



# Klimatpåverkan av gårdsbaserad biogasproduktion

Dynamik över året

Maria Berglund, 2021

Hushållningssällskapet Halland

# Förord

Projektet Ökning av lantbruksbaserad biogasproduktion ägdes av Hushållningssällskapet Sjuhärad och utfördes i nära samarbete med bland andra Hushållningssällskapet Halland, RISE, och ett 40-tal biogasanläggningar över hela Sverige. Projektets främsta syfte var att tekniskt utveckla den svenska lantbruksbaserad biogasproduktionen för att den ska bli mer lönsam och uppnå största möjliga klimatnytta. Projektet pågick mellan 2018 och 2021.

Inom projektet genomfördes aktiviteter som syftar till att dels skapa mer kunskap, dels sprida den kunskapen till biogasanläggningarna. Fokusområden har varit klimatberäkningar, lagringsförhållanden, ekonomi på anläggningarna, metanläckageundersökningar, värmeutnyttjande, utrotningsförsök, och rådgivningsbesök.

I denna delrapport beskrivs och sammanfattas resultaten från klimatberäkningarna. Beräkningarna görs på ett nytt sätt genom att simulera hur biogasproduktionen och metanemissioner förändras över året, och det ger nya insikter om klimatpåverkan av gårdsbaserad biogasproduktion.

Projektet finansieras av Jordbruksverket via EU-medel. Vi vill härmed tacka alla som bidragit till studiens genomförande. Speciellt tack till ägarna till de studerade anläggningarna.

Långhem, oktober 2021

**Maria Berglund, huvudförfattare**

**Cecilia Hermansson, projektledare**

# Sammanfattning

I denna rapport har klimatpåverkan av gårdsbaserad biogasproduktion beräknats. Data har samlats in från tio gårdsanläggningar runt om i landet, och avser normal drift under 2019/2020. Anläggningarna rötar i huvudsak eller endast flytgödsel, några anläggningar tar in annan stallgödsel och/eller avfall- och restprodukter från livsmedelsindustrin. Biogasen används främst för kraftvärmeproduktion.

Beräkningarna har gjorts med en dynamisk modell som anpassats för ändamålet. Modellen beräknar biogasproduktion, värmebehov, metanemissioner och slutanvändning av biogas per dygn. Därmed går det att beakta variationerna över året avseende substratflöden, temperatur och lagringsförhållanden, och hur det i sin tur påverkar mängden producerad biogas, värmebehov i anläggningen, avsättningsmöjligheter för biogasvärme och metanemissioner från lagring av rötrest. Det ger nya insikter och fler förklaringsgrader än tidigare klimatberäkningar som varit mer statiska och byggt på årsmedelvärden om biogasproduktion, värmebehov etc.

Resultaten tyder på att den gårdsbaserade biogasproduktionen i de allra flesta fall minskar växthusgasutsläppen totalt sett. Den stora klimatvinsten ligger i att man slipper metan- och lustgasemissionerna som annars hade skett från lagring av obehandlad stallgödsel, och att metan- och lustgasemissionerna från lagringen av rötrest beräknas vara lägre än från obehandlad gödsel. Biogasen ersätter också annan energi, men i och med att biogasen oftast ersätter relativt klimatsmarta alternativ och andelen såld el, värme och rågas är måttlig i förhållande till mängd producerad biogas begränsas klimatvinsten.

En välfungerande rötningsprocess är viktig ur klimatsynpunkt, vilket restmetanpotentialen och utröttningsgraden är mått på. God utröttningsgrad är ett tecken på att man fått ut mycket nyttigheter i form av biogas i förhållande till biogaspotentialen i substraten. Låg restmetanpotential är centralt för att minska metanemissionerna från lagring av rötresten.

Det finns klara klimatfördelar med att röta kycklinggödsel och djupströgödsel. Kycklinggödsel ger mycket biogas. När de fasta gödselslagen omvandlas till flytande rötrest kan växthusgasutsläpp från lagringen minska, och det kan även underlätta spridningen av gödseln.

Fyllnadsgraden i rötrestlagren sommartid är avgörande för de totala metanemissionerna från lagringen av rötrest. Det är en fördel om lagren kan tömmas flera gånger under odlingssäsongen.

# Förkortningar och förklaringar

CHP	Kraftvärmeenhet ( <i>Combined Heat and Power production</i> )
CO <sub>2</sub> e	Koldioxidekvivalenter
HRT	Uppehållstid ( <i>Hydraulic Retention Time</i> )
IPCC	FNs klimatpanel ( <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> )
N <sub>2</sub> O	Lustgas
N <sub>2</sub> O-N	Lustgaskväve, det vill säga kvävet i lustgas. 1 kg N <sub>2</sub> O-N = 1,57 kg N <sub>2</sub> O
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>3</sub> -N	Ammoniakkväve, det vill säga kvävet i ammoniak. 1 kg NH <sub>3</sub> -N = 1,21 kg NH <sub>3</sub>
Nm <sup>3</sup>	Normalkubikmeter
Rötrest	Den rötade produkten som är kvar efter rötningsprocessen
TS	Torrsubstans
VS	Organiskt material ( <i>Volatile Solids</i> )
Våtvikt	Substratens och rötrestens totala vikt, inklusive vatten

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Metod .....</b>	<b>2</b>
2.1	Datainsamling .....	2
2.2	Biogasproduktion och restmetanpotential .....	3
2.2.1	Första röt-kammaren.....	4
2.2.2	Efterröt-kammare.....	7
2.2.3	Restmetanpotential .....	7
2.3	Temperaturer .....	7
2.4	Värmebehov reaktorn .....	9
2.5	Försäljning av värme .....	10
2.6	Vad används gasen till? .....	10
2.7	Diffusa metanemissioner och metanslipp vid använd av biogas .....	11
2.8	Lagring och spridning av rötrest.....	11
2.8.1	Metan vid lagring av rötrest.....	12
2.8.2	Lustgas vid lagring av rötrest.....	14
2.8.3	Spridning av rötrest .....	14
2.9	Klimatpåverkan av substrat och annan energi .....	15
2.9.1	Substrat .....	15
2.9.2	Annan energi än biogas.....	18
2.10	Potentiell klimatpåverkan av växthusgaser .....	19
<b>3</b>	<b>Resultat .....</b>	<b>20</b>
3.1	Beskrivning av gårdsanläggningarna.....	20
3.1.1	Exempelgård – mjölkgård med gårdsbaserad biogasproduktion .....	20
3.1.2	Inventerade anläggningar.....	20
3.2	Beräknad biogasproduktion.....	21
3.2.1	Exempelgård .....	21
3.2.2	Inventerade anläggningar.....	22
3.3	Värmebehov i biogasanläggningen .....	23
3.3.1	Exempelgård .....	23

3.3.2	Inventerade anläggningar.....	25
3.4	Vad används biogasen till?.....	26
3.4.1	Exempelgård .....	26
3.4.2	Inventerade anläggningar.....	27
3.5	Metanemissioner .....	29
3.5.1	Exempelgård .....	29
3.5.2	Inventerade anläggningar.....	32
3.6	Summering av faktiska och undslupna växthusgasutsläpp.....	35
3.6.1	Exempelgård .....	35
3.6.2	Inventerade anläggningar.....	36
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>42</b>

# 1 Introduktion

I denna studie har klimatpåverkan av biogasproduktion på tio gårdsbaserade anläggningarna beräknats. Sådana beräkningar har gjorts tidigare. De tidigare studierna har dock varit statiska på så att beräkningarna har gjorts som en summering av biogasproduktion, substratflöden etc. över hela året och med medelvärden av till exempel värmebehov som ska representera ett snitt över hela året. Metanemissionerna från lagring av rötrest har också beräknats statistiskt genom att endast den totala mängden rötrest beaktats, inte hur temperaturen och lagringstiden påverkar emissionsnivåerna.

I praktiken varierar dock produktionsförutsättningarna och emissionsnivåerna över året. Substratflödena kan variera över året, exempelvis på mjölkgårdar där mängden nötgödsel minskar när djuren är på bete. Förändringar i substratflödet påverkar uppehållstiden i reaktorn och biogasproduktionen. Utomhustemperaturen är en annan viktig faktor som styr behovet och avsättningsmöjligheterna för värme från biogas. Men temperaturen och mängden rötrest i lager påverkar även emissionsnivåerna från lagringen av rötrest – ju högre temperatur och ju mer rötrest i lagren desto högre metanemissioner.

I denna studie har vi tagit med variationerna över året vad gäller tillgång till substrat, utomhustemperatur, avsättningsmöjligheter för biogasen och spridningstidpunkt för rötresten. På så sätt har vi kunnat beskriva och beräkna hur värmebehov i anläggningen, avsättning av producerad energi och metanemissioner från lagring av rötrest varierar över året.

En annan skillnad mot tidigare studier är att biogasproduktionen per dygn har beräknats utifrån substratblandning, uppehållstid och rötningsprocessens prestanda. Mängden producerad biogas är alltså ett resultat från beräkningarna, inte indata till beräkningarna. Genom att ta med denna dynamik går det att se tydligare orsakssamband samt dra nya och fler slutsatser om biogas-anläggningarnas klimatprestanda.

Syftet med studien har varit att öka förståelsen för klimatpåverkan av gårdsbaserad biogasproduktion, att visa på orsakssamband mellan biogasanläggningens förutsättningar och produktion och dess klimatpåverkan, samt identifiera förbättringsåtgärder. Rapporten vänder sig till personer som redan har viss kunskap om biogasproduktion men vill veta mer om dess klimatpåverkan.

## 2 Metod

Beräkningarna av biogasanläggningarnas klimatprestanda bygger vidare på en beräkningsmodell som togs fram i projektet ”Rötrest ett värdefullt gödselmedel i ekologisk produktion med mervärden för miljön och lantbruksföretaget”. Projektet genomfördes 2015-2020 med Eva Salomon, RISE, som projektledare. Modellen beskrivs i Ericsson m fl (2020), och den bygger på en tysk metod (Linke, 2006; Linke m fl., 2013). Vissa förenklingar och anpassningar har dock gjorts till denna studie. Modellen och de anpassningar som har gjorts beskrivs i det följande.

### 2.1 Datainsamling

Data har samlats in från tio gårdsanläggningar från hela landet, och speglar produktionen under 2019/2020. Datainsamlingen har gjorts av biogasrådgivare. Följande uppgifter har samlats in från anläggningarna:

- Ort: används för att ta fram lufttemperatur (medel per månad) från SMHI.
- Anläggningen: Antal rötkammare, storlek på rötkamrarna (total volym och aktiv volym), processtemperatur, eventuell värmeåtervinning, behov av el och värme (MWh per år), och eventuella tillskottsbränslen.
- Substrat: Typ av substrat, mängd (ton per år) och hur mängden varierar över året. Substratens innehåll av torrsbstans (TS), organiskt material (VS) och kväve samt deras biogaspotential. Resultat från eventuella gödselanalyser och utröttningsförsök.
- Produktion och användning av biogas: MWh producerad biogas per månad eller år, alternativt MWh producerad el per månad eller år. Uppgifter om vad används gasen till, och hur stor andel av gasen som går till kraftvärmeproduktion (CHP), gaspanna, fackla eller som säljs som rågas. Effekt på motor och gaspanna.
- Eventuell avsättning för överskottsvärme: Vad värms upp med överskottsvärme (bostäder, verkstad, stall etc.) och hur mycket värme finns det avsättning för (effekt- och värmebehov).
- Rötresten: Spridningstidpunkter. Hur mycket rötrest sprids vid varje tidpunkt.

Datainsamlingen ska spegla produktionen under ett års tid. I beräkningarna antas att det inte skett några genomgripande driftsförändringar, till exempel att anläggningens kapacitet byggts ut eller att man ändrat rötningstemperatur. Det antas också att det inte skett några omfattande driftsstörningar och driftstopp under perioden.

Uppgifter från datainsamlingen används för att beräkna biogasproduktion, metanemissioner, värmebehov samt mängd försäld energi. De beräknade resultaten jämförs sedan mot anläggningarnas uppgifter om biogasproduktion, elproduktion, restmetanpotential etc. för att vid behov justera modellberäkningarna.

Beräkningarna görs med tidssteget 1 dygn. Startpunkten är 1 januari, och slutpunkten 31 december.

Figur 1 visar schematisk vilka indata som samlats in till beräkningarna och vilka resultat som beräkningarna ger.





Figur 1. Skiss över vilka indata som samlas in till beräkningar och vilken typ av resultat som beräkningarna ger.

## 2.2 Biogasproduktion och restmetanpotential

I modellen beräknas biogasproduktionen och restmetanpotentialen i rötresten som lämnar reaktorn och ev efterrötkammare. Beräkningarna görs separat för varje dygns inmatning av substrat för att på så sätt kunna spegla förändringar i substratflöden som sker över året. Resultaten summeras sedan för att få fram total biogasproduktion respektive restmetanpotential för ett visst dygn.

Indata och resultat uttrycks i flera fall som kg organiskt material (VS) eller per kg VS. Det är då mängden VS i det örötade substratet som avses. I praktiken bryts dock organiskt material ner i rötningsprocessen och under lagringen av rötrest, och rötresten innehåller därför en mindre mängd VS än vad substraten gjort. Genom att alla beräkningar relaterar till VS i de örötade substraten blir beräkningarna enklare och man slipper beakta VS-förlusten som sker i processen. Däremot behöver omräkningar göras om den beräknade restmetanpotentialen (l metan per kg VS i substratet) ska jämföras med den uppmätta restmetanpotentialen från utrötningsförsök (l metan per kg VS i rötresten) eftersom potentialerna uttrycks på olika enheter.

I modellen beräknas biogasproduktionen för perioden 1 januari till 31 december. För att få en representativ substratmix, biogasproduktion och uppehållstid den 1 januari börjar biogasberäkningarna med en 90 dagar lång uppstartsperiod (motsvarande oktober t o m december föregående år) där rötkammaren och ev efterrötkammare succesivt fylls upp med substrat (Ericsson m fl, 2020). Substratmixen och inmatningstakten under uppstartsperioden antas vara de

samma som de 90 sista dagarna under den undersökta perioden, det vill säga oktober till december innevarande år.

I de allra flesta fallen räcker det med en uppstartsperiod på 90 dygn för att modellen ska ge en representativ biogasproduktion första dygnet i den undersökta perioden. Om den totala uppehållstiden för rötkammare och efterrötkammare är mycket lång hinner dock inte den beräknade biogasproduktionen "svänga in sig" på 90 dygn, och det går då att förlänga uppstartsperioden.

### 2.2.1 Första rötkammaren

Biogasproduktionen beräknas enligt följande princip, baserat på (Linke, 2006; Linke m fl., 2013):

$$y = t^k \cdot B_0 / (t^{k+1})$$

Där:

y = Biogasproduktionen (liter metan per kg VS i substratet)

t = tid i reaktorn (dygn)

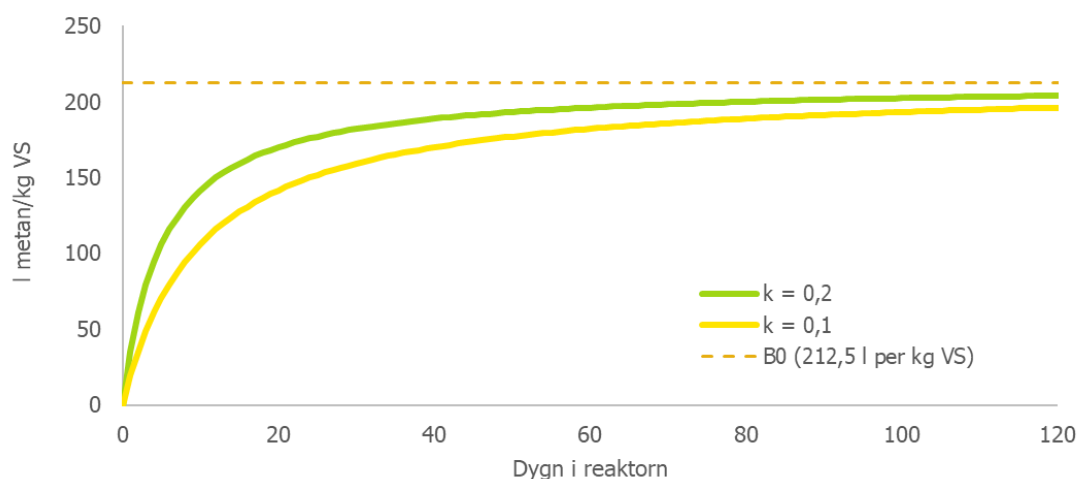
k = Nedbrytningshastighet ( $\text{dygn}^{-1}$ ). k-värde beskriver hur snabbt substraten bryts ner, ju snabbare nedbrytning desto högre tal. Nedbrytningshastigheten är högre vid termofil rötning än vid mesofil rötning. k-värdet är också beroende av hur lättomsättbart det organiska materialet är och hur väl processen fungerar. Som startvärde antas att k-värdet för alla substrat är  $0,2 \text{ dygn}^{-1}$ , men det justeras sedan manuellt (för ett eller flera substrat) så att den beräknade biogasproduktionen överensstämmer med anläggningens rapporterade biogasproduktion. Se Ericsson m fl. (2020) för referenser och exempel på k-värden.

$B_0$  = Maximal biogaspotential (l metan per kg VS). Data hämtas från Substrathandboken (Carlsson & Uldal, 2009).

Om flera substrat blandas vid inmatningen beräknas ett viktat medelvärde på k-värde och  $B_0$  för substratmixen baserat på hur stor andel av VS som respektive substrat står för.

I Figur 2 visas ett exempel på den beräknade biogasproduktionen från satsvis rötning av nötflytgödsel, och hur tiden i reaktorn och k-värdet påverkar resultatet. Ju längre tid substratet finns i reaktorn desto mer biogas producerat per kg VS. Ju högre k-värde desto snabbare nedbrytning och mer metan per kg VS vid en given uppehållstid.

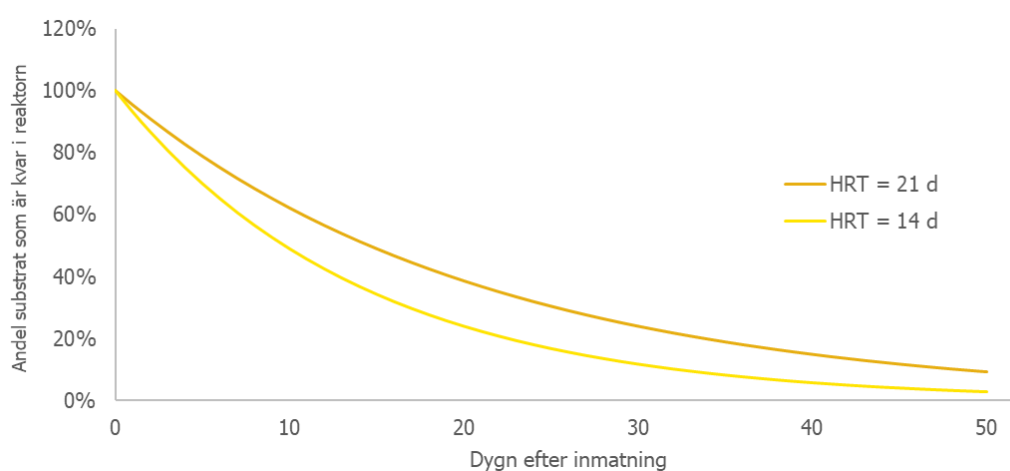
Figur 2 gäller för satsvis rötning där substratet tillförs dag 0. Modellen har dock anpassats för kontinuerlig rötning där nytt substrat tillförs och rötrest tas ut varje dygn. Inmatning och uttag antas ske en gång per dygn. Mängden substrat i reaktorn antas vara konstant, motsvarande rötkamrarnas aktiva volym. Därmed förutsätts att mängden rötrest (våtvikt) som pumpas ut ur reaktorn är den samma som mängden substrat (våtvikt) som tillförs reaktorn per dygn. I modellen anger man mängden substrat som tillförs reaktorn varje enskilt dygn. Därmed är det möjligt att variera substratmängden och substratmixen över året, exempelvis för att spegla hur tillgången på nötgödsel kan gå ner något under sommaren när djuren går på bete.



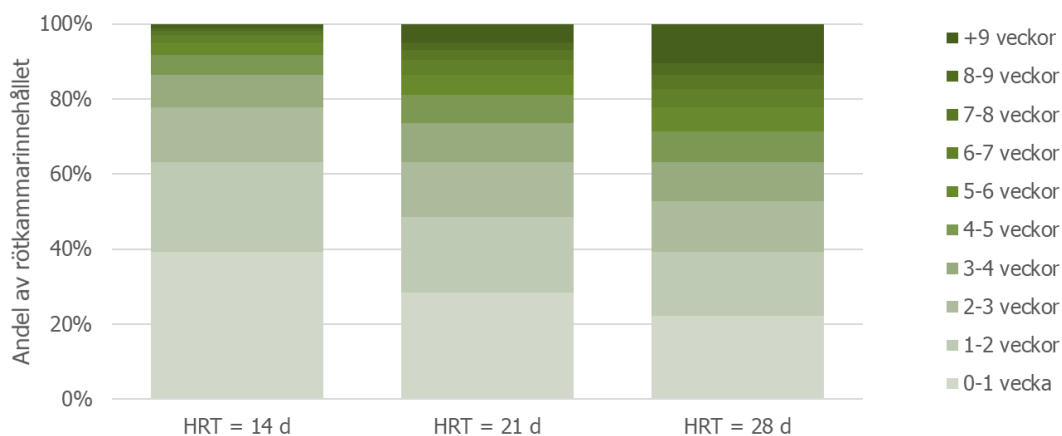
Figur 2: Två exempel på hur skillnader i nedbrytningshastighet ( $k$ -värde) påverkar den beräknade ackumulerade biogasproduktion för satsvis rötning av nötflytgödsel med maximal biogaspotential på 212,5 liter metan per kg VS.

Modellen beaktar också substratens uppehållstid i reaktorn. Innehållet i reaktorn antas vara helt omblandat och det antas inte ske någon sedimentering i reaktorn, och därmed kommer rötresten som tas ut ur reaktorn vara en mix av substrat med varierande ålder. Det innebär också att en stor andel av substraten kommer vara i reaktorn under en kort tid, medan en mycket liten andel får en mycket lång uppehållstid i reaktorn.

I Figur 3 visas ett exempel på hur stor andel av substratet som matades in dag 0 som finns kvar i reaktorn efter en viss tid. Innehållet i reaktorn antas vara totalomblandat och uppehållstiden är satt till 14 dygn eller 21 dygn, vilket innebär att 7 procent respektive 5 procent av reaktorns innehåll byts ut varje dygn.



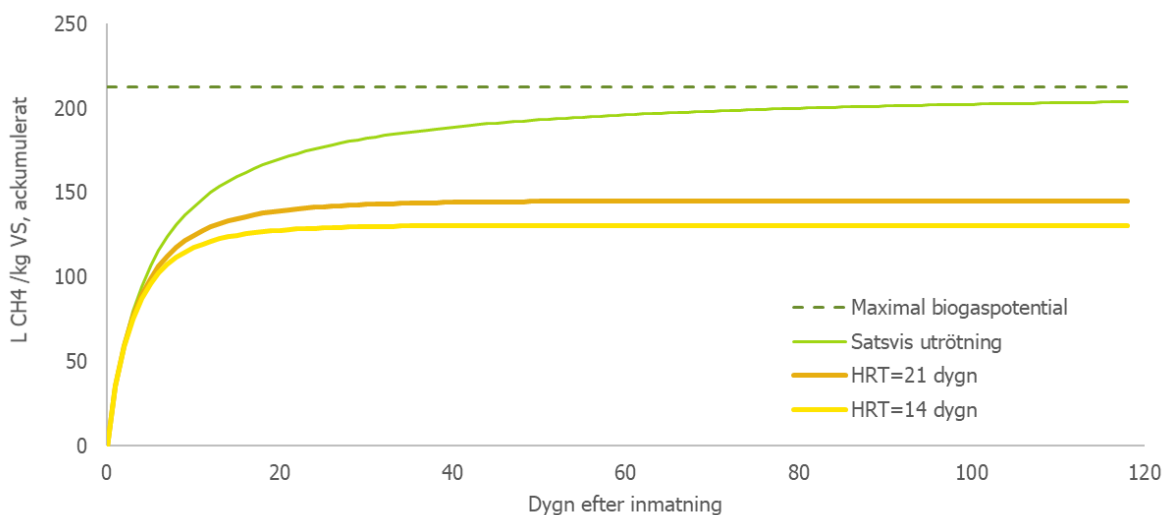
Figur 3. Andelen av substrat som finns kvar i reaktorn av det substrat som matades in dag 0 om den genomsnittliga uppehållstiden (HRT) är 14 dygn respektive 21 dygn. Reaktorn antas vara totalomblandad, och samma mängd substrat matas in varje dygn.



Figur 4. Åldersfördelning av substratmixen i rötammaren vid olika uppehållstider (HRT) i reaktorn. Innehållet antas vara totalomblandat och inmatning substrat/uttag av rötrest är den samma varje dygn.

Figur 4 visar åldersfördelningen på substratmixen i rötammaren vid olika uppehållstider. Ju kortare uppehållstid desto större andel nytt substrat i rötammaren. Exempel: Om uppehållstiden är 14 dygn (HRT = 14 d) kommer cirka 40 procent av rötammaren innehåll bestå av substrat som funnits i rötammaren i 0 till 7 dygn. Om uppehållstiden förlängts till 21 dygn sjunker denna andel till knappt 30 procent.

Uppehållstiden är en av de faktorer som påverkar den beräknade mängden producerad biogas. Ju kortare uppehållstid desto fortare lämnar substratet rötammaren och desto mindre mängd biogas hinner bildas per kg VS, se Figur 5. För exemplet med den korta uppehållstiden i Figur 5 sker det i princip ingen ytterligare biogasproduktion efter cirka 3 veckor eftersom substratet bytts ut så snabbt (se Figur 3). Med längre uppehållstid blir biogasproduktionen per kg VS högre tack vare att mer substrat finns kvar i reaktorn under längre tid.



Figur 5. Exempel på uppehålltidens betydelse för hur mycket metan som produceras per kg VS som matats in dag 0. Maximal biogaspotential = 212,5 l metan per kg VS,  $k = 0,2 \text{ dygn}^{-1}$ .

I och med att man kan variera mängden substrat som matas in varje dygn, och uppehållstiden i reaktorn därmed kan varieras i modellen, kan mängden producerad biogas per kg VS för ett visst substrat också variera över året. Om exempelvis en anläggning enbart rötar nötgödsel och mängden gödsel minskar under betesperioden kommer modellen att räkna med att den totala biogasproduktionen (m<sup>3</sup> metan per dygn) går ner under sommarperioden, medan biogasproduktionen per kg VS ökar tack vare längre uppehållstid i reaktorn.

### 2.2.2 Efterrötkammare

Om det finns en efterrötkammare på anläggningen beräknas den separat, och enligt samma princip som beskrivits ovan. Mängden substrat in (ton våtvikt) till efterrötkammaren antas då vara den samma som mängden ut från den första rötkammaren.

Biogaspotentialen i substrat som går in i efterrötkammaren beräknas som substratmixens maximala biogaspotential (kg metan per kg VS) minus mängden producerad biogas i första rötkammaren per kg VS.

k-värdet antas vara det samma för efterrötkammaren som för den första rötkammare, även om processen i praktiken kan vara långsammare i en uppvärmd efterrötkammare. Det har inte funnits tillräckligt detaljerat dataunderlag för att räkna med separata k-värden. Däremot anpassas k-värdet så att det så gott som möjligt ska spegla biogasanläggningens faktiska biogasproduktion, inklusive eventuell efterrötkammare.

### 2.2.3 Restmetanpotential

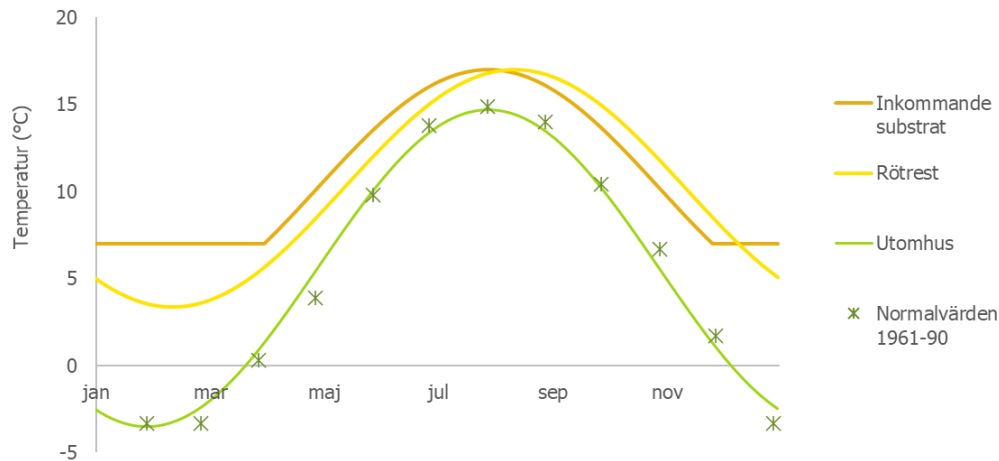
Restmetanpotentialen i rötresten som pumpas ut ur rötkammaren beräknas som Maximal biogaspotential (l metan per kg VS) minus Mängd producerad biogas (l metan per kg VS). Beräkningarna görs separat för varje dygns inmatade substrat och beaktar hur stor andel av detta substrat som pumpats ut ur reaktorn varje dygn.

## 2.3 Temperaturer

I flera beräkningar behövs uppgifter om temperatur i rötkammaren, inkommande substrat, rötrestlager och/eller utomhustemperatur. Temperaturerna används för att beräkna uppvärmningsbehov i anläggningen, värmeförluster från anläggningen samt metanemissioner från lagringen av rötrest. Aktuell rötningstemperatur fås från datainsamlingen.

Temperaturen i rötrestlagret och inkommande substrat beräknas från utomhustemperaturen, som i sin tur beräknats utifrån data från SMHI. I Figur 6 visas ett exempel på de temperaturer som använts i beräkningarna och hur de förhåller sig till normaltemperaturerna från SMHI.

**Utomhustemperaturen:** Utomhustemperaturen beräknas med hjälp av SMHIs normaltemperaturer (månadsvärden) för perioden 1961-1990 för en väderstation som ligger nära biogasanläggningen (SMHI, 2021). För att kunna beräkna temperaturen varje dygn antas utomhustemperaturen följa en sinuskurva som anpassats till normaltemperaturen för väderstationen.



Figur 6. Exempel på hur den beräknade temperaturen utomhus, i rötrest och inkommande substrat anpassats till SMHIs normalvärden för 1961-1990 för väderstationen Gislaved.

Med detta sätt att beräkna temperaturen ett visst dygn missar man skiftningarna i temperatur mellan och över dygn samt dygnen med högst och lägst temperatur. Det har ändå bedömts vara en rimlig approximation för våra beräkningar.

Utomhustemperaturen används för att beräkna temperaturen i inkommande substrat, i rötrestlagren samt för att beräkna värmeförlusterna från den uppvärmda biogasreaktorn.

**Temperatur inkommande substrat:** Temperaturen på inkommande substrat antas bero på luftens temperatur aktuell dag, det innebär att ju högre dygnstemperatur desto varmare substrat. Temperaturen i substraten (dag n) beräknas med en funktion som beskrevs i Hansen m fl. (2006):

$$T_{\text{inkommande substrat}}(n) = 0,75 * T_{\text{luft}}(n) + 6$$

Temperaturkurvan för inkommande substrat antar också en sinuskurva, fast lite plattare och med högre temperaturer än luften. Temperaturen i inkommande substrat antas dock aldrig kunna bli lägre än 7 °C.

Differensen mellan rötningstemperatur och temperaturen på inkommande substrat används för att beräkna hur mycket värme som behöver tillföras för att värma inkommande substrat till aktuell rötningstemperatur. Ju större differens, desto större värmebehov.

**Temperatur i rötrestlager:** Temperaturen i rötresten som ligger i rötrestlagret beräknas med samma funktion som för inkommande substrat, fast med en viss eftersläpning. Temperaturen i rötrestlagret (°C) dag n beräknas som en funktion av luftens temperatur två veckor (14 dagar) tidigare:

$$T_{\text{rötrest}}(n) = 0,75 * T_{\text{luft}}(n-14) + 6$$

Temperaturkurvan för rötrestlagret antar också en sinuskurva, fast lite plattare och med högre temperaturer än luften. Mängden lagrad rötrest är mycket stor i förhållande till mängd substrat som rötas varje dag, särskilt före vårbruket när lagren är välfyllda, och trögheten ger en viss eftersläpning. I praktiken kommer temperaturen vid ytan att fluktuera mer och snabbare än i

djupare lager (Rodhe m fl., 2015), men det finns inte tillräckligt dataunderlag för att kunna spegla dessa skillnader i denna studie.

Temperaturen i rötrestlagret används för att beräkna metanemissionerna från lagringen av rötresten. Ju högre temperatur, desto högre metanemissioner.

## 2.4 Värmebehov reaktorn

Värmebehovet beräknas som summan av värmeförluster från reaktorn genom väggar, tak och botten, samt värmebehovet för att värma inkommande substrat till temperaturen i reaktorn. Behovet av tillförd värme justeras för eventuell värmeåtervinning från utgående rötrest.

**Värmeförluster genom reaktorns yta:** Värmeförlusterna beräknas för de röt-kammare som är uppvärmda. Så om efterröt-kammaren inte är uppvärmd beräknas värmeförlusterna enbart för den första röt-kammaren: Värmeförlusterna beräknas som (kWh per dygn):

$$A \cdot (T_{\text{röt-kammare}} - T_{\text{luft}(n)}) \cdot k \cdot 24 / 1000$$

Där:

A = Reaktorns area, m<sup>2</sup>. Reaktorn antas ha formen av en cylinder med plant tak och plan botten, och alla dessa ytor ingår i arean. Arean beräknas utifrån uppgift om reaktorns volym och höjd. Om ingen höjd angivits antas att höjden är den samma som diametern.

T<sub>röt-kammare</sub> = aktuell rötningstemperatur i uppvärmd röt-kammare.

T<sub>luft(n)</sub> = luftens temperatur aktuellt dygn.

k = Värmeöverföringskoefficient, W/m<sup>2</sup> K. Antas i grundfallet vara 0,57 W/m<sup>2</sup> K för alla ytor. Detta värde har beräknats från en modell för energibalansen i storskalig biogasanläggning (Rapport m fl, 2011). Där antogs att *heat transfer coefficient*, h = 50 W/m<sup>2</sup> K och *Insulation thermal resistance*, R<sub>val</sub> = 1,74 W/m<sup>2</sup> K, vilket motsvarar ett tunn isolering. I våra beräkningar är det även möjligt att justera k-värdet om isoleringen är bättre.

$$k = h / R_{\text{val}} \cdot 1 / ((1 / R_{\text{val}}) + h)$$

**Uppvärmning av inkommande substrat:** Behovet av tillförd värme dag n för att få upp temperaturen i inkommande till rötningstemperaturen beräknas som (kWh per dygn):

$$V(n) \cdot c_p \text{ substrat} \cdot (T_{\text{röt-kammare } 1} - T_{\text{inkommande substrat}(n)}) / 3,6$$

Där

V(n) = mängd substrat dag n (ton våtvikt).

c<sub>p substrat</sub> = värmekapaciteten för substratet. Beräknas utifrån substratets torrsubstanshalt där c<sub>p</sub> för torrsubstans är 1,05 kJ/kg och K, och c<sub>p</sub> för vatten är 4,18 kJ/kg och K.

T<sub>röt-kammare 1</sub> = aktuell rötningstemperatur i den första röt-kammaren

T<sub>inkommande substrat</sub> = temperatur i inkommande substrat, beräknas enligt ovan.

**Värmeåtervinning:** I de fall som utgående rötrest värmeväxlas mot ingående substrat beräknas mängden återvunnen värme utifrån temperaturdifferensen mellan inkommande substrat och rötchambaren, och hur stor andel av värmen i utgående rötrest som kan återvinnas. Detta värde hämtas från datainsamlingen.

## 2.5 Försäljning av värme

Vissa biogasanläggningen kan leverera värme till egna bostäder, verkstäder, stall, spannmålstorkar och/eller närvärmenät. Värmebehovet för bostäder, verkstäder och stall beräknas utifrån temperaturkurvan och indata om byggnaderna.

**Bostäder:** Värmebehovet för bostäder (kWh per dygn) beräknas enligt:

$$x \cdot [Q \cdot (T_{\text{gräns}} - T_{\text{luft}}) \cdot 24 + \text{varmvatten}]$$

Där:

$x$  = antal bostäder

$Q$  = bostadens värmeeffektförbrukning, kW/°C. Antas som utgångsläge vara 0,25 kW/°C, men kan justeras upp eller ner för att matcha det i modellen beräknade värmebehovet med datainsamlingens uppgifter om bostädernas värmebehov per år. Ju mindre och/eller mer välisolerat hus desto lägre värmeeffektförbrukning.

$T_{\text{gräns}}$  = Gränstemperatur under vilken det inte krävs någon aktiv uppvärmning av bostaden. Gränstemperaturen antas vara 17 °C, men kan justeras. Om utomhustemperaturen ( $T_{\text{luft}}$ ) är lika med eller högre än gränstemperaturen beräknas det inte ske någon aktiv uppvärmning av bostaden.

Varmvatten = Värmebehov för tappvarmvatten. Antas vara 10 kWh per dygn året runt.

**Verkstäder, stall etc.:** Vid datainsamlingen inhämtas uppgifter om uppskattat värmebehov (kWh per år) för dessa byggnader. Värmebehovet fördelas sedan per dygn utifrån differensen mellan utomhustemperatur och gränstemperatur. Som grundantagande antas gränstemperaturen för dessa byggnader vara 12 °C. Om utomhustemperaturen är den samma eller högre än gränstemperaturen antas det inte behövas någon tillförd värme till dessa byggnader.

**Närvärmenät:** Om ett närvärmenät finns förutsätts, om ingen annan restriktion sätts, att all överskottsvärme från biogasanläggningen kan avsättas i närvärmenätet.

**Spannmålstorkning:** Om biogasvärme går till spannmålstorkning antas att all överskottsvärme används till spannmålstorkning när torkarna körs.

## 2.6 Vad används gasen till?

I modellen finns det funktioner som fördelar biogasen mellan de avsättningsmöjligheter för biogas som finns på aktuell biogasanläggning. Fördelningen görs dygnsvis. Fördelningen styrs



av biogasanläggningens värmebehov och möjligheterna att sälja värme, vad gasen förädlas till eller säljs som (el, värme och/eller rågas), samt kraftvärmeenhets och gaspannans kapacitet.

Vid datainsamlingen inhämtas uppgifter om hur stor andel av den årliga biogasproduktionen som används på olika sätt, det vill säga hur stor andel av biogasen som på årsbasis uppskattas gå till CHP, gaspanna, gasfackla eller som säljs som rågas. Dessa uppgifter beaktas också i fördelningen. Så om en gårdsanläggning med kraftvärmeproduktion exempelvis kan styra om till mer värmeproduktion under vintern för att kunna leverera mer värme, går det även att spegla detta i modellen så att en större andel av biogasen går till gaspannan under den kallaste perioden.

Om reaktorn enbart värms med biogas kommer modellen att se till att biogasvärme täcker anläggningens beräknade värmebehov.

Om biogas säljs som rågas antas i första hand att andelen såld gas per dygn är den samma som andelen såld gas per år. Om det innebär att anläggningens uppvärmningsbehov inte täcks någon del av året justeras dock andelen såld gas per dygn så att värmebehovet täcks.

Om biogasanläggningen producerar el och även har en gaspanna och/eller fackla kommer modellen i första hand fördela biogasen så att den går till kraftvärmeenheten (CHP). Om dess kapacitet inte räcker går överskottsgasen i första hand gå till gaspanna, i andra hand till fackla. Men om värmeproduktionen från CHP inte räcker för att täcka reaktorns värmebehov kommer biogas att fördelas till gaspanna så att värmebehovet täcks.

Om biogas används för torkning av spannmål och anläggningen har en gaspanna fördelas biogas till gaspannan under torkperioden för att maximera mängden producerad värme.

## **2.7 Diffusa metanemissioner och metanslipp vid använd av biogas**

Det sker en del diffusa emissioner av metan från biogasanläggningar bland annat genom otätheter. De diffusa emissionerna antas motsvara 1 procent av den producerade biogasen (Liebetau m fl., 2010).

Det sker även metanslipp genom motorer, gaspannor etc. Om ingen annan uppgift insamlats från gårdsanläggningarna antas att metanslipppet motsvarar 2 procent av producerad biogas för CHP och fackla respektive 1 procent för gaspanna och vid försäljning av rågas. Om biogasen släpps ut oförbränd, till exempel om överskottsgas släpps via säkerhetsventil, blir metanslipppet 100 procent.

## **2.8 Lagring och spridning av rötrest**

Här ingår metan- och lustgasemissioner från lagring av rötrest. Lustgasemissioner är dels direkta i form av lustgas som bildats i ytan av den lagrade rötresten och dels indirekta i form av ammoniak som avdunstat från rötresten varav en liten andel av ammoniaken sedan omvandlas till lustgas när den omsätts i andra delar av ekosystemet. Lustgasemissioner är kopplade till mängden kväve i rötresten och vilken typ av täckning det finns på rötresten (tak, svämtäcke, ingen täckning).

## 2.8.1 Metan vid lagring av rötrest

Metanemissionerna från rötrestlagren beräknas utifrån rötrestens egenskaper, temperaturen i lagret samt dynamiken i lagret över året, det vill säga hur mängden rötrest i lagren fluktuerar över året utifrån hur lagren fylls på kontinuerligt och delvis töms i samband med spridning av röttest.

### 2.8.1.1 Metanberäkning per kg VS

Mängden metan som bildas per kg VS i rötrestlagret beräknas enligt Linke m fl. (2013) (se även Ericsson m fl (2020)):

$$y_r = B_{o,r} * (1 - e^{-(k_s * t_r)})$$

Där:

$y_r$  = metanemission från rötrestlagret (liter metan per kg VS)

$B_{o,r}$  = restmetanpotentialen i rötresten som tillförs rötrestlagret (l metan per kg VS). Restmetanpotentialen beräknas som differensen mellan den ursprungliga biogaspotentialen och mängden producerad biogas från materialet som pumpats ut ur reaktorn. Restmetanpotentialen beräknas separat för varje dygns tillförsel av rötrest till rötrestlagret.

$t_r$  = tid i rötrestlagret (dygn)

$k_s$  = Nedbrytningshastighet ( $\text{dygn}^{-1}$ ). Nedbrytningen av organiskt material går snabbare vid högre temperatur i rötresten, vilket speglas genom att  $k_s$  är temperaturberoende. Ju högre temperatur i lagret, desto högre värde på  $k_s$ .  $k_s$  beräknas som (Linke m fl., 2013):

$$k_s = 0,0063 * 1,148^{(T-22)}$$

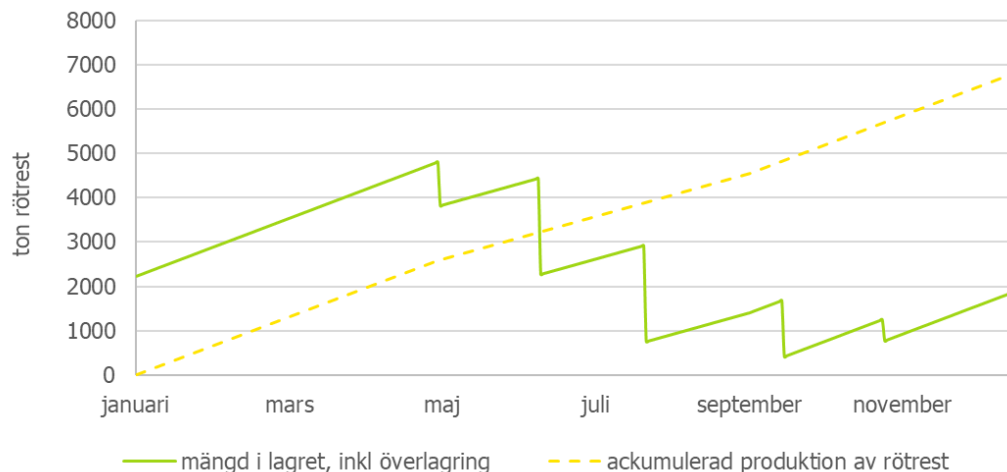
där T = temperaturen i lagret ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Formeln för att beräkna  $k_s$  är anpassad för tyska förhållanden och för temperaturintervallet 12 till  $37^{\circ}\text{C}$ . Temperaturen i svenska rötrestlager är dock lägre än så under vintern, och metanemissionerna bedöms vara låga vid låga temperaturer men det finns inga litteraturuppgifter om temperaturgräns för när metanproduktionen upphör helt. För att illustrera osäkerheterna i metanemissionsberäkningarna vid låga temperaturer redovisas resultaten med och utan vinteremissioner ( $<12^{\circ}\text{C}$ ) från rötrestlagren.

### 2.8.1.2 Volymberäkning

För att beräkna metanemissionerna från rötrestlagren behövs uppgifter om mängden organiskt material (VS) i lagret. Mängden rötrest (ton våtvikt) som tillförs lagret antas vara den samma som mängden substrat (ton våtvikt) som tillförts den första reaktorn aktuellt dygn. VS-halten i rötresten som tillförs lagret antas vara den samma som VS-halten i reaktorn varifrån rötrest pumpas ut till rötrestlagret. Om det finns en efterrötkammare är det alltså VS-halten i efterrötkammaren som beaktas.

Rötrest bortförs sedan från rötrestlagret i samband med att rötrest sprids på åkermark (Figur 7). Uppgifter om spridningstillfällen (datum) och mängd som sprids vid varje tillfälle (ton eller



Figur 7. Exempel på hur nivån i rötrestlagret förändras över året beroende på spridning av rötrest (tidpunkt och mängd per spridningstillfälle) och produktion av rötrest.

procent av årsproduktionen av rötrest) hämtas från datainsamlingen. Mängden rötrest som sprids under året (ton våtvikt) ska överensstämma med mängden producerad rötrest (ton våtvikt) under året, det innebär att gödselnivån (ton) i rötrestlagret ska vara den samma vid årsskiftet i periodens början som vid årsskiftet i slutet av perioden.

I praktiken kommer dock nederbörd och avdunstning att påverka nivån i rötrestlagret, och det är rimligt att rötresten späds ut med regnvatten vilket leder till att fler ton rötrest ska spridas än mängden rötrest som tillförs lagret. Här har det dock inte bedömts vara rimligt att förfinade volymeräkningar så att nederbörd och avdunstning beaktas.

Beräkningarna börjar 1 januari, och då finns det redan en del rötrest i lagret som överlagrats från föregående år. Biogas- och rötrestproduktionen samt fyllnads- och tömningsmönstren antas vara de samma föregående år som innevarande år. Det innebär att mängden och kvaliteten (restmetanpotential och VS-halt) på den överlagrade rötresten som finns i lagret den 1 januari kan förutsättas vara den samma som mängden och kvaliteten på rötresten som finns i lagret den 31 december innevarande år. Det innebär även att metanemissionen från den överlagrade rötresten kan inkluderas i beräkningarna, mot att metanemissionerna från rötresten som finns kvar i lagret till nästa år exkluderas ur beräkningarna.

I modellen ska man ange hur många ton rötrest som överlagrats till innevarande år, det vill säga mängden i lagret dag 0. Mängden rötrest i lagret ett visst dygn beräknas sedan som mängden i lagret föregående dygn plus mängd tillfört minus mängd bortfört aktuellt dygn. Mängden överförd rötrest justeras så att det alltid finns en viss mängd rötrest i lagret. Det är inte möjligt att tömma lagren helt, varken i modellen eller i praktiken.

### 2.8.1.3 Metanemission per dygn

Metanemissionerna per dygn beräknas för två "poler" av rötrest: ny rötrest samt gammal rötrest. "Ny rötrest" utgörs av färsk rötrest som tillförts lagret aktuellt dygn, så mängden ny rötrest och dess kvalitet är den samma som rötresten som pumpats ut ur rötchkammaren eller efterrötchkammaren aktuellt dygn.

”Gammal rötrest” utgörs av resten, det vill säga en mix av all rötrest som funnits i lagret i mer än 1 dygn. Mängden (ton VS) gammal rötrest beräknas som mängden rötrest (ny+gammal) i lagret föregående dygn minus mängden rötrest som sprids aktuellt dygn. Aktuell restmetanpotentialen i den gamla rötresten beräknas som restmetanpotentialen i rötrest föregående dygn (viktat medel av ny och gammal rötrest) minus metanproduktionen (liter metan per kg VS) som skett i lagret föregående dygn.

Om det inte sker någon nytillförsel av rötrest innebär det att metanproduktionen per kg VS kommer att klinga av i takt med det organiska materialet bryts ner och restmetanpotentialen i den gamla rötresten blir allt lägre. Men i och med att ny rötrest, med högre restmetanpotential, tillförs kontinuerligt och att metanbildningen i lagren är relativt låg tack vare de relativt låga temperaturerna kommer inte restmetanpotentialen i polen Gammal rötresten att förändras så mycket över året.

Det är en förenkling jämfört med Ericsson m fl (2020) att bara räkna på två rötrestpolar. I Ericsson m fl (2020) beräknades metanemissionerna från lagret separat för varje dygns tillförsel av rötrest till lagret, beaktat spridningsmönstret (tidpunkt och mängd som sprids vid varje tidpunkt). En jämförelse har gjorts med Ericssons modell, och skillnaderna är så pass små att denna förenkling har ansetts vara acceptabel. En förklaring till att det är små skillnader är att det är relativt svalt i rötrestlagren vilket bidrar till att nedbrytningen går långsamt och att det därmed inte sker så stora förändringar av restmetanpotentialen i polen Gammal rötrest.

## **2.8.2 Lustgas vid lagring av rötrest**

Lustgasemissionerna från lagring av rötrest har beräknats på samma sätt som i Sveriges klimatrapportering (Naturvårdsverket, 2019). De beräknas därmed på samma sätt som lustgasemissionerna från lagring av obehandlad stallgödsel. Beräkningsprincipen och emissionsfaktorer beskrivs längre fram i kapitlet Klimatpåverkan av substrat och annan energi - Stallgödsel.

## **2.8.3 Spridning av rötrest**

Lustgasemissioner (både direkta och indirekta) i samband med spridning och efter spridning har inte beaktats. Växthusgasutsläppen från biogassystemet kommer att jämföras med hur växthusgasutsläpp från stallgödselhanteringen sett ut om gödseln inte hade rötats. I och med att stallgödsel utgör den allra största andelen av substraten, i flera fall det enda substratet, som rötas på gårdsanläggningar kommer kvävet i rötresten helt eller nästan helt från stallgödsel. Med de beräkningsmetoder som finns tillgängliga skulle lustgas- och ammoniakemissionerna från spridning av rötrest därmed bli de samma, eller i princip de samma, som från spridning av obehandlad stallgödsel. Det skulle därmed inte bli någon direkt skillnad mellan rötad och orötad gödsel, och spridningsförlusterna kan då uteslutas ur jämförelsen.

Metanemissionerna kan antas upphöra i samband med att rötresten sprids. När rötresten spridits är miljön inte längre anaerob, och det finns inte längre förutsättningarna för att metan ska bildas.

## 2.9 Klimatpåverkan av substrat och annan energi

Detta kapitel beskriver hur klimatpåverkan av substraten samt av annan energi än biogas inkluderats i studien.

### 2.9.1 Substrat

Här beskrivs potentiell klimatpåverkan av produktion av substrat samt från den alternativa hanteringen av substraten, det vill säga vad som hade hänt med substraten om de inte rötats. Stallgödsel beskrivs separat eftersom det är det klart dominerande substratet vid gårdsbaserad biogasproduktion i Sverige.

#### 2.9.1.1 Stallgödsel

För stallgödsel inkluderas inga emissioner som sker före lagringen av stallgödsel, det vill säga emissioner från själva djurhållningen. Det ligger i linje med hur stallgödsel brukar hanteras i livscykelanalyser och klimatavtrycksberäkningar, se till exempel miljöavtrycksstandardens *Product Environmental Footprint* (European Commission, 2017). I denna studie ska det göras en jämförelse mellan rötad och orötad stallgödsel, och i och med att det inte är några skillnader i systemen förrän gödseln lämnat stallet finns det inte heller någon anledning att ta emissioner från själva djurhållningen.

Däremot beaktas den alternativa hanteringen av stallgödsel, det vill säga emissionerna från traditionell lagring av stallgödseln. När stallgödseln rötas slipper vi emissionerna som annars hade skett om stallgödseln lagrats traditionellt, biogassystemet kan då "krediteras" för de undslupna emissionerna från traditionell lagring av stallgödsel. Å andra sidan sker det emissioner från lagringen av rötresten, och dessa emissioner inkluderas redan i beräkningar.

#### Metan

Metanemissionerna från traditionell lagring av stallgödsel beräknas på samma sätt som i Sveriges klimatrapporering (Naturvårdsverket, 2019):

$$\text{kg metan} = 0,67 \cdot \text{kg VS} \cdot B_0 \cdot \text{MCF}$$

Där:

0,67 = densiteten för metan (kg metan per liter metan)

kg VS = mängd organiskt material i gödseln, samma värden som i Substrathandboken (Carlsson & Uldal, 2009)

$B_0$  = Maximal biogaspotential (l metan per kg VS). Data hämtas från Substrathandboken (Carlsson & Uldal, 2009).

MCF = *Methane Conversion Factor*, procent av  $B_0$ . Faktor som anger hur mycket metan som bildas i lagret uttryckt som procent av den maximala biogaspotentialen, se Tabell 1.

I klimatrapporeringen beräknas emissionerna från stallgödselhanteringen relativt mängden träck och urin i gödsel, det vill säga exklusive strömedel. Så  $B_0$ -värdet och mängden VS ska

Tabell 1. Emissionsfaktorer för att beräkna metan- och lustgasemissioner vid traditionell lagring av stallgödsel samt lagring av rötrest (Dong m fl., 2006; Naturvårdsverket, 2019; Greppa Näringen, 2021). Metanemissionerna från rötrest har beräknats med annan metod, och därför är det inte aktuellt med MCF för rötrest.

	Metan, MCF (% av B <sub>0</sub> )	Direkt lustgas, EF <sub>s</sub> (% N <sub>2</sub> O-N av N-tot)	Ammoniakförlust, EF <sub>4</sub> (% NH <sub>3</sub> -N av N-tot)
Fjäderfärgödsel	1,5 %	0,71 %	20 %
Flytgödsel	3,5 %	0,5 %	3 %
Fastgödsel	2,0 %	0,5 %	20 %
Djupströ	6,8 % <sup>a</sup>	1,0 %	30 %
Urin	3,5 %	0,5 %	10 %
Rötrest, flytande	n.a.	0 %	3 %

- a. Den ursprungliga MCF-faktorn för djupströgödsel är 17 %, men är då relaterad till mängden träck i gödseln (Naturvårdsverket, 2019). Här har MCF-faktorn justerats så att den ska gälla djupströgödsel med 60 % strömedel

egentligen representera värdena för stallgödsel utan strömedel. Strömedel antas dock utgöra en så pass liten andel av flytgödsel, fastgödsel och urin att det inte gjorts några justeringar för dessa gödselslag. Djupströgödsel innehåller mycket halm, och därför har MCF-faktorn för djupströgödsel justerats så att den ska gälla för djupströgödsel som innehåller 60 procent strömedel.

## Lustgas

Lustgasemissionerna beräknas med enligt Sveriges klimatrapporering (Naturvårdsverket, 2019), och beräknas enligt samma princip för rötad respektive obehandlad gödsel.

Beräkningarna omfattar både direkta lustgasemissioner och indirekt lustgasemissioner orsakade av ammoniakemissioner under lagringen. De direkta lustgasemissionerna beräknas med hjälp av en emissionsfaktor, EF<sub>s</sub>, som anger emissionerna som procent lustgaskväve av mängden kväve (totalkväve) i gödseln. Emissionsfaktorn är olika för olika gödselslag, se Tabell 1.

De indirekta lustgasemissionerna beräknas också med en emissionsfaktor, EF<sub>4</sub>, men då som procent av ammoniakförlusterna vid lagring av gödseln. Ammoniakförluster vid lagring av olika gödselslag har hämtats från Jordbruksverkets rådgivningsprogram VERA, se Tabell 1 (Greppa Näringen, 2021). Av dessa ammoniakemissioner antas sedan 1 procent omvandlas till lustgas (Dong m fl., 2006).

Det sker även emissioner av lustgas och ammoniak i fält både vid spridning av stallgödsel och av rötrest. Som tidigare beskrivits saknas det tillräckligt kunskapsunderlag för att kunna se och räkna på eventuella skillnader i kväveförluster vid spridning av rötad respektive obehandlad stallgödsel, och eftersom vi bara är ute efter skillnaden mellan rötad och obehandlad stallgödsel kan de absoluta utsläppsnivåerna exkluderas.

## Undslupna utsläpp från stallgödsel

I Tabell 2 sammanställs de stallgödselslag som finns i substrathandboken och hur stora de undslupna växthusgasutsläppen beräknas vara om stallgödseln rötas istället för att lagras traditionellt.

Tabell 2. Beskrivning av stallgödselslag och summering av undslupna växthusgasutsläpp från stallgödselhanteringen om stallgödseln rötas istället för att lagras på traditionellt sätt. Gödselslag och karaktäristik enligt Substrathandboken (Carlsson & Uldal, 2009), emissionsberäkningar enligt beskrivning i denna rapport.

Gödselslag	Typ av gödsel	VS-halt (% av våtvikt)	Kväve (kg N-tot per ton våtvikt)	Undslupna växthusgasutsläpp (kg CO <sub>2</sub> e/ton våtvikt)			
				Metan	Lustgas, direkt	Lustgas, indirekt	Totalt
Nötflytgödsel	Flyt	6,8%	4,1	-8,5	-9,5	-0,6	-19
Djupströ, nöt	Djupströ	24%	3,9	-68	-18	-5,4	-92
Svinflytgödsel	Flyt	6,4%	3,3	-10	-7,7	-0,5	-18
Kletgödsel, svin	Fast	13%	6,6	-14	-15	-6,2	-35
Hönsködsel	Fjäderfä	32%	17	-20	-56	-16	-91
Kycklingködsel	Fjäderfä	53%	33	-33	-109	-31	-173
Djupströ, får	Djupströ	24%	9,5	-68	-44	-13	-126
Hästgödsel	Fast	24%	4,9	-14	-11	-4,6	-30
Urin, svin	Urin	0,6%	1,8	-0,6	-4,2	-0,8	-5,7

När stallgödseln rötas bryts organiskt material ner vilket leder till att kväve som tidigare var bundet i organiskt material frigörs och att mängden växttillgängligt ammoniumkväve i gödsel därmed ökar. Om det gått att utnyttja denna extra mängd växttillgängligt kväve i växtodlingen hade det teoretiskt gått att minska gödslingen med exempelvis mineralgödselkväve i motsvarande grad med behållen skörden.

I praktiken är det dock inte lika enkelt att se att rötning skulle förbättra kväveutnyttjandet i fält (Salomon m fl, odat). Mängden växttillgängligt kväve som finns kvar till växterna beror nämligen till mycket stor del på hur stora kväveförlusterna varit under lagring och framför allt vid spridning av gödseln. Spridningsförlusterna kan vara mycket höga, speciellt om det vid spridningstillfället är torrt, varmt och/eller blåsigt, och om inte gödseln snabbt kommer ner i marken. I denna studie beaktas inte eventuell nytta av att mängden växttillgängligt kväve kan vara högre i rötad än i obehandlad gödsel.

### 2.9.1.2 Övriga substrat

Övriga möjliga substrat är grödor och olika typer av rest- och avfallsprodukter. I de fall gårdsanläggningar rötter grödor görs en uppskattning av klimatavtrycket för dessa grödor. Om gårdsanläggningarna tar emot avfalls- och restprodukter från till exempel livsmedelsindustri antas att huvudprodukten får bära all miljöpåverkan vilket innebär att klimatavtrycket för avfalls- och restprodukterna kan sättas till noll.

Växthusgasutsläpp kopplade till alternativ hantering av dessa substrat har inte beaktats i beräkningarna. Det är en förenkling som bedömts vara rimlig med tanke på att endast ett fåtal gårdsanläggningar som inventerats i denna studie rötter andra substrat än stallgödsel, och de i förekommande fall utgör en mycket liten andel av substratmixen.

Tabell 3. Klimatavtryck av inköpt elektricitet och av värme som kan användas i biogasanläggningarna. Värden enligt vägledning om beräkning av utsläppsminskning till Klimatklivet (Naturvårdsverket, 2019)

Energibärare	Klimatavtryck
Elektricitet	
- Nordisk elmix	125 g CO <sub>2</sub> e/kWh el <sup>1</sup>
Värme	
- Svensk medelfjärrvärme	69 g CO <sub>2</sub> e/kWh värme
- Biobränsle	9,4 g CO <sub>2</sub> e/kWh bränsle
- Elektricitet, nordisk elmix	125 g CO <sub>2</sub> e/kWh el <sup>1</sup>
- Värmepump	42 g CO <sub>2</sub> e/kWh värme <sup>2</sup>
- Eldningsolja 1	288 g CO <sub>2</sub> e/kWh bränsle
- Naturgas	248 g CO <sub>2</sub> e/kWh bränsle

1. I den senaste vägledningen har klimatavtrycket för el sänkts till 90 g CO<sub>2</sub>e/kWh el.
2. Räknat med el = nordisk elmix, och värmefaktor = 3

De övriga substraten blir efter rötning en del av rötresten. I beräkningarna inkluderas metan- och lustgasemissioner från lagring av rötrest, inklusive emissionerna kopplade till andra substrat än stallgödsel. Dessa beräkningar har beskrivits tidigare i rapporten. De övriga substraten innehåller kväve, fosfor, kalium och annan växtnäring, vilket vid samrötning ökar växtnäringens innehåll i rötresten jämfört med om enbart stallgödsel hade rötats. Eftersom stallgödsel är det dominerande substratet kommer dock nästan all växtnäring i rötresten från stallgödsel. Det har därför inte bedömts vara aktuellt att "kreditera" gårdsanläggningar som samrötter stallgödsel med andra substrat för den extra växtnäring som de andra substraten bidrar med.

## 2.9.2 Annan energi än biogas

I beräkningarna inkluderas dels den energi som krävs för att driva biogasanläggningen, och dels den energi som biogasen kan ersätta.

Driften av biogasanläggningen kräver tillskott av värme samt el till omrörare, pumpar etc. I de allra flesta fall används egen biogas för att täcka energibehovet i anläggningen. Den interna förbrukningen av el och biogasvärme räknas då bort från mängden el och värme som kan säljas från anläggningen. Metanemissionerna från förbränning av biogasen har beskrivits tidigare. I de fall man använder andra värmekällor än biogas eller köper in el för driften inkluderas klimatavtrycket av dessa energibärare i beräkningarna, se Tabell 3.

Det som blir över när det interna värme- och elbehovet har täckts kan säljas. Man kan då se det som att överskottet ersätter annan energi i energisystemet. Ett sätt att illustrera denna nytta är att "kreditera" biogassystemet för den undslupna produktionen av den energi som biogasen ersätter.

Här antas att hela nettoöverskottet av el säljs, och att 1 kWh biogasel ersätter 1 kWh el i elnätet. I de fall som biogasanläggningen kan sälja värme antas 1 kWh såld biogasvärme ersätter 1 kWh annan värme. I praktiken kan dock utbytet vara sämre, till exempel om överskottsvärmen från biogasen används för att värma verkstäder etc. mer än vad de hade värmts utan billig biogasvärme. I de fall biogas säljs som rågas antas 1 kWh biogas ersätta 1 kWh annat bränsle. Justering har då inte gjorts för de metanförluster som sker vid eventuell uppgradering av biogasen eller



Tabell 4. Klimatavtryck av energibärare som biogasen kan ersätta. Värden enligt vägledning om beräkning av utsläppsminskning till Klimatklivet (Naturvårdsverket, 2019).

Energibärare	Klimatavtryck
Elektricitet	
- Nordisk elmix	125 CO <sub>2</sub> e/kWh el <sup>1</sup>
Värme <sup>2</sup>	
- Svensk medelfjärrvärme	69 g CO <sub>2</sub> e/kWh värme
- Biobränsle	11 g CO <sub>2</sub> e/kWh värme
- Elektricitet, nordisk elmix	125 g CO <sub>2</sub> e/kWh värme
- Värmepump	42 g CO <sub>2</sub> e/kWh värme <sup>3</sup>
- Eldningsolja 1	340 g CO <sub>2</sub> e/kWh värme
- Naturgas	280 g CO <sub>2</sub> e/kWh värme
Rågas eller drivmedel	
- Naturgas	248 g CO <sub>2</sub> e/kWh bränsle
- Bensin	325 g CO <sub>2</sub> e/kWh bränsle
- Diesel	278 g CO <sub>2</sub> e/kWh bränsle
- HVO	32 g CO <sub>2</sub> e/kWh bränsle

1. I den senaste vägledningen har klimatavtrycket för el sänkts till 90 g CO<sub>2</sub>e/kWh el.
2. I Naturvårdsverkets vägledning uttrycks växthusgasutsläppen per kWh bränsle. Här har verkningsgraden beaktats och växthusgasutsläpp uttrycks per kWh värme så att värdena ska gå att jämföra med 1 kWh biogasvärme.
3. Räknat med el = nordisk elmix, och värmefaktor = 3

för energiåtgången vid uppgradering. Av de inventerade gårdsanläggningarna är det dock bara en anläggning som säljer rågas. I modellen kan man välja vilka energibärare som ersätts av biogasen, se Tabell 4.

## 2.10 Potentiell klimatpåverkan av växthusgaser

Utsläpp av metan och andra växthusgaser summeras som potentiell klimatpåverkan i ett hundraårsperspektiv (*Global Warming Potential, GWP<sub>100</sub>*). Enheten är kg koldioxid-ekvivalenter (kg CO<sub>2</sub>e) per kg växthusgas. GWP-talen är enligt IPCC fjärde utvärderingsrapport (Raga Mexico m fl, 2007), se Tabell 5. Det är samma omräkningsfaktorer som till exempel används i klimatberäkningarna inför investeringsstödsansökningar till Klimatklivet. Det finns även nyare GWP-tal i IPCCs senare utvärderingsrapporter. Där har metan fått högre GWP-tal, medan GWP-talet för lustgas är oförändrat eller sänkt.

Tabell 5. Potentiell klimatpåverkan (GWP<sub>100</sub>) av växthusgaser (Raga Mexico m fl, 2007)

Växthusgas	GWP (kg CO <sub>2</sub> e per kg växthusgas)
Koldioxid, fossilt ursprung	1
Koldioxid, biogent ursprung	0
Metan	25
Lustgas	298

## 3 Resultat

I detta kapitel sammanställs resultaten från klimatberäkningarna för de tio gårdsanläggningarna som inventerats. Resultaten presenteras i diagram som genomsnitt per ton substrat, per kg VS eller som procent för att det inte ska gå att identifiera vilka gårdsanläggningar som inventerats eller vilka resultat som hör till vilken anläggning.

Till detta kapitel har det även gjorts ett räkneexempel för att visa hur beräkningarna har gjorts och hur dynamiken över ett år kan se ut.

### 3.1 Beskrivning av gårdsanläggningarna

#### 3.1.1 Exempelgård – mjölkgård med gårdsbaserad biogasproduktion

Räkneexemplet är en biogasanläggning på en mjölkgård i smålandstrakten. De rötar bara egen stallgödsel (nötflytgödsel). Stallgödselproduktionen sjunker med 25 procent under sommaren när djuren går på bete.

Rötning är mesofil (38 °C), och det finns både röt-kammare och en uppvärmd efterröt-kammare. Den totala uppehållstiden i rektorerna (inklusive efterröt-kammaren) är 24 dygn vintertid och 32 dygn sommartid. En del av värmen kan återvinnas genom förvärmning av inkommande substrat.

Biogasen går till el- och värmeproduktion. Egen biogasel och egen biogasvärme används för driften av biogasanläggningen.

Det finns god avsättning för överskottsvärme i övrig verksamhet på gården och i bostäder. Det är möjligt att styra om till mer värmeproduktion under den kalla årstiden så att biogasvärme täcker värmebehovet i anläggningen samt bostäder och andra verksamheter som värms med biogas. Om inte biogasvärmen funnits hade uppvärmningen skett med fasta biobränslen.

#### 3.1.2 Inventerade anläggningar

Data har samlats in från tio gårdsanläggningar från hela landet, och speglar produktionen under 2019/2020. Det är en blandning av gårdsanläggningar med olika förutsättningar.

Flytgödsel utgör basen för alla anläggningar. Nötflytgödsel dominerar, det är bara en anläggning som rötar egen svinflytgödsel. Sex anläggningar rötar enbart egen flytgödsel, medan övriga även rötar djupströgödsel och/eller tar in andra substrat som kycklinggödsel, grisködsel, restprodukter från mejerier eller boss/agnar.

Nio av tio anläggningar rötar mesofilt (38-43 °C), en anläggning rötar termofilt (cirka 55 °C).

Sex av tio anläggningarna har efterröt-kammare. Den aktiva volymen i röt-kammare/rötkamrarna är i genomsnitt 700 kubikmeter (medianvärdet), men med en stor spännvidd mellan minsta och största anläggningen.

Upphållstiden för de mesofila anläggningarna är i genomsnitt 30 dygn sommartid (variation mellan cirka 22-36 dygn) och 41 dygn vintertid (variation mellan cirka 32-46 dygn).

Alla anläggningar utom en har kraftvärmeproduktion. Några anläggningar kan sätta in en gaspanna eller omfördela till mer värmeproduktion när gasproduktionen är hög eller det finns stor avsättning för värme. En anläggning säljer biogas som rågas.

Värme från CHP och/eller gaspanna används i första hand för att värma biogasanläggningen. Sex av anläggningarna har avsättning för biogasvärme i bostäder, stallar, verkstäder, spannmålstork etc. eller kan sälja värme till närvärmenät.

## 3.2 Beräknad biogasproduktion

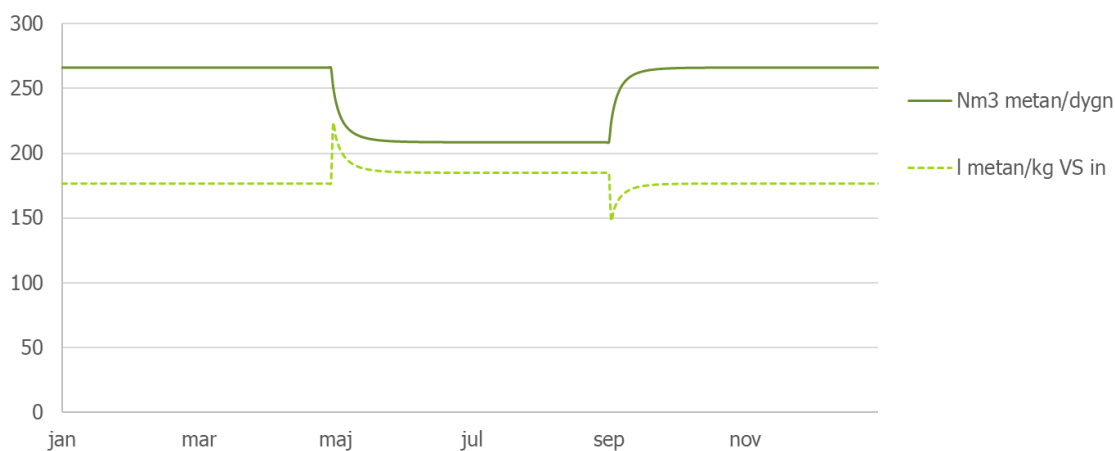
Mängden producerad biogas är avgörande för klimatprestandan eftersom den avgör hur mycket ”nyttigheter” i form av förnybar energi som anläggningen kan leverera. Högt biogasutbyte och hög utröttningsgrad bedöms även minska också metanemissionerna från lagring av rötresten.

### 3.2.1 Exempelgård

Biogasproduktionen beräknas till i genomsnitt knappt 250 Nm<sup>3</sup> metan per dygn (variation mellan 210-270 Nm<sup>3</sup> metan per dygn) eller i genomsnitt 180 liter metan per kg VS (175-185 liter metan per kg VS), se Figur 8.

Biogasproduktionen går ner sommartid, men inte lika mycket mängden substrat minskar. Under sommaren ökar utröttningsgraden tack vare att uppehållstiden förlängs, och därmed ökar även mängden producerad biogas per kg VS.

Spetsarna på den streckade kurvan i diagrammet förklaras av att dygnsproduktionen har dividerats med mängden VS som matades in i reaktorn aktuellt dygn, och när dygnsinmatningen ändras snabbt tar det ett tag tills biogasproduktionen svängt in till den nya uppehållstiden i reaktorn.



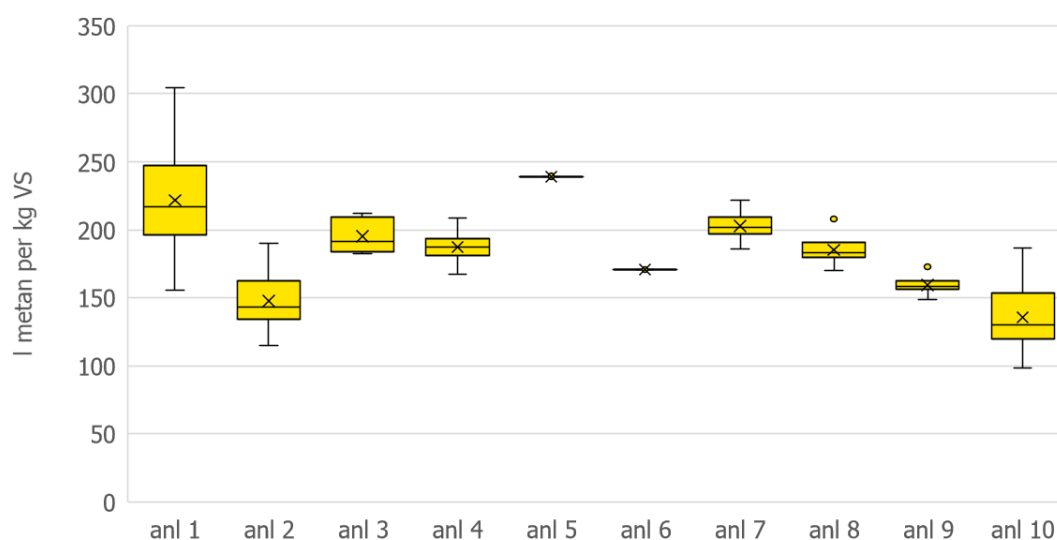
Figur 8. Beräknad biogasprodukt för exempelgården. Resultatet presenteras dels som total produktion per dygn (Nm<sup>3</sup> metan per dygn) och dels uttryckt per kg VS som matas in i anläggningen per dygn (liter metan per kg VS in).

### 3.2.2 Inventerade anläggningar

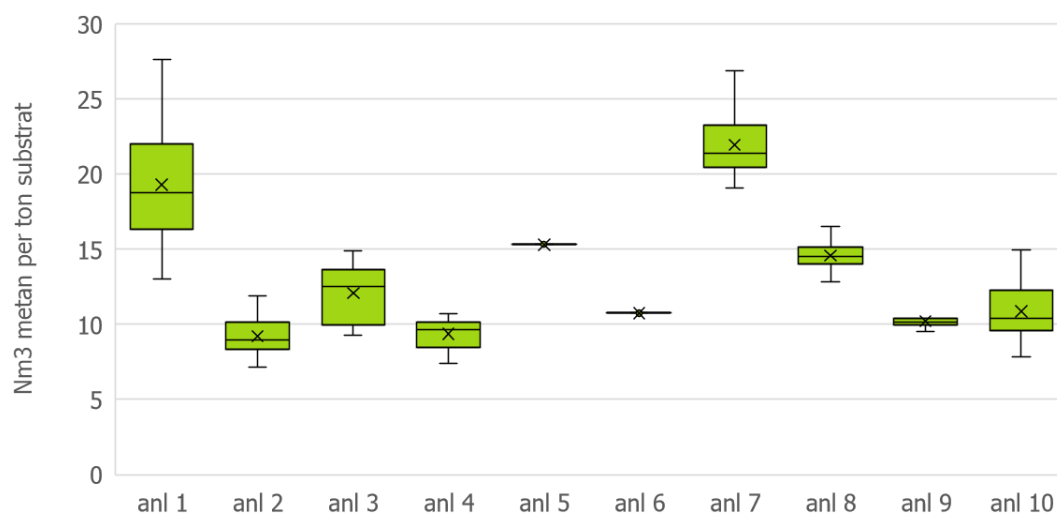
Biogasproduktionen har beräknats utifrån anläggningarnas uppgifter om substrat och anläggningens utformning, och med en konstant,  $k$ , som beskriver hur snabb rötningsprocessen är (se kapitel ”Biogasproduktion och restmetanpotential” i metodavsnittet).

$K$ -värdet har till en början satts till  $0,2 \text{ dygn}^{-1}$ , men har för flera anläggningar justerats uppåt eller nedåt så att den beräknade årliga biogasproduktionen överensstämmer med den rapporterade totala biogasproduktionen per år.  $K$ -värdet för anläggningarna ligger mellan  $0,1$  och  $0,3 \text{ dygn}^{-1}$ .

Det har även gjorts en avstämning av restmetanpotentialen efter att  $k$ -värdet justerats. Det har varit god överensstämmelse mellan den beräknade restmetanpotentialen (substratens biogas-



Figur 9. Beräknad biogasprodukt för tio gårdsanläggningar, uttryckt som liter metan per kg VS tillfört reaktorn per dygn. Beräkningarna har gjorts för ett helt år med tidssteget ett dygn.



Figur 10. Beräknad biogasprodukt för tio gårdsanläggningar, uttryckt som  $\text{Nm}^3$  metan per ton substrat tillfört reaktorn per dygn. Beräkningarna har gjorts för ett helt år med tidssteget ett dygn.

potential minus beräknad mängd producerad biogas) och restmetanpotentialen som mätt i utrotningsförsök.

Den beräknade biogasproduktionen visas i Figur 9 (liter metan per kg VS inmatat per dygn) och i Figur 10 (Nm<sup>3</sup> metan per ton substrat inmatat per dygn). De färgglada "lådorna" motsvarar de mittersta dygnsvärdena. Den undre kanten av lådan motsvarar den nedre kvartilen (det vill säga 25 procent av dagarna är metanproduktionen per enhet substrat lägre än eller lika med detta värde), strecket i mitten medianvärdet och den övre kanten av lådan motsvarar den övre kvartilen (75 procent av dygnsvärdena är lägre än eller lika med detta värde). Felstaplarna markerar max- respektive minimivärden för metanproduktionen per kg VS. Kryssen markerar medelvärdet.

Det är skillnad i mängd producerad biogas (l metan per kg VS respektive Nm<sup>3</sup> metan per ton substrat) dels mellan anläggningarna och dels över året för de anläggningar där substratflödet varierar över året. Mängden metan per kg VS är högst för anläggningar som rötar substrat med hög biogaspotential (till exempel kycklinggödsel eller grisgödsel) och/eller har hög utrotningsgrad.

När biogasproduktionen uttrycks per ton substrat spelar även torrsubstans- och VS-halten in. VS-halten på inkommande substrat ligger på 6-8 procent VS av våtvikt för de allra flesta anläggningarna, någon ligger högre, någon lägre. Biogasproduktionen per ton substrat är generellt sett högre för anläggningar som rötar substrat med högre VS-halt. Anläggningarna med högst biogasproduktion per ton substrat producerar dubbelt så mycket biogas per ton substrat som anläggningarna med lägst värden.

### **3.3 Värmebehov i biogasanläggningen**

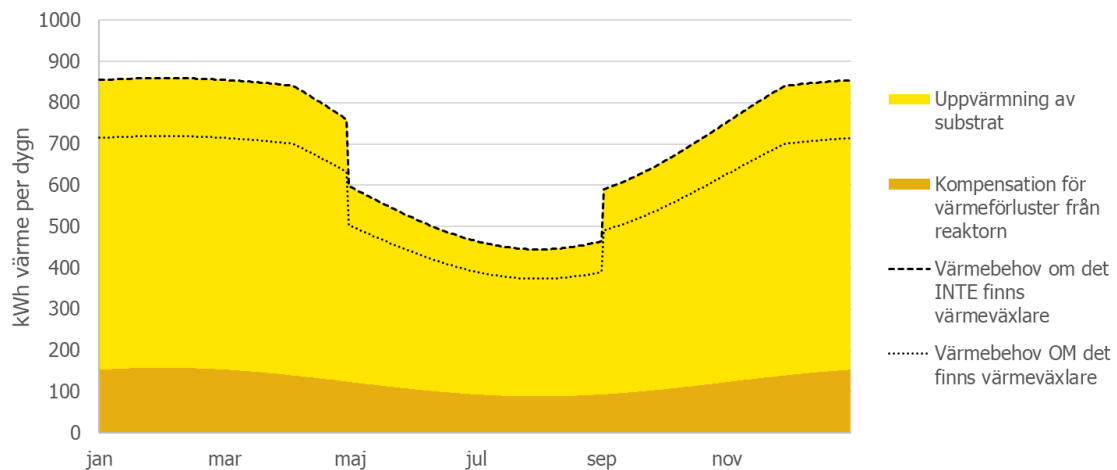
Mängden värme som behövs för att värma inkommande substrat och för att hålla temperaturen i röt-kammaren har indirekt betydelse för klimatberäkningarna eftersom den påverkar hur mycket "nyttigheter" som biogasanläggningen kan leverera.

Om värmebehovet i anläggningen är högt finns det mindre värme kvar som kan säljas. Man behöver även beakta hur värmebehovet i anläggningen varierar över året eftersom underlaget för att sälja värme är högst vintertid samtidigt som behovet i anläggningen är högt.

#### **3.3.1 Exempelgård**

Värmebehovet varierar över året beroende på utomhustemperaturen och mängden substrat som matas in per dygn, se Figur 11. Den allra mesta värmen går åt för att värma inkommande substrat, och ju kallare substrat och ju större mängd substrat som ska värmas desto högre värmebehov. Temperaturen på inkommande substrat styrs av utomhustemperaturen. Här antas att substraten aldrig blir kallare än 7 °C, vilket inträffar under fyra vintermånader när utomhustemperaturen är under 1,5 °C. Den konstanta temperaturen på inkommande substrat under denna period förklarar varför värmebehovet vintertid är relativt konstant.

Mängden substrat som matas in per dygn är avgörande för hur mycket värme som behöver tillföras. Stora inflöden och kort uppehållstid innebär att stora mängder substrat ska värmas per dygn, och att det totala värmebehovet blir högt. Under betesperioden sommartid minskar



Figur 11. Beräknat värmebehov för biogasanläggningen på exempelgården.

mängden substrat per dygn, och därmed även mängden substrat som ska värmas upp till rötningsstemperatur.

Det behövs även viss värme för att kompensera för värmeförlusterna som sker från röt-kammaren via väggar, tak och anslutningar. De beräknade värmeförlusterna styrs av hur välisolerad anläggningen är, hur stor yta som reaktorn har samt temperaturdifferensen mellan röt-kammaren och omgivningen. Ju sämre isolering, ju mindre röt-kammare och därmed större yta per kubikmeter reaktorvolym och/eller ju större temperaturdifferens desto högre värmeförluster. Isolering och yta är fasta parametrar för en anläggning, medan omgivningens temperatur varierar över året.

I jämförelse med substratens uppvärmningsbehov beräknas värmeförlusterna från reaktorn vara relativt små. Här är det ändå räknat med måttligt god isolering och att värmegenomgången är relativt hög eftersom värme överförs från vätska till gas. Temperaturdifferensen mellan röt-kammaren och omgivning varierar mellan cirka 20 och 40 °C, och i och med att differensen är stor även sommartid beräknas det bli måttliga skillnader i värmeförluster mellan vinter och sommar.

Den mesta värmen ”förloras” alltså via varm rötrest som pumpas ut ur röt-kammaren, inte via förluster genom väggar, tak etc. Det finns ingen nytta med att rötresten är varm när den kommer till rötrestlagret, snarare ökar det risken för metanemissioner vid lagring av rötrest eftersom metanbildningen är starkt temperaturberoende. Värmen i utgående rötrest kan nyttjas genom värmväxla mot inkommande substrat eller om det finns en (uppvärmd) efterröt-kammare där mer biogas kan plockas ut.

Här antas att en del av värmen i utgående rötrest kan återvinnas genom värmväxling mot inkommande substrat. Värmebehovet (beaktat värmeåtervinning) beräknas i genomsnitt vara 30 kWh värme per ton substrat som ska rötas (variation mellan 25-34 kWh per ton), vilket motsvarar 24 procent av biogasens energiinnehåll (variation mellan 20 och 27 procent). Det stämmer rätt bra överens med de uppskattningar som finns om det genomsnittliga värmebehovet i gårdsanläggningar (Eliasson, 2015). Det finns dock färre uppgifter om hur värmebehovet varierar över året.

### 3.3.2 Inventerade anläggningar

Det beräknade värmebehovet för de inventerade anläggningarna har summerats dels som kWh värme per ton substrat och dels procent av mängden producerad biogas, se Figur 12. Värdena representerar genomsnitt över året av mängden värme som behöver tillföras, det vill säga beaktat eventuell värmeåtervinning.

Behovet av tillförd värme är i de flesta fall på 30-50 kWh värme per ton substrat, vilket motsvarar cirka 25-45 procent av producerad biogas.

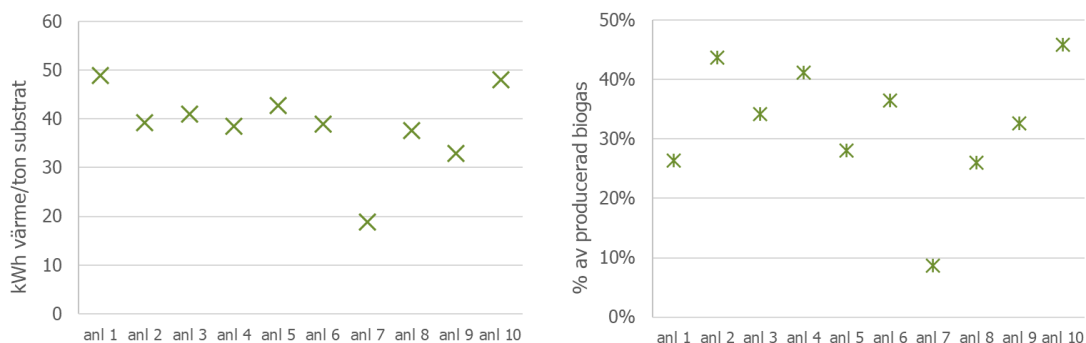
Den allra mesta värmen går åt för att värma inkommande substrat. Kompensation för värmeförluster från anläggningen står oftast för en mindre andel av värmebehovet. Anläggningen som avviker har lågt värmebehov tack vare mycket effektiv värmeåtervinning. Om den anläggningen hade haft mycket sämre eller ingen värmeåtervinning hade dess värmebehov per ton substrat varit bland de högsta.

#### kWh värme per ton substrat

Det är flera parametrar som påverkar resultatet, och de har olika stor betydelse för de enskilda anläggningarna. Det totala värmebehovet per ton substrat beror i hög grad på temperaturdifferensen mellan inkommande substrat och rötningstemperaturen. För de mesofila anläggningarna beräknas temperaturen i inkommande substrat höjas med i genomsnitt cirka 28-30 °C. Man behöver tillföra cirka 32-34 kWh värme per ton substrat för att nå denna temperaturhöjning.

Värmeväxling är en av de viktigaste parametrarna för att förklara skillnaderna mellan anläggningar vad gäller värmebehov per ton substrat. Tre anläggningar har någon form av värmeåtervinning, och det är också de tre anläggningarna som har lägst värmebehov per ton substrat trots att temperaturdifferensen mellan inkommande substrat och rötchammare eller mellan rötchammare och omgivning är bland de högsta för dessa anläggningar.

De två anläggningarna med högst värmebehov per ton substrat är relativt små och de har också bland de högsta uppehållstiderna. Det medför att värmeförlusterna från dessa anläggningar beräknas vara relativt höga, och att mer värme behöver tillföras per ton substrat för att kompensera för värmeförlusterna från rötchammaren. En liten anläggning har relativt stor yta mot omgivningen per kubikmeter reaktorvolym, och därmed blir värmeförlusterna fördelade per kubikmeter reaktorvolym höga. Om uppehållstiden är lång hinner också mer värme förloras per ton rotat substrat, vilket drar upp värmebehovet per ton substrat.



Figur 12. Beräknat behov av tillförd värme i de tio gårdsanläggningarna, dels som kWh värme per ton substrat och dels uttryckt som procent av producerad biogas. Värdena representerar ett årsgenomsnitt, och beaktar eventuell värmeåtervinning i anläggningen.

### Värmebehovet som procent av producerad biogas

När värmebehovet uttrycks som procent av producerad biogas förändras bilden något. Då blir biogasproduktionen per ton substrat den viktigaste parametern och den parameter som tydligast förklarar skillnaderna mellan anläggningarna. Det skiljer en faktor två mellan anläggningarna med lägst och högst biogasproduktion per ton substrat (Figur 10). De fyra anläggningarna med högst biogasproduktion per ton substrat är även de fyra anläggningar som behöver lägga minst andel av biogasen på värme till anläggningen.

Det finns även ett visst samband mellan VS-halt i substraten och mängd biogas, så generellt sett är mängden biogas per ton substrat högre på anläggningar som rötar substrat med högre VS-halter. Om VS-halten är låg och/eller biogasproduktionen per kg VS är låg, och därmed även biogasproduktionen per ton substrat låg, kommer en relativt stor andel av biogasen behövas för att värma substratet och täcka värmebehovet i anläggningen.

### Förbättringar

Ett högt värmebehov behöver inte vara ett problem så länge som överskottsvärmen från CHP räcker för att hålla temperaturen i anläggningen och det inte finns några andra, eller små, avsättningsmöjligheter för värme. Men vill man förbättra värmeutnyttjandet eller har underlag för att avyttra mer värme finns det åtgärder att göra.

Om temperaturdifferensen mellan inkommande substrat och rötningstemperaturen minskar har det stor effekt på värmebehovet eftersom så mycket av värmen går åt för att höja temperaturen på inkommande substrat. Om det går att sänka rötningstemperaturen med 2 °C, utan att det påverkar biogasproduktionen negativt, skulle det kunna minska värmebehovet med cirka 5 procent, allt annat lika.

Åtgärder för att bevara värmen som finns i stallgödseln när den lämnar stallet är också fördelaktiga. Det är en form av gratisvärme som man kanske inte reflekterat över eller vilken nytta den har för värmeutnyttjandet i biogasanläggningen.

Andra åtgärder handlar om att öka torrsubstans- och VS-halten i substraten. Ju mindre gödsel som behöver värmas per dygn desto färre kWh värme krävs per dygn för uppvärmning. Går det till exempel att minska inblandningen av vatten med ändrade rutiner i stall etc. eller genom att inte ta emot flöden med mycket låga torrsubstanshalter. Går det att öka mängden torrsubstans genom att blanda in torrare substrat eller späda substraten med annat än vatten.

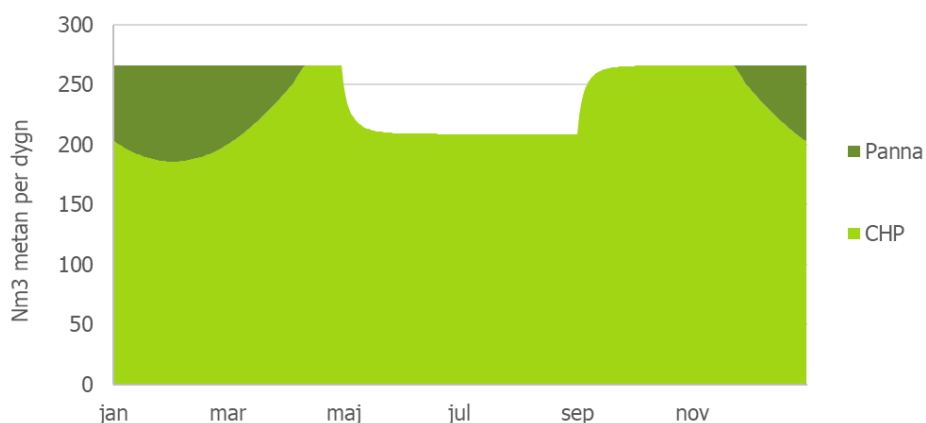
## 3.4 Vad används biogasen till?

Användningsområdet för biogasen har betydelse ur klimatsynpunkt eftersom det dels påverkar hur stora metanemissionerna vid slutanvändningen av biogasen blir och dels avgör hur mycket nyttigheter anläggningen producerar i form av såld energi.

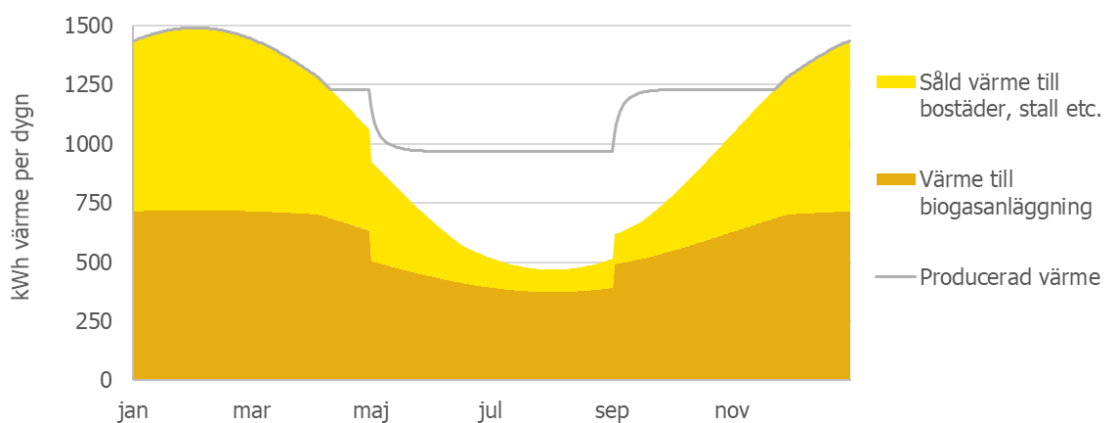
### 3.4.1 Exempelgård

Den mesta biogasen som produceras på exempelgården går till kraftvärmeproduktion (Figur 13). Totalt produceras 290 MWh el per år, varav 33 MWh används internt i driften.





Figur 13. Mängden biogas som går till gaspanna respektive CHP per dygn på exempelgården.



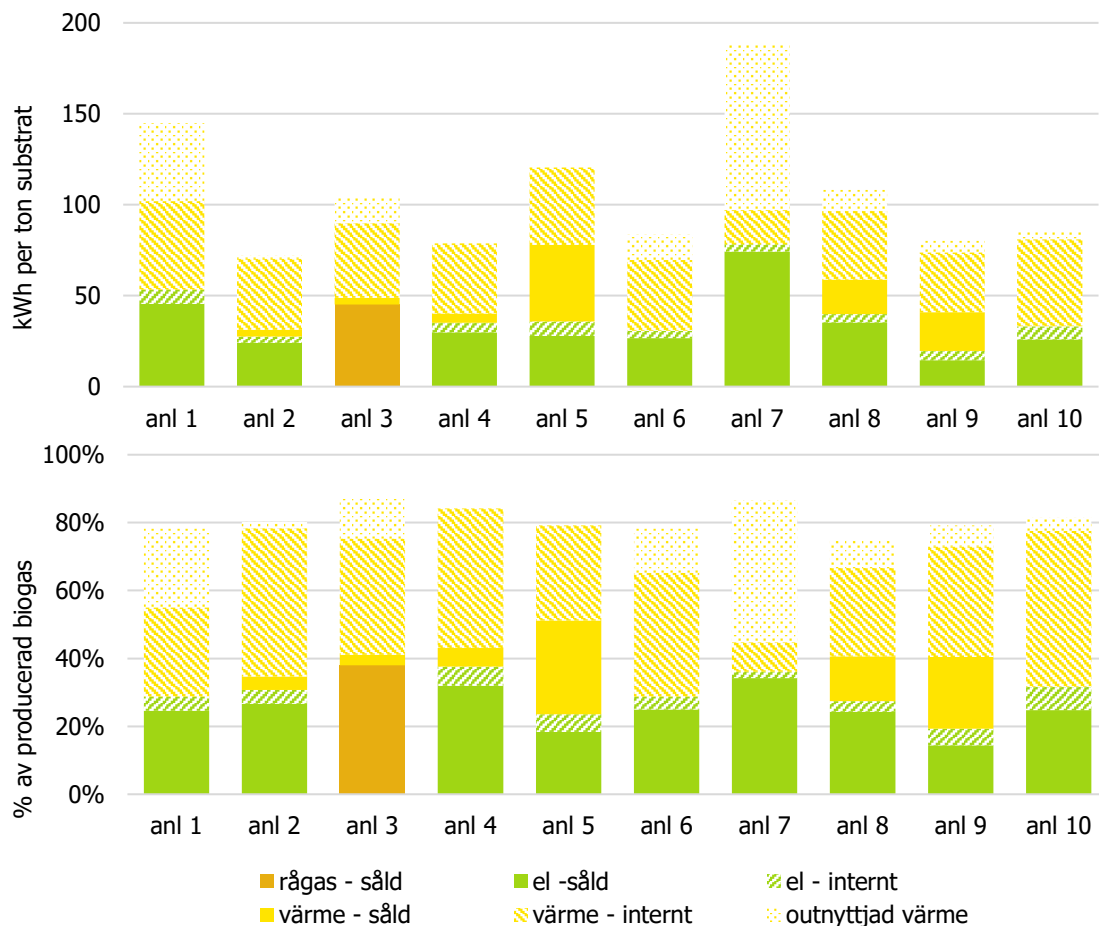
Figur 14. Produktion av värme från gaspanna och CHP samt avsättning av värme till av biogasanläggningen respektive andra avnämare. Figuren gäller exempelgården.

Under vintern styrs en del biogas om till ren värmeproduktion när det finns ett stort värmebehov i bostäder och övrig verksamhet på gården och värmen från kraftvärmeenheter inte hade räckt till. Under sommarhalvåret blir det ett överskott på värme som behöver kylas bort. Totalt produceras 440 MWh värme per år, varav 150 MWh säljs till bostäder och annan verksamhet (Figur 14).

Mängden såld energi är 36 kWh el samt 22 kWh värme per ton rötat substrat, vilket motsvarar 29 procent respektive 17 procent av energiinnehållet i producerad biogas. Det är alltså mindre än hälften av biogasens energiinnehåll som kan säljas som el eller värme, resten behövs för drift av anläggningen eller är förluster.

### 3.4.2 Inventerade anläggningar

Motsvarande beräkningar här även gjorts för de inventerade anläggningarna. Hänsyn har bland annat tagits till hur möjligheterna att sälja värme varierar över året och hur stor kapaciteten i CHP i förhållande till gasproduktionen. Resultaten summeras i Figur 15. Alla gårdsanläggningar utom en har kraftvärmeproduktion, och på flera anläggningarna fördelas biogasen mellan CHP, gaspanna och/eller fackla.



Figur 15. Mängd producerad el och värme samt såld rågas från de tio gårdsanläggningarna. Det övre diagrammet visar mängden som kWh el, värme respektive rågas per ton rötats substrat, det undre diagrammet visar mängderna uttryckta som procent av producerad biogas. Värdena avser genomsnitt per år. I diagrammen görs skillnad på el och värme som sålts (enfärgade staplar) respektive el och värme som använts i driften eller som inte kunnat utnyttjas.

På anläggningarna med kraftvärmeproduktion beräknas all (gäller fem anläggningar) eller nästan all (cirka 65 procent till 95 procent) biogas gå till CHP. Biogas styrs om till mer värmeproduktion när det går att sälja mer värme till bostäder eller andra verksamheter än vad kraftvärmeenheten kan leverera eller till panna eller fackla när kraftvärmeenhetens kapacitet inte räcker till.

Anläggningar med CHP producerar cirka 25-50 kWh el per ton substrat. Spannet förklaras huvudsakligen med skillnader i biogasproduktion per ton substrat. Anläggningar som ligger i det lägre spannet har jämförelsevis låg biogasproduktion. I det högre spannet finns anläggningar med hög biogasproduktion, och några av dem ligger högt trots att de fördelar en del biogas till värmeproduktion. En anläggning ligger högre (nästan 80 kWh el per ton substrat) vilket förklaras med mycket hög biogasproduktion.

Om elproduktionen uttrycks som procent av producerad biogas blir bilden delvis en annan. Då kommer elverkningsgraden och andelen gas som går till CHP avgöra resultatet. Mängden producerad el motsvarar då 20 till 38 procent av biogasproduktionen.

Sex av tio anläggningar kan sälja värme i större eller mindre omfattning. Mängden värme som kan säljas motsvarar cirka 5 eller runt 15-30 procent av producerad biogas. De som säljer en liten andel av värmen har generellt sett ett högre internt värmebehov än de som säljer en stor andel av producerad värme. De som säljer en stor andel av biogasen som värme använder i högst grad panna för värmeproduktion.

För flera anläggningar som säljer värme är den externa efterfrågan på värme större än värmeöverskottet från biogasanläggningen, och de hade därmed kunnat sälja ännu mer värme till befintliga kunder under hela eller delar av året. Till exempel är en av anläggningarna ansluten till ett närvärmenät och kan då leverera allt överskott dit.

All värme går dock inte att sälja externt dels för att det saknas kunder helt (gäller fyra anläggningar) eller för att efterfrågan är lägre än värmeproduktionen, särskilt sommartid.

Försäljningen av rågas, el och värme motsvarar cirka 25-45 procent av energiinnehållet i producerad biogas. Då har avdrag gjorts för den biogasel och biogasvärme som använts internt, och outnyttjad överskottsvärme exkluderats. De anläggningar som ligger i det högre spannet har kan sälja en stor andel av biogasen som värme eller rågas, och behöver generellt sett använda en relativt liten andel av värmen internt. De som ligger i det lägre spannet säljer enbart el. Det är en viss spridning i elverkningsgrad (cirka 30-38 procent) mellan kraftvärmeenheter, men det finns inget tydligt samband mellan elverkningsgrad och mängde såld energi uttryckt som andel av producerad biogas.

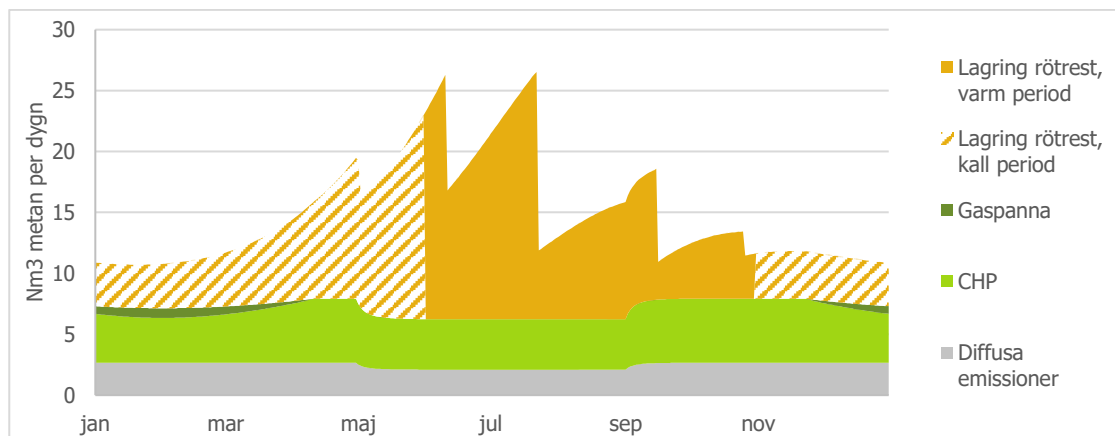
Det är inte helt rättvisande att jämföra eller summera 1 kWh värme, 1 kWh el eller 1 kWh rågas då de är olika nyttor och kan användas på olika sätt. Här har summeringen gjorts för att visa på vad som händer med biogasen och vad den används till. Det illustrerar även att den el och värme som behövs i driften av en gårdsbiogasanläggning motsvarar en betydande andel av den biogas som produceras. Det är bara tre av anläggningarna med CHP som säljer fler kWh el och värme än vad de beräknas förbruka internt.

## 3.5 Metanemissioner

Metanemissioner från biogasanläggningen, slutanvändningen av biogas samt från lagring av rötrest står för den direkta klimatpåverkan, eller i vart fall en stor andel av den direkta klimatpåverkan vid gårdsbaserad biogasproduktion. Metanet i biogasen är ju både själva nyttan med biogasen och en potentiell akilleshäla ur klimatsynpunkt. Vid rötning produceras stora mängder metan, och i och med att metan är en växthusgas kan även små förluster ha betydelse för biogasens klimatprestanda.

### 3.5.1 Exempelgård

I Figur 16 visas de beräknade metanemissionerna från biogasanläggningen (diffusa emissioner), slutanvändning av biogas (gaspanna och CHP) samt från lagring av rötresten. Emissionerna från CHP och gaspanna samt de diffusa emissionerna har beräknats som en procentsats av mängd producerad biogas, så ju högre biogasproduktion desto högre emissioner. Det går även att justera procentsatserna om det finns bättre och mer gårdsanpassat dataunderlag. Här är räknat med 2 procent metanslipp genom CHP, vilket är i nivå med resultat från internationella mätningar (Yngvesson, 2021).



Figur 16. Beräknade metanemissioner från biogasanläggningen, slutanvändning av biogas samt från lagring av rötresten. Figuren gäller exempelgården.

Metanemissionerna från lagringen av rötrest har beräknats dygnvis utifrån mängden rötrest i lagret, dess kvalitet (kg VS och restmetanpotential), lagringstid och temperaturen i lagret. Emissionerna särredovisas för den varma perioden, det vill säga perioden när rötresten beräknas vara varmare än 12 °C, och den kalla perioden när rötresten är kallare än 12 °C. Uppdelningen har gjorts eftersom emissionsmodellen som använts är anpassad för lagringstemperaturer över 12 °C och det är osäkert hur höga emissionerna är vid lägre temperaturer.

Resultaten tyder på att metanemissionerna från lagringen av rötrest variera kraftigt över året. Emissionerna är relativt låga vintertid när temperaturen i lagret är låg. När temperaturen stiger på våren ökar även emissionerna. "Hacken" som syns under sommarhalvåret kan kopplas ihop med spridningstidpunkterna för rötresten. Lagren töms delvis när rötresten sprids på åkermark, och när mängden rötrest i lagret minskar beräknas även metanemissionerna minska i motsvarande omfattning.

Metanemissionerna är starkt temperaturberoende och de högsta emissionerna beräknas ske under sommarmånaderna även om lagren inte alls är lika fyllda som under våren (se Figur 7). Man kan också se temperaturberoendet på att emissionerna är relativt låga och sjunkande när temperaturen sjunker under hösten, trots att lagren fylls på kontinuerligt.

Utröttningsgraden är en annan faktor som påverkar metanemissionerna. Hög utröttningsgrad ger inte bara ett bra biogasutbyte, utan även lägre restmetanpotential i rötresten. En låg restmetanpotential är fördelaktigt ur klimatsynpunkt eftersom det bedöms minska risken för metanemissioner från lagringen av rötrest.

Under betesperioden minskar mängden stallgödsel och utröttningsgraden beräknas då öka tack vare förlängd uppehållstid i reaktorn. Efter betesperioden ökar stallgödselproduktionen igen vilket även innebär mer rötrest i i lagret per dygn, men samtidigt försämras utröttningsgraden något. Båda dessa faktorer, det vill säga högre restmetanpotential och mer rötrest per dygn, förklarar den extra puckeln i september.

Totalt sett beräknas metanemissionerna från biogasanläggningen, slutanvändning av biogas samt lagring av rötrest till 5 400 Nm<sup>3</sup> metan per år, eller 4 100 Nm<sup>3</sup> om lagringsemissionerna under den kalla perioden exkluderas. Det motsvarar 6 procent av mängden producerad biogas per år, eller 4,6 procent om lagringsemissionerna under den kalla perioden exkluderas. De

diffusa emissioner samt emissioner från slutanvändningen motsvarar 2,9 procent av producerad biogas, och emissionerna från lagring av rötrest 3,1 procent (inklusive vinterlagringen) respektive 1,7 procent (exklusive vinterlagringen) av mängden producerad biogas.

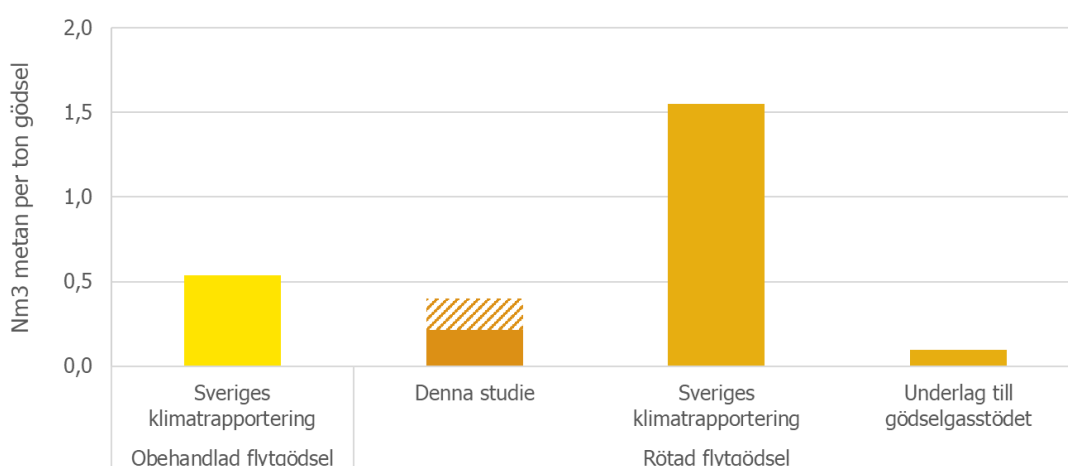
#### Är resultatet rimligt?

Emissionerna från produktion och användning av biogas är avhängiga de emissionsfaktorer (procent av producerad biogas) som valts. De litteraturuppgifter som finns från emissionsmätningar på biogasanläggningar tyder på att emissionerna ofta är låga (noll till någon procent av producerad biogas), men att de kan vara höga om det exempelvis finns läckage i anläggningen, se till exempel Yngvesson (2021).

Metanemissioner från lagring av rötresten kan också ingå i emissionsmätningar på biogasanläggningar, men eftersom mätningarna görs under en kort period är det inte säkert att resultatet är representativa för ett helt år eftersom temperaturen och mängden rötrest i lager förändras över tid. I vissa fall lagras rötresten bara en kort tid vid biogasanläggningen innan den transporteras till annat lager, och då ger inte emissionsmätningarna en fullständig bild av lagrings-emissionerna.

Ett sätt att bedöma rimligheten i lagringsberäkningarna är att jämföra resultatet med hur metanemissioner från stallgödselhantering beräknas i klimatrapporteringen (Naturvårdsverket, 2021) eller i underlaget till gödselgasstödet (Lantz & Björnsson, 2016), se Figur 17 och kapitlet ”Stallgödsel” sidan 15. ”Stallgödselhantering” omfattar i detta fall både rötad och obehandlad stallgödsel. Metanemissionerna från gödselhantering beräknas med hjälp av en faktor, MCF, som beskriver hur mycket metan som bildas i lagret i förhållande till gödselns maximala biogaspotential.

IPCC har publicerat riktlinjer för den nationell klimatrapporteringen och hur länderna ska beräkna växthusgasutsläpp. Riktlinjerna innehåller generella emissionsfaktorer till beräkningarna, men länderna har även möjlighet att ta fram egna nationellt anpassade emissionsfaktorer, vilket Sverige har gjort både för flytgödsel och rötad gödsel.



Figur 17. Jämförelse mellan metanemissioner från gödsellagring beräknade för exempelgården i denna studie och om beräkningarna gjorts enligt Sveriges klimatrapportering (Naturvårdsverket, 2021) eller enligt underlaget till gödselgasstödet (Lantz & Björnsson, 2016). Beräkningarna är gjorda för 1 ton nötflytgödsel enligt Substrathandboken (Carlsson & Udal, 2009)

Resultatet från exempelgården tyder på lägre metanemissioner från lagring av rötad gödsel än vad man fått om man beräknat metanemissionerna från obehandlad nötflytgödsel enligt Sveriges klimatrapportering. MCF-faktorn beräknas till 2,6 procent för den rötade gödseln på exempelgården. Att det blir lägre metanemissioner från rötad än orötad gödsel ligger i linje med internationella emissionsmätningar (Petersen m fl., 2013; Sajeev m fl., 2018).

Men det finns även mätningar, bland annat från Sverige, som visar att metanemissionerna är signifikant högre från rötad än orötad gödsel (Rodhe m fl., 2018). Rodhes resultat ligger också till grund för MCF-faktorerna för flytgödsel och rötrest i Sveriges klimatrapportering. Den svenska MCF-faktorn för obehandlad flytgödsel (MCF=3,5 procent) är betydligt lägre än schablonvärdet för vårt temperaturområde enligt IPCCs riktlinjer (MCF=10 procent) (Dong m fl., 2006). Sverige är ett av få länder som tagit fram egna MCF-faktorer, många länder använder IPCCs schablonvärden i sina rapporteringar.

I Sveriges klimatrapportering är MCF-faktorn för lagring av rötad gödsel 10,1 procent, och med det värdet hade metanemissionerna blivit betydligt högre än vad som beräknats för exempelgården i denna studie.

Det har även gjorts emissionsberäkningar i underlaget till gödselgasstödet (Lantz & Björnsson, 2016). Beräkningarna har gjorts på liknande sätt som i klimatrapporteringen, det vill säga som en funktion av mängden VS, biogaspotentialen och MCF-faktor. MCF-faktorn är den samma som för flytgödsel (3,5 procent), men man har beräknat metanemissionerna utifrån restmetanpotentialen samt mängden VS i rötresten istället för värdena som gäller för orötad gödsel. Rötningen medför att både metanpotentialen och mängden VS i den rötade gödseln sjunker, och då blir det en form av ”dubbel sänkning” vilket ger mycket låga metanemissioner från den rötade gödseln.

Värdet för stapeln ”Underlag till gödselgasstödet” i Figur 17 är beräknat enligt Lantz & Björnsson (2016), men med restmetanpotential och VS-reduktion som för exempelgården. Grejen är dock att MCF-faktorerna i klimatrapporteringen och i IPCCs riktlinjer alltid uttrycks relativt mängden VS och biogaspotentialen i obehandlad gödsel, och det blir då för låga metanemissioner om MCF-faktorn appliceras på de lägre värdena i rötad gödsel. Den svenska MCF-faktorn för rötad gödsel (10,1 procent) är justerad så att den ska relatera till orötad gödsel. Före justering var den 25 procent av restmetanpotentialen och mängden VS i rötad gödsel (Naturvårdsverket, 2021).

### **3.5.2 Inventerade anläggningar**

Motsvarande beräkningar har gjorts för de tio gårdsanläggningarna. Här särredovisas emissionerna från lagring av rötrest eftersom det är så många faktorer som påverkar emissionsnivåerna och det är stora skillnader mellan anläggningarna.

#### **3.5.2.1 Emissioner från lagring av rötrest**

Lagringsemissionerna, inklusive emissionerna under den kalla årstiden, har sammanställts i Figur 18. Emissionerna (Nm<sup>3</sup> metan per dygn) styrs av hur mycket rötrest anläggningarna hanterar, och eftersom mängden rötrest skiljer sig så mycket åt är det även stora skillnader i totala metanemissioner mellan anläggningarna. Resultaten som presenteras i låddiagrammet i Figur 18 har därför räknats om till liter metan per kg VS. ”Liter metan” motsvarar i detta fall de

dagliga emissionerna av metan från rötrestlagren, och "kg VS" den genomsnittliga mängden VS som rötas per dygn.

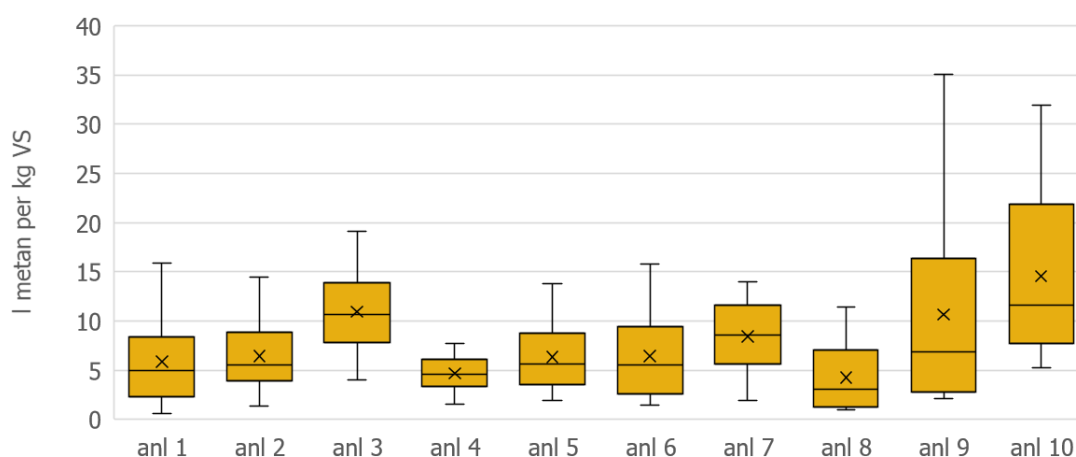
Metanemissionerna från lagringen av rötrest varierar kraftigt över året beroende på mängd rötrest i lagret aktuell tidpunkt, dess kvalitet (kg VS och metanpotential) och temperatur i lagret. Medelvärden (kryssen i Figur 18) är det mest representativa värdet och motsvarar de totala metanemissionerna per år dividerat med den totala mängden VS i rötade substrat. De lägsta emissionerna (motsvarar den nedre felstaplarna och delarna av lådorna i Figur 18) sker när gödselnivåerna i lagren är låga efter spridning av rötrest och/eller under vintern när temperaturen är som lägst. De högsta emissionerna sker under den varma period, speciellt före spridning när fyllnadsgraden är som högst under sommaren.

Restmetanpotentialen är den faktor som har entydigast och störst betydelse för metanemissionerna från lagringen av rötrest. Restmetanpotentialen beräknas som differensen mellan biogaspotentialen i substraten och mängd producerad biogas. Ju lägre restmetanpotential och mindre mängd lättomsättbart organiskt material kvar i rötresten och desto lägre metanemissioner.

De fyra anläggningarna med lägst restmetanpotential har totalt sett de lägsta lagringsemissionerna. Restmetanpotentialen för dessa anläggningar beräknas i genomsnitt till 22-35 l metan per kg VS i orötade substrat, motsvarar 40-55 l metan per kg VS rötrest när VS-förlusterna under rötningen beaktats. De två anläggningarna med högst emissioner per kg VS har också de högsta restmetanpotentialerna. Restmetanpotentialen för dessa anläggningar beräknas till 80-85 l metan per kg VS substrat, eller 110-135 l metan per kg VS rötrest.

Utröttningsgraden är ett annat sätt att beskriva biogasproduktion i förhållande till potential. Utröttningsgraden beräknas som kvoten mellan mängd producerad biogas och biogaspotentialen i substraten. Ju högre utröttningsgrad desto mindre lättomsättbart organiskt material finns det kvar och desto lägre emissioner från lagringen av rötresten.

Anläggningarna med högst beräknad utröttningsgrad (cirka 85-90 procent utröttningsgrad) har generellt sett de lägsta metanemissionerna per kg VS, medan anläggningarna med sämst



Figur 18. Metanemissioner från lagring av rötrest, inklusive emissioner under den kalla årstiden, på de tio gårdsanläggningarna. Resultaten presenteras som liter metan per kg VS där "liter metan" är de dagliga emissionerna av metan från rötrestlagren och "kg VS" den genomsnittliga mängden VS som rötas per dygn.

utröttningsgrad (cirka 65-80 procent) har högre emissioner. Detta samband gäller oavsett om anläggningarna rötar substrat med förhållandevis hög eller låg biogaspotential.

Metanemissionerna påverkas även av lagringstiden och fyllnadsnivån i lagren sommartid. Den anaeroba nedbrytningen och metanbildningen i lagren är en relativt långsam process, så ju längre lagringstid desto mer organiskt material bryts ner och desto mer metan kan bildas. Nedbrytningen går snabbare när temperaturen är hög, så ju mer rötrest i lagren under sommaren desto högre metanemissioner.

Den genomsnittliga lagringstiden och fyllnadsgraden i lagren under sommarhalvåret skiljer sig åt mellan anläggningarna beroende på klimat, grödor och gödslingsstrategi vilket i sin tur styr när rötresten sprids och hur mycket rötrest som sprids vid varje spridningstillfälle.

Den genomsnittliga lagringstiden är cirka 100-140 dygn för de flesta anläggningarna, med det finns även exempel på kortare (85 dygn) och längre (160 dygn) lagringstider. Lagringstiden är kortast där rötrest kan spridas under en lång period (från tidig vår till sen höst) och där lagren töms flera gånger under odlings säsongen. Det gäller till exempel handla om mjölkgårdar i södra Sverige som tar många vallskördar och sprider rötrest efter varje skörd. Längst i norr är odlings säsongen kortare och spridningstillfällena färre, och därmed lagringstiden längre.

Den genomsnittliga lagringstiden är dock ett trubbigt mått för att bedöma emissionsnivåerna. Gårdar med lång genomsnittlig lagringstid kan ha lägre emissioner per kg VS än gårdar med kort lagringstid, och vice versa. Fyllnadsnivån i lagren sommartid är viktigare än den totala lagringstiden, och därför är det bra om lagren töms regelbundet under sommaren.

Lagringstiden dras upp om det går lång tid mellan sista spridning på höst och första spridningen på våren, men fyllnadsgraden vintertid har relativt liten inverkan emissionsnivåerna eftersom metanbildningen begränsas av den låga temperaturen.

### *3.5.2.2 Totala metanemissioner från biogasanläggningarna*

De totala metanförlusterna från gårdsanläggningarna summeras i Figur 19 och presenteras dels som liter metan per ton substrat som rötats och dels som procent av metaninnehållet i producerad biogas. Värdena har beräknats som de totala metanutsläppen per år dividerat med total mängd substrat per år respektive total mängd biogas producerat per år.

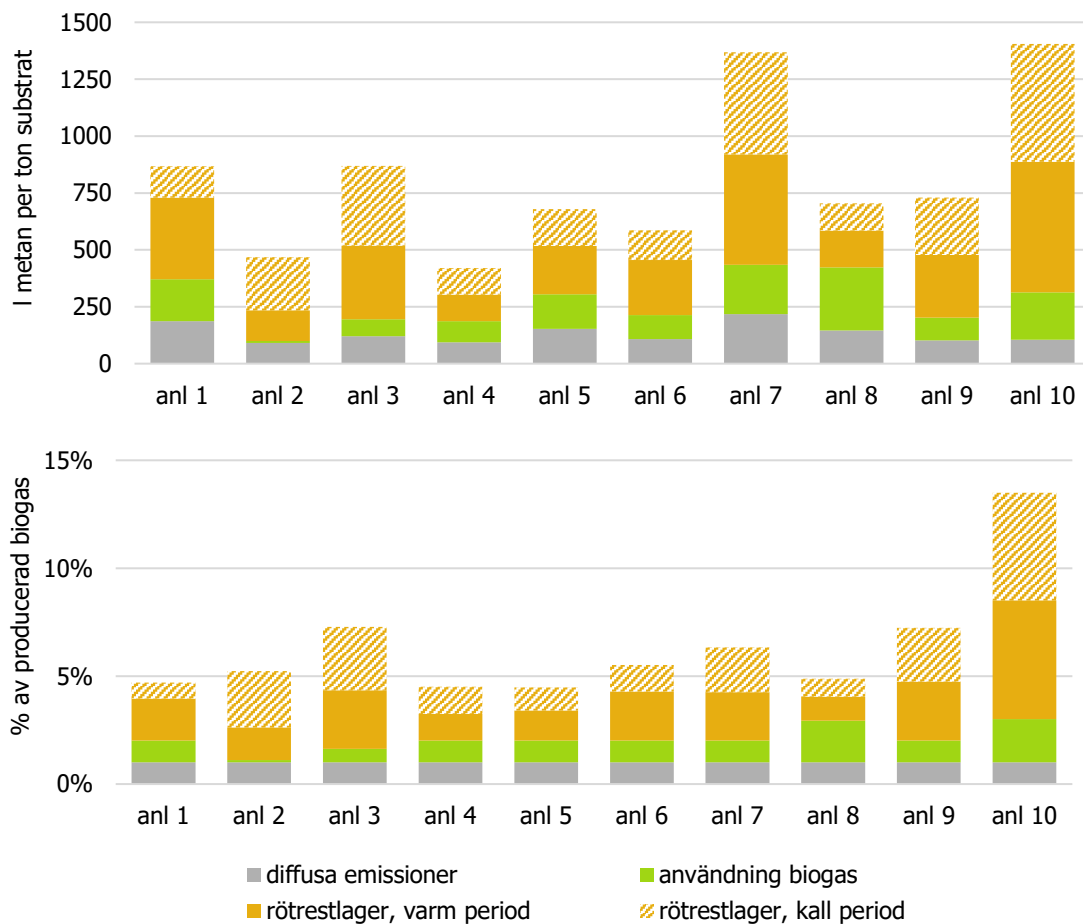
De totala metanemissionerna per ton rötat substrat, från rötning till och med lagring av rötrest, styrs av mängden producerad biogas per ton substrat, metanslippet vid slutanvändning av biogasen och nivån på metanemissionerna från lagring av rötrest (se föregående avsnitt).

Ju mer biogas per ton substrat och ju högre metanslipp desto högre metanutsläpp per ton substrat. Metanslippen har angetts manuellt för varje anläggning, och resultatet styrs av vilka värden som valts. Det diffusa metanläckaget antas vara 1 procent av producerad biogas på alla anläggningar, och därför följer kategorin ”diffusa emissioner” mängden producerad biogas per ton substrat.

De totala metanutsläppen motsvarar i de flesta fall 5-7 procent av producerad biogas. Anläggningen som avviker har höga lagringsemissioner och relativt låg biogasproduktion, vilket drar upp kvoten mellan totala emissioner och biogasproduktion.

I de flesta fall kommer de mesta metanemissionerna från lagring av rötrest (55-75 procent av metanemissionerna). Metanemission från lagring av rötrest motsvarar i de flesta fall cirka 2-5





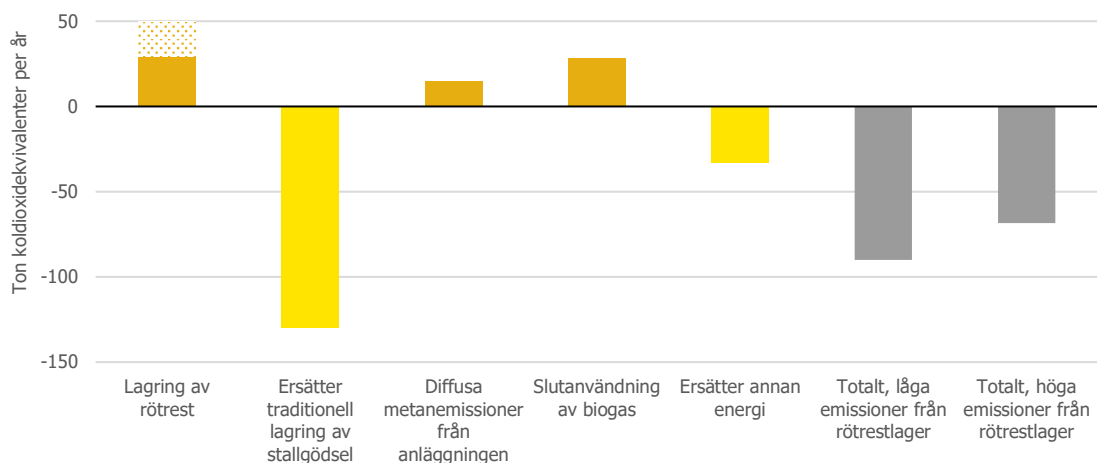
Figur 19. Beräknade metanemissioner från de tio gårdsanläggningarna. Resultaten presenteras som genomsnitt per år, dels uttryckt som liter metan per ton rötat substrat (övre bilden) och dels som % av mängden metan i producerad biogas (nedre bilden)

procent av producerad biogas. MCF-faktorn för dessa anläggningar beräknas till cirka 2 procent för anläggningarna med lägst metanemissioner, och cirka 3-4 procent för övriga. MCF-faktorn relaterar, liksom i klimatrapporeringen, till biogaspotentialen och mängden VS i substraten. En anläggning avviker dock med högre procentuella förluster och högre MCF-faktor (drygt 6 procent). Den anläggningen har hög restmetanpotential och låg utröttningsgrad, vilket drar upp metanemissionerna.

## 3.6 Summering av faktiska och undslupna växthusgasutsläpp

### 3.6.1 Exempelgård

I Figur 20 sammanställs de totala växthusgasutsläppen från biogasproduktionen samt de undslupna utsläppen under ett års tid. Metanutsläpp från biogasproduktionen har beskrivits ovan.



Figur 20. De totala växthusgasutsläppen från biogasproduktionen på exempelgården samt de undslupna utsläppen av att rötning ersätter traditionell lagring av stallgödsel samt att biogas ersätter annan energi.

I Figur 20 tillkommer lustgasemissioner från lagring av rötrest. Lustgasemissionerna har beräknats på samma sätt som för rötad gödsel i Sveriges klimatrapportering. Lustgasemissionerna från lagringen av rötrest blir dock små eftersom det inte bedöms ske några direkta lustgasemissioner från lagret på grund av inget eller dåligt svämtäcke. De ammoniakemissioner som sker ger lite indirekta lustgasemissioner.

Med ”undslupna utsläppen” avses de utsläpp som inte sker tack vare att stallgödseln rötas och man därmed slipper emissionerna som annars hade skett från lagring av obehandlad stallgödsel, samt att el och värme från biogas ersätter annan energi i energisystemet.

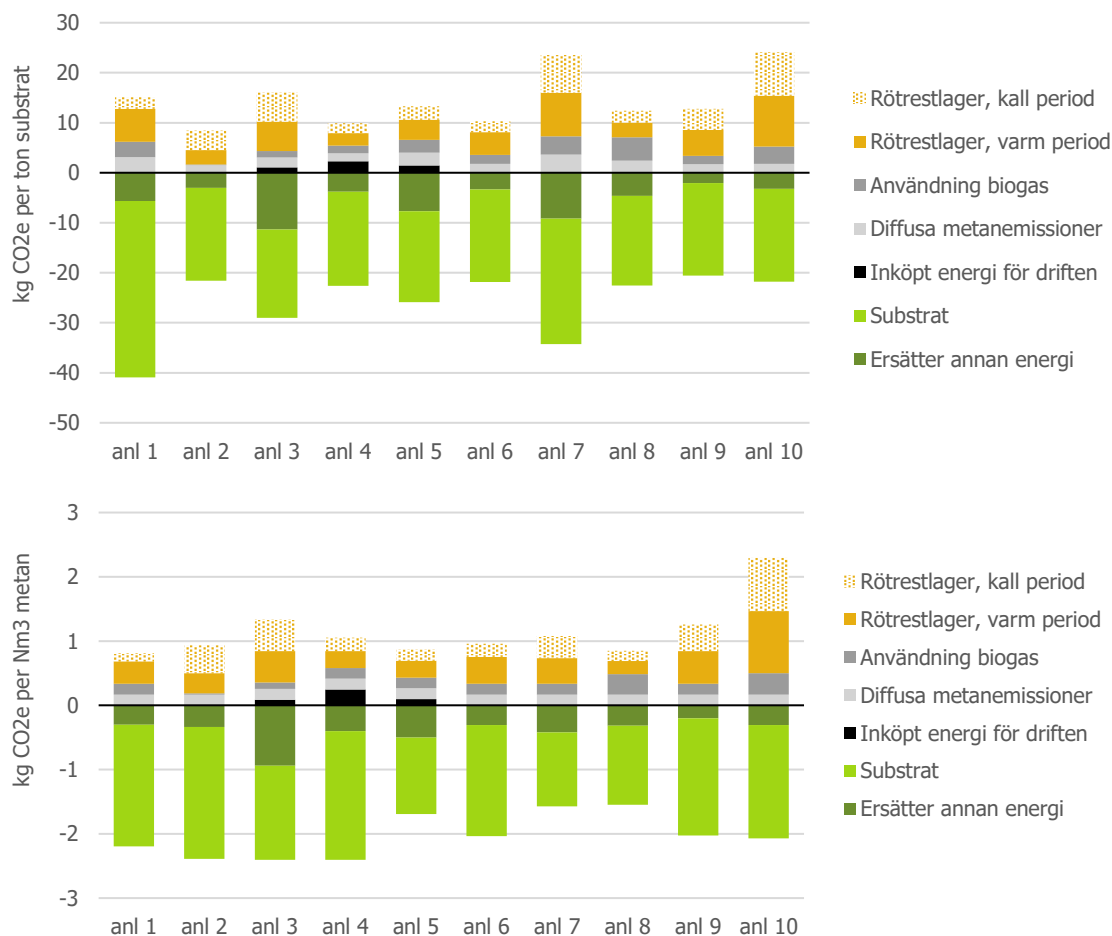
Metan- och lustgasemissionerna från lagring av obehandlad stallgödsel har beräknats på samma sätt som i Sveriges klimatrapportering. Lustgasemissionerna blir då högre för obehandlad flytgödsel än för rötad gödsel eftersom det antas finnas ett svämtäcke på den obehandlade flytgödsel och att det därmed finns förutsättningar för att lustgas ska kunna bildas. Runt hälften av växthusgasutsläppen från lagring av obehandlad nötflytgödsel utgörs av metan och hälften av lustgas, se Tabell 1.

Klimatvinsten av att röta stallgödsel består alltså i detta fall både av minskade metanemissioner som beskrivits tidigare och av minskade direkta lustgasemissioner. Om lustgasemissioner vore de samma för rötad och orötad gödsel hade skillnaderna biogassystemet och den traditionella hanteringen av stallgödsel blivit mycket mindre.

Överskottet av biogas och biogasvärme som säljs antas ersätta annan elproduktion (nordisk elmix) samt uppvärmning med fasta biobränslen. Biogasen ersätter då relativt klimatsmarta alternativ, och effekten på de totala växthusgasutsläppen blir måttlig. Om biogasen hade ersatt naturgasbaserad elproduktion eller om biogasvärmen hade ersatt eldningsolja hade stapeln ”Ersätter annan energi” ökat med cirka 90 respektive 50 ton koldioxidekvivalenter.

### 3.6.2 Inventerade anläggningar

De totala växthusgasutsläppen från biogasproduktionen och effekterna i omvärlden sammanställs i Figur 21. Resultaten presenteras som kg koldioxidekvivalenter per ton substrat respektive per Nm<sup>3</sup> metan i producerad biogas. Utsläppen särredovisas i olika kategorier. Kategorin



Figur 21. De totala växthusgasutsläppen från biogasproduktionen på de tio gårdsanläggningarna, de undslupna utsläppen av att biogas ersätter annan energi samt klimatpåverkan av substraten som rötas. Växthusgasutsläpp presenteras som kg koldioxidkvalenter (kg CO<sub>2</sub>e) per ton substrat (övre bilden) respektive per Nm<sup>3</sup> metan

”Substrat” omfattar dels de undslupna utsläppen av att stallgödsel rötas och att man därmed slipper utsläppen från lagring av obehandlad gödsel, och dels klimatkostnaden av ta fram eventuellt andra substrat som rötas.

Den beräknade biogasproduktionen och metanutsläppen från biogasset har beskrivits tidigare i rapporten. Här tillkommer lustgas från gödselhanteringen, delar som ligger utanför själva biogasset (motsvarar kategorierna Substrat och Ersätter annan energi), och andra bränslen än biogas som behövs i driften.

Den gårdsbaserade biogasproduktionen beräknas i de allra flesta fall minska växthusgasutsläppen totalt sett. Den stora klimatvinsten ligger i att man slipper metan- och lustgasemissionerna som annars hade skett från lagring av obehandlad stallgödsel, och att metan- och lustgasemissionerna från lagringen av rötrest är lägre än från obehandlad gödsel.

I Figur 21 utgörs kategorin ”substrat” enbart av undslupna växthusgasutsläpp från lagring av obehandlad stallgödsel. De tio anläggningar rötar nämligen bara stallgödsel samt avfall- och restprodukter från mejerier, renseri etc., det vill säga substrat med negativa växthusgasutsläpp (gäller stallgödsel) eller inga växthusgasutsläpp (gäller avfall- och biprodukter) kopplade till sig.

Ingen anläggning rötar energigrödor som odlats just för biogasproduktion eller andra substrat som hade inneburit en klimatkostnad för biogasproduktionen.

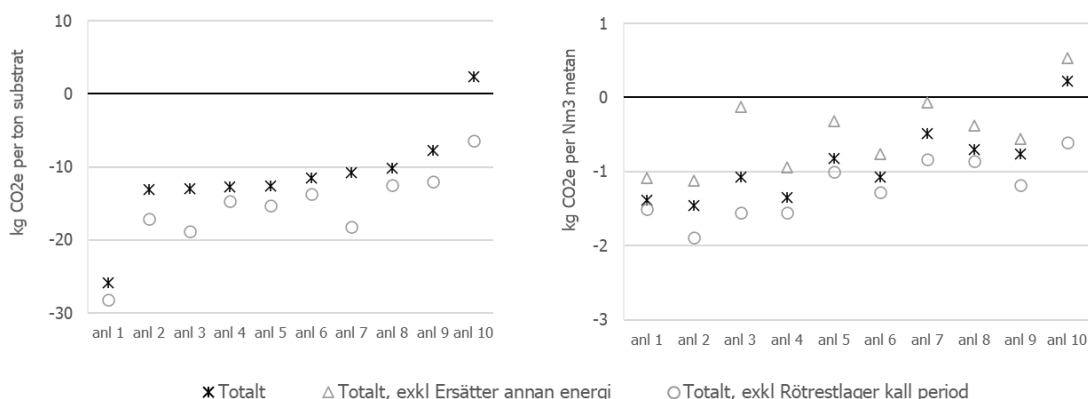
Klimatnyttan av att röta stallgödsel är särskilt stor för anläggningar som rötar kycklinggödsel och djupströgödsel. Kycklinggödsel ger mycket biogas tack vare hög torrsustanshalt och hög biogaspotential, så kycklinggödsel ger mycket nyttigheter i form av biogas.

Dessutom beräknas växthusgasutsläppen från lagring av obehandlad kycklinggödsel vara relativt höga, speciellt av lustgas. Så när fast kycklinggödsel rötas och man får en flytande rötrest med andra egenskaper kan biogassystemet tillgodoräknas mycket stora utsläppsminskningar från gödselhanteringen. Ammoniak- och lustgasemissionerna från kycklinggödsel, uttryckt som procent av gödselns kväveinnehåll, är högre än från flytgödsel med svämtäcke eller rötrest utan svämtäcke. Så även om vi hade räknat med samma emissionsfaktor för rötrest som för flytgödsel med svämtäcke hade det ändå blivit en god klimatvinst att röta kycklinggödseln.

Djupströgödsel från nötkreatur ger inte lika mycket biogas som kycklinggödsel. Den stora klimatnyttan ligger istället i att man slipper en del av de höga ammoniak-, lustgas- och metanemissionerna från hanteringen av djupströgödsel.

Hög utröttningsgrad och låg restmetanpotential är viktigt för biogasproduktionens totala klimatpåverkan. Hög utröttningsgrad gör att man får ut mycket biogas i förhållande till substratens potential, och att man därmed får mer biogas som kan ersätta annan energi. Låg restmetanpotential beräknas dessutom ge lägre metanemissioner från lagringen av rötrest, och effekten blir ännu tydligare när emissionerna från lagringen av rötrest relateras till emissionerna som skulle ha skett från obehandlad stallgödsel.

Stapelns ”Ersätter annan energi” är i många fall relativt låg. Det beror dels på relativt låg andel såld energi i förhållande till producerad biogas och dels på att biogasen ersätter relativt klimatsmarta alternativ. Försäljningen av rågas, el och värme motsvarar bara cirka 25-45 procent av energiinnehållet i producerad biogas. Resten är omvandlingsförluster, värme och el som behövs i driften samt värme eller biogas som inte kan utnyttjas. Bara hälften av anläggningarna säljer fler kWh el, värme och rågas än kWh el och värme som behövs i driften av biogasanläggningen.



Figur 22. Summering av totala växthusgasutsläpp och undslupna utsläpp på de tio gårdsanläggningarna som presenteras i Figur 21. ”Totalt” är summan av alla faktiska och undslupna växthusgasutsläpp. I de övriga resultaten exkluderas de undslupna utsläppen av att biogasen ersätter annan energi respektive metanemissionerna från rötrestlagret under den kalla årstiden.

Biogasen ersätter i de flest fall annan el- och värmeproduktion med relativt låga klimatavtryck. Den alternativa elproduktionen antas motsvara nordisk elmix som har lågt klimatavtryck jämfört med fossilbaserad elproduktion. Biogasvärmen ersätter i många fall andra biobränslen eller värmepump, som också har låga klimatavtryck. I några fall kan rågas eller biogasvärme ersätta naturgas eller eldningsolja, och då blir klimatnyttan större.

I Figur 22 summeras alla faktiska och undslupna växthusgasutsläpp ("Totalt"). Där visas även två delsummer av utsläppen ("Totalt, exkl..."). Delsumman "Totalt, exklusive Ersätter annan energi" är relevant om man vill jämföra biogasens klimatprestanda med andra energislag. Den delsumman tar med klimatpåverkan fram till och med att el, värme och/eller rågas säljs från biogasanläggningen, och resultatet blir då jämförbart med klimatavtrycket av andra energibärare. Summan växthusgasutsläpp per Nm<sup>3</sup> metan blir högre när man exkluderar effekten av att biogas ersätter annan energi.

Delsumman "Totalt, exklusive Rötrestlager, kall period" har tagits med eftersom modellen som använts för att beräkna metanemissioner från rötrestlagret inte är anpassad för lagringstemperaturer under 12 °C. Emissionsnivåerna är troligtvis låga under den kallaste perioden.

## 4 Diskussion

Genom att ta med dynamiken över året har det gått att tydliggöra mönster, se variationer över året och orsakssamband som inte gått att urskilja om beräkningarna gjorts statistiskt med genomsnittliga värden för ett helt år. När sambanden tydliggörs blir det också lättare att identifiera fler och individuellt anpassade åtgärder. I denna studie går det att se hur förändringar i substratflöden påverkar biogasproduktionen och därmed restmetanpotentialen, vilket i sin tur påverkar metanemissionerna från lagring av rötrest. Det gäller även hur värmebehovet i anläggningen varierar över året och hur det gått att synliggöra vilka parametrar som påverkar värmebehovet. Ett annat exempel är hur gödslingsstrategin och odlingens förutsättningar påverkar metanemissionerna från lagringen av rötrest.

Datainsamlingen som gjorts har använts som grund i beräkningarna, men också för att verifiera en del av resultaten. Det har till exempel gått att jämföra den beräknade biogasproduktionen och restmetanpotentialen med anläggningarnas uppgifter om biogasproduktion och med resultat från utrotningsförsök. De beräknade resultaten har stämt väl överens med de faktiska uppgifterna. Alla beräkningar har dock inte gått att verifiera, det gäller inte minst emissioner från lagring av rötrest. Även om de beräknade metanemissionsnivåerna inte skulle överensstämma med de verkliga nivåerna ger modellberäkningarna ändå en bättre bild än tidigare statistiska beräkningar av vilka faktorer som påverkar emissionerna och vad som är viktigt på den enskilda gården.

Några av de viktigaste slutsatserna från studien:

- Låg restmetanpotential och god utrotningsgrad har stora och klara klimatfördelar. God utrotningsgrad är ett tecken på att man fått ut mycket nyttigheter i form av biogas i förhållande till biogaspotentialen i substraten. Låg restmetanpotential är centralt för att minska metanemissionerna från lagring av rötresten. Detta innebär även att det är viktigt att styrmedel som ska främja gödselbaserad biogasproduktion utformas så att de premierar hög utrotningsgrad. Risken är annars metanemissionerna från lagringen av rötrest kan bli höga.
- Det finns klara klimatfördelar med att röta kycklinggödsel och djupströgödsel, förutsatt att biogasanläggningarna kan hantera substraten. Kycklinggödsel ger mycket biogas. När de fasta gödselslagen omvandlas till flytande rötrest kan växthusgasutsläpp från lagringen minska, och det kan även underlätta spridningen av gödseln.
- Minskade lustgasemissioner beräknas utgöra en stor andel av skillnaden i lagringsemissioner mellan obehandlad och rötad stallgödsel. Lustgasemissionern från flytande rötrest är i detta fall mycket låga eftersom rötresten antas dåligt eller inget svämtäcke, och därmed saknas förutsättningar för att lustgas ska kunna bildas. Frågan är om skillnaden mellan obehandlad och rötad flytgödsel är så stora i praktiken.
- Fyllnadsgraden i rötrestlagren sommartid är avgörande för de totala metanemissionerna från lagringen av rötrest. Det är en fördel om lagren kan tömmas flera gånger under odlingssäsongen.
- Gårdsbaserad biogasproduktion med kraftvärmeproduktion har sina energi- och klimatmässiga begränsningar. Elbehovet, och framför allt värmebehovet, i anläggningen motsvarar en relativt stor andel av energiinnehållet i producerad biogas. Det behöver inte vara ett problem i sig om det inte finns andra avsättningsmöjligheter för värmen

och om värmen från CHP räcker till driften. Men det är ändå bara 25-45 procent av energiinnehållet i biogasen från de tio gårdsanläggningarna som kan säljas som el, värme och/eller rågas. Elen och värmen ersätter i många fall dessutom relativt klimatsmarta alternativ, och klimatvinsten av att ersätta annan energi blir därmed begränsad.

- Det kostar pengar och klimat att röta onödigt vatten. Vatten ger ingen biogas och det tar utrymme i rötammaren. Om onödig inblandning av vatten medför att mer substrat matas in i anläggningen per dygn innebär det att uppehållstiden kortas. Kortare uppehållstid kan innebära mindre biogas per kg VS och högre restmetanpotential, vilket kan ge mer metanemissioner från rötrestlagren. Kortare uppehållstid medför även att mer substrat behöver värmas per dygn, vilket är en klimatnackdel om värmen kunnat säljas.
- Om det finns avsättning för värme bör man undersöka om det går att minska värmebehovet för inkommande substrat. Viktiga områden är temperaturskillnaden mellan inkommande substrat och rötammare, mängd substrat per dygn och/eller värmeväxling.

## 5 Referenser

- Carlsson, M., & Uldal, M. (2009). Substrathandbok för biogasproduktion. Rapport SGC 200. Svenskt Gastekniskt Centrum. Malmö.
- Dong, H., Mangino, J., McAllister, T. A., Hatfield, J. L., Johnson, D. E., Lassey, K. R., et al. (2006). Chapter 10. Emissions from livestock and manure management. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 10.1–10.87.
- Eliasson, K. (2015). Slutrapport Utvärdering av biogasanläggningar på gårdsnivå. Hushållningssällskapens förbund
- Ericsson, N., Nordberg, Å., & Berglund, M. (2020). Bioresource Technology Reports Biogas plant management decision support – A temperature and time- dependent dynamic methane emission model for digestate storages. Bioresource Technology Reports, 11(May), 100454.
- European Commission. (2017). PEFCR Guidance document, - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3.
- Greppa Näringen. (2021). Vera. <https://adm.greppa.nu/vera.html> senast uppdaterad 6 oktober 2021
- Hansen, T. L., Sommer, S. G., Gabriel, S., & Christensen, T. H. (2006). Methane Production during Storage of Anaerobically Digested Municipal Organic Waste. Journal of Environmental Quality, 35(3), 830–836.
- IPCC. (2007). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I of the IPCC (Summary for Policymakers).
- Lantz, M., & Björnsson, L. (2016). Emissioner av växthusgaser vid produktion och användning av biogas från gödsel. Rapport nr. 99. Miljö- och energisystem, LTH. Lund.
- Liebetrau, J., Clemens, J., Cuhls, C., Hafermann, C., Friehe, J., Weiland, P., & Daniel-Gromke, J. (2010). Methane emissions from biogas-producing facilities within the agricultural sector. Engineering in Life Sciences, 10(6), 595–599.
- Linke, B. (2006). Kinetic study of thermophilic anaerobic digestion of solid wastes from potato processing. Biomass and Bioenergy, 30(10), 892–896.
- Linke, B., Muha, I., Wittum, G., & Plogsties, V. (2013). Mesophilic anaerobic co-digestion of cow manure and biogas crops in full scale German biogas plants: A model for calculating the effect of hydraulic retention time and VS crop proportion in the mixture on methane yield from digester and from digestate sto. Bioresource Technology, 130, 689–695.
- Mohankumar Sajeev, E. P., Winiwarter, W., & Amon, B. (2018). Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Different Stages of Liquid Manure Management Chains: Abatement Options and Emission Interactions. Journal of Environmental Quality, 47(1), 30–41.
- Naturvårdsverket. (2019). Klimatklivet – vägledning om beräkning av utsläppsminskning. Daterad 2019-06-26
- Naturvårdsverket. (2019). National Inventory Report Sweden 2019 - Greenhouse Gas Emission Inventories 1990-2017.
- Naturvårdsverket. (2021). National Inventory Report Sweden 2021 - Greenhouse Gas Emission Inventories 1990-2019 Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol.
- Petersen, S. O., Blanchard, M., Chadwick, D., Del Prado, A., Edouard, N., Mosquera, J., & Sommer, S. G. (2013). Manure management for greenhouse gas mitigation. Animal, 7 (s2): 266-282
- Rapport, J. L., Zhang, R., Jenkins, B. M., Hartsough, B. R., & Tomich, T. P. (2011). Modeling the



- performance of the anaerobic phased solids digester system for biogas energy production. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1263–1272.
- Rodhe, L., Alverbäck, A., Ascue, J., Nordberg, Å., Pizzul, L., & Tersmeden, M. (2018). Åtgärder för att minimera växthusgasutsläpp från lager med rötad och orötad gödsel. RISE Rapport 2018:18
- Rodhe, L., Ascue, J., Willén, A., Vegerfors Persson, B., & Nordberg, Å. (2015). Greenhouse gas emissions from storage and field application of anaerobically digested and non-digested cattle slurry. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 199, 358–368.
- Salomon, E., Tidåker, P. & Bergström Nilsson, S. (odat). Digestate, a valuable fertilizer for organic farms? Plant nutrients and trace elements at four Swedish farms. Manuscript submitted to *Organic Agriculture*
- SMHI. (2021, april 19). Normalperioden 1961-1990. Retrieved from <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/normaler/normalperioden-1961-1990-1.166927>
- Yngvesson, J. (2021). Utvärdering av och minskning av metanutsläpp från olika europeiska biogasanläggningar – (Evembi). Slutrapport, Energimyndigheten.



**Maria Berglund**

[www.hushallningsallskapet.se](http://www.hushallningsallskapet.se) | 035-465 00 | [info@hushallningsallskapet.se](mailto:info@hushallningsallskapet.se)

Hushållnings  
sällskapet

