar reparationstid och väntetid. Det beräknas som stopptid dividerat med antalet stopp.

3.18 Vattenbehov

Använd mängd vatten i förbehandlingen divideras med mottagen behandlad mängd substrat.

3.19 Arbetsbehov

Antalet timmar för driftpersonal i förbehandlingen divideras med behandlad mängd substrat.

Bilaga B Nyckeltal och värden i förbehandlingen (F1)

Nyckeltal	Enhet	KPI #		Max	Min	Medel	Median	n
Behandlingskostnad flytande	kr/ton v.v.	39	2014	513	223	360	351	6
			2015	425	127	330	371	5
Produktionskostnad flytande	kr/ton ts	45	2014	5 342	1 104	2 167	1 611	6
			2015	2 515	1 026	1 732	1 819	5
Underhållskostnad	kr/ton v.v.	50	2014	280	75	148	129	6
			2015	256	44	140	115	5
- därav reservdelar	kr/ton v.v.	51	2014	115	57	77	67	6
			2015	101	27	61	66	5
Kapitalkostnad	kr/ton v.v.	58	2014	244	2	98	78	5
			2015	136	8	79	100	5
Energikostnad	kr/ton v.v.	63	2014	61	6	29	23	5
			2015	61	7	32	35	5
Energieffektivitet	kWh/ton v.v.	65	2014	100	11	48	42	5
			2015	91	15	53	53	5
Tekniska fel	antal/år	73	2014	200	20	83	69	5
			2015	200	4	92	48	5
Handhavandefel	antal/år	74	2014	30	0	10	5	5
			2015	6	0	4	5	5
Totalt antal fel	antal/år	75	2014	205	30	93	69	5
			2015	205	10	96	52	5
Tillgänglighet	%	88	2014	100%	70%	89%	92%	6
			2015	100%	82%	93%	94%	5
Anläggningsutnyttjande	%	89	2014	99%	22%	62%	66%	6
			2015	87%	25%	55%	44%	5
Kvalitetsutbyte	%	90	2014	88%	62%	80%	84%	6
			2015	93%	67%	82%	82%	5
TAK	%	91	2014	76%	13%	43%	46%	6
			2015	75%	20%	41%	39%	5
Driftkostnad personal	kr/ton v.v.	107	2014	142	42	70	50	6
			2015	110	23	60	51	5
Övriga kostnader	kr/ton v.v.	109	2014	169	3	36	9	6
			2015	38	3	18	13	5
Behandlingskostnad per ton mottaget	kr/ton ö.v.	113	2014	513	223	360	351	6
			2015	425	127	330	371	5
Produktionskostnad per kWh rågas	kr/kWh rågas	116	2014	0,49	0,33	0,39	0,37	5
			2015	1,03	0,19	0,44	0,35	5
Energiebehov (primärenergi/ton)	kWh/ton ö.v.	119	2014	100	11	48	42	5
			2015	91	15	53	53	5
Produktion förbehandling	m3 slurry/ton v.v.	121	2014	2,1	0,8	1,3	1,2	6
			2015	2,4	0,8	1,7	1,8	5
MTTF	timmar	127	2014	69	12	43	52	5
			2015	340	10	113	68	5
MTTR + MWT	timmar	128	2014	11	0	5	5	5
			2015	25	0	8	1	5
Vatten	l/ton v.v.	137	2014	1 259	139	556	371	5
			2015	1 445	350	914	975	5
Arbetsbehov (driftpersonal)	timmar/ton v.v.	143	2014	0,51	0,10	0,24	0,17	6
			2015	0,41	0,08	0,20	0,16	5
Produktionskostnad slurry	kr/m3 slurry	146	2014	577	162	316	268	6
			2015	259	135	199	195	5

Bilaga C Nyckeltal och värden i rejekthanteringen (F2)

Nyckeltal	Enhet	KPI #		Max	Min	Medel	Median	n
Behandlingskostnad flytande	kr/ton v.v.	39	2014	1 893	64	712	609	6
			2015	1 484	381	820	880	5
Underhållskostnad	kr/ton v.v.	50	2014	611	-	185	114	6
			2015	541	-	153	59	5
- därav reservdelar	kr/ton v.v.	51	2014	393	-	123	81	6
			2015	379	-	99	29	5
Kapitalkostnad	kr/ton v.v.	58	2014	113	-	19	-	6
			2015	564	-	156	102	5
Energi kostnad	kr/ton v.v.	63	2014	3	-	1	-	5
			2015	26	-	6	-	5
Energi effektivitet	kWh/ton v.v.	65	2014	5,8	-	1,2	-	5
			2015	39	-	8,9	-	5
Avsättningskostnad	kr/ton v.v.	70	2014	1 076	-	433	380	6
			2015	843	240	439	336	5
Tekniska fel	antal/år	73	2014	52	2	16	5	5
			2015	26	0	11	5	5
Handhavandefel	antal/år	74	2014	15	0	6	3	5
			2015	30	0	7	0	5
Totalt antal fel	antal/år	75	2014	52	8	21	14	5
			2015	55	0	18	8	5
Rejekt	% av mottaget	103	2014	38%	12%	20%	16%	6
			2015	33%	7%	18%	18%	5
Driftkostnad personal	kr/ton v.v.	107	2014	102	-	45	47	6
			2015	187	12	66	25	5
Övriga kostnader	kr/ton v.v.	109	2014	175	-	29	-	6
			2015	4	-	1	-	5
Behandlingskostnad per ton mottaget	kr/ton ö.v.	113	2014	262	11	106	90	6
			2015	262	31	146	125	5
Produktionskostnad per kWh rågas	kr/kWh rågas	116	2014	0,26	0,01	0,12	0,11	5
			2015	0,63	0,02	0,24	0,18	5
Energi behov (primärenergi/ton)	kWh/ton ö.v.	119	2014	0,67	-	0,13	-	5
			2015	7,0	-	1,5	-	5
Produktionskostnad slurry	kr/ton v.v.	146	2014	304	5	103	68	6
			2015	165	13	100	102	5

Bilaga D Nyckeltal och värden i hygieniseringen (F3)

Nyckeltal	Enhet	KPI #		Max	Min	Medel	Median	n
Behandlingskostnad flytande	kr/ton v.v.	39	2014	81	13	49	50	4
			2015	94	13	52	47	5
Underhållskostnad	kr/ton v.v.	50	2014	24	1	13	13	4
			2015	30	1	9	3	5
- därav reservdelar	kr/ton v.v.	51	2014	10	0	5	4	4
			2015	14	-	4	1	5
Kapitalkostnad	kr/ton v.v.	58	2014	8	-	4	4	3
			2015	55	-	22	16	5
Energikostnad	kr/ton v.v.	63	2014	37	5	21	20	3
			2015	39	6	20	18	4
Energieffektivitet	kWh/ton v.v.	65	2014	65	23	51	64	3
			2015	68	26	52	58	4
Tekniska fel	antal	73	2014	52	10	25	12	3
			2015	26	5	11	6	5
Handhavandefel	antal	74	2014	5	0	2	2	3
			2015	2	0	0	0	5
Totalt antal fel	antal	75	2014	57	10	27	14	3
			2015	26	5	11	6	5
Driftkostnad personal	kr/ton v.v.	107	2014	11	1	5	4	4
			2015	10	1	5	5	5
Övriga kostnader	kr/ton v.v.	109	2014	49	-	12	-	4
			2015	0	-	0	-	5
Behandlingskostnad per ton mottaget	kr/ton ö.v.	113	2014	125	13	64	58	4
			2015	150	13	83	60	5
Produktionskostnad per kWh rågas	kr/kWh rågas	116	2014	0,14	0,04	0,07	0,06	4
			2015	0,36	0,03	0,13	0,09	5
Energiebehov (primärenergi/ton)	kWh/ton ö.v.	119	2014	136	23	86	99	3
			2015	158	26	94	97	4
Produktionskostnad Biogödsel	kr/ton biogödsel	147	2014	81	13	39	24	3
			2015	103	14	54	47	5
Produktionskostnad rågas	kr/Nm3 CH4 rågasmängd	148	2014	1,3	0,35	0,69	0,56	4
			2015	1,6	0,31	1,0	0,86	5

Bilaga E Nyckeltal och värden i rötningen (F4)

Nyckeltal	Enhet	KPI #		Max	Min	Medel	Median	n
Behandlingskostnad flytande	kr/ton v.v.	39	2014	323	69	123	87	6
			2015	215	46	100	90	6
Produktionskostnad gas	kr/kWh	46	2014	0,57	0,060	0,21	0,15	6
			2015	0,40	0,10	0,19	0,17	6
Underhållskostnad	kr/ton v.v.	50	2014	86	18	45	36	6
			2015	68	6	32	30	6
- därav reservdelar	kr/ton v.v.	51	2014	49	9	23	19	6
			2015	22	0	10	10	6
Underhållskostnad	kr/kWh	53	2014	0,13	0,02	0,07	0,07	6
			2015	0,13	0,01	0,06	0,06	6
därav reservdelar	kr/kWh	54	2014	0,09	0,01	0,04	0,03	6
			2015	0,03	0,00	0,02	0,02	6
Kapitalkostnad	kr/ton v.v.	58	2014	97	10	38	23	4
			2015	53	-	29	32	5
Energikostnad	kr/ton v.v.	63	2014	93	8	33	11	5
			2015	79	2	28	11	6
Energieffektivitet	kWh/ton v.v.	65	2014	138	16	62	47	6
			2015	119	4	49	25	6
Tekniska fel	antal/år	73	2014	30	2	17	19	6
			2015	25	1	9	2	5
Handhavandefel	antal/år	74	2014	10	2	5	5	6
			2015	10	0	2	0	5
Totalt antal fel	antal/år	75	2014	35	7	22	24	6
			2015	35	1	11	2	5
Org. Belastning	kgVS/(m³·d)	84	2014	4,5	0,6	2,8	3,3	7
			2015	3,6	1,8	3,0	3,3	4
Tillgänglighet	%	88	2014	100%	98%	99%	100%	7
			2015	100%	97%	99%	100%	6
Anläggningsutnyttjande	%	98	2014	100%	29%	64%	57%	7
			2015	100%	31%	64%	60%	6
Kvalitetsutbyte	%	90	2014	100%	12%	85%	97%	7
			2015	98%	44%	81%	91%	6
TAK	%	91	2014	98%	3%	57%	54%	7
			2015	96%	21%	51%	38%	6
Produktivitet röttningskammare	Nm³ CH₄/(m³·d)	93	2014	2,0	0,7	1,4	1,3	7
			2015	1,8	0,8	1,2	1,2	6
Produktionsutbyte	Nm³ CH₄/ton	94	2014	140	36	87	98	7
			2015	115	42	86	97	6
Fackling av gas	% av rågas	102	2014	88%	0,2%	18%	4,1%	6
			2015	56%	1,7%	19%	9,0%	6
Driftkostnad personal	kr/ton v.v.	107	2014	53	0	22	15	6
			2015	29	0	14	14	6
Övriga kostnader	kr/ton v.v.	109	2014	7	-	4	4	5
			2015	6	-	2	2	6
Behandlingskostnad per ton mottaget	kr/ton ö.v.	113	2014	352	84	152	111	6
			2015	220	82	146	137	6
Produktionskostnad per kWh rågas	kr/kWh rågas	116	2014	0,57	0,06	0,21	0,16	6
			2015	0,44	0,07	0,23	0,18	6
Energibehov (primärenergi/ton)	kWh/ton ö.v.	119	2014	150	28	75	36	5
			2015	195	7	71	36	6
Produktion rötning	Nm³ CH₄/ton v.v.	122	2014	119	37	70	57	7
			2015	64	42	52	52	6
Produktivitet rötning	Nm³ CH₄/ton ts	123	2014	1 459	341	593	472	7
			2015	726	401	500	466	6
MTBF	timmar	127	2014	1 247	245	618	440	6
			2015	8 638	250	3 628	4 362	5
MTTR + MWT	timmar	128	2014	6	2	4	5	5
			2015	62	1	21	12	4
Produktionskostnad Biogödsel	kr/ton biogödsel	147	2014	323	69	129	85	5
			2015	215	50	103	92	6
Produktionskostnad rågas	kr/Nm³ CH₄ rågasmängd	148	2014	6	1	2	1	6
			2015	4	1	2	2	6

Bilaga F Nyckeltal och värden i biogödselhanteringen (F5)

Nyckeltal	Enhet	KPI #		Max	Min	Medel	Median	n
Behandlingskostnad flytande	kr/ton v.v.	39	2014	423	43	154	107	5
			2015	110	39	85	98	5
- därav reservdelar	kr/ton v.v.	51	2014	5,4	-	2,0	1,6	5
			2015	1,2	-	0,2	-	5
Kapitalkostnad	kr/ton v.v.	58	2014	12	-	5,4	4,8	4
			2015	36	-	9,3	2,2	5
Energikostnad	kr/ton v.v.	63	2014	1,6	-	0,5	0,2	4
			2015	1,7	-	0,5	-	5
Energieffektivitet	kWh/ton v.v.	65	2014	3,0	-	1,0	0,5	4
			2015	3,2	-	0,9	-	5
Avsättningskostnad	kr/ton v.v.	70	2014	289	36	119	90	5
			2015	98	35	73	78	5
Tekniska fel	antal/år	73	2014	10	0	3	1	4
			2015	10	0	3	1	5
Handhavandefel	antal/år	74	2014	0	0	0	0	4
			2015	0	0	0	0	5
Totalt antal fel	antal/år	75	2014	10	0	3	1	4
			2015	10	0	3	1	5
Driftkostnad personal	kr/ton v.v.	107	2014	31	-	6,6	0,1	5
			2015	1,9	-	0,4	-	5
Övriga kostnader	kr/ton v.v.	109	2014	-	-	-	-	5
			2015	-	-	-	-	5
Behandlingskostnad per ton mottaget	kr/ton ö.v.	113	2014	365	43	175	166	5
			2015	186	37	119	120	5
Produktionskostnad per kWh rågas	kr/kWh rågas	116	2014	0,36	0,12	0,21	0,19	5
			2015	0,20	0,09	0,13	0,11	5
Energibehov (primärenergi/ton)	kWh/ton ö.v.	119	2014	4,7	-	1,4	0,5	4
			2015	4,6	-	1,5	-	5
Produktionskostnad Biogödsel	kr/ton biogödsel	147	2014	108	43	86	97	4
			2015	110	39	85	98	5

Bilaga G Nyckeltal och värden i uppgraderingen (F6)

Nyckeltal	Enhet	KPI #		Max	Min	Medel	Median	n
Behandlingskostnad gas	kr/kWh gas	40	2014	0,68	0,18	0,35	0,18	3
			2015	1,19	0,09	0,49	0,19	4
Produktionskostnad gas	kr/kWh gas	46	2014	0,69	0,21	0,37	0,23	4
			2015	1,22	0,11	0,58	0,49	4
Underhållskostnad	kr/kWh gas	53	2014	0,34	0,04	0,18	0,16	5
			2015	0,35	0,04	0,15	0,11	4
- därav reservdelar	kr/kWh gas	54	2014	0,19	0,01	0,08	0,07	5
			2015	0,13	0,01	0,05	0,03	4
Kapitalkostnad	kr/kWh gas	59	2014	0,32	-	0,15	0,13	4
			2015	0,41	0,02	0,23	0,24	4
Energi kostnad	kr/kWh gas	64	2014	0,11	0,04	0,07	0,08	3
			2015	0,10	0,04	0,06	0,05	4
Energieffektivitet	kWh/kWh gas	66	2014	0,19	0,08	0,15	0,18	3
			2015	0,22	0,07	0,12	0,07	4
Verkningsgrad	%	67	2014	84%	11%	61%	75%	4
			2015	91%	80%	84%	82%	4
Tekniska fel	antal	73	2014	52	20	34	30	4
			2015	30	5	16	14	4
Handhavandefel	antal	74	2014	5	1	3	3	4
			2015	5	2	4	4	4
Totalt antal fel	antal	75	2014	53	23	37	35	4
			2015	35	7	19	18	4
Tillgänglighet	%	88	2014	100%	31%	83%	100%	5
			2015	100%	75%	93%	99%	4
Anläggningsutnyttjande	%	89	2014	63%	34%	48%	48%	4
			2015	69%	23%	45%	45%	4
Kvalitetsutbyte	%	90	2014	99%	87%	95%	98%	3
			2015	99%	98%	98%	98%	4
TAK	%	91	2014	47%	19%	35%	40%	3
			2015	68%	17%	43%	44%	4
Produktionsutbyte	Nm3 CH4/ton v.v.	94	2014	90	11	46	42	5
			2015	149	10	67	56	4
Metanförluster vid uppgradering	% av ingående	101	2014	13%	1,0%	5,4%	2,0%	3
			2015	2,0%	0,9%	1,5%	1,7%	4
Driftkostnad personal	kr/kWh gas	108	2014	0,10	-	0,04	0,03	5
			2015	0,30	-	0,08	0,01	4
Övriga kostnader	kr/kWh gas	110	2014	0,00	-	0,00	0,00	5
			2015	0,17	-	0,06	0,04	4
Behandlingskostnad per ton mottaget	kr/ton ö.v.	113	2014	183	77	141	163	4
			2015	182	118	149	148	4
Produktionskostnad per kWh rågas	kr/kWh rågas	116	2014	0,18	0,13	0,16	0,18	4
			2015	0,21	0,09	0,15	0,15	4
Energi behov (primärenergi/ton)	kWh/ton ö.v.	119	2014	160	21	80	59	3
			2015	102	21	63	66	4
MTBF	timmar	127	2014	249	113	175	164	4
			2015	1 242	249	598	451	4
MTTR + MWT	timmar	128	2014	294	0	98	1	4
			2015	110	1	30	5	4
Produktionskostnad rengas	kr/Nm3 CH4 rengasmängd	149	2014	6,9	2,0	3,9	3,3	5
			2015	12	1,1	5,7	4,9	4

Bilaga H Nyckeltal och värden i högtryckskomprimeringen (F7)

Nyckeltal	Enhet	KPI #		Max	Min	Medel	Median	n
Behandlingskostnad gas	kr/kWh gas	40	2014	0,13	0,03	0,09	0,10	3
			2015	2,92	0,05	0,73	0,14	5
Produktionskostnad gas	kr/kWh rengas	46	2014	0,13	0,03	0,09	0,10	3
			2015	0,45	0,05	0,20	0,14	5
Underhållskostnad	kr/kWh gas	53	2014	0,08	-	0,04	0,03	3
			2015	0,09	0,02	0,04	0,03	5
- därav reservdelar	kr/kWh gas	54	2014	-	-	-	-	3
			2015	-	-	-	-	5
Kapitalkostnad	kr/kWh gas	59	2014	0,06	-	0,03	0,03	2
			2015	0,29	-	0,11	0,04	5
Energikostnad	kr/kWh gas	64	2014	0,07	- 0,00	0,02	- 0,00	3
			2015	0,06	0,03	0,04	0,04	5
Energieffektivitet	kWh/kWh gas	66	2014	0,16	0,16	0,16	0,16	1
			2015	0,14	0,05	0,08	0,07	5
Tekniska fel	antal/år	73	2014	52	3	18	8	4
			2015	160	0	40	13	5
Handhavandefel	antal/år	74	2014	5	0	2	2	4
			2015	20	0	5	1	5
Totalt antal fel	antal/år	75	2014	57	3	20	10	4
			2015	180	1	45	15	5
Tillgänglighet	%	88	2014	1	1	1	1	5
			2015	1	1	1	1	5
Anläggningsutnyttjande	%	89	2014	35%	2%	19%	19%	2
			2015	52%	12%	31%	31%	4
Kvalitetsutbyte	%	90	2014	100%	100%	100%	100%	3
			2015	100%	100%	100%	100%	5
TAK	%	91	2014	35%	2%	19%	19%	2
			2015	52%	11%	31%	31%	4
Driftkostnad personal	kr/kWh gas	108	2014	0,02	0,00	0,00	0,00	4
			2015	0,01	0,00	0,00	0,00	5
Övriga kostnader	kr/kWh gas	110	2014	-	-	-	-	4
			2015	0,0	-	0,0	-	5
Behandlingskostnad per ton mottaget	kr/ton ö.v.	113	2014	134	11	47	29	5
			2015	129	28	83	81	5
Produktionskostnad per kWh rågas	kr/kWh rågas	116	2014	0,15	0,01	0,05	0,03	5
			2015	0,29	0,03	0,12	0,10	5
Energibehov (primärenergi/ton)	kWh/ton ö.v.	119	2014	73	18	45	45	2
			2015	76	18	42	25	5
MTBF	timmar	127	2014	2 762	153	1 311	1 164	4
			2015	8 712	46	3 667	583	5
MTTR + MWT	timmar	128	2014	72	0,4	19	2,9	4
			2015	24	0,5	7,2	2,1	4
Produktionskostnad komp.	kr/Nm ³ CH ₄	150	2014	1,3	0,3	0,9	1,0	3
			2015	4,5	0,5	2,0	1,4	5

Bilaga I Nyckeltal och värden i luktreduceringen (F8)

Nyckeltal	Enhet	KPI #		Max	Min	Medel	Median	n
Behandlingskostnad	kr/m ³ luft	41	2014	0,0018	0,0003	0,0008	0,0009	6
			2015	0,0109	0,0000	0,0017	0,0036	4
Energikostnad	kr/ton	63	2014	0,00103	0,00016	0,00056	0,00058	3
			2015	0,00055	0,00018	0,00036	0,00036	2
Energieffektivitet	kWh/ton	65	2014	5,6	2,3	3,3	3,7	3
			2015	3,3	2,8	3,0	3,0	2
Tekniska fel	Antal/år	73	2014	7	0	0	1	7
			2015	5	0	0	1	6
Handhavandefel	Antal/år	74	2014	0	0	0	0	7
			2015	0	0	0	0	6
Totalt antal fel	Antal/år	75	2014	7	0	0	1	7
			2015	5	0	0	1	6
Behandlingskostnad per ton mottaget	kr/ton ö.v.	113	2014	27	1,0	4	8	7
			2015	114	0,3	23	34	6
Produktionskostnad per kWh rågas	kr/kWh rågas	116	2014	0,027	0,002	0,006	0,009	6
			2015	0,28	0,000	0,017	0,064	6
Energibehov (primärenergi/ton)	kWh/ton ö.v.	119	2014	6	2	3	4	3
			2015	3	3	3	3	2
Produktionskostnad slurry	kr/m ³ slurry	146	2014	17	1	5	6	7
			2015	64	0	12	23	6

BENCHMARKING FÖR EFFEKTIVARE BIOGASPRODUKTION

Det krävs ett större fokus på att identifiera och minska förlusterna i biogassystemet för att nå en mer lönsam biogasproduktion. Här har den totala effektiviteten i olika processer inom biogasens produktionskedja mätts genom benchmarking.

Resultaten visar att all utrustning inte utnyttjas effektivt och att det finns stora möjligheter att minska kvalitetsförlusterna, främst i förbehandlingen. Det visar sig också att tillgängligheten i många fall är hög, men att kostnaden för underhåll på enskilda anläggningar kan minskas genom en förbättrad substratkvalitet, en mer driftsäker utrustning och effektivare strategier för underhåll. Utöver det behövs bättre kunskaper i driftsäkerhet och förbättrad, systematisk mätning och uppföljning av underhållsrelaterade nyckeltal.

Det finns alltså en stor potential till en ökad biogasproduktion till lägre kostnader för biogasanläggningarna. Det som krävs är en utökad mätning och en systematisk uppföljning av de grundläggande underhållsparametrarna men också en ökad kompetens inom driftsäkerhet och underhållsekonomi.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk