

Strategier för framtida användning av deponigas på Måsalycke

LUNDS UNIVERSITET

Hanna Svemar

Examensarbete på Civilingenjörsnivå
Avdelningen för Kraftverksteknik
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Tekniska Högskola | Lunds Universitet



Strategier för framtida användning av deponigas på Måsalycke

Hanna Svemar

Juni 2015, Lund

Föreliggande examensarbete på civilingenjörsnivå har genomförts vid Avd. för Kraftverksteknik, Inst för Energivetenskaper, LTH - Lunds Universitet samt vid Sysav AB.Handledare på Sysav AB: Anders Persson och Rickard Sjöholm; handledare på LU-LTH: Marcus Thern; examinator på LU-LTH: Magnus Genrup.

Examensarbete på Civilingenjörsnivå

© Hanna Svemar 2015

ISRN LUTMDN/TMHP-15/5349-SE
ISSN 0282-1990

Avdelningen för Kraftverksteknik
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Universitet - Lunds Tekniska Högskola
Box 118, 221 00 Lund
www.energy.lth.se

Förord

Detta examensarbete har utförts på avdelningen för Kraftverksteknik vid institutionen för Energivetenskaper på Lunds Tekniska Högskola. Arbetet utfördes på uppdrag av Sysav Utveckling AB under våren 2015. Jag vill inleda med ett stort tack till min handledare på institutionen Marcus Thern för all hjälp och stöd han har gett. Jag vill även tacka mina biträdande handledare Rickard Sjöholm, områdeschef Simrishamn och Anders Persson, VD för Sysav Utveckling.

Jag vill tacka Sysav för möjligheten att göra detta examensarbete, och all personal ute på Måsalytte för den hjälp de har gett mig.

Min rumskamrat Marcus ska ha ett stort tack för att ha lättat upp stämningen och alla de kloka visdomsord han har bidragit med. Slutligen vill jag tacka min kära vän Nicolina Magnusson som har varit med vid både upp- och nedgångar och bidragit med många fantastiska stunder! Det är blått!

Abstract

The usage of landfills is the most common method of waste management in large parts of the world. Even in the European Union, there is a difference between the countries where some use landfills in order to dispose up to 90 % of their waste, whereas others dispose less than 10 %. The degradation process of the waste in the landfill produces methane gas, which is a potent greenhouse gas. The landfill gas must therefore be collected and treated, usually by combustion.

In recent years, stricter regulations controlling the landfills has led to a decrease in waste disposal, which in turn has led to the closing of several landfills in Sweden. The amount of gas that is produced in the landfills will slowly decline. Hence, it is important for the landfill owners to study the best way to plan the extraction and utilization of the gas in order to maximize the benefit of the gas extraction in the future.

At Sysavs recycling center Måsalycke, situated close to Simrishamn in Scania, landfill gas is collected and utilized for the production of electricity and heat; and sold to four external customers. The customers use the gas for heating of their buildings. Since the landfill is no longer used as a disposal site, the gas production will decrease.

In this master thesis, the landfill of Måsalycke was studied. The aim was to survey the possible technical alternatives and strategies that are available for Sysav. A techno-economic analysis was performed with a focal point on sustainability, environment and economy.

The energy demand of the system was analyzed, and four possible alternatives for the usage of the gas in the future was presented. In the first and second alternative, the gas is used in largely the same way as today, but with emphasis on either selling the gas or producing electricity. In the third alternative, the possibility to use gasification in order to increase the energy content in the gas was investigated. By doing this, the gas could be utilized for a longer time period. The fourth alternative consider how the customers could continue with green energy for heating even when the production of landfill gas is too low.

The second and third alternative showed the most potential. In the second alternative, a 30 kW-engine was presented. This has a lower gas consumption than the present, which means the gas can be used for both electricity production and selling. The combination of the engine and sale of the gas can be used to handle power surges in the gas production. The third alternative means that the gas can be utilized even when the production is low and the methane content declines. Landfill gas with low methane content can then be merged with gas with a higher energy content and thus used for a longer time period.

The alternative that is chosen will determine how the gas system is managed in the future. By collecting and utilizing the gas for as long as possible, the emissions of greenhouse gas to the atmosphere will decrease, which will lead to a reduction of the impact on the climate.

Sammanfattning

I stora delar av världen är deponering den dominerande metoden för avfallsbehandling. Bara inom EU skiljer det sig mellan länderna, då vissa deponerar över 90 % av sitt avfall medan andra idag deponerar under 10 %. När avfallet i deponin bryts ner bildas metangas, som är en kraftig växthusgas. Denna gas måste därför tas om hand genom förbränning.

På senare år har allt högre krav börjat ställas på deponier vilket har lett till att mängden som deponeras minskat och att deponering har upphört på många deponier i Sverige. Gasen som produceras i deponierna kommer sakta men säkert att avklinga och deponierna kommer att ge mindre och mindre gas. Det är därför viktigt för de enskilda deponiägarna att studera hur de bäst kan planera gasutvinningen och försäljningen av gas för att maximera vinsten av gasutvinningen även i framtiden.

På Sysavs återvinningscentral Måsalycke i närheten av Simrishamn i Skåne samlas deponigas in och används för uppvärmning av lokaler, elproduktion samt försäljning till fyra externa kunder. Kunderna använder gasen för uppvärmning. Deponeringen har upphört, vilket innebär att gasproduktionen kommer att minska.

I detta examensarbete studerades Sysavs anläggning Måsalycke. Syftet med examensarbetet var att kartlägga de olika tänkbara tekniska alternativ som är möjliga för Sysav att ta. En tekno-ekonomisk analys gjordes med fokus på hållbarhet, miljö och ekonomi.

För att utreda hur stort energibehovet är gjordes en energikartläggning. Denna innefattade Måsalyckes uppvärmning och elförbrukning samt de fyra kundernas uppvärmningsbehov.

Utifrån energikartläggningen togs fyra alternativ för den framtida gasanvändningen fram. Alternativ ett och två innebar att gasen används ungefär som idag, fast med fokus på antingen gasförsäljning eller elproduktion. I det tredje alternativet undersöktes möjligheten att använda förgasning för att höja energiinnehållet i deponigasen och på så sätt kunna utnyttja den en längre tid. Det fjärde alternativet handlade om hur kundernas uppvärmning kan fortsätta vara miljövänlig även då deponigasproduktionen är för låg för att gasen ska kunna användas.

Det andra och tredje alternativen var de som visade sig bäst. I det andra alternativet presenterades en 30 kW-motor, som har en lägre gasförbrukning än den nuvarande. Detta innebär att gasen kan användas till både elproduktion och försäljning, vilket medför att effekttoppar i gasproduktionen enklare kan hanteras. Alternativ tre innebär att det går att ta tillvara på deponigasen även då gasproduktionen minskar och metanhalt sjunker. Deponigas med låg metanhalt kan då blandas med gas med ett högre värmevärde och deponigasen kan utnyttjas en längre tid.

Vilket alternativ som väljs kommer att avgöra den framtida driften av deponigassystemet. Genom att ta hand om gasen så länge som möjligt minskar utsläppet till atmosfären, vilket innebär en minskad klimatpåverkan.

Nomenklatur

- c – antal år sedan deponering upphörde
 c_p – specifik värmekapacitet [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$]
CHP – Combined Heat and Power
CO – kolmonoxid
CO₂ – koldioxid
CH₄ – metan
 d_i – innerdiameter [m]
FM – flödesmätare
H – värmevärde [MJ/kg]
 H_i – undre värmevärde [MJ/kg]
H₂ – vätgas
H₂O – vatten
 k – nedbrytningshastighet [år^{-1}]
 L_0 – metanproduktion [kg CH₄/ton avfall]
M – deponerat avfall [ton]
M – molmassa [kg/kmol]
 m – massa [kg]
 n – substansmängd [kmol]
Nm³ – normalkubikmeter
NNV – nettonuvärde
P – eleffekt [kW]
Q – metanproduktion [kg CH₄]
Q – värmeeffekt [kW]
 Q_{gas} – gasförbrukning [kW]
 t – antal år sedan deponering startade
 t – antal år sedan avfallet deponerades
V – volymflöde [m^3/s]
 v – hastighet [m/s]
W – wobbeindex [MJ/m³]
- ΔT – temperaturskillnad
 η – verkningsgrad
 ρ – densitet [kg/m³]

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	2
1.2	Syfte.....	2
1.3	Avgränsningar.....	2
2	Depologi.....	3
2.1	Generell systembeskrivning av deponier.....	3
2.2	Nedbrytning av avfall i deponier.....	6
2.3	Hur deponigas skapas.....	8
2.4	Deponigasens sammansättning.....	8
2.5	Deponigasen på Måsalycke.....	9
2.5.1	Restgaser.....	9
2.5.2	Förhållandet mellan metan och koldioxid.....	11
2.6	Prognos för deponigasproduktionen på Måsalycke.....	12
2.6.1	First order decay modellen.....	13
2.6.2	Scholl-canyon modellen.....	13
2.6.3	Jämförelse mellan modellerna.....	14
2.6.4	Scholl-Canyon applicerad på Måsalycke.....	15
3	Energibehovet som gasen måste täcka.....	19
3.1	Måsalyckes kraftverkssystem.....	19
3.1.1	Frichs Kraftvärmesystem.....	21
3.1.2	Gasförbrukning i gasmotorn.....	21
3.2	Energianalys av Måsalycke återvinningscentral.....	22
3.2.1	Måsalyckes uppvärmningsbehov.....	23
3.2.2	Måsalyckes elhandel.....	23
3.3	Kartläggning av kundernas värmebehov.....	24
3.3.1	Mätvärden för såld gas.....	25
4	Förutsättningar för analysen.....	29
4.1	Elpris.....	29
4.2	Utsläpp från el.....	30
4.3	Deponigaspris.....	30
4.4	Kundernas strategi för framtiden.....	31
4.5	Utsläpp från olja.....	31

4.6	Ekonomisk analys	31
5	Sätt att använda deponigasen på	33
5.1	Alternativ 1 – Sälj all gas och kör gasmotorn vid effekttoppar	33
5.2	Alternativ 2 – Prioritera gasmotorn och sälj gas när det går	33
5.3	Alternativ 3 – Förgasning av trä för att spetsa gasen	33
5.3.1	Returträ	34
5.3.2	Wobbeindex	35
5.3.3	Producerad mängd gas från förgasning	35
5.4	Alternativ 4 - Fjärrvärmealternativet.....	35
5.4.1	Fjärrvärme	36
5.4.2	Fjärrvärmepanna.....	36
5.4.3	Fjärrvärmenät	36
5.4.4	Fjärrvärmeledningar	37
6	Resultat	39
6.1	Alternativ 1	39
6.2	Alternativ 2.....	42
6.3	Alternativ 3.....	48
6.3.1	Frichs sublimator.....	48
6.3.2	Entrade förgasningsanläggning	48
6.3.3	Gasernas Wobbeindex	49
6.3.4	Analys av förgasningsalternativet.....	49
6.4	Alternativ 4.....	53
7	Diskussion.....	55
8	Slutsats	59
9	Förslag till fortsatta studier	61
10	Litteraturförteckning	63
11	Bilagor.....	67
11.1	Beräkningar på deponigasuttag.....	67
11.1.1	Hantering av mätdata	67
11.1.2	Nuvarande gasuttag från deponin	68
11.2	Fukthalt i returträ.....	71
11.3	Frichs datablad.....	72

1 Inledning

I stora delar av världen är deponering den dominerande metoden för avfallsbehandling. Bara inom EU skiljer det sig mellan länderna, då vissa länder deponerar över 90 % av sitt avfall medan andra idag deponerar under 10 %. Deponering innebär slöseri med resurser och har en hög miljöbelastning i form av utsläpp av växthusgaser. När avfallet i deponin bryts ner bildas nämligen metangas, som är en kraftig växthusgas [1].

På senare år har allt högre krav börjat ställas på deponier, bland annat från EU genom deponiförordningen. Sedan förordningen infördes har mängderna som deponeras minskat, i Sverige deponeras idag endast 1 % av det totala avfallet. Trots detta består majoriteten av den svenska avfallssektorns utsläpp av metangas från deponier [2].

EU har även infört en avfallshierarki, den så kallade avfallstrappan, som styr hur avfallet ska tas om hand [3]. I första hand ska det förhindras att avfall över huvud taget uppstår. Om detta inte är möjligt ska produkten återanvändas, exempelvis genom second hand-affärer. När produkten väl måste slängas ska den i den mån det är möjligt materialåtervinnas, vilket är det tredje steget i trappan. Om detta inte är tekniskt eller ekonomiskt möjligt ska avfallet förbrännas för att på så sätt återvinna energin som finns i avfallet. Som ett sista alternativ finns deponering.

Avfallstrappan har lett till både att mängderna som deponeras minskat, men även att sammansättningen på avfallet har förändrats. Sedan 2002 är det förbjudet att deponera brännbart avfall, och 2005 utökades förbudet till att även innefatta allt organiskt avfall [4].

Den minskade deponeringen och de allt hårdare kraven har lett till att deponering har upphört på många deponier i Sverige. Även om deponering inte längre sker, finns det organiskt material kvar i de redan befintliga deponierna. Detta organiska material fortsätter att brytas ner och producera metangas som läcker ut till atmosfären. Eftersom metan är en så pass kraftig växthusgas behöver den gas som produceras tas om hand för att minska klimatpåverkan. Detta görs genom insamling av metanet i deponigasen från deponin. Gasen förbränns därefter och bildar koldioxid, och eftersom koldioxiden inte är en så kraftig växthusgas som metan är det bättre att släppa ut den gasen än att släppa ut metanet [1]. Gasen används ofta för att täcka energibehovet på anläggningen och ibland säljs även gasen vidare till externa kunder. Då deponering har minskat kraftigt kommer gasen som produceras i deponierna sakta men säkert att avklinga och ge mindre och mindre gas. Det är därför viktigt att de enskilda deponiägarna studerar hur de bäst kan planera gasutvinningen och försäljningen av gas för att maximera vinsten från gasutvinningen och minska klimatpåverkan.

1.1 Bakgrund

Måsalycke är en av Sysavs återvinningscentraler som är belägen i närheten av Sankt Olof i Simrishamns kommun. Återvinningscentralen tar idag emot avfall från privatpersoner och företag, och har tidigare även deponerat avfall. Deponeringen har upphört, men uttag av deponigas sker fortfarande. På området finns det även lokaler för personal och maskinhallar.

Deponeringen upphörde 2008 och arbetet med sluttäckning har påbörjats. I dagsläget används slaggrester från förbränningen i värmeverket i Malmö för att forma deponin. Detta innebär att metanproduktionen i deponin kommer att minska eftersom inget mer organiskt material tillförs.

Idag förbränns deponigasen i en gasmotor som producerar elektricitet. Genom att kyla motorn produceras hetvatten som används för uppvärmning av Sysavs lokaler på området. När hetvattnet inte räcker till används en gaspanna och en elpanna. Vid överskott av gas säljs denna till fyra externa aktörer belägna i Sankt Olof; badet (endast 3 månader om året), skolan, äldreboendet och Skogsgård (ett radhusområde). Dessa aktörer använder gasen för uppvärmning av sina lokaler, och vid de tillfällen då gasen inte räcker till används en oljepanna.

1.2 Syfte

I detta examensarbete studeras Sysavs anläggning på Måsalycke i närheten av Simrishamn i Skåne. Syftet med examensarbetet är att kartlägga de olika tänkbara tekniska alternativ som är möjliga för Sysav att ta för att hantera problemet med den minskade deponigasproduktionen. Vidare kommer examensarbetet att göra en tekno-ekonomisk analys där hänsyn tas till hållbarhet och ekonomi. I denna rapport syftar begreppet hållbarhet främst på klimatpåverkan.

För att kunna utreda och uppfylla syftet med examensarbetet kommer Sysavs deponi Måsalycke att beskrivas i teknisk detalj.

1.3 Avgränsningar

Studien avgränsas till att behandla endast deponin på Måsalycke, och jämförs inte med några andra deponier. Inga mätningar kommer att göras, utan studien baseras på tillgänglig mätdata över gasflöden, elförbrukning och elproduktion. Vidare görs avgränsningen att systemet även i fortsättningen kommer att bestå av endast Måsalycke och kunderna, ingen utvidgning av systemet med fler anslutningar kommer att undersökas.

Driftskostnader togs inte med i den ekonomiska analysen eftersom dessa inte uppges av tillverkaren i ett tidigt skede i försäljningsprocessen. På grund av omfattningen av examensarbetet så kommer lagstiftning kopplat till alternativa system inte att undersökas.

2 Depologi

Måsalucky är en traditionell deponi där en stor variation av avfall har deponerats genom åren. Tanken bakom deponier har med tiden utvecklats från soptipp till ett försök till hållbar avfallshantering med överföring av avfall från samhället till naturen. Denna mer moderna tanke brukar normalt sammanfattas under begreppet depologi vilket definieras som läran om hur deponier används för hållbar avfallshantering [5].

Idag deponeras det avfall där det inte går att återanvända grundmaterialet och använda det i nya produkter eller utvinna energin ur produkten. Eftersom det genom tiderna har varit svårt att avgöra vad som läggs på deponier har självfallet också deponin en mycket varierad sammansättning. En mycket intressant aspekt på deponering är att avfallet som deponerats har deponerats under olika tidpunkter och på så vis speglar deponin hur samhället såg ut under dess aktiva fas då deponering skedde [6]. I detta kapitel kommer det ges en kort beskrivning av hur deponier ser ut och vilka faser som en deponi genomgår under sin livscykel.

2.1 Generell systembeskrivning av deponier

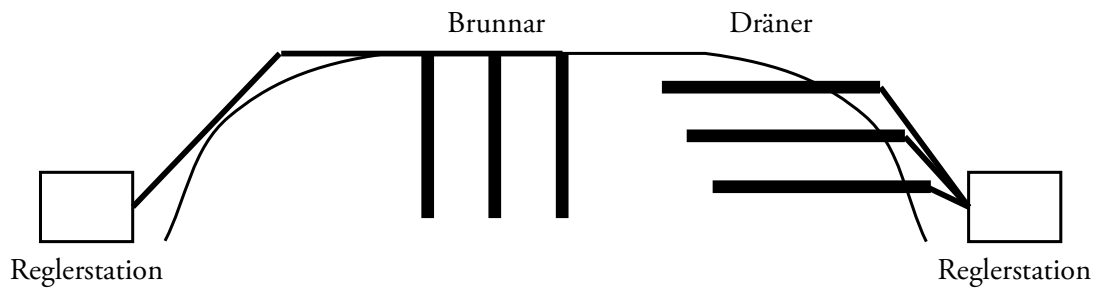
Deponier kan se ut på många olika vis men här ges en övergripande bild över en schematisk deponi. Deponin anläggs på en yta som förberetts med ett bottenskikt. Marken där deponin placeras har även en naturlig geologisk barriär av ogenomträngligt material, till exempel lera [7]. Detta är för att förhindra att det lakvatten som produceras i deponin sprids i naturen, och framförallt för att skydda grundvattnet. Lakvattnet samlas in för rening då det innehåller bland annat tungmetaller. Normalt sett delas deponins yta in i ett rutnät, där varje ruta kallas för en cell. Deponeringen sker i en cell i taget, som då kallas för den aktiva cellen. Cellen avgränsas med täta vallar, som i regel består av inert material [5], och fylls efter hand med avfall.

När avfallet deponerats packas det för att minska rasrisk och dessutom ge mer plats i deponin. När avfallet kompakterats täcks det med ett så kallat dagligt täckmaterial som vanligtvis är jord [8]. Täckningen av deponin ger flera fördelar och skyddar bland annat avfallet från vinden. Täckningen gör också att det luktar mindre från deponin och minskar också risken för att djur kommer åt det deponerade avfallet.

Deponin innehåller naturligt en viss mängd vatten, vilket i sig kan utgöra ett problem [8]. Det stora problemet är däremot risken för att vatten ska komma in i deponin utifrån. Problemet som uppstår då är att vattnet lakar ur gifter och mineraler ur deponin som då kan spridas till grundvattnet. För att undvika att vatten vandrar vertikalt eller ansamlas och skapar dammar bör täckmaterialet ha minst lika hög genomsläpplighet, permeabilitet, som avfallet [8]. När cellen börjar bli full påbörjas nästa cell och efter hand är det möjligt att gå tillbaka till den första cellen och börja med ett nytt lager. Första lagret är därmed inte färdigt när nästa påbörjas, utan deponin byggs ut med fler lager och större yta samtidigt [9].

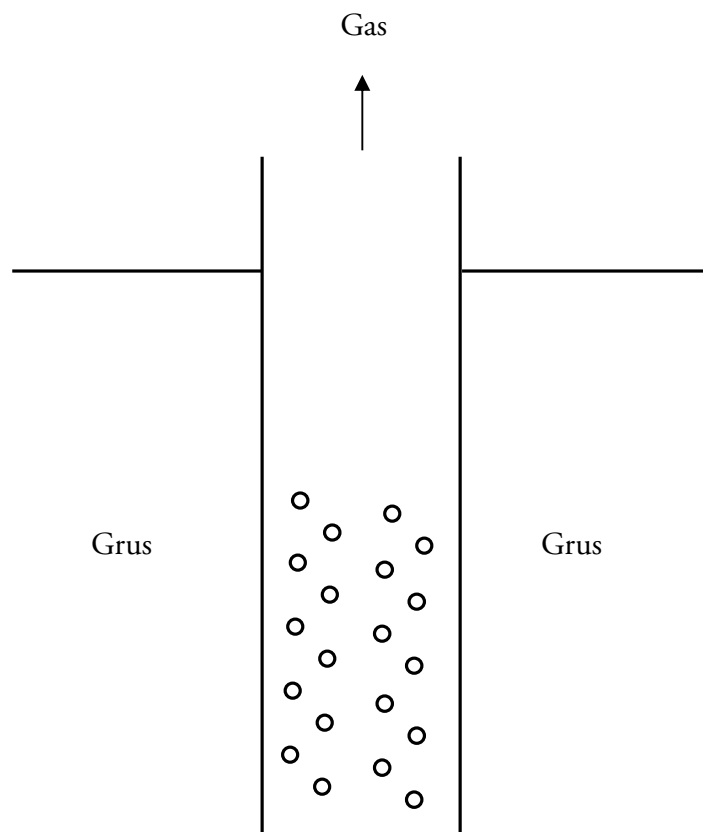
När deponeringen sedan upphör sluttäcks deponin. Ett modernt sluttäckningsskikt består nedifrån och upp av avjämnningsskikt, gasdräneringsskikt, tätskikt, dräneringsskikt, skyddsskikt och växtetableringsskikt [7].

I deponin sker biologiska processer som bryter ner avfallet i deponin. Under denna biologiska nedbrytningsprocess bildas deponigas, vilken är en blandning av koldioxid (CO_2) och metan (CH_4). För att ta vara på denna gas installeras ett gasinsamlingssystem i deponin. Systemet kan bestå av vertikala brunnar eller horisontella dräner, eller en kombination av dessa, fläkt- eller kompressorstation, reglerstation, ledningar, avvattningsanordningar och en fackla [5], [6]. Utöver facklan kan ytterligare förbränningsanordning finnas för att på så sätt ta till vara på energin i gasen. I Figur 2.1 visas en schematisk skiss över hur brunnarna och dränera i deponin kan se ut.



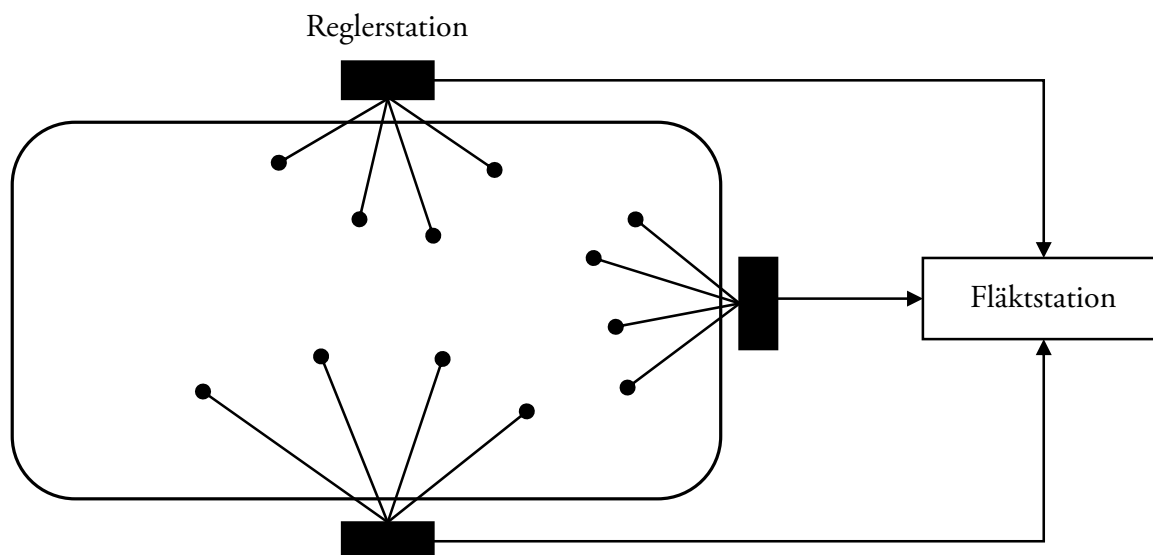
Figur 2.1 Schematisk skiss över en deponi med vertikala brunnar och horisontella dräner.

De vertikala brunnarna kan installeras efter deponering upphört eller parallellt med deponeringen, men då endast på en avslutad sektion av deponin [5]. Brunnen består av ett insamlingsrör omslutet av grus, se Figur 2.2. Den undre delen är perforerad för att kunna samla in gas, medan den övre delen av röret är solid för att förhindra luftinsug. Fördelen med vertikala brunnar är att individuella brunnar kan övervakas vilket ger en bättre kontroll över gasutsläpp samt att problem med kondensat i rörsystemet minskar [5]. Avståndet mellan brunnarna varierar, där ett kort avstånd, ungefär 20 m, minskar suget i omgivningen och därmed sänker sannolikheten att syre suges in i deponin. Ett längre avstånd (upp till 70 m) reducerar kostnader. En avvägning mellan dessa faktorer medför att en vanlig design är 40-60 m mellan brunnarna.



Figur 2.2 Bild över ett perforerat rör för gasinsamling. Röret är omslutet av grus, vid ytan på deponin är röret solid för att förhindra luftinsug.

För att möjliggöra gasinsamling under aktiva deponeringsområden kan horisontella dräner användas. Precis som de vertikala brunnarna består dränerarna av perforerade rör som innesluts i poröst material, till exempel grus [5]. En fåra grävs ut i avfallet som dräneringsröret och gruset placeras i. Därefter täcks dräneringsröret över med nytt deponerat avfall och på så sätt kan dränerarna installeras i flera lager, med 5-20 m avstånd. Horisontellt är avståndet samma som för brunnarna, det vill säga 20-70 m. I Figur 2.3 visas rörsystemet uppifrån, där vertikala brunnar har använts.



Figur 2.3 Bild över rörsystemet uppifrån. Gasen samlas in i brunnar, leds vidare till reglerstation och därefter till fläktstationen.

Ledningarna från brunnarna och dränerna är anslutna till reglerventiler för att möjliggöra styrning av gasuttaget [6]. Själva uttaget görs genom att skapa ett undertryck med en fläkt- eller kompressorstation, och förs sedan vidare i systemet genom att samma station skapar ett övertryck som pressar ut gasen i ledningarna [6]. Det är viktigt att hålla rätt trycknivå eftersom ett för lågt tryck innebär att luft kan sugas in i deponin och ett för högt tryck innebär att deponigas läcker ut till atmosfären.

Deponigasen innehåller kondensat som torkas med hjälp av avvattningsbrunnar och fuktavskiljare [5]. Den torkade gasen kan sedan förbrännas med en fackla eller utnyttjas för el- och värmeproduktion. Genom att förbränna deponigasen minskar utsläppen av metan, och om gasens förbränns i till exempel en panna eller motor nyttiggörs även energiinnehållet i gasen.

2.2 Nedbrytning av avfall i deponier

Inuti deponin sker en nedbrytning av avfallet genom mikrobiologiska processer. Eftersom dessa processer är biologiska beror de i stor utsträckning av hur avfallet är sammansatt. Nedbrytningsprocesserna påverkas även av yttre faktorer, såsom deponeringsteknik och klimatfaktorer; det vill säga till exempel regnmängder och temperatur [6].

Nedbrytningsprocessen kan delas in i fyra faser; initial fas, syre- och nitratreducerande fas, anaerob fas och humusbildande fas [6], se Figur 2.4.



Figur 2.4 De fyra faserna i en deponis livstid.

Eftersom avfallsupplaget består av avfall med olika ålder och sammansättning, både organiskt och oorganiskt, kan olika sektioner av deponin befinna sig i olika faser av nedbrytningsprocessen. Det är först i den anaeroba fasen som deponigasproduktionen sker, eftersom denna process kräver syrefria förhållanden.

Innehållet av organiskt material avgör hur mycket deponigas som produceras, där en hög halt organiskt material innebär en högre potential för deponigas [10]. Avfall med högt organiskt innehåll är till exempel hushållsavfall, slam, trädgårdsavfall och organiskt industriavfall [6]. Tillgängligheten och hur lättnedbrutet materialet är har betydelse för nedbrytningshastigheten, svårnedbrutet material som trä och plast kommer alltså även det att producera deponigas men under längre tid och långsammare än till exempel hushållsavfall.

Gasproduktionen initieras vid en fukthalt på 10 viktprocent [6]. Vattnet är viktigt för transport av näringsämnen, utspädning av toxiska ämnen och har en pH-buffrande effekt. En högre fukthalt leder till en ökad biologisk aktivitet och därmed gasproduktion, men bör inte överstiga 60 % eftersom de metangasproducerande mikroorganismerna hämmas om avfallet blir vattenmättat [6]. Fukten i avfallsupplaget kommer från fukt i deponerat avfall, vatten som bildas vid nedbrytningsprocesser och infiltration av regn-, yt- och grundvatten.

Deponins pH-värde varierar beroende på vilken fas upplaget befinner sig i. Optimalt pH-värde för metanproduktion ligger runt 6,8-7,2 [6]. I början av den metanbildande fasen frigörs organiska syror som mikroorganismerna inte hinner bryta ner vilket sänker pH och därmed hämmar nedbrytningen [6]. Dessa syror konsumeras efterhand vilket leder till ett ökat pH-värde, och gasproduktionen ökar. Även faktorer som infiltration av vatten eller surt regn och lösning av koldioxid i lakvattnet påverkar pH i deponin.

Temperaturen i deponin beror till viss del på omgivande temperatur, där de yttligare delarna utsätts mer för variationer än avfallet ett par meter in [5]. Normal medeltemperatur i svenska deponier är 30-35 °C, vilket kan jämföras med den optimala temperaturen för nedbrytning på 37-44 °C [6]. Även nedbrytningsfasen påverkar temperaturen eftersom aerob nedbrytning avger värme, och kan på så sätt leda till en temperaturökning. Nedbrytningshastigheten fördubblas om temperaturen ökar med 10-15 °C. Detta gäller dock endast upp till 44 °C, därefter avtar nedbrytningshastigheten fram tills det att termofila mikroorganismer tar över. Gasproduktionen når då inte nya toppnivåer utan bibehålls endast [6].

2.3 Hur deponigas skapas

En deponis livstid kan som tidigare nämnts delas in i fyra faser, där olika mikrobiologiska processer dominerar [11]. Gränserna mellan de olika faserna varierar något i litteraturen, framförallt för fas ett och två. I denna rapport antas den första fasen varar en relativt kort tidsperiod i förhållande till deponins livslängd och definieras som den period fram till då nedbrytningen startar.

Fas två har en hög mikrobiologisk aktivitet där syre och nitrat förbrukas [6]. Nedbrytningen av avfallet sker först med syre som oxidationsmedel, aerob nedbrytning, och därefter används nitrat. Även andra fasen är relativt kort, eftersom mängden syre och nitrat som finns i avfallet är begränsat. Aerob nedbrytning är exoterm och genererar därmed värme [6].

Tredje fasen är anaerob och startar när syret är helt förbrukat. Fasen kan delas in i två nedbrytningsfaser, sur och metanbildande fas [6]. I den sura fasen fermenteras nedbrytbart material och bildar lättflyktiga fettsyror, koldioxid och vätgas [11]. Syrorna sänker pH och förhindrar metangasbildning [6]. I slutet av fas två börjar däremot metangasproducerande bakterier växa och gasproduktionen startar.

Den metanbildande fasen karakteriseras av hög produktion av metangas vilket leder till en reduktion av andelen fettsyror, och därmed ett ökande pH-värde. Deponigasen består nu till största delen av metan och koldioxid. Det kan ta flera år innan fas tre är avslutad [11].

Metangasproduktionen fortsätter i fas fyra men produktionshastigheten minskar [11]. Mer svåråtkomligt material används och till slut kommer produktionen vara så pass låg att luft kan tränga in i deponin.

I skapandet av deponigas medverkar flertalet mikroorganismer [11]. Organiskt material består av långa kolväten, dessa bryts i deponin ner till flyktiga fettsyror och alkohol som sedan konverteras till acetat och vätgas av bakterier. Metangasen bildas från antingen direkt konvertering av acetat eller oxidation av koldioxid och vätgas.

2.4 Deponigasens sammansättning

Sammansättningen på deponigasen varierar beroende på vilken nedbrytningsfas avfallet i deponin befinner sig i, men 45-60 % metan och 30-45 % koldioxid är normalt [12]. Koldioxid löses i deponins lakvatten vilket resulterar i en lägre halt koldioxid i deponigasen (och därmed högre andel metan). En lägre halt metan kan bero på låg produktion på grund av torrt eller nedbrutet material och eventuellt intrång av luft. Gasens sammansättning kan även variera inom deponin eftersom deponier ofta består av en heterogen blandning av avfall som kan finnas i olika nedbrytningsfaser [6].

Deponigas har en högre andel föroreningar, som till exempel tungmetaller, freoner, klorföreningar och polyaromatiska kolväten (PAH) jämfört med naturgas på grund av att avfallet som gasen bildas från innehåller dessa ämnen [12]. Deponigasen innehåller även kväve och svavelföreningar. En generell gassammansättning för svenska deponier visas i Tabell 2.1 nedan, siffrorna är väldigt approximativa och varje deponi är unik [6].

Tabell 2.1 Vanliga halter för gaskomponenter i deponigas (torr gas) [6].

Gaskomponent	Andel (volym)
Metan	40-60 %
Koldioxid	30-40 %
Kväve	5-20 %
Svavelväte	10-1000 ppm

Deponigasen är vanligtvis färgfri och till stor del luktfri, vilket beror på att gasen till stor del utgörs av de lukt- och färglösa gaserna metan och koldioxid. Halter av svavelväte, organiska svavelföreningar och estrar ger däremot en karakteristisk lukt redan vid låga halter. [6]

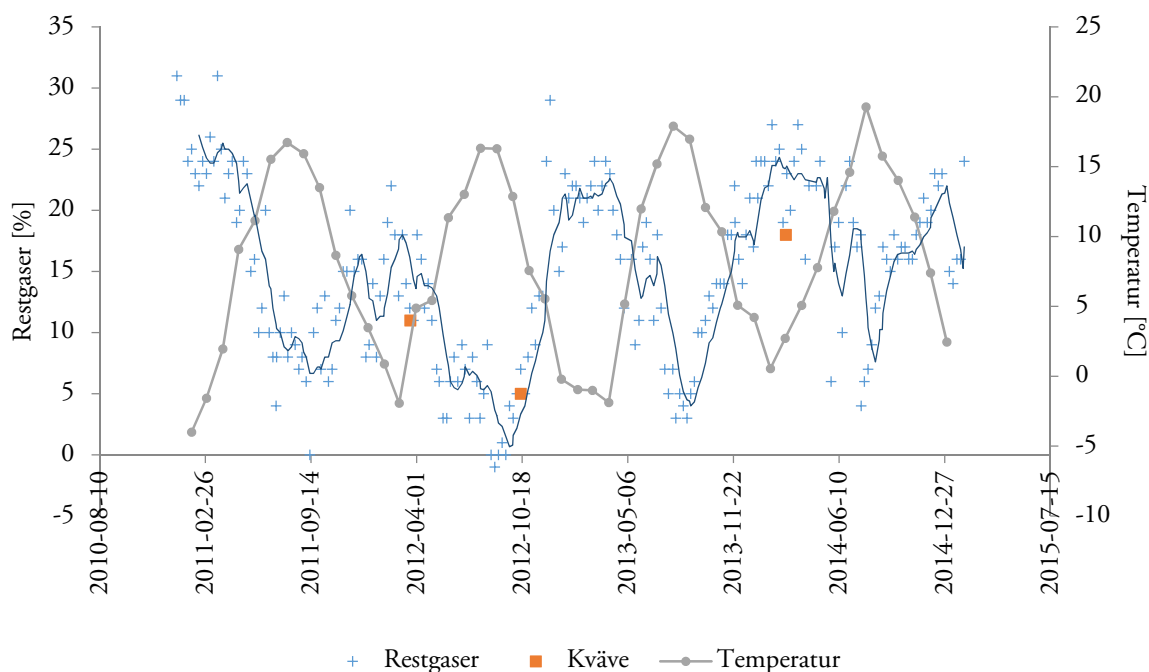
Metanhalten i deponigasen avgör gasens energiinnehåll, som vanligtvis ligger mellan 4,5-5,5 kWh/Nm³ [6]. När metanproduktionen minskar, sjunker därmed energiinnehållet vilket i slutändan gör gasen svårare att utnyttja i till exempel en gasmotor.

2.5 Deponigasen på Måsalücke

Varje deponi är unik vilket medför att även deponigasens sammansättning kommer att skilja sig mellan deponier. Andelen metan och koldioxid varierar även både från år till år och mellan säsonger. Deponigasen på Måsalücke har under perioden 2011 till 2014 haft en genomsnittlig volymandel av metan på 54,5 %. Under samma period har koldioxidandelen i genomsnitt varit 30,3 %. Övriga gaser i deponigasen kallas tillsammans för restgaser i denna rapport och har i genomsnitt upptagit 14,9 % av den totala volymen i deponigasen.

2.5.1 Restgaser

Deponigasen består, som tidigare nämnts, till stor del av metan och koldioxid men även varierande halter av kvävgas och andra föroreningar [6], [12], så kallade restgaser. I Figur 2.5 visas hur mängden restgaser i deponigasen har varierat under åren 2011 till 2014, dygnstemperaturen [13] för samma period samt kvävehalten som uppmäts vid stickprovskontroller. På vänster y-axel visas volymprocenten av restgaser i deponigasen och på högra y-axeln visas dygnstemperaturen i luften. Kvävehalten mäts även den i volymprocent och redovisas på den vänstra y-axeln.



Figur 2.5 Variationen av halten restgaser (blå kryss med trendlinje) i deponigasen åren 2011 till 2014 och dygnstemperaturen i luften för samma period (grå linje). Orangea kvadraterna visar kvävehalten som uppmäts vid stickprov.

Som Figur 2.5 visar har restgaserna och temperaturen ett inverterat förhållande. Temperaturen i deponin följer lufttemperaturen med en liten förskjutning [5], [14], [15], och med en lägre temperatur fås lägre metanbildning. Om deponigasuttaget hålls på samma nivå året runt leder det till att luft sugas in i deponin när metangasbildningen är lägre. Syret förbrukas i aeroba nedbrytningsprocesser medan kvävgasen är en stabil förening som inte deltar i några processer i deponin. Ett för högt utsug kan även bero på att behovet hos kunderna ökar på grund av den låga utetemperaturen.

I Tabell 2.2 visas resultaten från stickprovsanalyser för tre datum samt den totala mängden restgaser i volymprocent. Stickprovsanalysen tyder på att kvävgas är den dominerande gasen i restgaserna, med en viss variation och reservation för mätfel. Eftersom kvävgas varken produceras eller förbrukas i deponin, kan kvävgasen antas komma från eventuellt luftinsug till deponin. Luftinsuget uppstår då gasproduktionen är för låg i förhållande till gasuttaget, och kan vid ett stort intag skapa en aerob miljö.

Tabell 2.2 Stickprovsanalys av deponigasen gjord vid tre tillfällen samt halten restgaser vid samma tidpunkt (volymprocent). Restgaserna i deponigasen består till stor del av kvävgas.

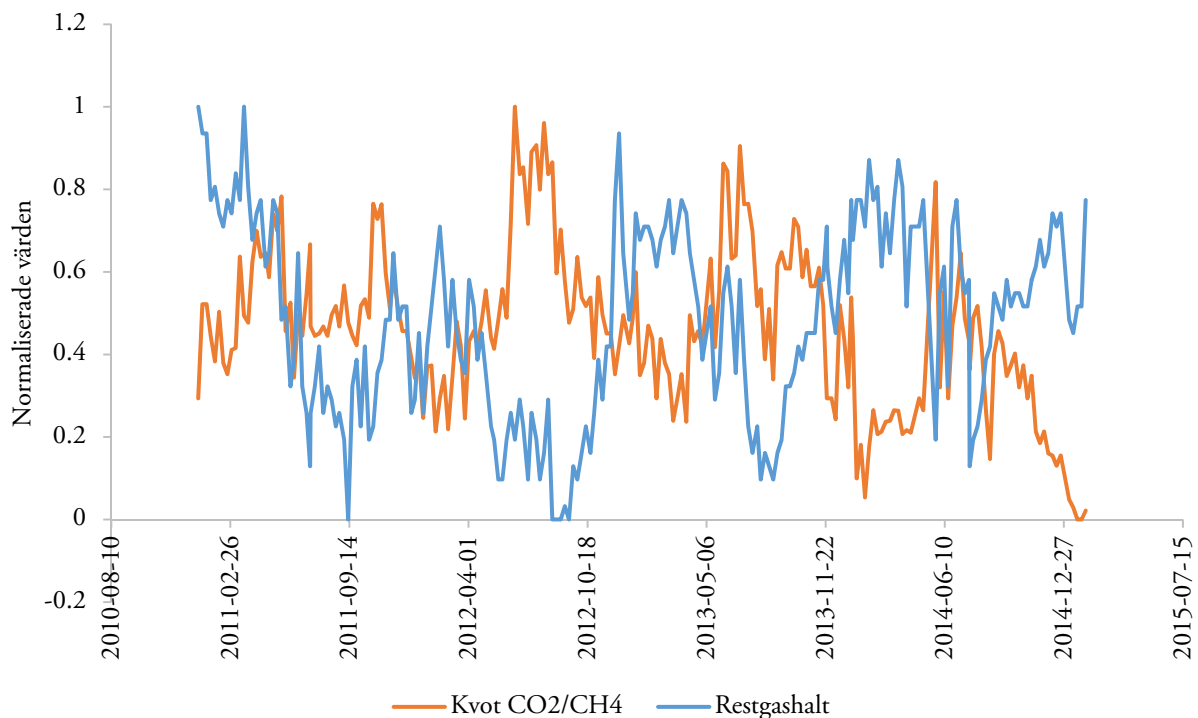
	Restgaser	Kväve	Syre	Svavelväte
2012-03-20	12	11	0,1	0,08
2012-10-15	7	5	0,2	0,055
2014-03-01	23	18	0,7	0,09

2.5.2 Förhållandet mellan metan och koldioxid

För att kartlägga olika faktorer påverkan på metanhalten i deponin kan förhållandet mellan metan och koldioxid undersökas, det vill säga kvoten mellan metanhalten och koldioxidhalten. Vid luftinsug i deponin sjunker metanhalten, delvis på grund av aerob nedbrytning men även på grund av tillskottet av kvävgas i deponigasen. En förändring av metanhalten säger därför väldigt lite om vad som hänt i deponin, då det endast säger att något har hänt men inte vad.

Genom anaerob nedbrytning, se kapitel 2.3, fås vid optimala förhållanden 40-50 % CO_2 och 50-60 % CH_4 [11]. Halten CO_2 i deponigasen sjunker på grund av att CO_2 löses i lakvattnet och bildar kolsyra. Utan någon yttre påverkan bör förhållandet mellan CH_4 och CO_2 vara någorlunda konstant över tiden, och en förändring av kvoten tyder då på att någon faktor har ändrats.

För att jämföra andelen restgaser med kvoten mellan CO_2 och CH_4 har de uppmätta halterna normaliserats mellan 0 och 1. Detta gjordes genom att ta fram räta linjens ekvation utifrån maximum- och minimumvärdena för kvoten respektive restgashalten. Därefter kan varje mätvärde räknas om med hjälp av ekvationen, så att det motsvarande mätvärdet inom intervallet 0 till 1 fås. Resultatet visas i Figur 2.6. Normaliseringen gjordes för att kunna jämföra toppar och dalar hos de båda mätserierna, och själva värdet på y-axeln är därmed inte väsentligt. Kvotens minimi- och maximivärden var 0,4 respektive 0,74, vilket innebär att metanhalten alltid är högre än koldioxidhalten. Restgasernas minimala värde var 0 volymprocent och maximum var 31.



Figur 2.6 Normaliserade värden för restgashalt samt kvot mellan koldioxidhalt och metanhalt.

Ju högre värde på kvoten, desto högre halt CO_2 innehåller deponigasen. En högre halt CO_2 kan bero på till exempel luftintag i deponin som ger aerob nedbrytning, vilket resulterar i högre produktion av CO_2 och mindre CH_4 . Luftintaget representeras av restgaserna, som till största delen

består av kvävgas, och som Figur 2.6 visar sammanfaller inte dessa alltid. Det är möjligt att det finns fördröjningsmekanismer som gör att mätserien för kvoten förskjuts, och att trots den uppmätta restgashalten är låg pågår det fortfarande aerob nedbrytning.

En låg kvot då restgashalten är hög kan även bero på att den aeroba nedbrytningen genererar värme, som i sin tur ökar CH_4 -produktionen och därmed sänker kvoten. Ökat vatteninnehåll i deponin innebär att mer CO_2 kan lösas i vatten vilket även det sänker kvoten. Varför kvoten vid vissa tillfällen är hög när kvävehalten är låg är fortfarande oklart.

2.6 Prognos för deponigasproduktionen på Måsalycke

Måsalycke är en stängd deponi vilket innebär att inget ytterligare organiskt material kommer att läggas på deponin. Själva gasproduktionen kommer därför att upphöra efter en viss tid och för att utreda framtida möjligheter för gasanvändningen behövs en modell över hur mycket deponigas som produceras i deponin. Det är även nödvändigt att veta hur mycket av deponigasen som är metan och hur mycket som är CO_2 , eftersom detta är avgörande för energiinnehållet i gasen.

Att bestämma sammansättningen på den gas som tas ut ur deponin är svårt att bestämma eftersom den beror på en mängd faktorer. Som tidigare förklarar beror sammansättningen till stor del på hur gasuttagssystemet körs. Vid stora tillfälliga gasuttag kan exempelvis luft sugas in i systemet vilket medför en ökad mängd kvävgas. Därför blir en uppskattning av metanhalten svår, och prognosen kommer istället göras på mängden metan som finns tillgänglig.

Metanproduktionen för ett ton avfall är kopplat till mängden nedbrytbart organiskt material i avfallet, vilket varierar kraftigt mellan deponier och gör därmed en uppskattning mycket osäker. Eftersom deponier vanligtvis består av en heterogen blandning av avfall och i många fall utan dokumentation över avfallstyp som deponerats skulle det krävas flertalet mätningar för en korrekt bild. Nedbrytningshastigheten påverkas bland annat av deponins temperatur, fukthalt och pH [10].

Då de aeroba och anaeroba processer som styr gasproduktionen inuti deponin är någorlunda kända finns det en mängd modeller framtagna i litteraturen för uppskattning av framtida metangasproduktion. I följande underkapitel presenteras och jämförs två modeller, First Order Decay modellen och Scholl Canyon modellen.

2.6.1 First order decay modellen

En deponi producerar metangas från det att avfall börjar deponeras tills allt tillgängligt organiskt material har brutits ner. Det finns flertalet framtagna modeller för att prognostisera hur mycket och hur länge metan bildas, med olika stor noggrannhet. IPCC har tagit fram en nedbrytningsmodell av första ordningen (First Order Decay, FOD), se ekvation 2.1 nedan [16]. Modellen använder ett genomsnittligt värde för mängden deponerat avfall under deponins aktiva fas vilket påverkar noggrannheten. I modellen antas det även att allt det deponerade avfallet bryts ner samma år som det deponerades, vilket inte är fallet.

$$Q = M \cdot L_0 \cdot (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (2.1)$$

Där

Q=Metanproduktion [kg CH₄]

M=Deponerat avfall [ton]

L₀=Metanproduktion [kg CH₄/ton avfall]

k=Nedbrytningshastighet [år⁻¹]

c=Antal år sedan deponering upphörde

t=Antal år sedan deponering startade

Parametrarna k och L₀ kan antingen mätas eller beräknas utifrån avfallets sammansättning och faktorer i deponins omgivning.

2.6.2 Scholl-canyon modellen

För att få en mer noggrann modell kan derivatan för ekvation 2.1 användas, och sedan summeras för alla år [16]. Då används istället mängden deponerat avfall för det givna året och metanproduktionen antas följa ett linjärt och stationärt avtagande samband relaterat till mängden organiskt material som bryts ner. I början av deponins livstid ökar metanproduktionen när mer avfall deponeras för att sedan avta efter deponering upphört. Denna modell kallas även för Scholl Canyons modell, se ekvation 2.2 [17].

$$Q = M \cdot k \cdot L_0 \cdot e^{-kt} \quad (2.2)$$

Där

Q=Metanproduktion [kg CH₄]

M=Deponerat avfall [ton]

k=Nedbrytningshastighet [år⁻¹]

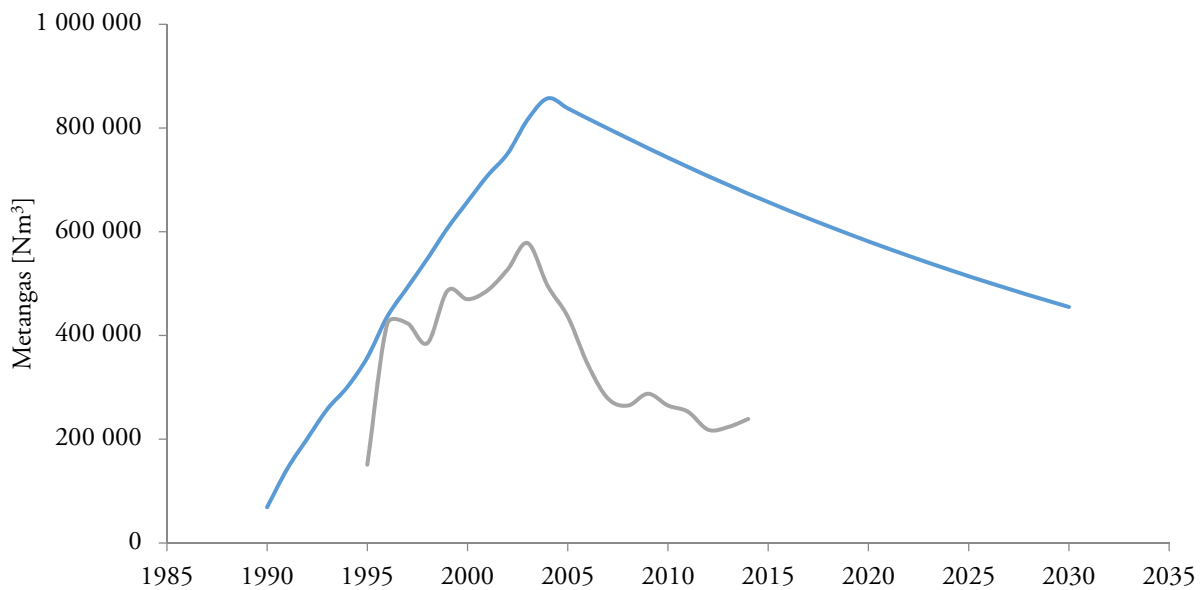
L₀=Metanproduktion [kg CH₄/ton avfall]

t=Antal år sedan avfallet deponerades

Två danska studier har undersökt k och L₀-värde för fyra deponier belägna i Danmark där avfallet delades upp som brännbart (lagrat inför förbränning) och lågorganiskt material (stora blandade fraktioner, slam från reningsverk samt slam från rening av gator). För lagrat brännbart material var

metanproduktionen 106,6-117,3 kg CH₄/ton avfall och k-värdet 0,023-0,027 år⁻¹. Slam hade betydligt högre k-värde, mellan 0,156-0,189 år⁻¹. Ett medelvärde av metanproduktionen och k-värdet för brännbart material användes för att beräkna metangaspotentialen på Måsalyske. Potentialen beräknad med dessa medelvärden är betydligt högre än det dokumenterade uttaget, se Figur 2.7.

Modellen har i en kanadensisk studie visats överskatta mängden producerad metan, men i jämförelse med övriga modeller i samma studie hade modellen lägst standardavvikelse [17].



Figur 2.7 Prognos för metangasbildningen med $L_0=112$ och $k=0,025$. Den blå linjen visar metangasprognosen och den grå linjen är redovisade värden i miljörapporten för metangasuttaget.

2.6.3 Jämförelse mellan modellerna

Genom att istället sätta gasuttaget som Q , kan L_0 och k beräknas genom numerisk analys. I Tabell 2.3 redovisas resultaten från då ekvation 2.1 respektive 2.2 användes och L_0 och k beräknades fram. Endast gasuttaget för åren 2007-2014 användes och därför beräknades även M -värdet i Scholl Canyon-modellen, medan ett genomsnittligt värde för de år då avfall deponerades används i FOD-modellen.

Gasuttaget som används i beräkningarna har tagits fram utifrån såld gas och gasmotorns förbrukning. Anledningen till detta var att gasmätaren som mäter gasflödet ut ur deponin bedöms vara felaktig, se bilaga 11.1 för fullständigt resonemang.

Tabell 2.3 baseras på gasuttag åren 2007-2014.

	FOD	Scholl Canyon
L_0 ($Nm^3 CH_4/ton$)	39,85	200
k ($år^{-1}$)	0,03337	0,03337
M ($ton/år$)	13951	41822

L_0 varierar kraftigt då FOD-modellen och Scholl Canyons modell används. För FOD är L_0 -värdet väldigt lågt jämfört med värden i litteraturen [17] [18], vilket kan delvis bero på att lösningen baseras på det faktiska metangasuttaget. Det är tänkbart att deponin producerar mer metan än vad som tas ut vilket påverkar resultatet [19].

2.6.4 Scholl-Canyon applicerad på Måsalycke

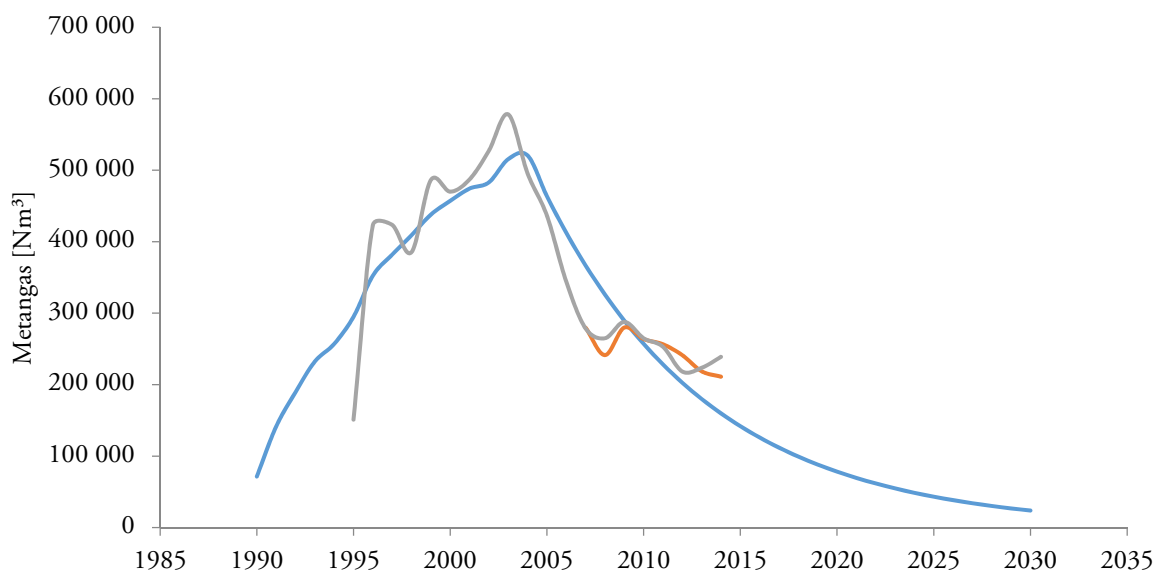
Eftersom Scholl-Canyon modellen hade lägst standardavvikelse i tidigare studier [17] valdes modellen för att ta fram prognos över deponigasproduktionen på Måsalycke. För att fastställa L_0 och k -värde gjordes beräkningarna dels över hela deponins livstid och dels över perioden då gasuttaget hade minskat och stabiliserats.

Detta gjordes genom att L_0 och k varierades medan den mängd avfall som deponerats för de givna åren sattes som konstanter. De deponerade avfallsmängderna finns redovisade i de årliga miljörapporterna för Måsalycke. Metangasuttaget för åren 1995-2014 respektive 2007-2014 sattes som Q . Resultatet av beräkningen redovisas i Tabell 2.4.

Tabell 2.4 Metanproduktionen och k -värdet då Q sattes till metangasuttaget för åren 1995-2014 respektive 2007-2014.

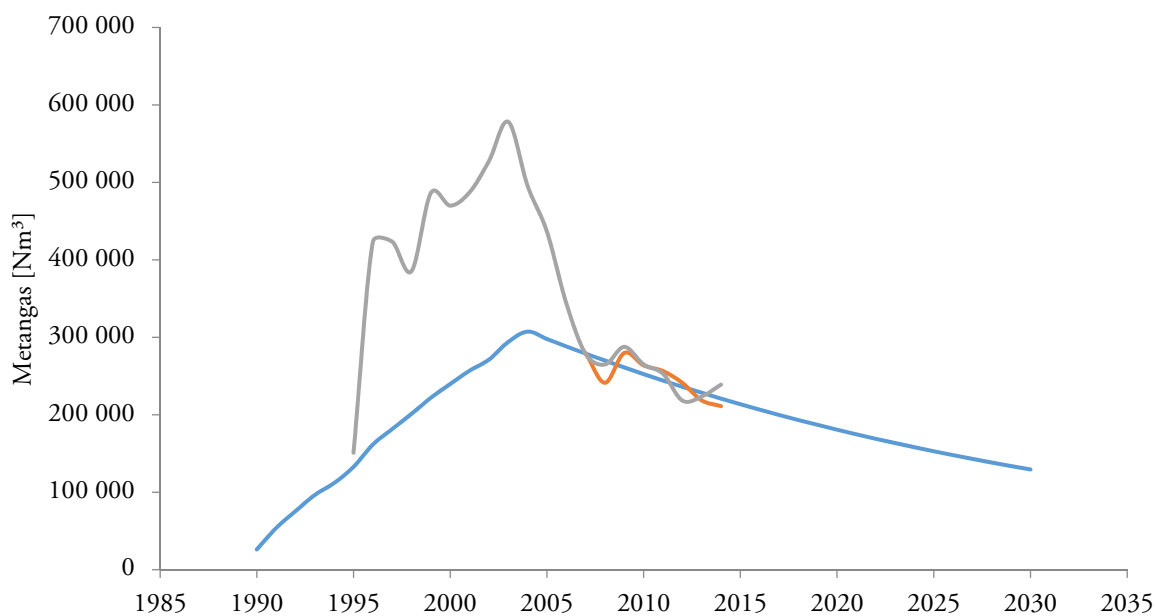
	1995-2014	2007-2014
L_0 ($Nm^3 CH_4/ton$)	35,38	44,18
k ($1/år$)	0,1189	0,03343

Nedbrytningshastigheten är betydligt högre då tidigare år tas med. Det är tänkbart att nedbrytningshastigheten var högre tidigare år och började avta runt 2009, för att i nuläget ligga på ungefär 0,033. I Figur 2.8 visas den beräknat bildade metangasen jämfört med den uttagna mängden ($L_0=35$, $k=0,12$). L_0 värdet är som tidigare nämnt lågt jämfört med vad som redovisas i litteraturen och k -värdet högre. Gasbildningen underskattas jämfört med vad som faktiskt har tagits ut ur deponin vilket innebär att dessa parametrar inte är korrekta. Det är däremot möjligt att k -värdet stämmer någorlunda åtminstone för de första 15 åren för att därefter minska. Nedbrytningshastigheten är beroende av bland annat temperatur, vattentillgång och pH, vilket kan ha förändrats under deponins livstid.



Figur 2.8 Prognos för metangasbildningen baserat på indata för åren 1996-2014. Den blå linjen visar prognosen, grå linje metangasuttaget redovisat i miljörapporten och orange linje är beräknat metangasuttag.

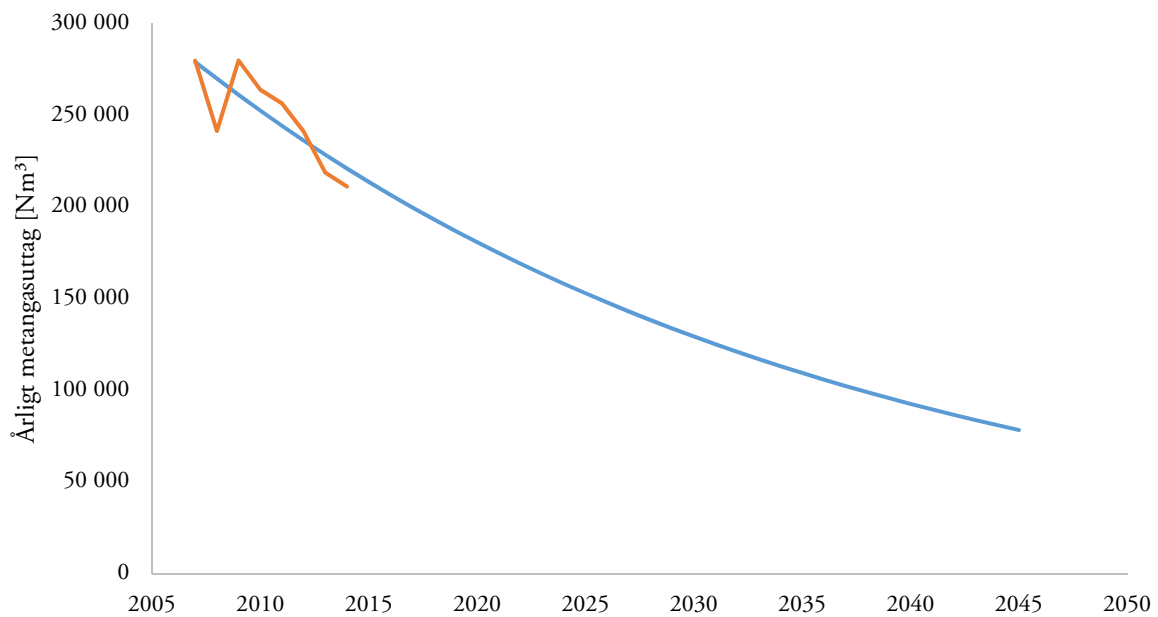
När Q-värdet baserades på gasuttaget åren 2007-2014 följer prognosen det nuvarande gasuttaget bättre än då alla år togs med, men underskattar metanbildningen rejält för tidigare år, se Figur 2.9. Den största skillnaden är den kraftiga minskningen i gasuttaget mellan åren 2003-2007, vilket påverkar modellens nedbrytningshastighet. Eftersom dessa år inte tas med i Figur 2.9 blir k-värdet nu lägre.



Figur 2.9 Prognos för metangasbildningen baserat på indata för åren 2007-2014. Den blå linjen visar prognosen, grå linje metangasuttaget redovisat i miljörapporten och orange linje är beräknat metangasuttag.

Det är möjligt att nedbrytningshastigheten var högre i början av deponins livstid, beroende på flertalet faktorer. Det är sedan 2002 förbjudet att deponera brännbart avfall och 2005 inkluderades allt organiskt avfall i förbudet [4]. Förbudet innebär att avfallet som deponeras innehåller mindre andel organiskt material och framförallt mer svårnedbrutet, vilket påverkar nedbrytningshastigheten.

På grund av att den senare visar goda resultat jämte dagens uttag kommer prognosen för metanproduktionen att baseras på Scholl Canyon-modellen för åren 2007-2014, med $L_0=44,18 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton}$ avfall och $k=0,03343$. Med dessa värden får vi en avklingande gasproduktion från deponin på Måsalycke, se Figur 2.10.



Figur 2.10 Prognostiserat årligt metangasuttag (blå linje) och beräknat metangasuttag (orange linje).

3 Energibehovet som gasen måste täcka

På Måsalycke Återvinningscentral tas avfall emot från privatpersoner och företag. På området finns även den avslutade deponin som har börjat sluttäckas, och tillhörande gasinsamlingsystem. Det finns även kontorslokaler för de anställda och maskinhallar på återvinningscentralen.

I Figur 3.1 visas ett flygfoto över Måsalycke. Längst till höger finns parkering och containrar där sorterat avfall slängs. Här finns även kontorslokalerna för de anställda, markerat med grönt. Gasmotorn finns i lokalen till vänster om kontorslokalerna, och har markerats med grått i bilden. Deponin utgörs av det grå området. Fläktstationen är placerad ovanför deponin i bilden och har markerats med lila färg.



Figur 3.1 Flygfoto över Måsalycke Återvinningscentral. Foto med tillåtelse från Rickard Sjöholm.

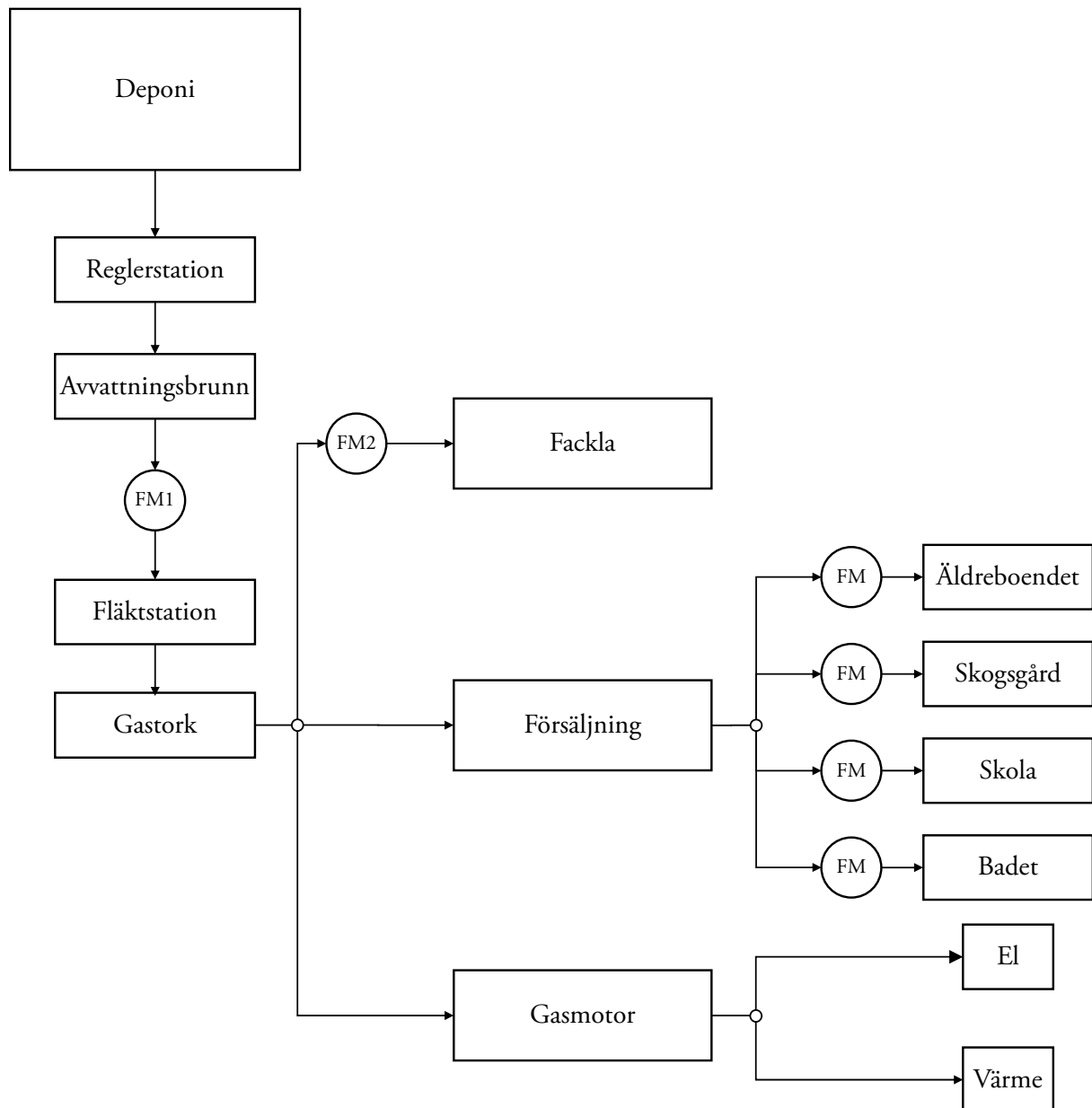
3.1 Måsalyckes kraftverkssystem

På Måsalycke samlas deponiasen in från deponin genom både vertikala brunnar och horisontella dräner. Ledningarna från dessa går till reglerstationer som finns utplacerade runt om deponin, där gasflödet kan stängas av eller sättas på. Flödet kan alltså inte regleras, utan det går endast att fullständigt öppna eller stänga ventilerna.

Gasen innehåller fukt som kondenseras ut med hjälp av avvattningsbrunnar, innan gasen når fläktstationen. Detta är för att förhindra att fläktsystemet får in vatten, vilket skulle förstöra systemet. Det är fläktstationen som skapar det undertryck i ledningarna som suger ut gasen från

deponin och det övertryck som trycker gasen vidare ut i systemet. I april 2015 byttes fläktstationen till en kompressorstation istället, men funktionen är densamma. I stationen finns även mätinstrument för att mäta halterna av metan, koldioxid och syrgas i deponigasen.

Gasen trycks vidare från kompressorstationen till en absorptionstork som torkar och kyler gasen. Därefter transporteras gasen till antingen gasmotorn eller kunderna där den utnyttjas för el- och värmeproduktion. Tidigare har även en fackla använts, men i dag är deponigasmängderna så pass låga att gasmotorn och kunderna kan ta hela lasten. Figur 3.2 visar en schematisk bild över systemet.



Figur 3.2 Schematisk bild över uttag av deponigas på Måsalycke. FM står för flödesmätare.

För el- och värmeproduktion används ett minikraftvärmesystem med en gasmotor. Kylning av motorn producerar hetvatten som leds genom kulvertar till kontoret vars uppvärmningssystem består av golvvärme och uppvärmd ventilation. Om motorns kylvatten inte räcker för uppvärmning

finns en gaspanna på 87 kW som producerar endast varmvatten. När gaspannan inte räcker till eller om gasuttaget står stilla finns även en elpanna på 56 kW.

Anläggningen är kopplad till elnätet och säljer el till spotpris. De dagar produktionen är för låg köps el istället. För att förhindra strömavbrott finns även en dieselmotor på anläggningen.

Överskottet av utvunnen deponigas säljs till badet, skolan, äldreboendet och radhusområdet Skogsgård. Badet använder gasen för uppvärmning av bassänger och tappvarmvatten under sommaren (totalt 3 månader), övrig tid köper de ingen gas. Resterande aktörer köper kontinuerligt gas som används till uppvärmning av lokaler. När gasflödet stängs av används oljepannor istället.

Det befintliga systemet har sex stycken flödesmätare. Flödesmätare 1 (FM1) sitter i fläktstationen och mäter gasflödet ut ur deponin. Flödesmätare 2 (FM2) mäter gasflödet till facklan. Övriga fyra flödesmätare sitter hos de fyra kunderna, där gasflödet in i pannorna mäts. Värt att notera är att metanhalt mätts vid FM1 och därefter kyls och torkas gasen som därmed får en högre metanhalt. Gasmotorn och gaspannan har inte flödesmätare installerade.

3.1.1 Frichs Kraftvärmesystem

Gasmotorn på Måsalycke är en del av ett Frichs Mini Combined Heat and Power-system (Mini CHP) som producerar el och värme. Systemet består av en 6-cylindrig SISU Valmet biogasmotor, en generator samt värmväxlare för kylning av gasmotorn. Vid fullast produceras 60 kW el och 125 kW värme. Elverkningsgraden är 29,2 % och värmeverkningsgraden 60,8 %, vilket ger en total verkningsgrad på 90,0 % [20].

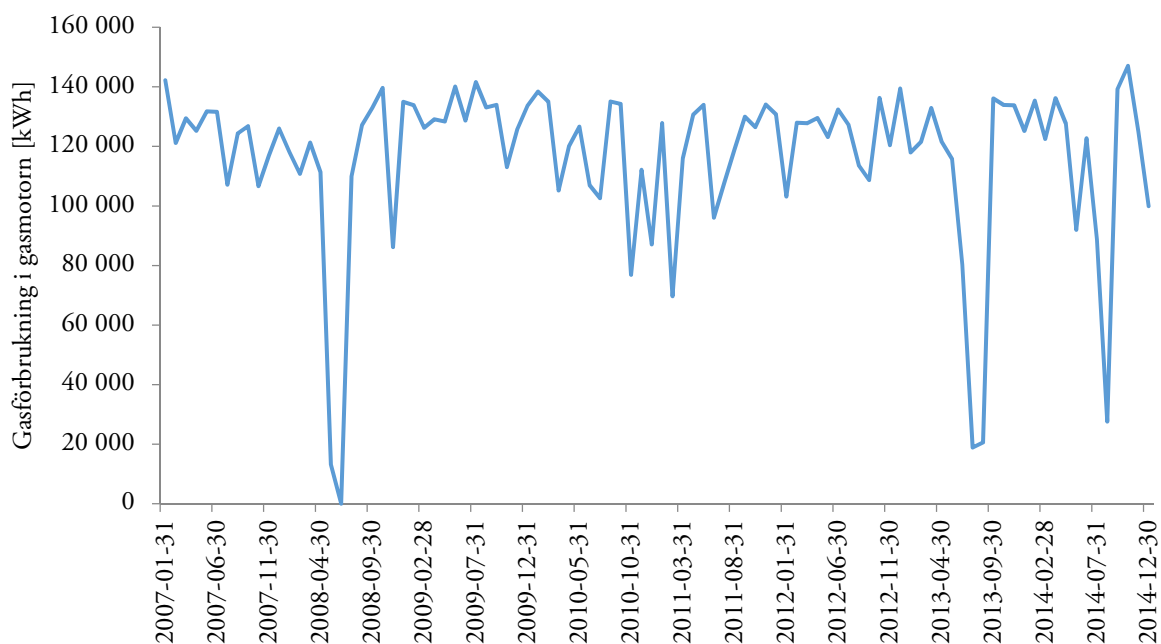
Gasmotorn är gammal och inte servad av tillverkaren vilket innebär att den kommer behöva ersättas under hösten 2015 eller nästkommande år [21].

3.1.2 Gasförbrukning i gasmotorn

Gasförbrukningen i gasmotorn för elproduktion beräknades med ekvation 3.1. Elverkningsgraden antogs vara konstant, vilket inte är realistiskt då den bör ha sjunkit på grund av exempelvis slitage. Eftersom det inte finns några mätningar på in- och utflödet till gasmotorn går det inte att beräkna en mer exakt verkningsgrad, och därför användes den som angivits i databladet för Mini CHP-systemet.

$$Q_{\text{gas}} = \frac{P}{\eta} \cdot h \quad (3.1)$$

Gasförbrukningen beräknades på månadsbasis, där P är motorns effekt, 60 kW, h är antal timmar och η är verkningsgraden, 29,2 % [20]. I Figur 3.3 visas hur gasmotorns totala förbrukning per månad har varierat under åren 2007 till 2014.



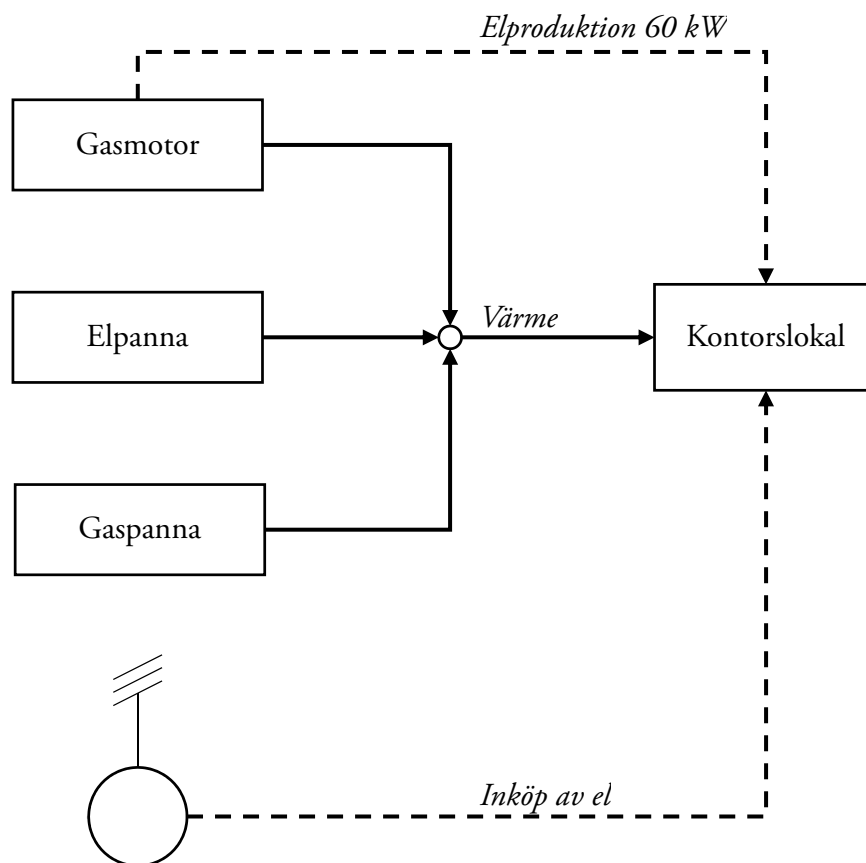
Figur 3.3 Gasmotorns totala gasförbrukning per månad i kWh för åren 2007-2014.

I juni 2008 var motorn ur funktion. I augusti 2013 och 2014 har gasmotorn en lägre förbrukning än normalt. Vad detta beror på är oklart, men det förekommer att gasmotorn stängs av när gastillgången är lägre för att prioritera kunderna.

Gasmotorn har cirka 6800 fullasttimmar per år vilket ger en årlig gasförbrukning på 1,40 GWh.

3.2 Energianalys av Måsalycke återvinningscentral

Gasen som produceras på Måsalycke används för uppvärmning av anläggningens kontorslokaler samt för att täcka så stort elbehov som möjligt. Överskottet från produktionen säljs vidare på den öppna marknaden. Vid gasbrist används elpannan och då momentanproduktionen av el är mindre än förbrukningen köps el in, se Figur 3.4.



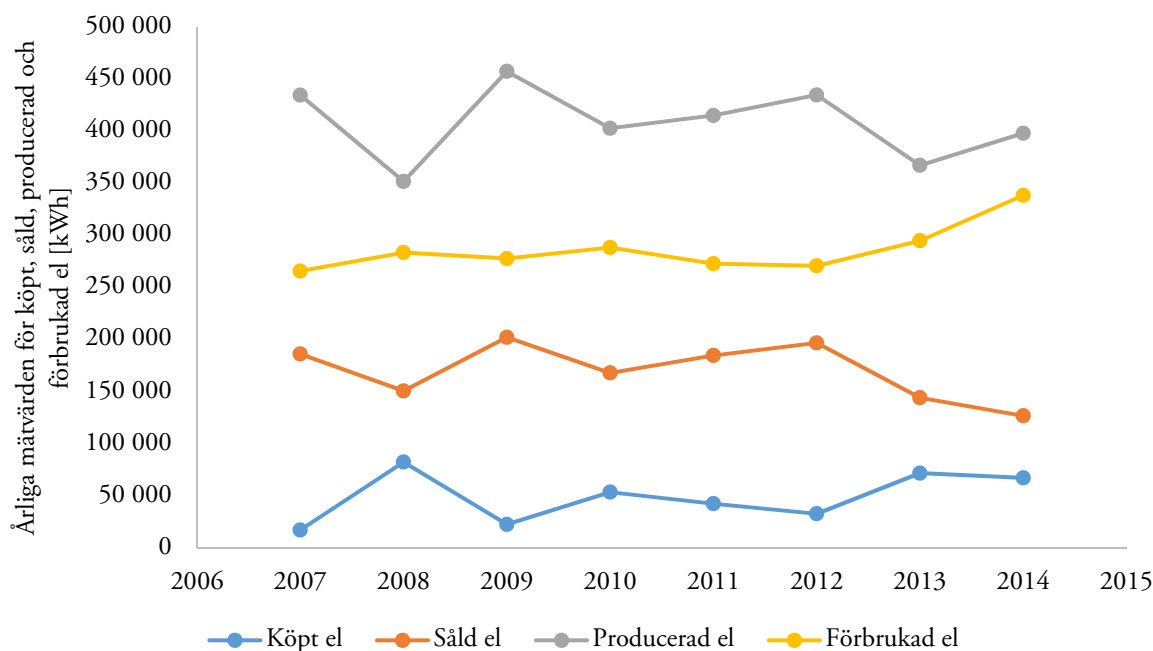
Figur 3.4 Schematisk bild över energiförbrukningen på Måsalücke.

3.2.1 Måsalückes uppvärmningsbehov

Lokalerna värms upp med kylvattnet från gasmotorn, och som reserv finns en gaspanna och en elpanna. Uppvärmningsbehovet finns inte dokumenterat i någon energideklaration och inga mätningar görs för när gas- eller elpannan är igång. Det finns heller ingen mätning för hur mycket av gasmotorns spillvärme som används för uppvärmning respektive hur mycket som kyls bort då det inte finns något värmebehov. Därför har uppvärmningsbehovet beräknats utifrån genomsnittlig energianvändning för lokaler i Sverige (122 kWh/m^2) [22] och de uppvärmda lokalernas area (104 m^2) vilket gav ett årligt uppvärmningsbehov på $12\,670 \text{ kWh}$.

3.2.2 Måsalückes elhandel

Måsalücke producerar el som säljs till nätet och används internt. När momentanförbrukningen är högre än produktionen köps istället el från nätet. I Figur 3.5 visas de årliga mängderna köpt, såld, producerad och förbrukad el. Elförbrukningen är över året relativt jämn men har på senare år ökat. Mängden köpt el har ökat på senare år medan såld el har minskat. Den producerade mängden visar inte på någon tydlig trend.



Figur 3.5 Hur mycket el som köpts, sålts, producerats och förbrukats på Måsalycke på årsbasis för perioden 2007-2014.

På Måsalycke mäts köpt, såld och producerad el med en elmätare som avläses den sista vardagen i månaden. Utifrån detta har elförbrukningen beräknats.

I de beräkningar där den årliga elförbrukningen har använts baseras denna på ett medelvärde för åren 2007-2014. En tänkbar anledning till att elförbrukningen ökat de senaste åren kan vara att elpannan har använts till uppvärmning vid gasbrist, men eftersom elpannans aktivitet inte loggförs går detta inte att verifiera. På grund av osäkerheterna kring den ökade elförbrukningen används därför ett medelvärde och inte det senaste extremvärdet.

3.3 Kartläggning av kundernas värmebehov

Deponigasen säljs till fyra kunder; äldreboendet, Skogsgård, skolan och badet. Skogsgård är ett radhusområde och ägs tillsammans med äldreboendet av Simrishamns bostäder. Skolan och badet ägs av Simrishamns kommun.

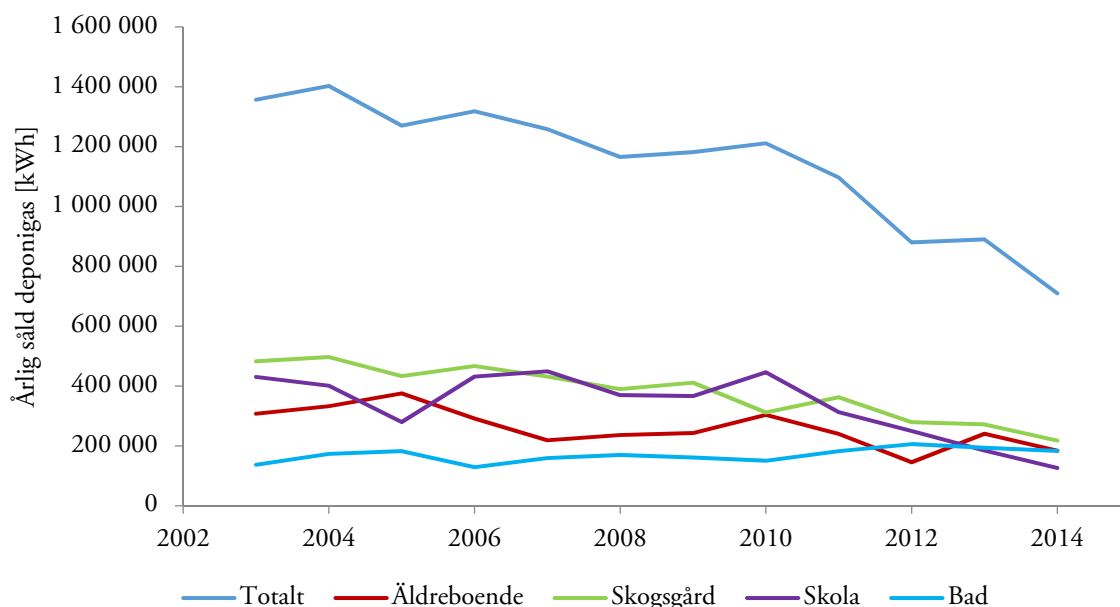
Alla fyra kunder använder deponigasen som sin primära värmekälla och har oljepannor som reserv. Skolan installerade i februari en elpanna eftersom kommunen arbetar för att bli fossilfritt samt på grund av oljepriset [23]. Skolan har haft problem med gaspannans brännare som slutar fungera när pannan går ner i effekt, och måste startas manuellt. Detta har lett till att kommunen har planer på att installera en luftvärmepump om inte gasleveransen kan säkras. Inför sommaren ska badet utrustas med en elpanna eftersom det i dagsläget inte finns någon alternativ värmekälla, och då kommer det även förberedas för en luftvärmepump inför den dag då deponigasen inte längre räcker på grund av för låg produktion i deponin. Badets panna och gasbrännare ska bytas ut då dessa är gamla. Äldreboendet och Skogsgård planerar att använda deponigas så länge det går.

3.3.1 Mätvärden för såld gas

Mätvärden för den sålda gasen baseras på mätningar från gasmätarna hos kunderna som läses av manuellt en gång i veckan. 2003-2005 var mätningarna för metanhalten inte alltid loggförda, med sämst kontinuitet 2003. Detta ger stora osäkerheter i metanhalten för perioden. I juni 2003 mättes metanhalten inte alls och därför antogs ett värde på 50 % metan eftersom vid föregående avläsning var halten 50 % samt att generellt sett består deponigas av ungefär hälften metan och hälften koldioxid. Övriga månader har de metanhalter som loggbokförts använts.

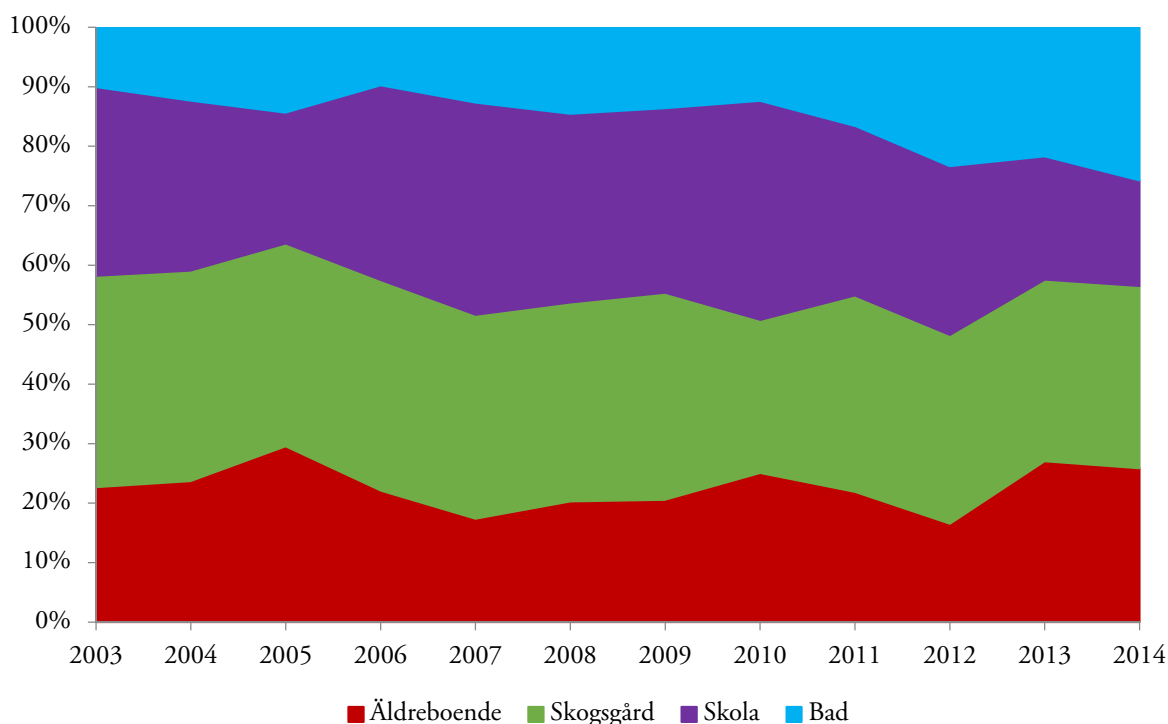
Den totala mängden deponigas som säljs årligen har minskat de senaste åren, se Figur 3.6. Skolan är den kund vars förbrukning har minskat mest. Detta beror inte på några energisparåtgärder eller att skolan har förändrat sitt uppvärmningsbehov, utan på att gaspannans brännare har krånglat [23]. Gaspannan slutar fungera sporadiskt, och det upplevs som att när metanhalten blir för låg stannar pannan. De andra kunderna har inte detta problem, vilket kan innebära att någon har manuellt ställt in pannans brännare så att den är felinställd eller att brännaren av någon anledning fungerar sämre än de övriga (till exempel fabrikatfel).

Även Skogsgårds gasförbrukning har minskat, förmodligen delvis på grund av installationen av nya fönster och dörrar samt isolering längst långsidorna 2013. Övrig nedgång i levererad gas kan bero på minskad gastillgång vilket gäller för samtliga kunder. Badet har på senare år ökat sin förbrukning, både jämfört med de andra kunderna och egen tidigare förbrukning (dock endast en svag trend). En möjlig förklaring till detta är att under sommaren går övriga kunders förbrukning ner till noll och all gas säljs till badet samt att det är möjligt att gasproduktionen i deponin ökar under de varma månaderna. Sommaren 2013 och 2014 hade inte lägre medeltemperatur än normalt.



Figur 3.6 Årlig mängd såld deponigas.

Den procentuella fördelningen av årligt såld gas har förändrats, se Figur 3.7. Badet har gått från 10 % till 25 % och skolan har minskat från 32 % till 18 %. Äldreboendet och Skogsgård får ungefär samma andel idag som år 2003 (23 % till 26 % respektive 36 % till 31 %).



Figur 3.7 Kundernas procentuella förbrukning av den sålda gasen.

Kundernas årliga förbrukning kommer att baseras på den högsta årliga förbrukningen för respektive kund, utan korrigering för normalårstemperaturer. Detta är för att den årliga förbrukningen har varierat från år till år och den högsta förbrukningen står då för extremfall. Eftersom Skogsgård renoverades 2013 med byte av fönster och dörrar samt isolerade långsidorna valdes år 2014 årsförbrukning istället. Skogsgårds uppvärmningsbehov är den parameter som är mest osäker här, eftersom det endast finns ett års mätvärden att gå efter.

Som tidigare nämnt har kunderna reservkraft i form av oljepannor och för skolans del även en elpanna. Dessa används när gasen inte räcker till för uppvärmningsbehovet. Oljemängderna registreras vid inköp, utöver detta finns det ingen dokumentation över faktisk användning vilket gör det svårt att ta fram hur mycket energi som går åt till uppvärmning. Det finns heller ingen energikartläggning för byggnaderna. Därför kommer kundernas uppvärmningsbehov att baseras på endast gasförbrukningen. I Tabell 3.1 redovisas de respektive årsförbrukningarna som kommer att användas i resterande delen av den här rapporten.

Tabell 3.1 Den årliga gasförbrukningen för respektive kund i Nm³ och kWh. Detta kommer att vara underlag för beräkningarna i senare kapitel.

<i>Kundernas årliga gasförbrukning</i>				
	<i>Äldreboende (2005)</i>	<i>Skogsgård (2014)</i>	<i>Skola (2010)</i>	<i>Bad (2012)</i>
<i>Nm³</i>	68 600	50 100	86 200	36 900
<i>kWh</i>	375 200	217 400	446 100	205 500

Kundernas högsta genomsnittliga effektbehov för uppvärmning är 156 kW. Detta baseras på ett månadsmedelvärde av gasförbrukningen under åren 2003-2014 och är förmodligen lägre än det riktiga eftersom gasleveranserna har minskat. Om det maximala effektbehovet för respektive kund används istället blir det högsta effektbehovet under året 204 kW. Eftersom Skogsgård renoverades 2014 användes det maximala värdet under detta år istället. Under sommaren är badet den enda användaren och vilket då ger en total effekt på 106 kW. De effektbehov som kommer att användas redovisas i Tabell 3.2.

Tabell 3.2 Kundenas maximala effektbehov i kW.

	<i>Maxeffekt (kW)</i>
<i>Äldreboendet</i>	57
<i>Skogsgård</i>	55
<i>Skola</i>	92
<i>Bad</i>	106
<i>Totalt (ej bad)</i>	204

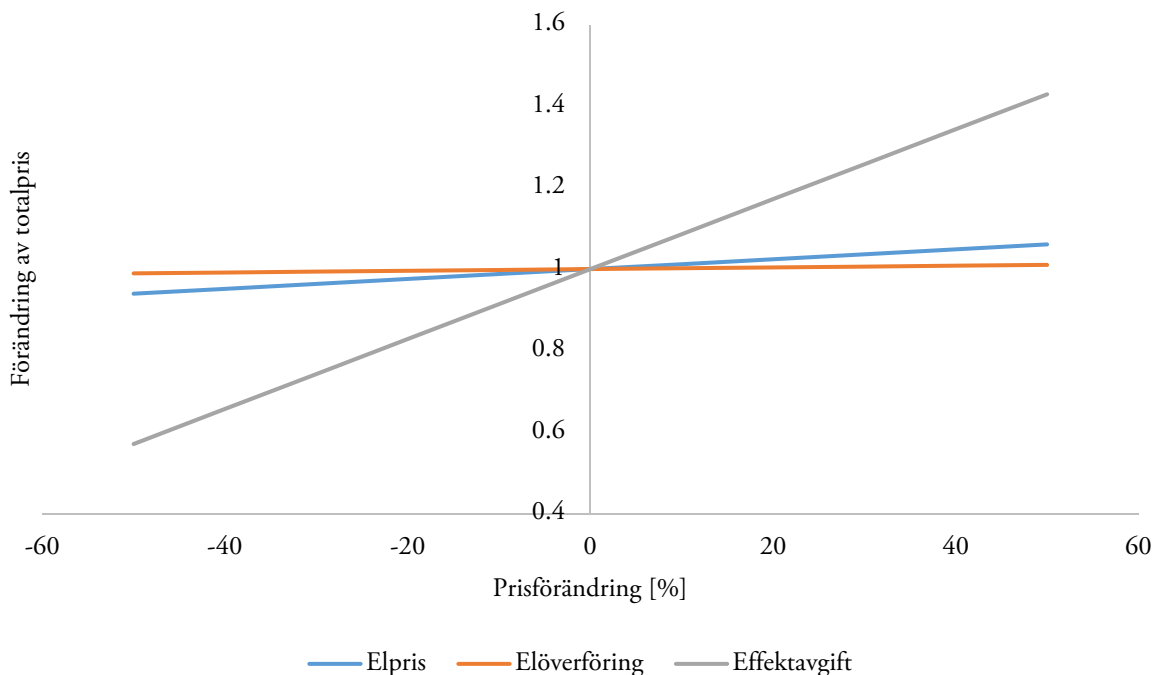
4 Förutsättningar för analysen

Analysen av den framtida användningen baseras på fyra olika alternativ där gasförbrukarna prioriteras olika. Nedan presenteras antaganden som ligger till grund för analysen, så som elpris, utsläpp från olika uppvärmningskällor och antaganden om gasmotorn.

4.1 Elpris

Priset för den köpta elen baseras på spotpris, moms, avgifter för elöverföring och effektuttag samt skatt. Avgifterna för elöverföring och effektuttag bestäms av nätägaren (E.ON) och är inte kopplade till uttag. År 2014 var elöverföringsavgiften 0,060 kr/kWh och effektavgiften 72 kr/kW. Effektuttaget som fakturan baseras på är det högst uppmätta uttaget under månaden, medan elöverföringen är den totala mängd överförd el under samma period.

Spotpriset på el är beroende av många omvärldsfaktorer och går inte att förutspå. Därför valdes ett intervall för spotpriset, på 0,20-0,60 kr/kWh för att på så sätt kunna ge en fingervisning om hur höga inkomster och utgifter kopplade till elpriset kan bli. I Figur 4.1 redovisas vilken påverkan elpriset och avgifterna för elöverföring och effektuttag har på den totala kostnaden för elanvändningen. Den faktor som påverkar mest är effektavgiften, men eftersom denna bestäms av nätägaren och troligtvis inte kommer variera kraftigt kommande år sattes denna parameter till 72 kr/kWh i beräkningarna och inte som ett intervall.



Figur 4.1 Hur totalpriset på el påverkas av en prisförändring på elpris, elöverföringsavgift eller effektavgift.

Utöver spotpris, effektuttagavgift och överföringsavgift ingår även energiskatt och moms i elpriset. Energiskatten ligger idag på 0,294 kr/kWh exklusive moms och momsen är 25 % av totala elkostnaden [24].

Inkomsten av elhandel kommer att baseras på spotpris för el och då det är applicerbart även elcertifikat. Deponigas är enligt förordning (2010:853) om ursprungsgarantier för el berättigat elcertifikat. Elcertifikaten delas ut under 15 år från det att anläggningen sätts i drift [25]. Anläggningen kan bli berättigad en ny tilldelningsperiod för elcertifikat enligt förordning (2011:1480) om elcertifikat, om den förnybara elproduktionen ökar eller om anläggningen genomgår en omfattande ombyggnad. För Måsalyckes del skulle detta innebära att gasmotorn, generatoren samt styr- och reglersystem för gasmotorn måste bytas ut för att bli berättigad en ny tilldelningsperiod. Att ersätta endast gasmotorn skulle inte ge en ny tilldelningsperiod för elcertifikat.

Genomsnittligt pris för elcertifikat för perioden maj 2014 till maj 2015 var 181 kr/MWh [26]. Priset styrs av tillgång och efterfrågan, men den kvot som kvotpliktiga företag har kommer att öka fram till år 2021 för att därefter avta fram till 2035 [27]. Elcertifikatpriset kommer att antas variera med $\pm 20\%$ för att spegla marknadsvariationerna och beräkna utfallet av låga priser och höga priser, liknande spotpriset för el.

4.2 Utsläpp från el

Utsläpp förknippade med elanvändning beror på vilket elavtal som tecknas. Om inget aktivt val av elavtal görs innebär det att elen som köps är Nordisk residualmix [28]. Detta är den elmix som är kvar på marknaden när kunder har köpt ursprungsmärkt el, och därför varierar mängden $\text{CO}_2/\text{kWh}_{\text{el}}$ från år till år. Eftersom allt fler kunder köper miljömärkt el ökar nu utsläppen för residualmixen, vilka låg på 483 g/kWh år 2013 [29].

I dagsläget har Simrishamns kommun ett gammalt elavtal med el utan ursprungsmärkning. Vid årsskiftet 2015-2016 kommer detta att bytas till el producerad med vind- eller vattenkraft [23] vilket innebär att koldioxidutsläppen från elanvändning blir noll.

Måsalycke köper el med blandat ursprung från Sysav. Andelen fossilt varierar något över året, men genomsnittligt är 40 % fossilt och 60 % från biobränsle [30].

4.3 Deponigaspris

Kostnaden för deponigasen baseras på metanhalten som mäts en gång i veckan ute på Måsalycke. Från detta beräknas ett medelvärde för varje månad som därefter ger energiinnehållet i gasen. Kunderna faktureras därefter per levererad kWh. Gaspriset som är konstant över året tas fram vid årsskiftet och baseras på förändringen av konsumentprisindex som multipliceras med föregående års gaspris. Badet betalar däremot ett fastpris istället oavsett förbrukningen, men gaspriset tas fram på samma sätt med konsumentprisindex. I dagsläget är det rörliga priset 0,365 kr/kWh och badets fasta pris är 36 774 kr per år.

4.4 Kundernas strategi för framtiden

Mängden såld gas till kunderna har minskat de senaste åren. Detta beror inte på att deras förbrukning har minskat utan på att gastillgången har minskat. Kunderna har deponigasen som primär värmekälla och vill fortsätta med detta. Som reservkraft används olja, vilket idag går emot Simrishamns klimatmål. Därför har skolan installerat en elpanna att använda som reservkraft istället och oljan sätts in som sista utväg. Kommunen har även planer på att installera luftvärmepump som förstärkning och för att ha då gasen tar slut. Dessa planer finns inte hos Skogsgård eller äldreboendet. Badet ska få en elpanna innan sommaren och då kommer systemet att förberedas för att sätta in en luftvärmepump till den dag då gasen är slut.

4.5 Utsläpp från olja

Oljan som används till uppvärmning antas vara eldningsolja 1, vars undre värmevärde är 11,9 kWh/kg olja [31]. De utsläpp orsakade av oljeförbränning beräknades utifrån oljans sammansättning, se Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Generell kemisk sammansättning för olja [32].

Grundämne	Viktprocent
C	84,5
H	5,4
O	0,75
N	3,2

Antalet mol kol per kilo bränsle fås av ekvation 4.1, där m är massan och M är molmassan.

$$n = \frac{m}{M} \quad (4.1)$$

För att beräkna hur mycket koldioxid som fås vid förbränningen av ett kilo kol, kan först antalet mol kol i bränslet beräknas med ekvation 4.1. Vid fullständig förbränning kommer allt kol att bilda koldioxid. Detta medför att lika många mol kol som det finns i bränslet, kommer bilda koldioxid. Massan på den koldioxid som bildas kan beräknas utifrån ekvation 4.2, som är en omskrivning av ekvation 4.1.

$$m = n \cdot M \quad (4.2)$$

Detta gav att vid förbränning av ett kilo olja fås 3,1 kg koldioxid.

4.6 Ekonomisk analys

Den ekonomiska analysen kommer att utgöras av återbetalningstiden och nettonuvärdet för de olika systemen. En investerings återbetalningstid är den tid det tar innan de sammanlagda inbetalningarna är lika stora som investeringskostnaden, se ekvation 4.3.

$$\dot{A}T = \frac{G}{I} \quad (4.3)$$

Där G är investeringskostnaden och I är årliga intäkter.

Nettonuvärde används för att beräkna en investerings lönsamhet. Nuvärdet är värdet av en investerings framtida intäkter, omräknat med en given räntesats för att spegla intäkternas värde idag. Genom att subtrahera investeringskostnaden fås nettonuvärdet, se ekvation 4.4 [33]. Ett positivt nettonuvärde innebär en lönsam investering och ett negativt innebär att investeringen är olönsam.

$$NNV = -G + \sum_{k=1}^n \frac{I_k}{(1+i)^k} \quad (4.4)$$

G är åter igen investeringskostnaden, I är det årliga intäkterna, i är kalkylräntan och n är den ekonomiska livslängden på systemet. Ingen hänsyn har tagits till eventuella underhållskostnader.

Den ekonomiska livslängden har satts till 10 år för alla system, förutom för fjärrvärmen då livslängden sattes till 15 år. Kalkylräntan har satts till 10 %. När intäkterna baseras på elproduktion tas ingen hänsyn till egen förbrukning, utan all el säljs.

5 Sätt att använda deponigasen på

Då deponigasen är en ändlig energikälla kommer Måsalycke till slut inte kunna leverera mer gas. Gasproduktionen kommer dessutom att minska exponentiellt. I detta kapitel tittar vi på olika alternativa lösningar till hur gasen kan fördelas mellan kunderna och försörja Måsalycke med el och värme.

De två första alternativen innebär att gasen används ungefär som idag, fast med fokus på antingen gasförsäljning eller elproduktion. I det tredje alternativet används förgasning för att höja energiinnehållet i deponigasen och på så sätt kunna utnyttja den en längre tid. Det fjärde alternativet handlar om hur kundernas uppvärmning kan fortsätta vara miljövänlig även då deponigasproduktionen är för låg.

Det finns fler alternativ för hur gasen kan användas i framtiden, som inte behandlas i denna rapport. Vid låga metanhalter kan deponigasen användas tillsammans med en dieselmotor. Då kan deponigasen blandas in i luftintaget till motorn och på så sätt förbrännas. Detta skulle vara bättre än att fackla gasen, både ekonomiskt och miljömässigt, eftersom fackling inte ger någon energivinst över huvud taget.

Att rena och uppgradera gasen för att användas till bland annat fordonsbränsle skulle kräva stora mängder gas för att inbringa lönsamhet då systemen är kostsamma [6]. Eftersom deponigasproduktionen kommer att minska på sikt bedöms uppgradering av gasen på Måsalycke vara för kostsam och kommer därför inte att undersökas närmre.

5.1 Alternativ 1 – Sälj all gas och kör gasmotorn vid effekttoppar

I alternativ 1 säljs gasen till kunderna och gasmotorn används endast vid effekttoppar. Detta innebär att Måsalycke kommer behöva alternativt uppvärmningssätt och förlorar inkomsten från elhandeln. Beroende på vilket uppvärmningssystem som används istället kommer detta medföra miljöpåverkan i varierande skala.

5.2 Alternativ 2 – Prioritera gasmotorn och sälj gas när det går

I alternativ 2 prioriteras gasmotorn på Måsalycke. Kunderna behöver då en alternativ värmekälla som kan medföra koldioxidutsläpp. Gasmotorn kommer i framtiden behöva bytas ut, och därför undersöks även gasmotorer med olika effekter.

Att gasmotorn prioriteras innebär att Måsalycke kommer kunna använda spillvärmerna från denna till uppvärmning av lokaler. Gaspannan och elpannan finns kvar som reservkraft.

5.3 Alternativ 3 – Förgasning av trä för att spetsa gasen

Deponigasen hade eventuellt kunnat användas även när metanproduktionen är låg om den på något sätt kan spetsas med en annan brännbar gas. Måsalycke tar emot 4000 ton returträ som skulle kunna utnyttjas för att täcka energibehovet, både för Måsalycke och för kunderna. Detta kan göras genom exempelvis förbränning eller förgasning. I denna del kommer vi att gå igenom förgasning för att i nästa kapitel gå igenom förbränning. Förgasning skulle kunna användas för att producera

gas som kan blandas med deponigasen för att på så sätt kunna ta hand om deponigasen när metanhalten sjunker.

Förgasning innebär att ett fast bränsle, vanligen biomassa, konverteras till brännbara gaser. Mellan 60 % och 90 % av bränslets energiinnehåll blir till brännbar gas [34]. Gasen kan sedan användas för värme, driva motorer för mekanisk eller elektrisk energi samt framställning av syntetiska bränslen.

Förgasningsprocessen inleds med att biomassan torkas och därefter inleds pyrolysen. Pyrolys är nedbrytning av material med hjälp av värme, vid ca 350 °C. I pyrolysen bildas träkol, gaser (CO, CO₂, H₂, H₂O, CH₄) samt koks och tjära [12], [34]. Koks reagerar med vattenånga och bildar CO och H₂ [12]. Den koks som inte reagerar med vattenånga förbränns och genererar på så sätt den nödvändiga värmen till processen. Gasen från förgasningsprocessen har generellt sett en sammansättning av ca 60 % CO och ca 30 % H₂ [12].

5.3.1 Returträ

Returträ är en övergripande benämning för mottaget träavfall på återvinningsstationen. Det består av bland annat rivningsavfall, dörrar, plank, möbler och träpallar. Detta innebär att returträet kan vara behandlat med till exempel lim eller färg men även att helt rent trä tas emot under benämningen returträ [35]. Tryckimpregnerat trä kan vara farligt avfall, och ska behandlas separat [36]. Det ingår alltså inte i de 4000 ton returträ som årligen tas emot på Måsalycke och ingår inte under benämningen returträ i denna rapport.

Elementaranalysen för torrt trä varierar beroende på träslag men kan antas ha sammansättningen presenterad i Tabell 5.1.

Tabell 5.1 Generell kemisk sammansättning för trä [32].

Grundämne	Viktprocent
C	50
H	6
O	43
N	1

Det undre värmevärdet kan beräknas när den kemiska sammansättningen är känd, se ekvation 5.1 [31].

$$H_i = 0,339 \cdot c + 0,105 \cdot s + 1,21 \cdot \left(h - \frac{o}{8}\right) - 0,0251 \cdot f \quad (5.1)$$

Där c , s , h , o och f är viktsprocent av kol, svavel, väte, syre och fukt i bränslet. För trädbränslen gäller även ekvation 5.2 för ett ungefärligt värmevärde, där f är fukthalten i bränslet.

$$H_i = 19,22 - 0,217 \cdot f \quad (5.2)$$

Eftersom ursprunget och användningen på returträet kan variera blir det problematiskt att fastställa en generell fukthalt. Den öppna databasen Phyllis2 innehåller information om sammansättningen

på biomassa och avfall och kan användas för att ta reda på elementaranalyser av till exempel olika sorters träavfall [37]. Utifrån dessa beräknades en genomsnittlig fukthalt på 17 % för returträ, se bilaga 11.2 för fullständig redovisning av bränslena. Fukthalten beräknades med ekvation 5.2, vilket gav ett undre värmevärde på 4,32 kWh/kg för fuktigt bränsle.

5.3.2 Wobbeindex

Om förgasningsgasen ska användas för att blandas med deponigasen är det viktigt att det fortfarande går att använda gasen hos kunderna. Gasen som produceras utifrån förgasningsprocessen har en annorlunda sammansättning jämfört med deponigasen, vilket påverkar prestanda och förbränningsegenskaper. För att ta reda på om en grundgas kan ersättas med en ny gas används Wobbeindex, W (MJ/m³) för gasen [12]. Definitionen av Wobbeindex framgår av ekvation 5.3, där H är värmevärdet och d är gasens relativa densitet. Värmevärdet kan vara övre eller undre värmevärde, och således kan ett övre och ett undre Wobbeindex beräknas, i fortsättningen kommer det undre Wobbeindexet att användas.

$$W = \frac{H}{\sqrt{d}} \quad (5.3)$$

Den relativa densiteten är gasens densitet relativt till luftens densitet, se ekvation 5.4.

$$d = \frac{\rho_g}{\rho_l} \quad (5.4)$$

Wobbeindex är proportionell mot brännareffekten, om Wobbeindex ökar 10 % kommer brännareffekten öka med lika mycket. Hur stor förändring av Wobbeindex som tillåts vid ersättning av gaser varierar mellan länder, men vanligt förekommande är en godkänd variation på ± 5 % [12].

5.3.3 Producerad mängd gas från förgasning

Mängden gas som produceras i sublimatorn respektive förgasningsanläggningen har beräknats utifrån eleffekten på systemet, elverkningsgraden och antalet fullasttimmar, se ekvation 5.5.

$$Q = \frac{P}{\eta} \cdot h \quad (5.5)$$

Effekten för sublimatorn och Entrades förgasningsanläggning är 159 kW respektive 44 kW. Elverkningsgraden för sublimatorn är 0,35 och 0,24 för Entrades förgasningsanläggning. Antalet fullasttimmar sattes till 6800 per år för båda systemen.

5.4 Alternativ 4 - Fjärrvärmealternativet

Det här alternativet är antingen en parallell till alternativ två där deponigasen används i gasmotorn, eller om flera år när gasproduktionen har avstannat. Eftersom Måsalycke årligen tar emot 4000 ton returträ är en tänkbar användning att flisa och förbränna detta trä. Genom att ta tillvara på värmen som fjärrvärme skulle kundernas uppvärmningsbehov kunna säkras även i framtiden när deponigasen inte räcker till.

5.4.1 Fjärrvärme

För att kunna leverera hetvatten till kunderna behöver kulvertar anläggas från Måsalycke till Sankt Olof. Denna sträcka domineras av skog eller åkermark med undantag för stadsmiljön inne i Sankt Olof. Vid kulvertbygge har kulvertlängden stor betydelse för kostnaden per meter, där korta sträckor får högre kostnad per meter än en längre sträcka [38]. Återställandet efter installation driver upp kostnaden och har stor betydelse vid utbyggnad i tätortsområde. I grönområden har kulvertmaterialet större betydelse ju större rördimension, men för små dimensioner är det fortfarande markarbete som är den dominerande faktorn [38].

Kundernas totala effektbehov är som högst 204 kW. I fjärrvärmeledningarna antas även en värmeförlust på 10 %, vilket tillsammans med Måsalyckes uppvärmning ger ett maximalt effektbehov på 230 kW.

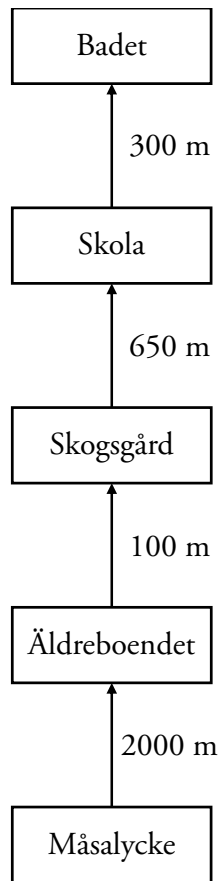
5.4.2 Fjärrvärmepanna

För att täcka kundernas värmebehov en kall vinterdag har Osby Parcas 199 kW fastbränslepanna valts. Pannan kan gå på överlast vid behov och täcka det maximala effektbehovet [39]. Att istället köpa en större panna som oftare går på dellast är inte rekommenderat, eftersom detta orsakar mer utsläpp och askan orsakar beläggningar i pannan. Det är möjligt att använda returträ i pannan förutsatt att bitarna inte är för stora och att materialet är fritt från till exempel metall. Färg och lim kan däremot orsaka beläggningar i pannan samt kan orsaka problem med föroreningar i rökgaserna, därför är så rent material som möjligt att rekommendera [39].

Pannan har en lägsta returtemperatur på 60 °C och en maximal drifttemperatur på 95 °C [40]. Den maximala temperaturskillnaden i pannan är 30 °C. Vattnets returtemperatur från kunderna kommer vara lägre än den tillåtna, vilket kan lösas genom recirkulation. Då blandas vatten ut från pannan med ingående för att på så sätt höja ingående temperatur.

5.4.3 Fjärrvärmenät

Det finns inget befintligt fjärrvärmenät i Sankt Olof, och närmsta tillgängliga anslutning är ungefär två mil bort i Simrishamn. Detta innebär att ett nytt fjärrvärmenät hade behövt installeras för att möjliggöra värmeleverans till kunderna. Det är två kilometer mellan Måsalycke och Sankt Olof, och kunderna ligger lite utspritt, se Figur 5.1 nedan. Den totala sträckan blir 3,1 km.



Figur 5.1 Ungefärliga avstånd mellan Måsalycke och kunderna för en potentiell fjärrvärmeledning.

För Måsalyckes del skulle en del av värmen kunna användas för uppvärmning av lokaler och på så sätt behövs inget alternativt uppvärmningssystem.

5.4.4 Fjärrvärmeledningar

Fjärrvärmeledningarnas kostnader är kopplade till ledningarnas storlek. Genom att beräkna volymflödet kan innerdiametern på ledningarna bestämmas, och därefter väljs passande ledning. Volymflödet kan beräknas utifrån panneffekten, se ekvation 5.6 och 5.7 nedan. Q är värmeeffekten, \dot{m} är massflödet av vatten, ρ är vattnets densitet, c_p är specifik värmekapacitet och ΔT är temperaturskillnaden mellan det ingående och utgående vattnet.

$$\dot{m} = \frac{c_p \cdot \Delta T}{Q} \quad (5.6)$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (5.7)$$

Volymflödet i röret kan även beräknas utifrån rörets tvärsnittsarea och flödets hastighet, se ekvation 5.8, där v är flödets hastighet och d_i är rörets innerdiameter. Genom att skriva om ekvationen till 5.9 fås rörets innerdiameter.

$$\dot{V} = v \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_i}{4}\right)^2 \quad (5.8)$$

$$d_i = \sqrt{\frac{\dot{V}}{v \cdot \pi}} \quad (5.9)$$

Vattnets hastighet sattes till 2 m/s vilket gav en innerdiameter på 34 mm. Detta innebär att ett DN32-rör behövs, som har en innerdiameter på 40 mm eftersom den mindre storleken, DN25, har en innerdiameter på 30 mm. Med en större innerdiameter minskar hastigheten på vattnet till 1,48 m/s, vilket är en förändring på 25 %.

Mellan Måsalycke och Sankt Olof är det 2 km skogsmark. Mellan kunderna i Sankt Olof är det en total sträcka på ungefär 1,2 km beroende på hur ledningarna dras. I Tabell 5.2 nedan redovisas de kostnader för att anlägga fjärrvärmeledningar längs denna sträcka. Kostnaderna baseras på redovisade kostnader i kulvertkostnadskatalogen från 2007 och gäller för enkelrör med isolering serie 2 [38]. Isoleringen av fjärrvärmerör kan delas in i fyra klasser, 0 till 4. Serie 0 är då den sämsta isoleringen, medan serie 4 är en mycket avancerad isolering [41].

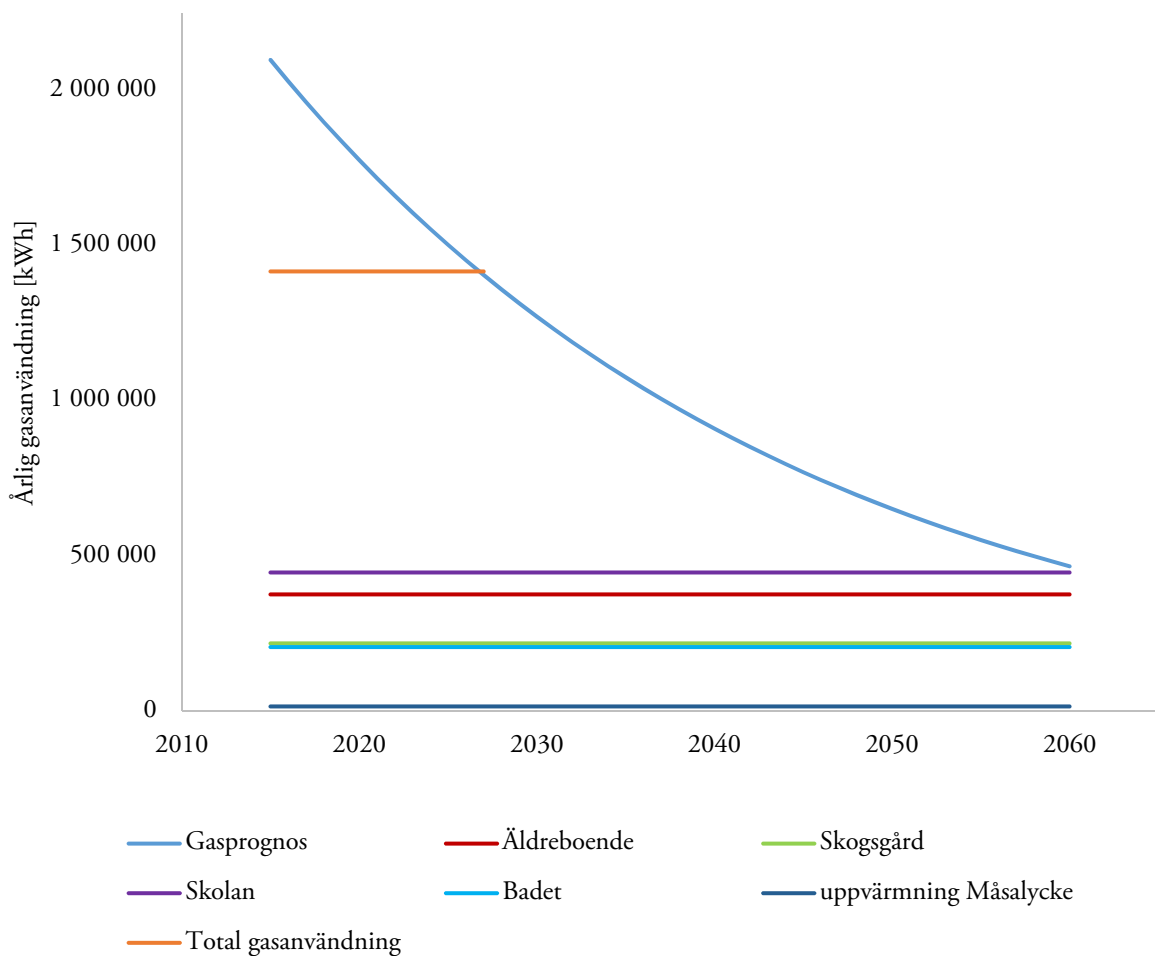
Tabell 5.2 Kostnader för fjärrvärmeledning till och i Sankt Olof.

<i>Ledningskostnader, kr</i>	
<i>Innerstad</i>	4 200 000
<i>Skogsområde</i>	3 800 000
<i>Totalt</i>	8 000 000

6 Resultat

6.1 Alternativ 1

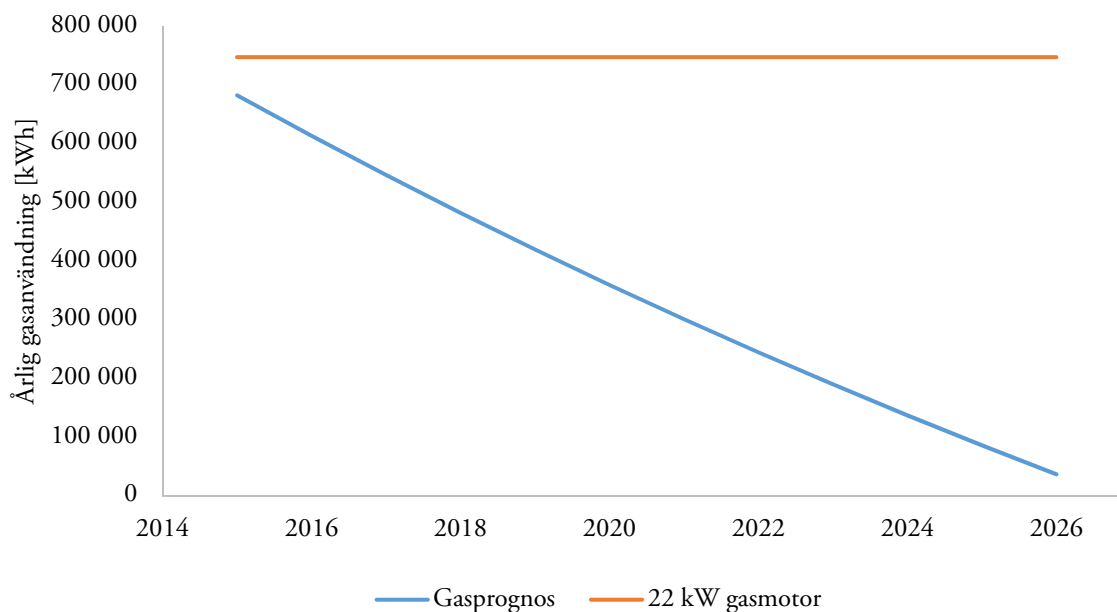
Alternativ 1 baseras på att kunderna står som baslast och all tillgänglig gas säljs. Gasmotorn får då användas vid topplaster för att ta hand om gasöverskottet. Fram till år 2027 täcker gasproduktionen årsbehovet för alla kunder, se Figur 6.1. Prognosen tar inte hänsyn till variationer över året utan visar endast prognostiserad årlig gasproduktion. I figuren visas även Måsaluckyes värmebehov samt kundernas förbrukning i kWh. Skogsgård och badets årsförbrukning är nästan lika stora, och syns därför dåligt i figuren (grön respektive turkos linje).



Figur 6.1 Gasprognos och förväntade årsförbrukning av gas till uppvärmning i kWh. Efter år 2027 räcker gasen inte till alla förbrukare längre.

Att använda gasmotorn endast vid topplaster innebär att motorn måste stoppas och startas vid behov och kommer ge förslitningar på motorn och en sämre verkningsgrad. Även ett inköp av en gasmotor med lägre effekt än den befintliga skulle innebära flertalet stopp. Mängden gas räcker inte till fullast på både kunder och gasmotor i dagsläget, även om en mindre gasmotor införskaffas.

Detta visas tydligt i Figur 6.2 där gasförbrukningen av en 22 kW gasmotor är högre än den mängd gas som finns kvar efter försäljning till kunderna.



Figur 6.2 Mängden gas kvar efter försäljning till kunderna (blå linje) samt förbrukning av en 22 kW gasmotor (orange linje).

Om gasöverskottet inte kan användas till en gasmotor uppstår problemet med hur detta gasöverskott ska hanteras eftersom gasen måste förbrukas i samma takt som den produceras. Efter år 2027 räcker deponigasen inte till alla kunder vilket leder till att kunderna en efter en kommer behöva kopplas bort.

Den befintliga gasmotorn producerar årligen mer el än vad som förbrukas, vilket innebär att om all gas säljs till kunderna kommer Måsalycke behöva köpa el istället. Den årliga elförbrukningen har beräknats utifrån producerad, köpt och såld el. Eftersom det inte finns någon dokumentation över elpannans användning kommer hela elförbrukningen antas vara normal verksamhetsförbrukning. Detta innebär att den beräknade elförbrukningen förmodligen är högre än den verkliga när elpannan bortses.

Tabell 6.1 Årlig kostnad för el på Måsalycke. Årlig elkostnad är endast beräknad på spotpris medan moms, effektaavgift samt överföringsavgift inkluderas i årlig total elkostnad.

	Lågt	Medel	Högt
Elpris kr/kWh	0,2	0,4	0,6
Årlig total elkostnad	205 100	206 400	315 800
Årlig elkostnad	55 300	110 700	166 000

I Tabell 6.2 redovisas det årliga inbetalningsöverskottet från gasförsäljning när elkostnaderna har räknats bort för lågt till högt elpris samt lågt till högt gaspris. Även om ingen elproduktion, och därmed elförsäljning, sker blir inkomsten högre än utgifterna.

Tabell 6.2 Det årliga inbetalningsöverskottet då intäkterna kommer från gasförsäljning och utgifterna från elanvändning.

		Gas		
		Lågt pris	medel	Högt pris
El	Lågt pris	302 100	370 700	480 400
	medel	246 800	315 400	425 000
	Högt pris	191 500	260 000	369 700

Om ingen gasmotor köps in kommer Måsalycke behöva en alternativ värmekälla för uppvärmning av lokaler. I Tabell 6.3 presenteras utsläpp, installationskostnader och årliga kostnader förknippade med olika uppvärmningssystem.

Tabell 6.3 Utsläpp, installationskostnad och årliga kostnader för olika uppvärmningssystem på Måsalycke.

	Utsläpp, kg CO ₂ /år	Årlig kostnad, kr			Komplett installationskostnad, kr
		Lågt elpris	Medel elpris	Högt elpris	
Värmepump	580	2 130	2 700	3 270	90 000
Elpanna	2 300	9 390	12 560	15 730	0
Pelletspanna	-		12 550		80 000
Gaspanna	-		Gratis deponigas		0

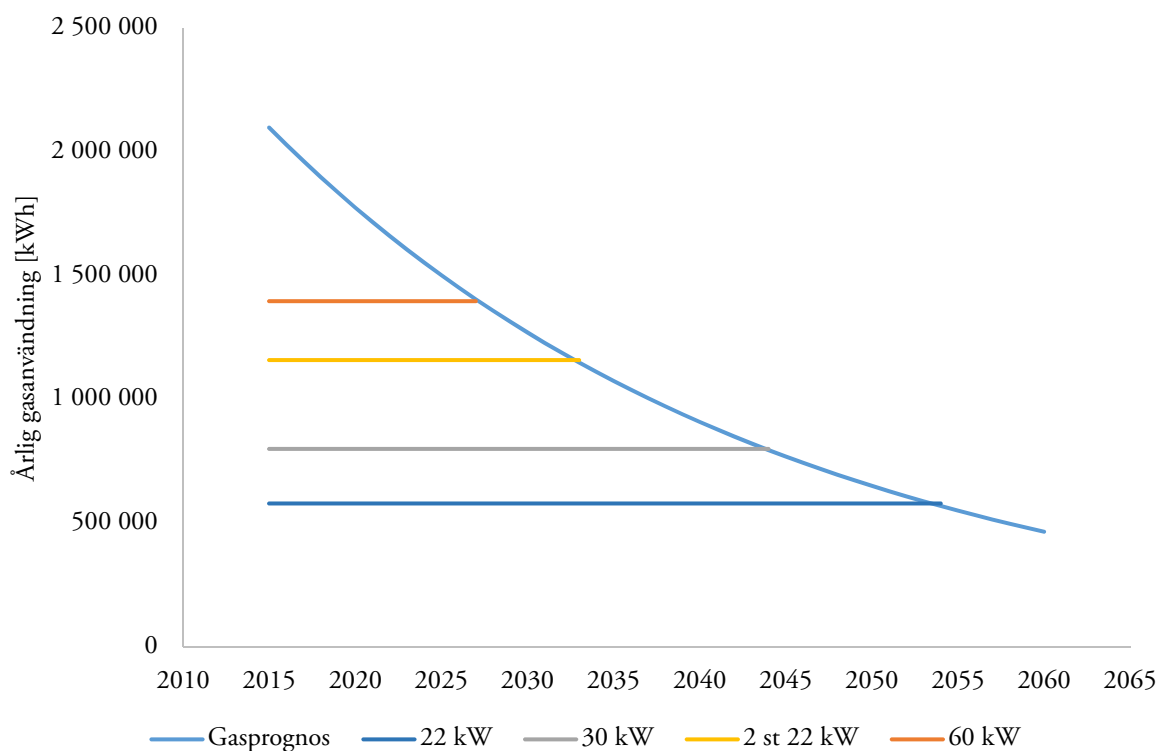
Elpannan och gaspannan är redan installerade på Måsalycke och har därför ingen installationskostnad. Till gaspannan kan deponigas användas trots försäljning till kunder då förbrukningen är låg, vilket innebär att inget bränsle behövs köpas in. Elpanna skulle kunna stå som reserv vid de tillfällen då gasen inte är tillräcklig för den momentana förbrukningen.

En luftvattenvärmepump med installation kostar mellan 60 000 och 115 000 kr [42]. Värmepumpen i analysen är en Mitsubishi EcoDan med en nominell effekt på 6 kW och kan värma upp till 120 m² med en komplett installations- och produktkostnad på 90 000 [43]. COP för värmepumpen är 4,42.

En tanke var att använda returträ för Måsalyckes uppvärmning men då detta ställer höga krav på förbränningstemperaturer och gör systemet mer komplext skulle priset bli för högt för att vara ekonomiskt försvarbart. Därför undersöktes pelletspanna för jämförelsens skull. För att täcka Måsalyckes uppvärmningsbehov krävs en brännareffekt på 20 kW [44]. I installationskostnaden ingår panna, brännare och förråd. En pelletspanna är automatisk och innebär mindre arbete än en vedpanna som även skulle kräva en ackumulatortank. För att täcka det årliga uppvärmningsbehovet krävs ungefär fem ton pellets [44], vilket innebär en årlig kostnad på 12 550 kr om pelletspriset är 2 510 kr/ton [45], vilket var det genomsnittliga priset för bulkleveranser av pellets i april 2015.

6.2 Alternativ 2

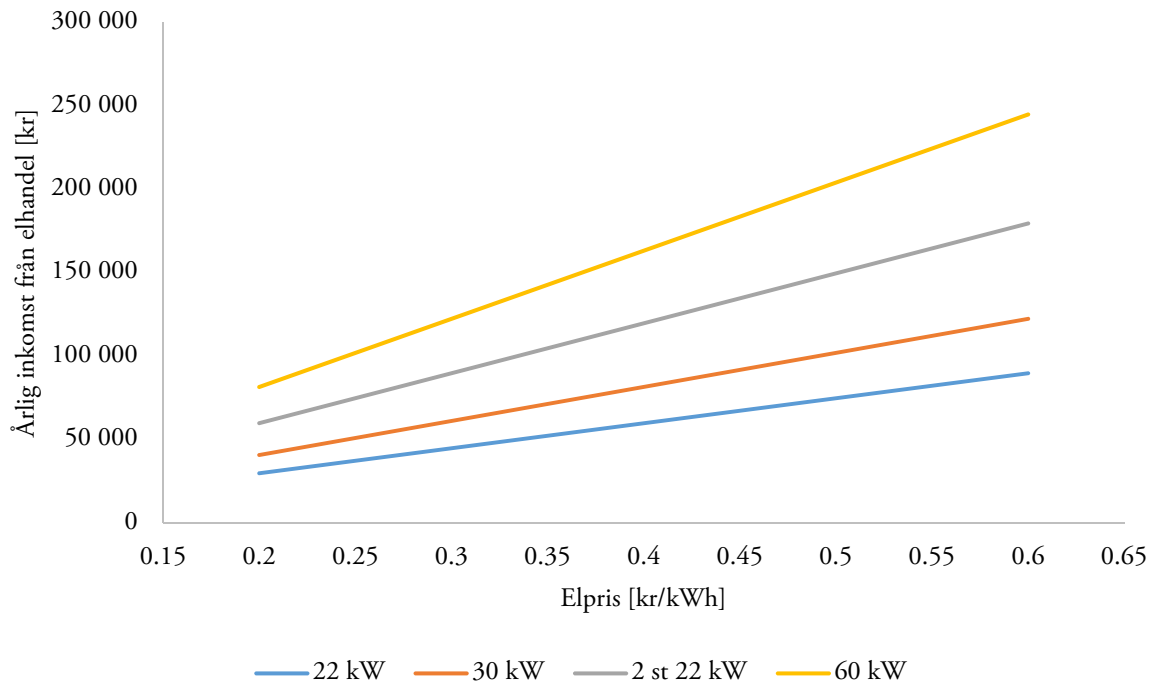
Deponin producerar tillräckligt med metan för att täcka en 60 kW gasförbrukning fram till år 2027. Om motorer med en mindre eleffekt installeras innebär detta att motorn kan köras längre, se Figur 6.3. En 22 kW motor skulle kunna köras på fullast fram till år 2055, 30 kW till 2045 och två stycken 22 kW till 2033.



Figur 6.3 Gasprognos och olika gasmotorers årliga gasförbrukning i kWh. Dagens 60 kW motor har genomsnittligt 6800 fullasttimmar, vilket även har använts för de övriga gasmotorerna.

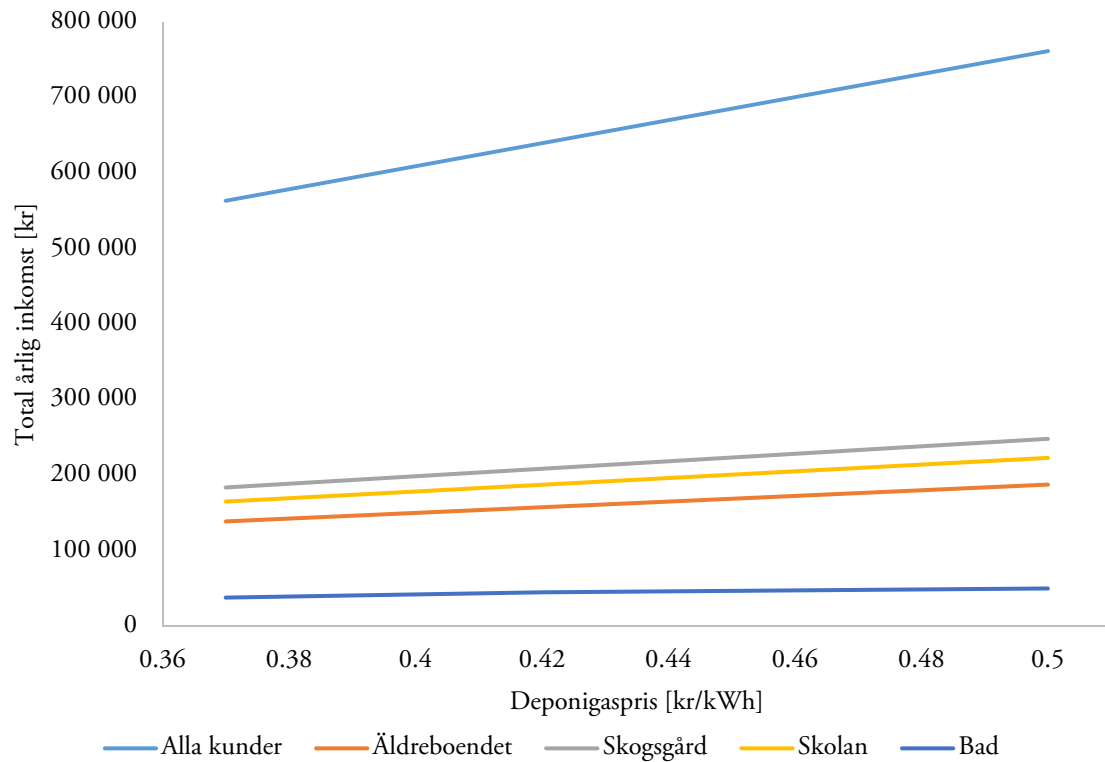
En mindre förbrukning hos gasmotorn innebär även att det finns gas till försäljning, och skulle kunna täcka ett par kunders behov men inte alla. Gasmotorn kan gå som baslast och kunderna står för topplasterna. Detta ställer krav på kundernas reservsystem för uppvärmning då dessa i större utsträckning kommer stå för uppvärmningen.

Vilken eleffekt gasmotorn har kommer påverka den årliga elproduktionen. I Figur 6.4 redovisas årlig inkomst från elhandel för de olika motorerna då elpriset är lågt, medel respektive högt. När elpriset stiger ökar den årliga inkomsten mer ju högre effekten på motorn är.



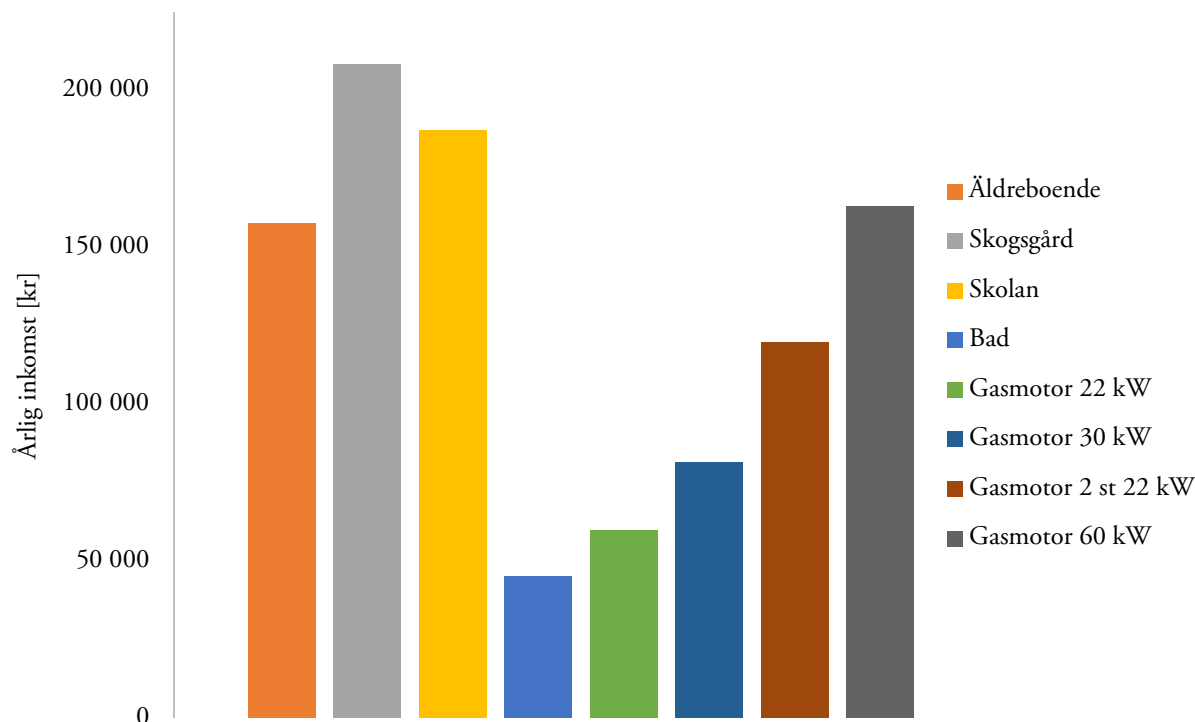
Figur 6.4 Årlig inkomst av elhandel för gasmotorer med olika eleffekt som en funktion av elpriset.

I Figur 6.5 visas hur den årliga inkomsten förändras beroende på pris på deponigasen. Badet har precis som idag ett fast pris istället för per kWh levererad gas som de andra kunderna, men även här har en prisprognos gjorts. I beräkningarna antas det att hela kundernas behov täcks, det vill säga att den totala årliga inkomsten från varje kund är om kunden endast använder gas till uppvärmning.



Figur 6.5 Förändringen av den årliga inkomsten beroende på hur deponigaspriset ändras.

En jämförelse av den totala årliga inkomsten för de olika kunderna och gasmotorerna finns i Figur 6.6 nedan. Skogsgård har högst förbrukning och genom att prioritera gasförsäljningen hit blir inkomsten högre än om en 60 kW gasmotor skulle köpas in. Även prioritering av skolan skulle ge högre inkomst än gasmotorn.



Figur 6.6 Årlig inkomst baserat på medelhögt el- och deponigaspris (0,4 kr/kWh_{el} respektive 0,42 kr/kWh_{gas}).

Om elpriset räknas om från kr/kWh_{el} till kr/kWh_{gas} går det lättare att direkt jämföra värdet för gasen. Vid elproduktion blir inkomsten mellan 0,058-0,18 kr/kWh_{gas} medan försäljningen till kunderna ligger på 0,37-0,50 kr/kWh_{gas}. Dessa siffror baseras på de prognostiserade priserna.

Om kunderna inte använder deponigas för uppvärmning och istället förlitar sig på sina reservsystem medför detta en miljöbelastning i form av koldioxidutsläpp, se Tabell 6.4. Endast skolan har elpanna i dagsläget och även planer på installation av värmepump. Badet följer samma strategi, och därför gjordes beräkningen med värmepump för endast dessa kunder. Elpannan togs med för alla kunder som en jämförelse.

Tabell 6.4 Koldioxidutsläpp som genereras som konsekvens av att kunderna inte använder deponigas för uppvärmning.

	Utsläpp kg CO ₂ /år		
	Oljepanna	Elpanna	Värmepump
Alla kunder	395 800	419 900	
Äldreboendet	97 500	103 400	
Skogsgård	129 000	136 900	
Skolan	115 900	123 000	29 200
Badet	53 400	56 600	13 500

Elpannan och värmepumpens miljöpåverkan beror främst på vilket elavtal kunderna har, eftersom detta avgör mängden koldioxidutsläpp. Om grön el används blir utsläppet noll. När elpannan går

på Nordisk residualmix blir de årliga koldioxidutsläppen högre jämfört med oljepannan. Anledningen till detta är att förluster vid elproduktionen höjer mängden utsläpp i form av kg CO₂/kWh jämfört med när oljan används direkt till uppvärmning. Skolan och badet har som tidigare nämnt planer på att byta till grön el vilket då kommer att sänka utsläppen. Värmepump är det alternativ som medför minst årliga koldioxidutsläpp.

Om en 22 kW eller 30 kW gasmotor ska installeras kommer detta att kräva en ny installation Mini CHP-anläggning och inte endast ett utbyte av motor. Existerande rörsystem bör däremot kunna återanvändas, beroende på vilket skick rören är i. Detta innebär att kostnaderna blir högre än om en 60 kW motor väljs, eftersom då behöver endast denna bytas ut. Se Tabell 6.5 för kostnaderna för de olika systemen samt installation.

Ett utbyte av Mini CHP-anläggningen innebär att systemet blir berättigat elcertifikat. Att endast ersätta gasmotorn, vilket sker om en 60 kW motor väljs, kommer inte innebära en förlängning av tilldelningsperioden. Om även generatoren samt styr- och reglersystem byts ut (renovering räknas inte) skulle detta kunna ge en ny tilldelningsperiod men beräkningarna har gjorts på att endast gasmotorn byts ut. För systemen med en effekt på 22 kW, 30 kW samt 44 kW har elcertifikat tagits med i de årliga inkomsterna.

Tabell 6.5 Investeringskostnader för de olika gasmotorsystemen.

Effekt på motorn	Kostnad för system	Installationskostnad	Total kostnad
22 kW	529 700	111 500	641 200
30 kW	557 600	111 500	669 100
44 kW	1 059 000	111 500	1 171 000
60 kW	80 700	83 600	164 300

Återbetalningstiden för systemen varierar och är beroende av den totala kostnaden och de totala årliga inkomsterna, se Tabell 6.6. Kortast återbetalningstid har 60 kW motorn, med 0,67 år vid högt elpris och 2,0 år vid lågt elpris. Motorn med en effekt på 30 kW har mellan 4,0 och 9,5 års återbetalningstid. Längst återbetalningstid har 22 kW motorn med 5,2 till 12 år.

Tabell 6.6 Återbetalningstid för de olika systemen.

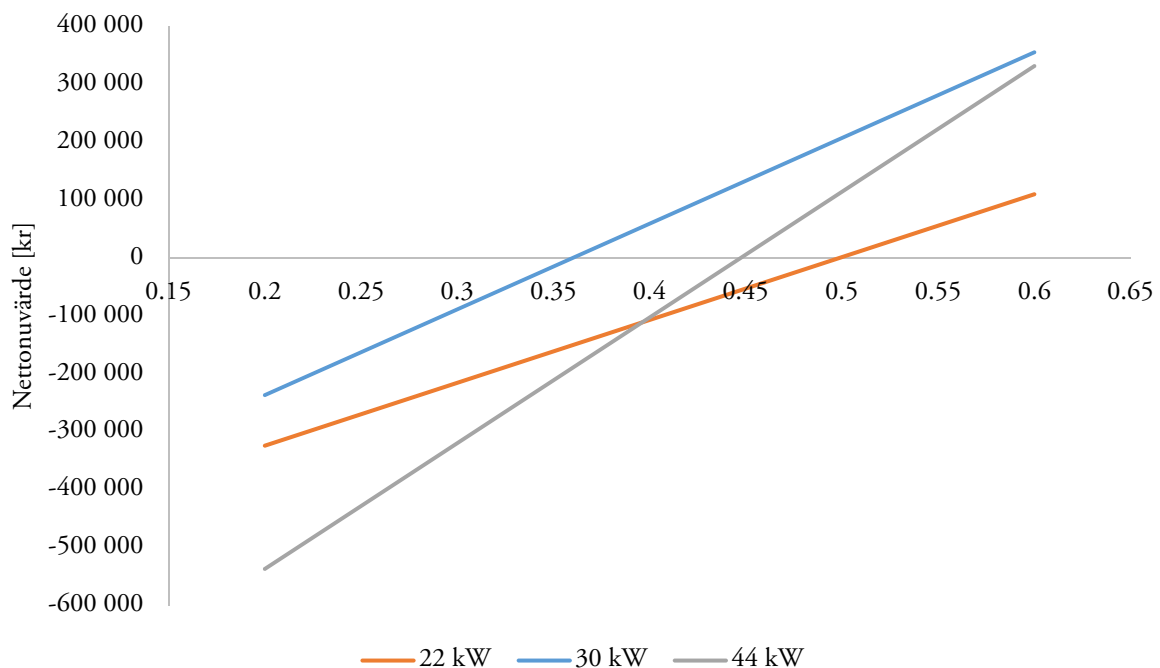
Effekt på motorn	Återbetalningstid, år		
	Lågt elpris	Medel elpris	Högt elpris
22 kW	12	7,4	5,2
30 kW	9,5	5,6	4,0
44 kW	11	6,7	4,8
60 kW	2,0	1,0	0,67

I Tabell 6.7 redovisas nettonuvärdet för systemen. Nettonuvärdet är positivt för både lågt och högt elpris för 60 kW motorn. 30 kW motorn har positivt nettonuvärde för medel och högt elpris, men negativt för lågt. Både motorn med 22 kW och 44 kW är nettonuvärdet negativt för lågt och medel elpris men positivt för högt elpris.

Tabell 6.7 Nettonvärde för de olika systemen.

Effekt på motorn	Nettonvärde, kr		
	Lågt	Medel	Högt
22 kW	-324 200	-107 100	110 000
30 kW	-236 900	59 200	355 300
44 kW	-537 000	-102 700	331 500
60 kW	337 000	838 300	1 340 000

I nettonvärdet har inte vinsten av gasförsäljning tagits med, utan baseras endast på elpris och inkomst från elcertifikat. Den totala lönsamheten därför troligtvis högre om gasen även kan säljas. I Figur 6.7 visas nettonvärdet för 22 kW, 30 kW samt 44 kW-gasmotorn som en funktion av elpriset. 22 kW-gasmotorn kräver ett elpris på minst 0,5 kr/kWh, 30 kW-gasmotorn 0,35 kr/kWh och 44 kW-gasmotorn 0,45 kr/kWh för att investeringen ska bli lönsam.



Figur 6.7 Nettonvärdet för de olika gasmotorerna som en funktion av elpriset.

6.3 Alternativ 3

I detta kapitel har förfrågningar gått ut till två företag som säljer förgasningsanläggningar. I de två första kapitlen presenteras därför de olika lösningarna och i sista underkapitlet visas resultatet av studien.

6.3.1 Frichs sublimator

Frichs är det företag som har levererat och installerat gasmotorn på Måsalücke. De har tagit fram ett så kallat sublimatorsystem, som fungerar på ett liknande sätt som förgasningsprocessen. Biomassan torkas och förs därefter in i sublimatorsystemet där den omedelbart värms upp till 750 °C [46]. Detta resulterar i att flyktiga gaser krackas och biomassan förgasas. Gasen transporteras ut ur reaktorkammaren tillsammans med restprodukten som kallas för biokol (träkol). Kolet absorberar bland annat svavel- och klorföreningar från produktgasen. Därefter kan gasen antingen lagras eller förbrännas direkt för energiproduktion, till exempel i ett CHP-system för elproduktion och produktion av värme eller kyla. Enligt Frichs beräknas sublimatorsystemet att ha en livstid på 10 år.

Sublimatorsystemet kan använda alla sorters biomassa som bränsle [46]. Beroende på vilket bränsle som används kommer restprodukten att få varierande innehåll, men optimalt är om restprodukten är fri från farliga ämnen och därmed kan användas som gödsel på åkrar. Är detta inte möjligt kommer restprodukten behövas tas om hand på annat sätt, till exempel deponering eller destruering.

Frichs har själva analyserat gassammansättningen producerat av torrt träflis. I Tabell 6.8 visas de dominerande kemiska föreningarna, för fullständig analys hänvisas till bilaga 11.3.

Tabell 6.8 Sammansättning på gasen producerad av Frichs sublimatorsystem.

<i>Kemisk förening</i>	<i>Molprocent</i>
<i>CO</i>	35,29
<i>CO₂</i>	19,57
<i>H₂</i>	16,23
<i>CH₄</i>	21,72

Gassammansättningen på gasen från sublimatorn skiljer sig från deponigasen. Huruvida deponigasen kan ersättas med gasen som produceras i sublimatorn kan bestämmas utifrån Wobbeindex, se kapitel 5.3.2.

6.3.2 Entrade förgasningsanläggning

Entrade är ett tyskt företag som har tagit fram en containerlösning för förgasning. Systemet utvecklades för att effektivt kunna utnyttja förnybara energikällor för elproduktion i utvecklingsländer. Anläggningen kräver endast 4 m² yta, och genererar låga mängder tjära vilket ger en längre livstid på systemet och en mer stabil drift [47]. Specifikationerna för själva förgasningsprocessen finns inte tillgängliga, varpå den producerade gasen kommer att antas bestå av främst CO och H₂. Både sublimatorn och Entrades förgasningsanläggning kommer att antas ha 6800 fullasttimmar per år.

6.3.3 Gasernas Wobbeindex

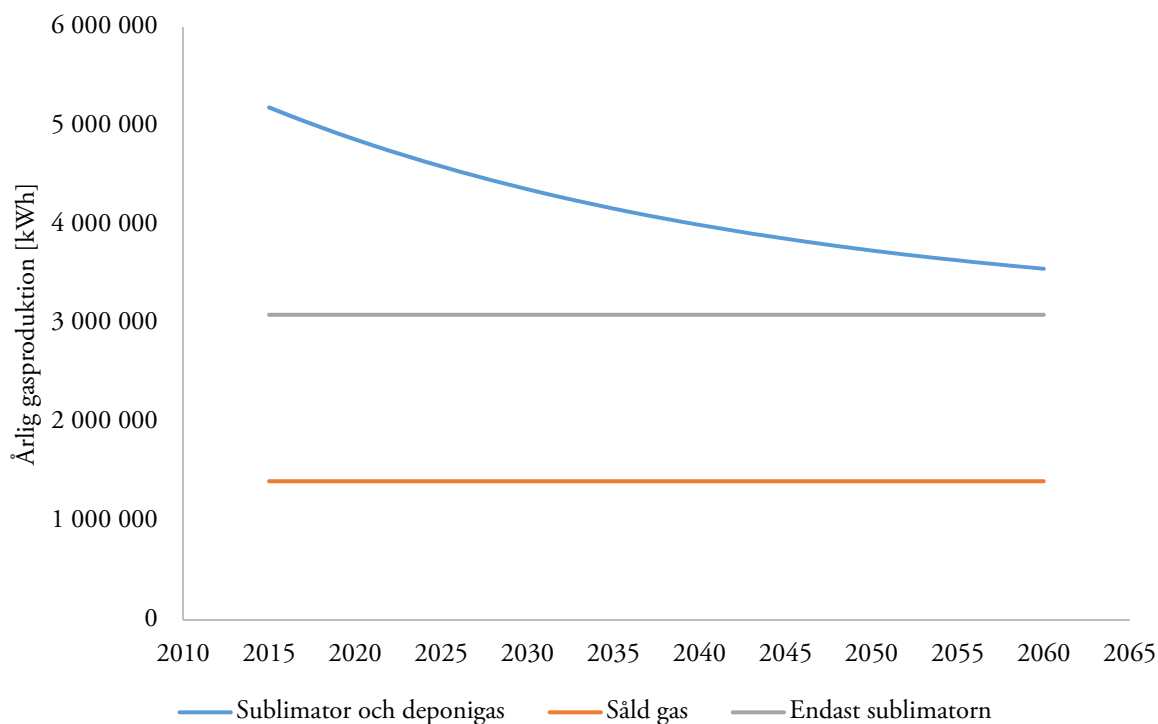
Wobbeindex beräknades för sublimatorn eftersom den producerade gasens sammansättning var tillgänglig. Sammansättningen på gasen från Entrades förgasningsanläggning är inte känd och kunde därför inte beräknas.

För gasen producerad av Frichs sublimator blir Wobbeindex 18,8 MJ/Nm³. Deponigasens sammansättning varierar över året och därför har ett årsmedelvärde för gassammansättningen använts. Detta gav ett intervall på 19,93-21,35 MJ/Nm³ för åren 2011-2014. Skillnaden på ungefär sublimatorgasens och deponigasens genomsnittliga Wobbeindex är 9 % vilket ligger utanför det godkända intervallet. Förändringen av Wobbeindex vid införandet av förgasning kan innebära att brännarna på gaspannorna behöver justeras eller i värsta fall bytas ut. Det är dock värt att notera är att Wobbeindex uträknat med deponigasens genomsnittliga metanhalt över året har en variation på 7 %. En blandning av deponigasen (medelvärde 2011-2014) med gas från sublimatorn har ett Wobbeindex på 19,67 MJ/Nm³ vilket är 4 % lägre än Wobbeindex för deponigasen.

Eftersom deponigasens sammansättning kan ha relativt stora variationer över året medför ett medelvärde osäkerheter.

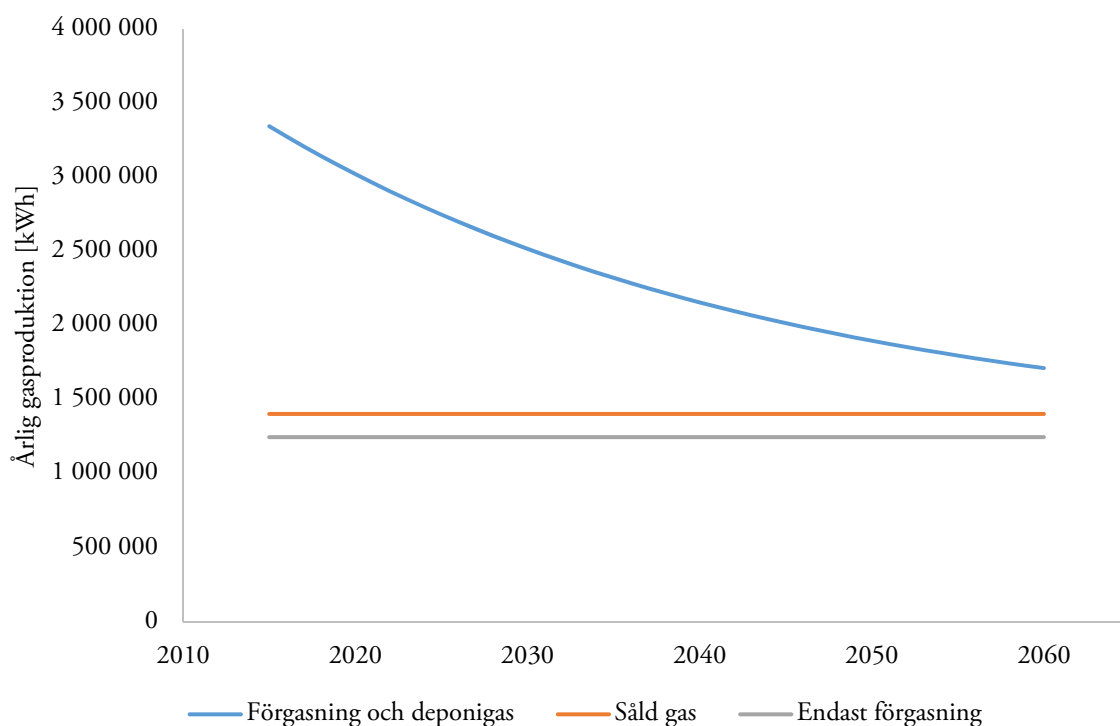
6.3.4 Analys av förgasningsalternativet

Två olika sorters förgasningssystem har undersökts, Frichs sublimatorsystem och Entrades förgasningsanläggning. I Figur 6.8 visas den årliga gasproduktionen från Frichs sublimatorsystem och deponin. Den totala årliga gasproduktionen tillsammans med dagens deponigasproduktion är ca 5 188 000 kWh. Själva sublimatorn har en gasproduktion på 3 089 000 kWh, vilket motsvarar en användning av ungefär 715 ton returträ.



Figur 6.8 Den blå linjen visar den mängd gas som produceras av Frichs sublimator och från deponin. Den orangea linjen visar kundernas gasbehov och den grå linjen visar gasmängden producerad av förgasningsanläggningen.

Entrades förgasningsanläggning producerar mindre gas än sublimatorsystemet, se Figur 6.9. Med dagens deponigasproduktion blir den årliga gasproduktionen ca 3 345 000 kWh. Förgasningsanläggningen producerar 1 247 000 kWh årligen, vilket är något mindre än den totala såda gasen. Detta innebär att förgasningsanläggningen inte kommer kunna tillgodose kundernas totala behov utan förstärkning med deponigas. I förgasningsprocessen används ungefär 290 ton returträ per år.



Figur 6.9 Den blå linjen visar den mängd gas som produceras av Entrades förgasare och från deponin. Den orangea linjen visar kundernas gasbehov och den grå linjen visar gasmängden producerad av förgasningsanläggningen.

Lönsamheten för systemen har beräknats i två fall. I fall 1 används all gas till elproduktion och i fall 2 används gasen till både elproduktion och försäljning för sublimatorn och endast till försäljning för förgasningsanläggningen. Utvärderingen baseras endast på den gas producerad av sublimatorn respektive förgasaren, därmed tas deponigasen inte med som inkomst. Detta är för att tydliggöra investeringens lönsamhet direkt kopplad till systemen. Därutöver tillkommer deponigasen som kan användas tillsammans med den producerade gasen för uppvärmning och elproduktion.

Båda systemen är berättigade elcertifikat vid användning av returträ, vilket har tagits med i den totala årliga inkomsten. Investeringskostnaden för anläggningarna visas i Tabell 6.9.

Tabell 6.9 Investeringskostnader för Frichs sublimatorsystem och Entrades förgasningsanläggning.

	Investeringskostnader, kr
<i>Frichs Sublimator</i>	19 930 000
<i>Entrades förgasning</i>	957 000

Återbetalningstiden för Frichs sublimatorsystem redovisas i Tabell 6.10 för fall 1 och fall 2. Det låga el- och deponigaspriset ger en återbetalningstid på 53 år för fall 1 och 28 år för fall 2. Ett högt pris ger en återbetalningstid på 23 respektive 17 år.

Tabell 6.10 Återbetalningstid för Frichs sublimatorsystem då priset för el respektive deponigas är lågt, medel och högt.

Elpris och deponigaspris	Återbetalningstid, år	
	Fall 1	Fall 2
Lågt	53	28
Medel	32	21
Högt	23	17

I Tabell 6.11 visas återbetalningstiden för Entrades förgasningsanläggning för lågt till högt el- och deponigaspris. Detta ger en återbetalningstid mellan 3,9 till 9,3 år för fall 1 och 1,5 till 2,1 år för fall 2.

Tabell 6.11 Återbetalningstid för Entrades förgasningsanläggning då priset för el respektive deponigas är lågt, medel och högt.

Elpris och deponigaspris	Återbetalningstid, år	
	Fall 1	Fall 2
Lågt	9,3	2,1
Medel	5,5	1,8
Högt	3,9	1,5

Nettonuvärdet för Frichs sublimatorsystem är negativt för även högt pris på el och deponigas för både fall 1 och fall 2, se Tabell 6.12.

Tabell 6.12 Nettonuvärde för Frichs sublimatorsystem då priset för el respektive deponigas är lågt, medel och högt.

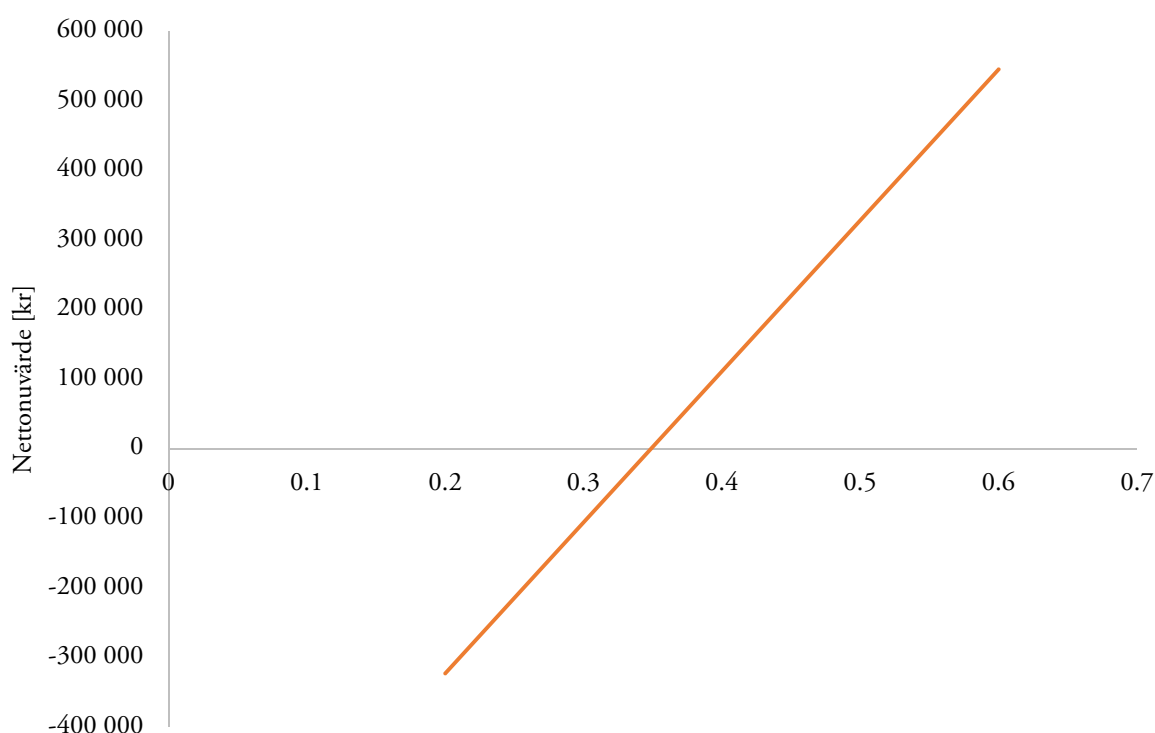
Elpris och deponigaspris	Nettonuvärde	
	Fall 1	Fall 2
Lågt	-17 640 000	-15 490 000
Medel	-16 070 000	-14 200 000
Högt	-14 500 000	-12 660 000

I Tabell 6.13 visas nettonuvärde för Entrades förgasningsanläggning. För fall 1 fås ett negativt nettonuvärde vid ett lågt elpris, men för fall 2 blir nettonuvärdet positivt redan när priset för deponigas är lågt. För medel och högt pris på el och gas är nettonuvärdet positivt för både fall 1 och 2.

Tabell 6.13 Nettonuvärde för Entrades förgasningsanläggning då priset för el respektive deponigas är lågt, medel och högt.

Elpris och deponigaspris	Nettonuvärde	
	Fall 1	Fall 2
Lågt	-323 000	1 880 000
Medel	111 000	2 260 000
Högt	545 000	2 870 000

För att nettonuvärdet för Entrades förgasningsanläggning ska bli positivt krävs ett elpris på 0,35 kr/kWh, se Figur 6.10.



Figur 6.10 Nettonuvärdet för Entrades förgasningsanläggning som en funktion av elpriset.

6.4 Alternativ 4

För att försörja kunderna med fjärrvärme krävs ungefär 310 ton returträ, om fukthalten sätts till 17 %. Ökar fukthalten medför detta att mer returträ krävs och minskar den krävs det istället mindre returträ. Eftersom de mottagna mängderna är betydligt högre än 310 ton innebär detta att försäljningen av det flisade träet inte behöver upphöra, eller att fler kunder eventuellt skulle kunna anslutas till systemet. Beräkningarna har dock utgått ifrån att endast de befintliga kunderna ansluts.

Pannan som valts ut är Osby Parcas P500 med en effekt på 300 kW. En komplett installation av denna kostar 800 000 kr. Ledningskostnaderna uppgår till 8 000 000 kr, och några beräkningar

för anslutningskostnader har inte tagits med eftersom dessa oftast betalas av kunden. Det finns risk för att vid en eventuell anslutning till fjärrvärme skulle kunderna välja en annan lösning om de själva ska stå för denna kostnad, och därför är en eventuell kompromiss eller att Sysav skulle stå för kostnaden en möjlig lösning. Om anslutningen skulle betalas av Sysav blir systemet dyrare än vad som beräknats här.

Priset på fjärrvärmerna har satts till 0,36 kr/kWh för att matcha dagens gaspris. Genomsnittligt fjärrvärmepris för större flerfamiljshus respektive småhus var 0,80 respektive 0,89 kr/kWh år 2014 [48]. Priserna beror främst på bränslepris, men även utformning av nät spelar roll. Ett mindre nät har generellt högre priser än ett större och nät med kraftvärme.

Med en total kostnad på 8 800 000 kr och ett fjärrvärmepris på 0,36 kr/kWh fås en återbetalningstid på 19 år, se Tabell 6.14. Om priset istället sätts till 0,80 kr/kWh blir återbetalningstiden nio år istället. Nettonuvärdet är negativt för båda prisfallen. För ett positivt nettonuvärde skulle ett pris på 0,973 kr/kWh behövas.

Tabell 6.14 Årliga intäkter, återbetalningstid och nettonuvärde när fjärrvärmepriset är 0,36 respektive 0,80 kr/kWh.

<i>Fjärrvärmepris kr/kWh</i>	<i>Årliga intäkter</i>	<i>Återbetalningstid, år</i>	<i>Nettonuvärde, kr</i>
0,36	476 000	18,5	-5 182 000
0,80	951 000	9,25	-1 564 000

7 Diskussion

I kapitel 5 presenterades resultatet av den ekonomiska analysen för de olika alternativen; alternativ 1 där all gas säljs och Måsalücke behöver en alternativ värmekälla, alternativ 2 där gasmotorn prioriteras och kunderna behöver alternativ värmekälla, alternativ 3 där returträ utnyttjas i en förgasningsanläggning samt alternativ 4 där returträ utnyttjas för fjärrvärmeproduktion.

När försäljningen prioriteras i alternativ 1 kan alla kunders behov tillgodoses fram till 2027 men inget utrymme finns för elproduktion. Även om det minsta Frichs Mini CHP-systemet väljs räcker det i dagsläget inte till det totala kundbehovet och gasmotorn, varpå problemet med hur effekttoppar ska hanteras uppstår. Att investera i en ny motor, vilket senast måste ske inom det närmsta året om ingen annan lösning finns, ter sig då mycket olönsamt.

Av de uppvärmningsalternativ som presenteras i kapitel 6.1 är den befintliga gaspannan bäst ur ett kostnadsperspektiv, då den inte har några årliga kostnader eller investeringskostnader. Elpannans årliga kostnader varierar med priset, men även den är redan installerad och har således inga installationskostnader. Värmepumpen har visserligen lägre årliga kostnader, men kräver även ett inköp och installation. Pelletspannan har ungefär samma årliga kostnader som elpannan men har även en investeringskostnad. Dessutom kräver pelletspannan en del arbete i form av påfyllning av pellets och en gång per år behöver pannan stoppas för att askas ur.

Det uppvärmningsalternativ som ter sig mest lönsamt är därför att fortsätta med gaspannan och elpannan. När elpannan behöver ersättas kan värmepumpsalternativet åter igen undersökas.

I alternativ 2 prioriteras gasmotorn framför försäljning. Eftersom dagens gasmotor ska bytas ut inom ett år undersöktes vad som sker om en mindre eller likadan motor väljs. Vid val av en mindre gasmotor behövs en ny Mini CHP-anläggning installeras, vilket driver upp kostnaderna. Återbetalningstiderna för de olika anläggningarna varierar, där 60 kW-motorn var bäst och därefter kom 30 kW-motorn. Elproduktionen är avgörande för återbetalningstiden och för de mindre gasmotorerna blir investeringskostnaderna för höga jämfört med inkomsten av elhandeln, på grund av det låga elpriset.

Nettonvärdet är positivt för 60 kW-gasmotorn även vid lågt elpris, medan 30 kW-gasmotorn kräver ett elpris på 0,35 kr/kWh för att nettonvärdet ska bli positivt. Detta innebär att 30 kW-motorn behöver ett elpris som är högre än dagens, vilket gör investeringen riskfylld. Eftersom 22 kW-gasmotorn kräver ett elpris på minst 0,5 kr/kWh anses detta alternativ alltför riskfylld även i kombination med gasförsäljning.

Gasmotorerna måste användas i kombination med försäljning för att kunna täcka effekttoppar. Om 60 kW-motorn väljs finns det endast ett litet utrymme för försäljning, förutsatt att motorn ska gå på fullast. Vissa kunder har redan börjat förbereda för alternativa uppvärmningskällor. Genom att motorn prioriteras kan det leda till att kunderna då väljer ett annat alternativ vilket minskar möjligheten att använda kunderna i framtiden vid effekttoppar.

Genom att välja 30 kW-gasmotorn frigörs mer gas för leverans till kunderna än då 60 kW-motorn väljs. På så sätt kan kundrelationen bevaras för att även i framtiden ha avsättning för gasen. Om 60 kW-motorn väljs och kundrelationen försämras kan det leda till att när gasmotorn åter igen är gammal och ska bytas ut finns det inga kunder att sälja gas till. Om en mindre motor i det läget inte har tillräckligt hög kapacitet för att förbruka deponigasen i den takt som den produceras uppstår det problem med hur gasen ska avsättas.

I jämförelse av inkomster från gasförsäljning respektive elhandel ger gasförsäljningen mer per kWh_{gas} än elförsäljningen. En kombination av elproduktion och gasförsäljning skulle därför ge en högre total intäkt än vad som tagits med i beräkningarna av nettonuvärde som baserades på endast elhandel.

Om kunderna inte använder deponigas för uppvärmning kommer reservkraften att användas, vilket medför koldioxidutsläpp. Eftersom kunderna har olika reservsystem med varierande grad av utsläpp skulle en prioritering av dessa medföra att utsläppsmängderna kan minimeras. Då skolan har en elpanna installerad med planer på att utnyttja förnyelsebar el är det viktigare att övriga kunder prioriteras. Badet är ensam aktör sommartid och bör då även i fortsättningen få gas under denna period. Äldreboendet och Skogsgård har samma förutsättningar vilket gör att de får samma prioriteringsgrad.

Både miljöaspekterna och ekonomin tyder på att en kombination av gasförsäljning och elproduktion är att föredra. Även möjligheten att täcka upp vid effekttoppar i gasproduktionen är viktigt, varpå 30 kW-motorn är det alternativ i alternativ 2 som står sig bäst, trots det negativa nettonuvärdet då elpriset är lågt.

I alternativ 3 undersöks möjligheterna att använda en förgasningsanläggning för att kunna utnyttja deponigasen in i det sista. Två alternativ presenterades, Frichs sublimatorsystem och Entrades kompakta förgasningsanläggning.

Frichs sublimatorsystem hade en återbetalningstid på 23 till 53 år för fall 1 och 17 till 28 år för fall 2, beroende på el- och deponigaspriset. Detta är betydligt längre än för Entrades förgasningsanläggning som hade 3,9 till 9,3 år respektive 1,5 till 2,1 år. Entrades anläggning hade positivt nettonuvärde även vid det låga elpriset medan sublimatorsystemet inte var lönsamt i något av fallen.

Frichs sublimatorsystem är 20 gånger dyrare än vad Entrades förgasningsanläggning är, vilket är den största skillnaden mellan systemen ekonomiskt sett. Trots att sublimatorn har högre produktion blir investeringen inte lönsam på grund av den höga investeringskostnaden. Entrades förgasningsanläggning producerar mindre gas men anses ändå vara tillräckligt för att kunna utnyttja förgasningen till att blanda med deponigas och på så sätt möjliggöra för gasuttag även i framtiden.

Undersökningen av både sublimatorsystemet och förgasningsanläggningen bygger på något osäkra antaganden. Gasproduktionen från returträ behöver fastställas för båda systemen, då endast ett genomsnittligt värmevärde och fukthalt har använts i beräkningarna. Även kostnader för att koppla ihop deponigasen med den producerade gasen måste kartläggas. Deponigasen bör blandas med gasen från förgasningen före gasen når gasmotorn. Då kan motorn vid hög deponigasproduktion

utnyttja deponigas i första hand, och vid låg produktion används förgasaren. Eftersom Entrade säljer containerlösningar behöver systemet då förmodligen byggas om och en del nya ledningar dras, vilket höjder kostnaden.

Alternativ 4 behandlar potentialen med fjärrvärme till Sankt Olof och sker antingen parallellt med alternativ 2 eller då gasproduktionen i deponin har minskat till sådana nivåer att den inte längre går att utnyttja.

Beräkningarna utfördes för två fjärrvärmepris, 0,36 kr/kWh och 0,80 kr/kWh, vilka båda gav negativa nettonuvärden. För att investeringen ska vara lönsam skulle ett pris på 0,973 kr/kWh krävas. Jämfört med dagens deponigaspris på 0,365 kr/kWh är fjärrvärmepriset högt och det är mindre troligt att kunderna är villiga att ansluta sig till nätet, särskilt om kunderna själva ska stå för anslutningskostnaden. Eftersom nätet kommer att vara enskilt behövs ingen hänsyn tas till andra aktörers prissättning vilket ger flexibilitet, men återigen är det viktigt att undersöka vad kunderna kan tänka sig att betala för fjärrvärmen.

Den ekonomiska kalkylen baserades endast på rörkostnader och pannkostnaden, och om Sysav skulle stå för anslutningskostnaden kommer detta att driva upp fjärrvärmepriset. Eftersom skolan i dagsläget har en elpanna installerad samt förberett för värmepump och badet inom kort kommer att installera elpanna är det mindre troligt att dessa kunder kommer ansluta sig till fjärrvärmenätet.

Andra osäkerheter i de ekonomiska beräkningarna kopplat till fjärrvärmen är anslutningsgraden och den ekonomiska livslängden. Den ekonomiska livslängden sattes till 15 år, en längre livslängd medför att minsta lönsamma fjärrvärmepris sänks från 0,973 kr/kWh, dock endast marginellt. En högre anslutningsgrad än vad som räknats med skulle eventuellt kunna ge en lönsam investering men behöver undersökas noggrannare.

Beroende på vilket alternativ som väljs finns det olika aspekter att undersöka närmre och ha i åtanke. Vid ett byte av Frichs Mini CHP-system behöver skicket på ledningarna undersökas. Dagens ledningssystem passar till de mindre anläggningarna men om de befinner sig i alltför dåligt skick kommer dessa att behöva bytas ut, vilket inte har tagits med i beräkningarna.

Förgasningen har flera aspekter som måste undersökas närmre. I förgasningsprocessen bildas tjära som en restprodukt, som måste tas om hand. De föroreningar som finns i returträet (från behandling med till exempel lack eller färg) blir avgörande för vilken behandling som tjäran kräver. Frichs sublimator bildar biokol vid förgasning av halm vilket sedan kan användas för jordförbättring i jordbruket. Om föroreningar från returträet hamnar i biokolen försvinner möjligheten för användning som jordförbättring och restprodukten behöver eventuellt deponeras eller destrueras. Samma resonemang gäller för Entrades förgasningsprocess. Det är därför nödvändigt att undersöka närmre hur restprodukten ska hanteras.

Det finns flera problematiska aspekter med att skicka ut gasen från förgasningsprocessen på det befintliga gasnätet. Vätehalten i gasen kan orsaka problem i ledningarna eftersom väte diffunderar in i metallen och gör den spröd, vilket kan leda till sprickbildning och orsaka stora skador. Därför behöver skicket på rörmaterialen i dagens ledningar och förutsättningarna för att använda den producerade gasen utredas närmre.

Lagstiftningen kopplad till gasnäten har inte undersökts och om förgasningsalternativet väljs kommer detta att behöva kartläggas. Det kan finnas skillnader på de krav som ställs på mindre gasnät jämfört med de större naturgasnäten. Eftersom gasen inte avses att kopplas till naturgasnätet ställs inte samma krav på uppgradering, men det finns risker med CO, H₂ och övriga komponenter i gasen som måste tas i åtanke.

Att blanda den producerade gasen med deponigas är fullt möjligt så länge Wobbeindex hålls inom intervallet (± 5 %). Eftersom gasblandningen har 4 % lägre Wobbeindex än deponigasen innebär detta att brännarna bör klara av den nya gassammansättningen. Däremot måste Wobbeindex för Entrades system beräknas för att kunna avgöra om den går att använda hos kunderna eftersom detta inte har varit möjligt att göra eftersom information har saknats.

Frichs sublimatorsystem marknadsförs med att vilket kolhaltigt bränsle som helst går att använda, även hushållsavfall. Därför är det tänkbart att eventuella spik och andra rester i returträet inte skulle orsaka några större problem i detta system, men vad som gäller för Entrades förgasningsanläggning är oklart. En mer noggrann sortering av returträet, där eventuella metaller avlägsnas skulle då vara en tänkbar lösning. För Osby Parcas fastbränslepanna gavs rekommendationen att inte använda trä med metallrester.

Vid förbränning av trä bildas bland annat NO_x, SO₂ och partiklar, vilka renas bort enligt gällande gränsvärden. Förbränning av returträ kan medföra utsläpp av andra föroreningar, beroende på vad träet har behandlats med. Rening av dessa kan kräva en installation av extra reningsutrustning, vilket skulle medföra höga kostnader. Om eldning av returträ ska bli aktuellt måste dels utsläppsnivåerna fastställas och dels måste det undersökas om extra reningsutrustning krävs.

Genom att blanda deponigas med gas från förgasningsprocessen kan problemet med sjunkande metanhalt i viss mån undvikas. Om syftet är att minimera metanläckage till atmosfären kommer luft att sugas in i deponin, med en lägre metanhalt som följd. Deponigas med låg metanhalt kan då blandas med gas med ett högre värmevärde och deponigasen kan utnyttjas längre. Det som är viktigt att tänka på är att syrgas- och kvävgasnivåerna inte blir för höga, samt att Wobbeindex inte blir för lågt.

8 Slutsats

Av de alternativ som presenterats framstår 30 kW-gasmotorn och Entrades förgasningsanläggning som de bästa. Med en mindre gasmotor finns det möjlighet att ha kvar kunderna vilket möjliggör hantering av effekttoppar. Gasmotorn kräver ett något högre elpris än dagens för att investeringen ska vara lönsam, men att fortsätta med 60 kW-motorn innebär att det finns mindre gas till kunderna som då efterhand kommer behöva alternativa uppvärmningskällor. Vid en ny installation av gasmotor i det läget kan det innebära att gasmotorns förbrukning är för låg i förhållande till deponins gasproduktion och ingen annan avsättning för gasen finns.

Entrades förgasningsanläggning är ett intressant alternativ för att kunna ta tillvara på deponigasen även då deponigasproduktionen minskar och metanhalt sjunker. Deponigas med låg metanhalt kan då blandas med gas med ett högre värmevärde och deponigasen kan utnyttjas längre. Den låga investeringskostnaden gör systemet lönsamt med ett elpris på 0,35 kr/kWh och återbetalningstiden blir kort. Rekommendationen blir därför att investera i antingen en Frichs Mini CHP på 30 kW eller Entrades kompakta förgasningsanläggning.

Vilket alternativ som väljs kommer att avgöra den framtida driften av deponigassystemet. Genom att ta hand om gasen så länge som möjligt minskar utsläppet till atmosfären, och därmed minskar klimatpåverkan från deponin. För att systemet ska vara så hållbart som möjligt bör den lösning som möjliggör mest insamling och omhändertagande av gasen väljas.

9 Förslag till fortsatta studier

Entrades förgasningsanläggning behöver undersökas i detalj för att avgöra om den är ett realistiskt alternativ. Det behöver då undersökas om anläggningen kan anpassas för att samköras med deponigas, och vilka kostnader detta skulle innebära. Detta rekommenderas att göras, eftersom deponigasen skulle kunna utnyttjas längre.

I undersökningen av metanhaltens säsongsvariationer visade det sig att vintertid var andelen restgaser i deponigasen hög, och sommartid var den låg. Restgaserna består till största delen av kvävgas, vilket tyder på att luft sugas in i deponin vintertid vilket sänker metanhalten. Vad det ökade luftinsuget beror på är inte fastställt. I rapporten presenterades två tänkbara anledningar, där den första är att gasuttaget hålls konstant men gasproduktionen har minskat på grund av sjunkande utomhustemperatur vilket leder till luftinsug i deponin. Den andra är att gasutsuget ökar eftersom det är kallt och värmebehovet hos kunderna då går upp. Om orsaken till det ökade luftinsuget i deponin fastställs, är det möjligt att ändrade driftsrutiner kan förhindra att det sker i fortsättningen.

Kvoten mellan andelen metan och koldioxid har även den visat på säsongsvariationer. Här hittades ingen förklaring till varför andelen koldioxid ökar, alternativ metanhalten minskar, men genom att fastställa vilka processer som styr sambandet hade kunskapen ökat om vad som sker i deponin, vilket skulle leda till en bättre hantering av deponigasen.

När prognosen för deponigasproduktionen beräknades utifrån litteraturvärden blev produktionen högre än vad som samlats in. Modellerna för prognosen är osäkra och konstanterna svåra att bestämma utifrån endast litteraturstudier. Trots det finns det risk att gasproduktionen är högre än vad som samlas in idag, och en undersökning av metanläckaget från deponin hade kunnat visa på om några rutiner bör ändras. Därför rekommenderas det att mäta det faktiska metanläckaget från deponin. Insamlingsgraden kan eventuellt höjas genom att installera fler brunnar och om läckaget är stort bör detta övervägas.

10 Litteraturförteckning

- [1] IPCC, "Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- [2] H. Brolinson, "Snabbstatistik, nationella utsläpp av växthusgaser (år 2014)," Naturvårdsverket, 11 05 2015. [Online]. Available: <https://naturvardsverket.se/sv/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-snabbstatistik-for-ar-2014/>. [Använd 02 06 2015].
- [3] H. Lindqvist, "Lagar och regler om avfall," Naturvårdsverket, 19 12 2014. [Online]. Available: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Avfall/Lagar-och-regler-om-avfall/>. [Använd 30 05 2015].
- [4] Naturvårdsverket, "Dispens från deponeringsförbud - Naturvårdsverket," 09 01 2015. [Online]. Available: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Avfall/Om-deponering-av-avfall/Dispens-fran-deponeringsforbud/>. [Använd 23 03 2015].
- [5] A. Lagerkvist, Landfill Technology, Luleå, 2003.
- [6] S. Serti och H. Rosqvist, "Handbok för deponigas," Avfall Sverige Utveckling, Malmö, 2013.
- [7] L. Arvidsson, E. Heander, A. Hedenstedt, K. M. Persson och S. Serti, "Avfall Sveriges Deponihandbok - Reviderad handbok för deponering som en del av modern avfallshantering," Avfall Sverige Utveckling, Malmö, 2012.
- [8] L. M. Davis och A. D. Cornwell, Introduction to Environmental Engineering, Fourth Edition, New York: McGraw-Hill, 2008.
- [9] A. Almqvist, Interviewee, *Telefonsamtal*. [Intervju]. 04 05 2015.
- [10] M. Jonstrup, M. Murto och L. Björnsson, Environmental biotechnology, Lund: Lund University, 2011.
- [11] M. Åkesson, Biogas Generation in Landfills - Equilibria, rates & yields, Lund: Department of Water Resources Engineering, 1997.
- [12] M. Näslund, Energigasteknik, 2:a red., Lund: Mediatryck, 2003.

- [13] Sveriges lantbruksuniversitet, "Väderdata - SLU," Sveriges lantbruksuniversitet, 2015. [Online]. Available: <http://www.slu.se/sv/fakulteter/nj/om-fakulteten/ovriga-enheter/faltforsk/vader/lantmetv/>. [Använd 26 02 2015].
- [14] P. Nilsson, "Optimerad metangasutvinning genom styrd avfallsuppläggning : lägesrapport 5, SYSAV, Spillepeng : ett projekt inom samordnad deponigas," RVF, Malmö, 1997.
- [15] P. Svensson, Interviewee, *Telefonsamtal*. [Intervju]. 31 03 2015.
- [16] Intergovernmental Panel on Climate Change, "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (Vol. 3) - Waste," IPCC, 1996.
- [17] S. Thompson, J. Sawyer, R. Bonam och J. E. Valdivia, "Building a better methane generation model: Validating models with methane recovery rates from 35 Canadian landfills," *Waste Management*, vol. 29, nr 7, pp. 2085-2091, July 2009.
- [18] Z. Mou, C. Scheutz och P. Kjeldsen, "Evaluating the biochemical methane potential (BMP) of low-organic waste at Danish landfills," *Waste Management*, vol. 34, nr 11, pp. 2251-2259, 2014.
- [19] "Methane Oxidation in Swedish Landfills Quantified with the Stable Carbon Isotope Technique in Combination with an Optical Method for Emitted Methane," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 41, nr 19, pp. 6684-6690, 2007.
- [20] F. M. A/S, "Frichs Mini datablad biogas".
- [21] R. Sjöholm, Interviewee, *Mailkorrespondans*. [Intervju]. 15 04 2015.
- [22] Statistiska Centralbyrån, "Genomsnittlig energianvändning för uppvärmning av lokaler 2008," 05 11 2009. [Online]. Available: http://www.scb.se/sv_/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Energi/Tillforsel-och-anvandning-av-energi/Energistatistik-for-lokaler/6278/2008A01/Genomsnittlig-energianvandning-for-uppvarmning-av-lokaler-2008/. [Använd 15 04 2015].
- [23] B. Andersson, Interviewee, *Telefonsamtal*. [Intervju]. 03 03 2015.
- [24] Konsumenternas Energimarknadsbyrå, "Höjd energiskatt 2015," 12 12 2014. [Online]. Available: <http://www.energimarknadsbyran.se/El/El-nyheter/Kategorier/2014/Hojd-energiskatt-2015/>. [Använd 10 05 2015].
- [25] Energimyndigheten, "Tilldelningsperiod för anläggningar," 29 04 2015. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/Foretag/Elcertifikat/Elproducent/Utfasning-av-anlaggningar/>. [Använd 10 05 2015].

- [26] Energimyndigheten, "CESAR," 22 05 2015. [Online]. Available: <https://cesar.energimyndigheten.se/WebPartPages/AveragePricePage.aspx>. [Använd 22 05 2015].
- [27] Energimyndigheten, "Kvotnivåer," 23 04 2015. [Online]. Available: <https://www.energimyndigheten.se/Foretag/Elcertifikat/Kvotplikt/Kvotnivaer/>. [Använd 22 05 2015].
- [28] C. Kellberg, "Hur mycket koldioxid medför din elanvändning?," Svensk Energi, 27 05 2014. [Online]. Available: <http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Miljo-och-klimat/Klimatpaverkan/Hur-mycket-koldioxid-medfor-din-elanvandning/>. [Använd 06 05 2015].
- [29] Energimarknadsinspektionen, "Residualmixen," Energimarknadsinspektionen, 05 06 2014. [Online]. Available: <http://www.energimarknadsinspektionen.se/sv/el/elmarknader-och-elhandel/ursprungsmarkning-av-el/ursprungsmarkning-information-framst-for-elhandelsforetag/residualmixen/>. [Använd 06 05 2015].
- [30] J. Wehlin, Interviewee, *Mailkorrespondans*. [Intervju]. 31 03 2015.
- [31] H. Alvarez, *Energiteknik Del 1*, Lund: Studentlitteratur AB, 2006.
- [32] L. Wester, *Förbrännings- och rökgasteknik*, Västerås: Mälardalens Högskola, 2009.
- [33] Sysav AB, "Sorteringsguide," 29 10 2014. [Online]. Available: <http://www.sysav.se/foretag/Sorteringsguiden-for-foretag/?sg-t=avfall>. [Använd 19 05 2015].
- [34] Sysav AB, "Sorteringsguide," 29 10 2014. [Online]. Available: <http://www.sysav.se/foretag/Sorteringsguiden-for-foretag/?sg-t=avfall&sg-q=Tryckimpregnerat%20tr%C3%A4&sg-qid=1179>. [Använd 18 05 2015].
- [35] ECN Biomass & Energy Efficiency, "Phyllis2 - Database for biomass and waste," Energy research Centre of the Netherlands, 2015. [Online]. Available: <https://www.ecn.nl/phyllis2/>. [Använd 19 05 2015].
- [36] T. B. Reed och A. Das, "Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems," Solar Energy Research Institute, Golden, Colorado, 1988.
- [37] Frichs A/S, *Beskrivelse af FRICHS SUBLIMATOR system*, Frichs A/S, 2015.
- [38] ENTRADE Energiesysteme AG, "E3," 2015. [Online]. Available: <http://www.entrade.co/e3.html>. [Använd 25 05 2015].

- [39] Svensk Fjärrvärme AB, "Kulvertkostnadskatalog," Svensk Fjärrvärme AB, 2007.
- [40] O. Svensson, Interviewee, *Telefonsamtal, Osby Parca, teknisk säljare*. [Intervju]. 20 05 2015.
- [41] Osby Parca, "P500 Osby Parca," 2015. [Online]. Available: <http://www.osbyparca.se/product/4915/>. [Använd 26 05 2015].
- [42] Nordic Pipe, "Isolerade rör," 2015. [Online]. Available: <http://nordicpipe.se/isolerade-ror>. [Använd 29 05 2015].
- [43] I. Persson och S.-Å. Nilsson, *Investeringsbedömning*, Helsingborg: AB Boktryck, 1999.
- [44] Installera-varmepump.se, "Pris på varmepump," 2015. [Online]. Available: <http://www.installera-varmepump.se/pris>. [Använd 30 04 2015].
- [45] Svensk Kylservice AB, "Mitsubishi EcoDan Tank Split SW50V," 2005. [Online]. Available: <http://www.svenskkylservice.se/produkt/mitsubishi-ecodan-tank-split-sw50v/>. [Använd 28 04 2015].
- [46] s. A. Värmebaronen, Interviewee, *Telefonsamtal*. [Intervju]. 20 05 2015.
- [47] Pelletsförbundet, "Statistik," 2015. [Online]. Available: <http://pelletsforbundet.se/statistik/>. [Använd 20 05 2015].
- [48] Svensk Fjärrvärme AB, "Fjärrvärmepriser," Svensk Fjärrvärme AB, 2015. [Online]. Available: <http://www.svenskfjarrvarme.se/statistik--pris/fjarrvarmepriser/>. [Använd 14 05 2015].
- [49] C. Bernes, *En ännu varmare värld - Växthuseffekten och klimatets förändringar*, Värnamo: Fälth & Hässler, 2007.
- [50] Osby Parca, "Elpanna - Osby Parca," 2015. [Online]. Available: <http://www.osbyparca.se/product/elpanna/>. [Använd 30 04 2015].
- [51] Å. Jarvis och A. Schnürer, "Rapport SGC 207 Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar," Svenskt Gastekniskt Center AB, 2009.

11 Bilagor

11.1 Beräkningar på deponigasuttag

Metanhalten varierar kontinuerligt beroende på bland annat temperatur och luftinsug i deponin. Deponigasens värmevärde är direkt kopplat till hur hög andel metan som finns i gasen och används för att beräkna om gasanvändningen från normalkubikmeter (Nm³) till kWh. Metanhalten mäts en gång i veckan, men några undantag för de första åren. Ett medelvärde för metanhalten under månaden tas fram och ger det genomsnittliga undre värmevärdet för den månaden.

I avsnittet om gasmätaren jämförs uppmätta gasmängder från loggboken med redovisade gasmängder i de årliga miljörapporterna. Den beräknade genomsnittliga metanhalten stämmer inte överens med de i miljörapporterna och därför används enheten Nm³ i detta kapitel för att undvika onödiga felkällor. Därefter kommer enheten kWh att användas för alla beräkningar.

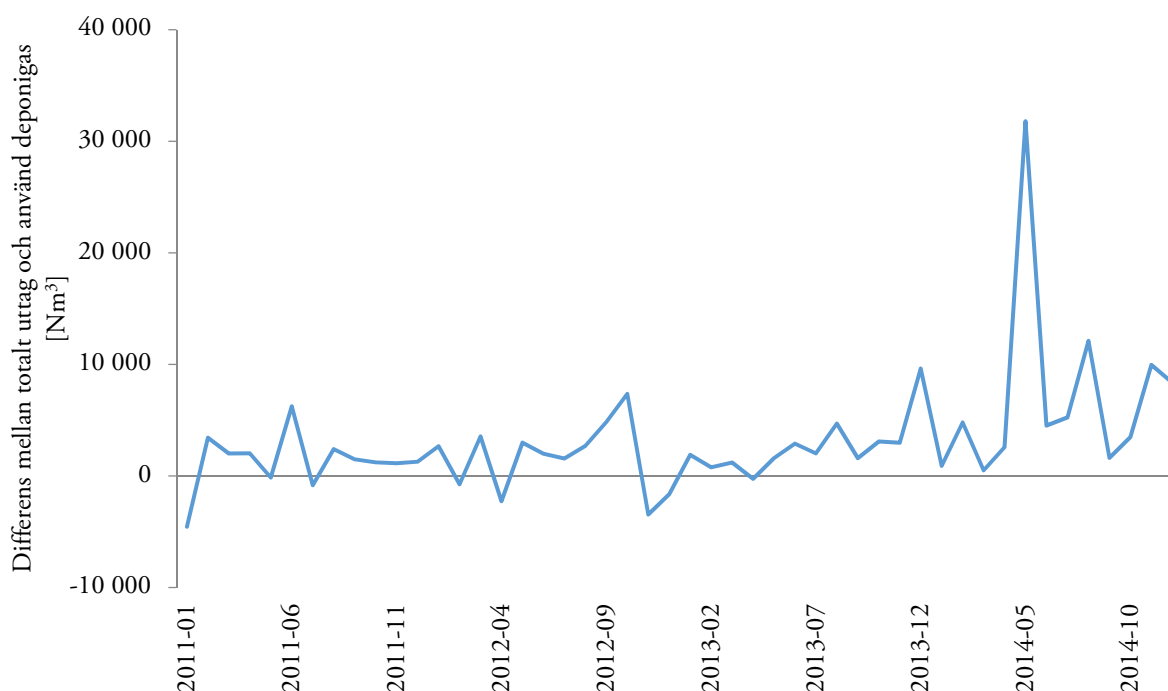
11.1.1 Hantering av mätdata

Mätvärden för såld deponigas samt producerad, köpt och såld el avläses manuellt på Måsalycke vid varje månadskifte. Detta medför att mätaren ibland läses av i slutet på månaden och ibland i början. För att möjliggöra en analys har därför mätdatan för den siste varje månad interpolerats fram för att få fram varje månads totala förbrukning.

Genom att interpolera fram månads totala förbrukning ger detta upphov till felkällor. Interpoleringen innebär att ett medelvärde tas mellan avläsningarna. På detta sätt förloras eventuella toppar eller dippar i gasförbrukningen och ger ett mindre representativt månadsvärde. För årsförbrukningen spelar detta dock mindre roll eftersom då summeras hela årets förbrukning. Vid årsskiftet har gasförbrukningen interpolerats och kan här ge upphov till samma felkälla som vid månadsavläsningarna.

11.1.2 Nuvarande gasuttag från deponin

Gasflödet ut ur deponin mäts med en bälgmätare som sitter mellan fläktstationen och absorptionstorken, Figur 3.2 i kapitel 3. Eftersom gaspannans förbrukning inte har dokumenterats beräknades denna genom att mätvärden för såld gas och gaskonsumtion i gasmotorn subtraherades från flödet ut ur deponin. Resultatet visas i Figur 11.1 där eventuella toppar bör representera gaspannan. De negativa värdena tyder på att såld gas och gasmotorns konsumtion är högre än gasuttaget, vilket inte är fysisk möjligt. Detta ledde till misstanken att mätaren inte fungerar korrekt, vilket senare verifierades av områdeschef Rickard Sjöholm. Mätaren har fortsatt att mäta även vid de tillfällen då anläggningen stått stilla och gasflödet varit noll, men varför differensen blir negativ vid några tillfällen kan inte förklaras av detta då det borde kontinuerligt ge för höga värden.



Figur 11.1 Differensen mellan mätvärden för totalt uttag av gas och använd gas (såld gas och gasmotor)

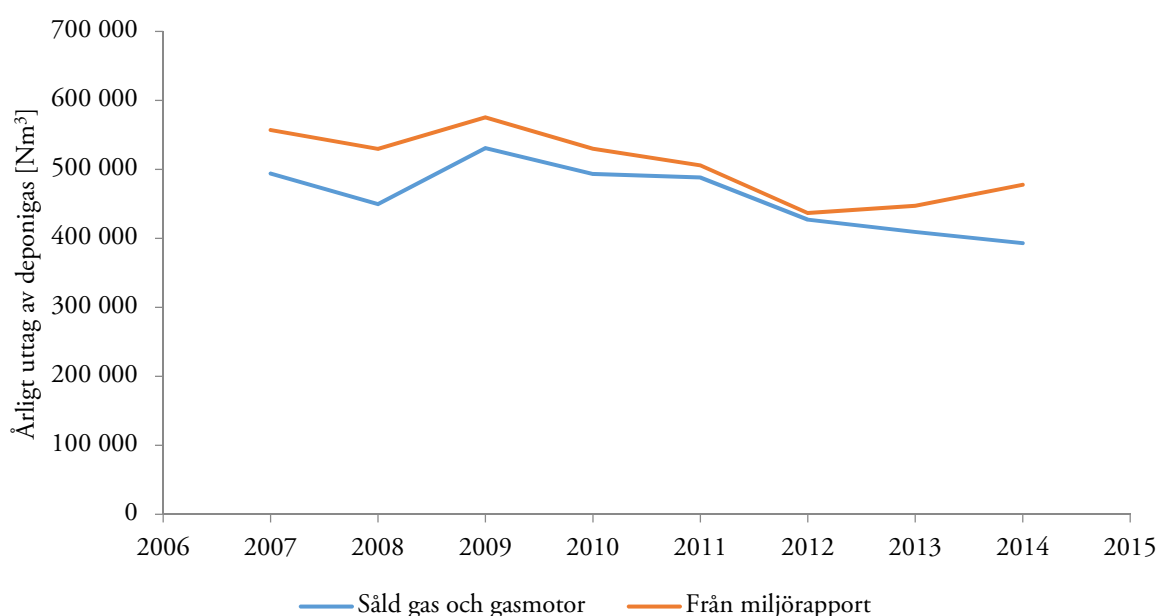
En möjlig felkälla till de negativa värdena är den mängd fukt som finns i gasen och sedan torkas bort. Metanhalten i deponigasen mäts innan gasen torkas och genom att avlägsna fukt fås därmed ett högre värmevärde som i sin tur innebär en lägre förbrukning av Nm³ gas. Detta innebär att den beräknade gasmängden, som har högre fukthalt, är högre än den riktiga förbrukningen och kan på så sätt ge upphov till de negativa värdena i Figur 11.1. Även mätfel från gasmätaren kan förekomma och orsaka differenser.

Verkningsgraden har som tidigare nämnt satts till 29,2 % och antas vara konstant, vilket inte är realistiskt. Denna lär vara lägre och därmed ge en högre gasförbrukning vilket påverkar differensen åt andra hållet och eventuellt väger upp för den felaktiga fukthalten.

När anläggningen har stått stilla har gasmätaren fortfarande gjort mätningar, vilket betyder att dessa värden inte är tillförlitliga. Därför kommer totala gasuttaget att baseras på mängden såld gas och

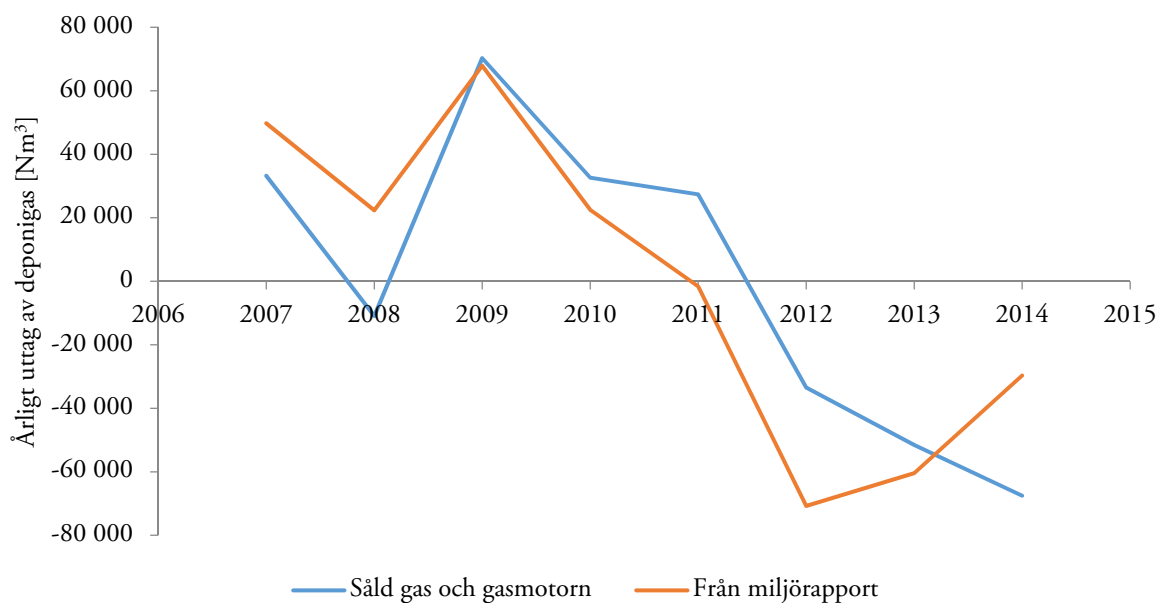
gasmotorns elproduktion, i fortsättningen kallade för beräknade värden. Detta ger osäkerheter eftersom gasmotorns verkningsgrad har antagits vara densamma som för en ny gasmotor, vilket sannolikt inte stämmer eftersom verkningsgraden bör ha sjunkit på grund av till exempel slitage. Inga mätningar har gjorts på gasflödet in eller ut ur gasmotorn, vilket medför att det inte går att beräkna fram en ny verkningsgrad. Det är heller inte möjligt att beräkna gaspennans förbrukning, varpå gaspennans förbrukning kommer att försummas.

Beräknad totalanvändning jämförs med de dokumenterade värdena i Måsalyckes miljörapporter i Figur 11.2. De följer någorlunda samma kurva fram till årsskiftet mellan 2011 och 2012, därefter ökar värdena från miljörapporten medan de beräknade fortsätter att minska. Det är därför troligt att mätaren slutade fungera vid denna tidpunkt, eftersom värdena i miljörapporten kommer från mätarens avläsningar. Den lägre förbrukningen för de beräknade värdena förklaras av att gaspennan förmodligen står för denna skillnad.



Figur 11.2 Totalt utvunnen deponigas baserade på mätvärden respektive beräknade värden

För att tydliggöra skillnaden på de uppmätta respektive de beräknade värdena kan variationen kring medelvärdet undersökas. I Figur 11.3 har medelvärdet för de uppmätta värdena respektive de beräknade för perioden 2007 till 2014 subtraherats från den respektive årliga datan. Linjerna borde ha ungefär samma variation om den enda skillnaden är gaspennans förbrukning. Fram till 2012 har linjerna ungefär samma variation, men sedan börjar de uppmätta värdena öka medan de beräknade fortsätter att minska. Med kunskapen om att gasmätaren har gjort mätningar medan anläggningen står stilla tyder detta på att det var runt år 2012 som gasmätaren slutade fungera.



Figur 11.3 Skillnad mellan medelvärde och årsförbrukning för perioden 2007 till 2014

Eftersom det inte helt framgår när gasmätaren slutade fungera anses alla mätvärden på gasuttaget vara otillförlitliga. Det råder även osäkerhet huruvida övriga mätningar från denna mätare är korrekta, så som koldioxid- och metanhalt.

Övriga flödesmätare har inte kontrollerats, men för att möjliggöra beräkningar och analys av systemet kommer dessa antas vara fungerande.

11.2 Fukthalt i returträ

Genomsnittlig fukthalt i returträ beräknades utifrån den tillgängliga datan i databasen Phyllis2. De använda bränsleslagen redovisas i tabellen nedan.

<i>Bränsle</i>	<i>LHV (MJ/kg)</i>		<i>HHV (MJ/kg)</i>		<i>Fukthalt (wt%)</i>
	<i>Fuktigt</i>	<i>Torrt</i>	<i>Fuktigt</i>	<i>Torrt</i>	
<i>Demolition wood, painted, 911</i>	16,54	18,67	17,85	19,85	10,1
<i>Demolition wood, painted, 939</i>	17,31	18,27	18,59	19,5	4,65
<i>Demolition wood 848</i>	15,46	17,24	16,75	18,41	9,01
<i>Demolition wood 1929</i>	15,31	18,44	16,82	19,78	15
<i>Demolition wood 2712</i>	16,59	18,38	17,91	19,6	8,6
<i>Demolition wood 2900</i>	14,5	17,56	15,93	18,81	15,3
<i>Demolition wood 2901</i>	13,45	15,83	14,77	16,98	13
<i>Demolition wood 2918</i>	15,34	17,67	17,28	19,55	11,6
<i>Demolition wood chipped 676</i>	9,11	17,79	10,81	18,94	42,9
<i>Demolition wood chipped 679</i>	14,04	18,53	15,56	19,8	21,4
<i>Treated wood, used wood 3076</i>	18,43	18,73	19,8	20,08	1,4
<i>Recycled, treated wood, used wood chemichally untreated 3275</i>	12,32	18,92	14,01	20,27	30,9
<i>Recycled, treated wood, used wood chemichally untreated 3276</i>	11,78	18,97	13,48	20,3	33,6
<i>Recycled, treated wood, used wood chemichally untreated 3277</i>	13,24	18,9	14,9	20,27	26,5
<i>Treated wood, used wood waste wood MB3 3060</i>	-	-	18,13	18,51	2,05
<i>Treated wood 3109, wood chips</i>	12,53	18,7	14,17	20,01	29,2
<i>Medelvärde</i>		18,1		19,4	17,2

11.3 Frichs datablad

Frichs Motorservice A/S

Satellitvej 3, DK 8700 Horsens, Danmark

FrichsMini, datablad Biogas

Anlægsdata

Type		22	30	60
El-effekt	kW	22	30	60
Varmeeffekt	kW	55	70	125
Indfyret effekt 1)	kW	85,25	117,70	205,60
Gasforbrug 1)	Nm ³ /h	13,95	19,30	33,64
Minimum gstryk	mbar	24	24	24
Maksimum gstryk	mbar	100	100	100
Maksimum udstødsmodtryk	mbar	20	20	20
Virkningsgrad, el	%	25,8	25,5	29,2
Virkningsgrad, varme	%	64,5	59,5	60,8
Totalvirkningsgrad	%	90,3	85,0	90,0
Længde	mm	2250	2250	3200
Bredde	mm	700	700	900
Højde	mm	1150	1150	1450
Tør vægt	kg	920	950	1600
Gastilslutning	"RG	3/4	3/4	1
Vandtilslutning, kold	"RG	1	1	2
Vandtilslutning, varm	"RG	1	1	2
Udstødtilslutning	"RG	2	2	3
Lydniveau 2)	dB(A)	<70	<70	<70

1) Ved biogas med $H_n = 22 \text{ MJ/Nm}^3$

2) Frifeltmåling i 1 m afstand

Motordata

Type		22	30	60
Fabrikat		Valmet	Valmet	Valmet
Type		420	420G	634G
Cylinderantal		4	4	6
Smøreolievolumen	l	17	17	24
Smøreolieforbrug 1)	g/kWh	0,4	0,4	0,4

Anbefalede smøreolier er:

Elf Nateria V30

Mobil Pegasus 610

Generatordata

Type		22	30	60
Fabrikat		AEG	AEG	AEG
Type		KT7 180M- BB030Z	KT7 180L- BB030Z	KT7 225M- BB030Z
Effekt	kW	22	30	60
Cos phi		0,82	0,83	0,82
Virkningsgrad	%	89,0	91,5	91,5

