

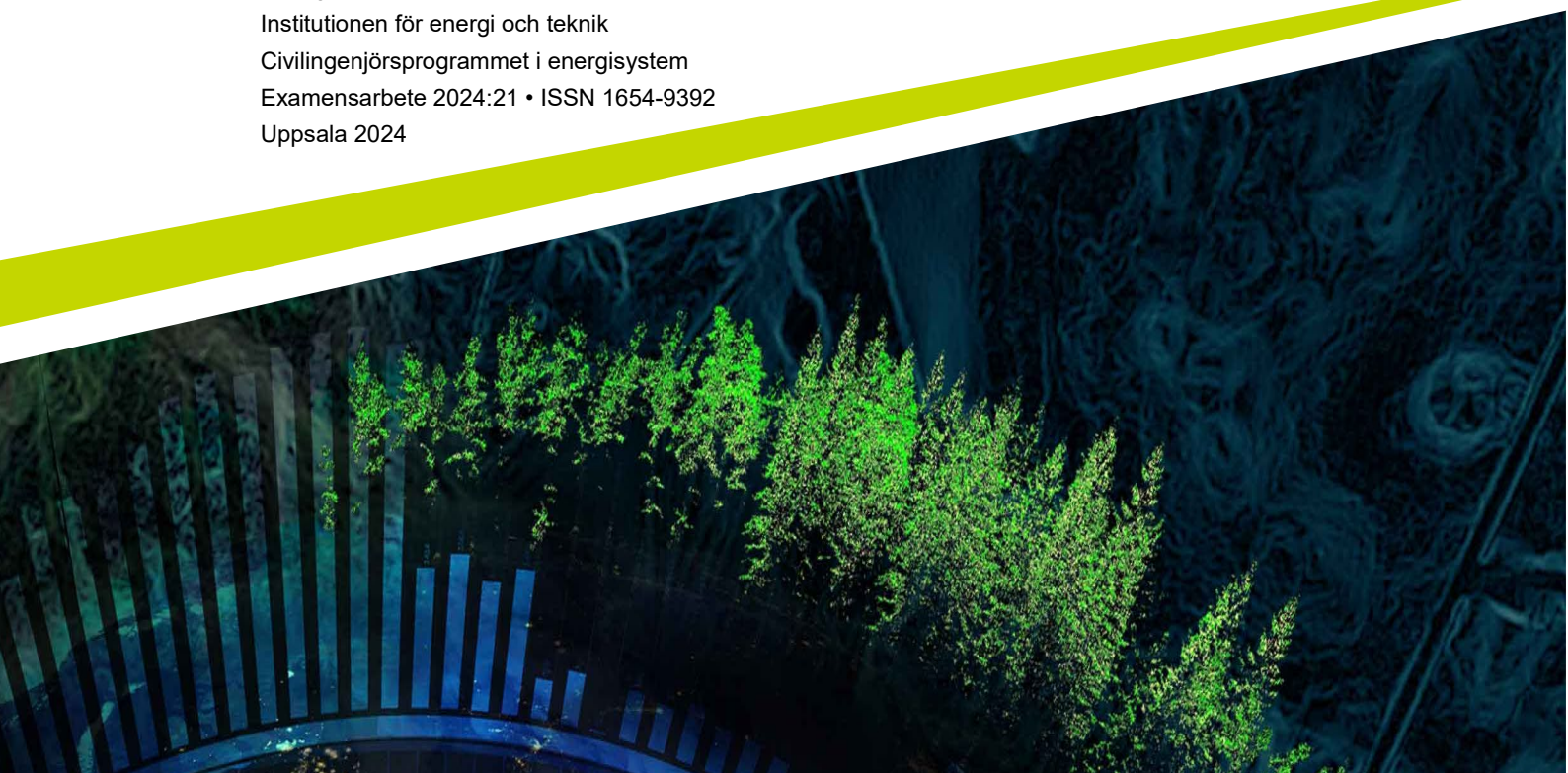


# Förstudie av småskalig tillverkning av kvävegödsel med plasmateknik

---

Alexander Åberg

Examensarbete • 30 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Civilingenjörsprogrammet i energisystem  
Examensarbete 2024:21 • ISSN 1654-9392  
Uppsala 2024



# Förstudie av småskalig tillverkning av kvävegödsel med plasmateknik

*Pre-feasibility study of small-scale manufacturing of nitrogen fertilizer with plasma technology*

Alexander Åberg

**Handledare:** Mats Edström, RISE.  
**Ämnesgranskare:** Åke Nordberg, SLU, Institutionen för energi och teknik  
**Examinator:** Per-Anders Hansson, SLU, Institutionen för energi och teknik

**Omfattning:** 30 hp  
**Nivå och fördjupning:** Avancerad nivå, A2E, teknik  
**Kurstitel:** Examensarbete i energisystem  
**Kurskod:** EX0724  
**Program/utbildning:** Civilingenjörsprogrammet i energisystem  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för energi och teknik  
**Utgivningsort:** Uppsala  
**Utgivningsår:** 2024  
**Upphovsrätt:** Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.  
**Serietitel:** Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)  
**Delnummer i serien:** 2024:21  
**ISSN:** 1654-9392

**Nyckelord:** plasmaenhet, kväveboostning, mineralgödsel, rötrest, Lövsta biogasanläggning

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakultet för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för energi och teknik



## Abstract

Nitrogen is essential for modern agriculture and is commonly obtained through the production of ammonia from hydrogen gas and nitrogen gas. However, this process is not climate neutral as hydrogen gas is typically produced using steam reforming of natural gas. N2-Applied has developed a plasma unit that uses electricity to split the bonds of nitrogen and oxygen in the air, creating NO<sub>x</sub>. This NO<sub>x</sub> is then injected into digestate, enhancing the available nitrogen and reducing the need for mineral fertilizers. In this prefeasibility study, an installation of N2-Applied's plasma unit with additional equipment was dimensioned at the Lövsta Uppsala biogas plant. The aim was to calculate the cost of nitrogen production using the plasma unit by determining both fixed and variable costs associated with installation and operation. The study also investigated the climate impact advantage of using plasma-enriched digestate compared to mineral fertilizers, and whether this advantage could affect production costs. The results gave the lowest cost for plasma production of nitrogen as 4.04 €/kg, achieved at 4507 operational hours when considering all costs and earnings. However, compared to the cost of mineral nitrogen fertilizer at Lövsta (2.36 €), the plasma unit appeared to be more expensive. It is important to note that the results were heavily influenced by the electricity price, with the time interval having an electricity price more than 6 times higher than the mean price of 2020 (1.42 SEK/kWh or 0.128 €/kWh compared to 0.221 SEK/kWh or 0.02 €/kWh). Additionally, the use of plasma-enriched digestate resulted in a reduction of 33.72 kg CO<sub>2</sub> per ton compared to ordinary digestate. It is important to consider the electricity price and its impact on the overall production cost. Further analysis and consideration of various factors would be necessary to determine the feasibility and economic viability of implementing the plasma unit in practice.

## Populärvetenskaplig sammanfattning

För att försörja världens växande befolkning med mat krävs höga skördar på jordbruksmark. Ett viktigt inslag för att uppnå detta är användningen av mineralgödsel som innehåller de tre huvudsakliga näringsämnen för grödor: kväve (N), fosfor (P) och kalium (K). Av dessa näringsämnen är kväve det mest efterfrågade av grödor. Traditionellt framställs kvävemineralgödsel genom att reagera vätgas ( $H_2$ ) med kvävgas ( $N_2$ ) för att producera ammoniak ( $NH_3$ ). En utmaning med denna process är att vätgasen vanligtvis produceras genom ångreforming av naturgas, vilket har negativ klimatpåverkan.

Företaget N2-Applied har utvecklat en plasmamaskin som använder elektricitet för att tillgodose grödor med kväve, N2-Applied kallar sin maskin för NEO (Nitrogen Enriched Organic Fertilizer), vilket kommer göras fortsättningsvis i rapporten. Genom att bryta bindningarna mellan kväve och syre i luften kan NEO producera nitrater ( $NO_x$ ). Dessa nitrater absorberas sedan i rötrest, vilket bildar nitratkväve ( $HNO_3$ ) eller nitrat i vatten ( $H^+ + NO_3^-$ ). Växter kan använda nitrat som näring på samma sätt som ammoniak. Dessutom har tillsatsen av extra väte i rötresten en försurande effekt, vilket minskar utsläppen av metangas och lustgas, som i sin tur minskar klimatpåverkan från rötresten. Försurningen hjälper även till att minska oavsiktlig ammoniakförlust från rötresten, som annars skulle kunna nå grödorna. För att använda NEO krävs tillgång till rötrest, vilket är anledningen till att den installeras på en biogasanläggning.

Denna förstudie syftade till att dimensionera installationen av NEO på en biogasanläggning i Lövsta, Uppsala. Målet var att beräkna den lägsta produktionskostnaden för kväve med den eldrivna NEO-maskinen genom att kvantifiera både de fasta och rörliga kostnaderna för installation och drift av maskinen. Potentiella intäkter, såsom minskade inköp av kvävemineralgödsel, inkluderades också i kostnadskalkylen. Elpriset var den mest avgörande faktorn för produktionskostnaden, varför spotpriset på el för biogasanläggningen användes under en ettårig tidsperiod. Resultatet inkluderade den lägsta produktionskostnaden, antalet drifttimmar det motsvarade, det specifika elpriset och minskningen av koldioxidavtrycket som NEO medförde.

Den lägsta produktionskostnaden uppgick till 4.04 €/kg kväve producerat, vilket motsvarade 4507 drifttimmar och ett elpris på upp till 0.0942 €/kWh eller 1.04 SEK/kWh. Jämfört med priset på kväve från mineralgödsel som Lövsta betalade (2.37 €/kg kväve) var produktionskostnaden med NEO högre. Klimatavtrycket minskade med 33.72 kgCO<sub>2</sub>/ton kväveanrikad rötrest. Spotpriset på el var extremt högt under den undersökta tidsperioden. Vid ett annat timprisintervall, med ett spotpris som motsvarade elpriserna under 2019 och 2020, skulle produktionskostnaden kunna minska till 1.13 €/kg kväve. Observera att detta resultat endast är ett exempel på hur produktionskostnaden kan se ut med NEO och bör inte användas som ett beslutsunderlag. Ytterligare analys av kostnader och intäkter bör genomföras genom fältförsök för att utvärdera utsläpp av klimatgaser och förluster av ammoniak. Det är också viktigt att notera att kostnads- och intäktsberäkningarna baseras på befintlig data och antaganden, vilket innebär att de kan skilja sig från en verklig

installationsmiljö.

## Exekutiv sammanfattning

Användning av N2-Applieds plasmamaskin för att tillgodose det kväve som grödor behöver istället för att köpa mineralgödsel ger positiv klimatpåverkan. Denna förstudie ställde upp en kostnadskalkyl för installation av N2-Applieds plasmamaskin på Lövsta biogasanläggning belägen i Uppsala. Resultatet gav att produktionskostnaden med plasmamaskinen blev 4.04€/kg kväve producerad. Klimatpåverkan minskade med 33.72 kgCO<sub>2</sub>/ton kväveanrikad rötrest. Produktionskostnaden är starkt påverkad av spotpris på el och kunde med annat tidsintervall på spotpris minskas till 1.14€/kg kväve. För att Lövsta ska besluta om en plasmamaskin ska installeras bör egna beräkningar göras, men förstudien är ett exempel på hur produktionskostnaden kan komma att se ut med de antaganden som har gjorts i denna studien.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Mål och Syfte</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Frågeställning</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Avgränsningar och systemgränser</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>3</b>
5.1	Utvecklingen av kvävegödselproduktion med plasma . . . . .	3
5.2	N2-applieds teknik . . . . .	3
5.2.1	Fördelar med plasmatekniken . . . . .	4
5.3	Röttningsprocessen . . . . .	4
5.4	Lövsta biogasanläggning . . . . .	5
5.4.1	Lövsta biogasanläggning värme- och massbalans . . . . .	5
5.5	Utsläpp vid lagring och spridning av rötrest . . . . .	7
5.5.1	Metan- och lustgasutsläpp vid lagring . . . . .	7
5.5.2	Ammoniakförluster vid lagring . . . . .	8
5.5.3	Ammoniakförluster vid spridning . . . . .	9
5.6	Åtgärder för att minska utsläpp av ammoniak och metan . . . . .	9
5.6.1	Ammoniakutsläpp från surgjord rötrest vid lagring och spridning . . . . .	9
5.6.2	Metanförluster vid kväveboostning av rötrest . . . . .	10
5.7	Elpris . . . . .	10
5.8	El och mineralgödsels klimatpåverkan . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Metod</b>	<b>11</b>
6.1	Systembeskrivning av plasmainstallation . . . . .	11
6.2	NEO-maskin med kylsystem . . . . .	13
6.3	Rötresten från Lövsta . . . . .	14
6.4	Skruvavvattnare . . . . .	14
6.5	Mellanlager . . . . .	15
6.6	Energiberäkningar . . . . .	16
6.6.1	Värmeåtervinning . . . . .	16
6.6.2	Elbehov och bestämning av drifttimmar . . . . .	17
6.7	Ekonomiska utgångspunkter . . . . .	18
6.7.1	Annuitetsmetoden . . . . .	18
6.7.2	Fasta kostnader . . . . .	19
6.7.3	Rörliga kostnader . . . . .	20
6.7.4	Intäkter . . . . .	21
6.7.5	Ekonomisk beräkning . . . . .	22
6.8	Miljöpåverkan . . . . .	25
6.8.1	Ammoniakförluster vid lagring . . . . .	25



6.8.2	Ammoniakförlust vid spridning . . . . .	25
6.8.3	Metanförluster . . . . .	26
<b>7</b>	<b>Resultat</b>	<b>28</b>
7.1	Mass- och Energibalans för plasmasystemet . . . . .	28
7.2	Resultat från ammoniak, lustgas- och metanförluster . . . . .	29
7.3	Kapitalkostnad . . . . .	30
7.4	Rörliga kostnader . . . . .	31
7.5	Kväveproduktionskostnad utan hänsyn till intäkt . . . . .	31
7.6	Kväveproduktionskostnad med värmebesparing . . . . .	33
7.7	Kväveproduktionskostnad med intäkt från utsläppsrätter . . . . .	34
7.8	Kväveproduktionskostnad med investeringsbidrag . . . . .	35
7.9	Kväveproduktionskostnad med intäkt från ersatt mineralgödsel . . . . .	37
7.10	Förtydligande avseende intäkternas påverkan . . . . .	38
7.11	Förtydligande avseende kostnadernas påverkan . . . . .	39
<b>8</b>	<b>Känslighetsanalys</b>	<b>40</b>
<b>9</b>	<b>Resultatdiskussion</b>	<b>43</b>
9.1	Analys av resultat . . . . .	43
9.2	Fasta kostnader . . . . .	44
9.3	Intäkter . . . . .	44
9.3.1	Allokering av klimatpåverkan till mjölkproduktion . . . . .	45
9.4	Rörliga kostnader . . . . .	45
9.4.1	Elpriset . . . . .	45
9.4.2	NEO-maskin . . . . .	45
9.4.3	Skruvavvattnare . . . . .	46
9.5	Förluster av metan, lustgas och ammoniak . . . . .	46
9.6	Potentiella fördelar med NEO som inte tagits hänsyn till . . . . .	46
<b>10</b>	<b>Slutsats</b>	<b>47</b>
<b>11</b>	<b>Referenser</b>	<b>49</b>
<b>12</b>	<b>Bilaga A</b>	<b>52</b>
12.1	Introduktion . . . . .	52
12.2	Syfte . . . . .	52
12.3	Frågeställning . . . . .	52
12.4	Avgränsningar . . . . .	52
12.5	Lövsta gård . . . . .	52
12.6	Metod . . . . .	53
12.6.1	Nötflytgödsel på Lövsta . . . . .	53
12.6.2	Allokering av utsläpp till mjölkproduktion . . . . .	53
12.7	Resultat . . . . .	54

12.8 Diskussion . . . . .	54
12.8.1 Mjök . . . . .	54
<b>13 Bilaga B</b>	<b>55</b>

## Vanligt förekommande begrepp

**VS-halt** Flyktiga ämnen, den del av organiskt material som kan omvandlas till till gasform vid upphettning i specifik miljö

**TS-halt** Torrsubstanshalt, den del av ett ämne som består av fasta ämnen när allt vatten har avlägsnats genom torkning

**Restmetanpotential** Den mängd metan som kan produceras från organiskt avfall eller biomassa efter att en första omgång av biogasproduktion har genomförts

**KgN** Totala mängden växttillgängligt kväve

**NEO** NEO är förkortning för Nitrogen Enriched Organic Fertilizer och motsvarar det system som N<sub>2</sub>-applied säljer

**Plasmaenhet** Delen av NEO som producerar hög temperatur med plasma

**Substrat** Organiskt material som tillsätts rötchammare

**Rötrest** Organiskt material som genomgått anaerob rötning i rötchammare och avlägsnas rötchammaren för användning i NEO

**Vätskefas** Den flytande fasen av rötresten

**Fiberfas** Den fasta fasen av rötresten

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** Nitrat, kväveform som produceras från NEO-maskin

**Kväveboostning** Rötrest som efter behandling i NEO-maskin är anrikad med nitrat

# 1 Introduktion

Biogas produceras på biogasanläggningar genom att röta olika organiska material (substrat) i en röt-kammare. Det är metanogena mikroorganismer som under anaeroba förhållanden producerar metangas och koldioxid, med gemensamt namn biogas. Det används inom flera olika användningsområden, exempelvis som bränsle i fordon eller i en motor som producerar elektricitet eller värme. Utöver biogas fås en restprodukt, så kallad rötrest. Rötrest sprids på åkermark för att återge näring till växande grödor vilket hjälper till att öka skördarna och förbättra deras kvalite. Rötresten har högt innehåll av olika näringsämnen som grödor behöver, men rötresten ger inte tillräckligt med näring till grödorna. Vanligtvis köper gårdar in kompletterande stora mängder av mineralgödsel för att tillförse tillräcklig mängd näring. Ett av de viktigaste näringsämnena som grödor behöver är kväve. Kväve brukar också kallas för ett makronäringsämne då den behövs i störst mängd gentemot andra näringsämnena.

Kväve i mineralgödsel-form är därför en förutsättning för jordbruk med höga skördar. Den mest utvecklade och använda metoden för att skapa kvävegödsel är genom Haber Bosch metoden. Metoden låter vätgas reagera med kvävgas för att bilda ammoniak som sedan förädlas till kvävegödsel (Darmawan, 2022). Problemet med denna process är att framställningen av vätgas vanligtvis görs med ångreformerings av det fossila bränslet naturgas, vilket innebär att processen har en negativ klimatpåverkan. För att förstå omfattningen av dess klimatpåverkan åtgår i svenskt jordbruk cirka 2 TWh naturgas/år och motsvarar nästan den energimängden diesel som används för jordbrukets arbetsmaskiner (Ahlgren, 2009). Då ett av Sveriges 16 miljömål grundas i att begränsa klimatpåverkan, så behövs nya sätt att framställa kvävegödsel med förnybara energikällor.

En alternativ teknik för framställning av kvävegödsel har utvecklats av det norska företaget N2-Applied. I denna teknik används el istället för naturgas för att skapa kvävegödsel (N2-Applied u.å). Principen för denna teknik är att en plasmabåge driven av el delar bindningarna  $N_2$  och  $O_2$  i luften som sedan binds till  $NO_x$ . När detta injiceras i rötrest bildas ammoniumnitrat, vilket leder till att rötrestens pH-värde sjunker och ökar rötrestens innehåll av växttillgängligt kväve, det vill säga den boostarrötresten med mer kväve. N2-Applied kallar sin maskin för NEO (Nitrogen Enriched Organic Fertilizer) och kommer i denna rapport kallas detta fortsättningsvis. Denna process har flera fördelar gentemot Haber Bosch metoden. För det första kan förnybar el användas vid framställningen av kvävegödsel i stället för naturgas och för det andra minskar utsläpp av metan, lustgas och ammoniak som en effekt av det lägre pH-värdet. Den stora utmaningen med processen är att plasmabågen i NEO, som används vid splittring av  $O_2$  och  $N_2$  molekyler, kräver mycket elektricitet. Med en växande installation av förnybar el, till exempel via vindkraftverk kan kostnaden för framställningen minska. Då NEO har snabb start- och stopptid kan maskinen enkelt anpassa driften till elpriset. Det är därför intressant att studera hur en sådan plasmateknik skulle kunna integreras på en befintlig biogasanläggning där biogasanläggningens rötrest används för att skapa kvävegödsel med hjälp av plasmateknik. Sveriges Lantbruksuniversitet äger en biogasanläggning i Lövsta, 11km öster om Uppsala.

Lövstas biogasanläggning kommer därför användas som exempel för att dimensionera hur en NEO-maskin från N2-Applied skulle kunna installeras.

## 2 Mål och Syfte

Syftet med detta examensarbete är att, genom att ställa upp energi- och massbalanser för Lövsta biogasanläggning, kunna dimensionera en installation av NEO med kompletterande utrustning som ”kvävebooster” biogödsel från SLU:s biogasanläggning i Lövsta. Målet är att beräkna lägsta produktionskostnad för kvävet som funktion av elprisets variation och kvantifiera potentiella miljöfördelar som konceptet bedöms kunna resultera i.

## 3 Frågeställning

- Vad blir lägsta produktionskostnaden för kvävegödsel med N2-Applieds maskin och hur stor blir produktionen med spotpriset för el?
- Hur stor mängd ammoniak kan behållas, det vill säga undvika emissioner vid lagring och spridning av rötrest när pH-värdet sänks vid kväveboostning och vad motsvarar det i kronor?
- Hur mycket minskar klimatavtrycket med kväveboostningen gentemot att använda vanlig rötrest och kan minskningen allokteras till en lägre produktionskostnad?

## 4 Avgränsningar och systemgränser

Studien är avgränsad till att dimensioneras som en installation på Lövsta biogasanläggning. Detta innebär att kostnader, intäkter och miljöaspekter är anpassade efter Lövstas förutsättningar. Därmed är elanvändning avgränsat till Lövstas geografiska prisområde, kostnad för avlägsning av sediment är baserad på befintlig storlek på långtidslager vid Lövsta. Antaganden kring metan, lustgas- och ammoniakförluster är anpassade efter förhållanden på Lövsta biogasanläggning. Även värmebesparing och rötrestproduktion är specifikt för Lövsta. Uppgifter som anses mer generella är kostnad för inköp av N2-applieds system, skruvavvattnare, mellanlager, tillsyn och fysiskt arbete.

Inledande genomfördes en litteraturstudie om N2-maskinens funktion och påverkan på rötrestens utsläpp vid lagring och spridning. Vilka faktorer som påverkar rötrestens utsläpp och tidigare fältförsöks resultat på rötresters utsläpp vid olika förhållanden. Studiens omfattning inkluderade inte att utföra egna fältförsök på förluster från kväveboostad eller vanlig rötrest, utan baserades på tidigare studier som jämfördes med Lövstas förhållanden. Lövsta beskrivs i värme och massbalanser för att förstå anläggningens flöden och kunna uppskatta potentiella värmebesparingsåtgärder vid installation av N2-maskin. Det har i uppgiften inte ingått att genomföra en komplett beräkning av biogasanläggningens

värmeflöden och hur värmeförsörjningen kan komma att ändras efter en installation av en NEO-maskin.

## 5 Bakgrund

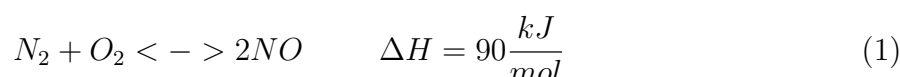
### 5.1 Utvecklingen av kvävegödselproduktion med plasma

Metoden för att producera kväve med plasmateknik är inte en ny process. Redan 1903 introducerades tekniken av vetenskapsmannen Birkeland och entreprenören Eyde. Metoden som använde en plasmaljusbåge för att värma luft till 3000°C förenade kvävet och syret i luften och när detta injicerades i vatten blev slutprodukten salpetersyra. 1905 bildades det norska företaget Norsk Hydro som byggde den första gödsel fabriken baserat på denna teknik, tekniken kallas än idag för Birkeland-Eyde metoden (Österberg 1999) .

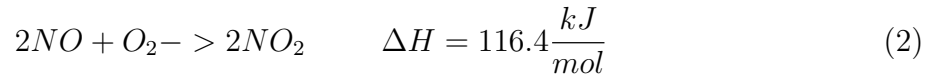
År 1913 uppfanns en ny teknik för att producera kväve i form av ammoniak. Det var kemisten Fritz Haber och teknikern Carl Bosch som kom på den så kallade Haber Bosch-metoden. Kväve ur luften och syntetiskt framställd vätgas reagerade med varandra under högt tryck med hjälp av en katalysator. Det ger en gas som till 15% består av ammoniak som sedan avskiljs genom kondensation. Haber-Bosch metoden utkonkurrerade så småningom Birkeland-Eyde metoden och är än idag den mest använda metod för kvävegödseltillverkning. Ammoniak är för närvarande den näst mest producerade kemikalien och ungefär 80% används för konstgödsel. Mineralgödselns höga klimatpåverkan och orsak till övergödning har idag blivit viktiga samhällsfrågor jämfört med för ca 100 år sedan, vilket har gjort att Birkeland-Eyde metoden återigen blivit en metod som tros kunna konkurrera med Haber-Bosch metoden (Österberg, 1999).

### 5.2 N2-applieds teknik

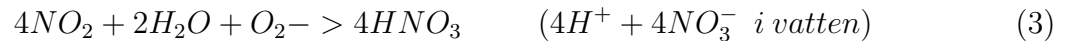
N2-Applieds teknik liknar Birkeland-Eyde metoden genom att en plasmamaskin används för att skapa kväveoxid. Birkeland och Eydes ursprungsteknik krävde dock en fast installation, och N2-Applied har kunnat installera hela plasmamaskinen i en flyttbar container. Det gör N2-Applied möjlig till att vara flexibel och den går att installera på ett enkelt sätt på biogasanläggningar och gårdar (N2-Applied 2023). Processen för att skapa kvävegödsel baseras på att en plasmamaskin värmer upp luft till temperaturer höga nog för att kvävgas och syrgas i luften splittras för att sedan reagera med varandra för att bilda kväveoxid (se kemisk reaktion 1). På grund av kvävetets höga dissociationsenergi behövs mycket höga temperaturer för att reaktionen ska ske, närmare 3000°C.



I andra steget i processen oxideras kväveoxiden till kvävedioxid vilket görs under atmosfäriska förhållanden.



Både  $NO_2$  och  $NO$  kyls sedan ner för att gaserna ska absorberas i vätska, vilket de lättare gör i lägre temperaturer. När gaserna absorberas sker följande reaktion:



Salpetersyra ( $HNO_3$ ) har en försurande effekt på rötrest när den tillsätts i vatten då den splittras till nitrat ( $NO_3^-$ ) och väte  $H^+$ . Väte har en försurande effekt i vätskan vilket förflyttar jämvikten från ammoniak ( $NH_3$ ) mot ammoniumkväve ( $NH_4^+$ ).



### 5.2.1 Fördelar med plasmatekniken

När väte tillsätts i rötresten, som effekt av salpetersyrans uppdelning i nitrat och väte, har den en försurande effekt på rötresten. Detta medför en jämviktsförskjutning från ammoniak ( $NH_3$ ) till ammonium ( $NH_4^+$ ), vilket kommer leda till mindre kväveförluster i form av ammoniak i rötresten. Detta beror på att ammoniak i rötrest eller gödsel förloras till atmosfären under lagring och spridning av icke-boostad (vanlig) rötrest på grund av dess flyktighet (Salomon 2013). Kväveinnehållet i rötresten ökar också eftersom  $NO_3^-$  adderas. Dessa positiva effekter som försurningen har ger en betydande förbättring i kväveanvändningseffektivitet när det sprids på åkermark. Förutom att minska förlusterna i samband med utsläpp av flyktigt  $NH_3$  minskas även behovet av Haber Bosch-genererat kvävegödselmedel. Ett minskat pH-värde innebär inte bara minskade ammoniakutsläpp utan även minskade utsläpp av metangas och lustgas eftersom pH-värdet påverkar även dessa utsläpp. Dessa positiva aspekter uppnås vid ett pH-värde runt 5.5 (Nyord & Kristensen 2011).

## 5.3 Rötningsprocessen

Rötningsprocessen kan delas in i tre huvuddelar: hydrolys, fermentation och metanbildning. Under hydrolysen sönderdelas komplexa organiska föreningar av enzymer och mikroorganismer till mindre och enklare föreningar av socker och aminosyror. Under fermentationen bildas mellanprodukter som alkoholer, fettsyror och vätgas och under den sista fasen sker metanbildningen med hjälp av metanogena mikroorganismer. Biogasen som bildas består främst av metan och koldioxid. Några av de viktigaste parametrarna som påverkar rötningsprocessen är temperaturen i röt-kammaren, vattenhalt, substratets sammansättning, pH-värde och frånvaro av substanser som kan hämma biogasproduktionen, exempelvis tungmetaller eller kemikalier (Esposito m.fl 2012).

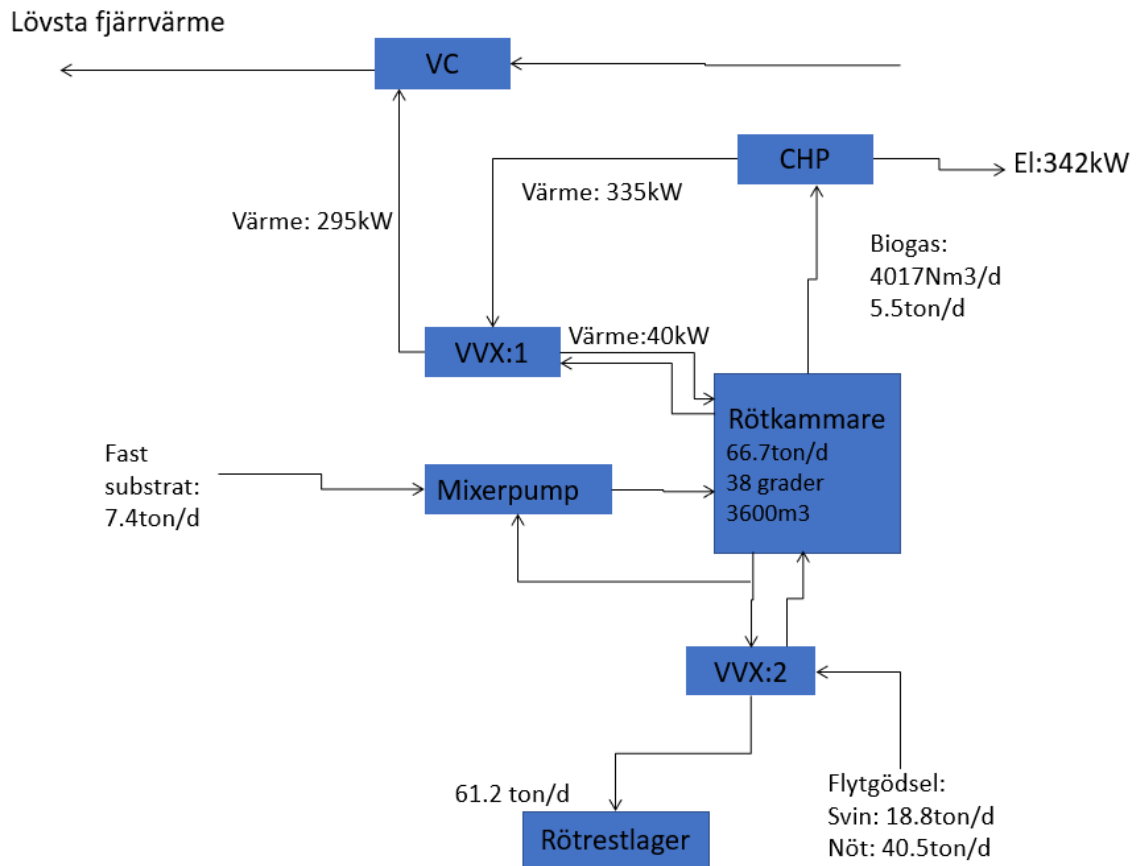
## 5.4 Lövsta biogasanläggning

Lövsta biogasanläggning som är belägen i Uppsala producerar biogas för att använda som bränsle för deras kraftvärmemotor. Motorn producerar värme och elektricitet som används på SLU:s anläggningar. Lövsta har en rötkammare på 3600m<sup>3</sup> och pumpar in maximalt 70m<sup>3</sup> substrat i rötkammaren varje dag. Substratet utgörs av fastgödsel, ensilage, mjöl, svinflyt och nötflyt. Det som inte blivit metan och koldioxid pumpas ut ur rötkammaren som rötrest och sprids på Lövstas åkermarker. Efter att rötresten har lämnat rötkammaren pumpas den till en av Lövstas sju lagringstankar. Dessa lagringstankar är täckta med duktak vilket reflekterar solljus under soliga dagar och är ett sätt för att minska temperaturvariationer i lagringstankarna. En hög temperatur innebär större risk för metangas- och ammoniakförluster. Årligen produceras cirka 23000m<sup>3</sup> rötrest och uppgifter som inhämtats från Lövsta visar att 6366 ton sprids på vall och 3753 ton sprids efter sådd. Spridningen på vall skedde främst tidigt Juni.

### 5.4.1 Lövsta biogasanläggning värme- och massbalans

Genom att beskriva driften i värme- och massbalans fås en bättre förståelse för anläggningens flöden. Därför presenteras information kring temperatur i rötkammaren och värmebehov för att värma rötkammaren och vart värmen kommer ifrån. Generellt används tillförd värme dels för att värma de substrat som rötas upp till rötningstemperaturen 38°C, dels kompensera för rötkammarens värmeförluster. Anläggningens värmebehov varierar under året beroende utomhustemperatur. För närvarande säkerställs att processtemperaturen i rötkammaren hålls konstant vid ca 38°C dels genom att återvinna värme från utgående rötrest från rötkammaren mot inkommande flytgödsel i värmeväxlare VVX:2 (se Figur 1), dels via värme från kraftvärmeanläggningen (CHP i Figur 1) som tillförs ett cirkulationsflöde av rötksammarinnehållet via värmeväxlaren VVX:1 (se Figur 1). Överskottsvärme från CHP-enheten överförs i en värmecentral (VC i Figur 1) till Lövstas fjärrvärmenät. Schemat visar ett genomsnittligt dagligt flöde från 2022.





Figur 1: Värme- och massbalansberäkning över Lövsta biogasanläggning från 2022 års inhämtade uppgifter: VC = värmecentral, CHP = Combined heat and power, VVX = värmeväxlare

I Tabell 1 redovisas värden som erhållits av Lövsta biogasanläggning, vilka används vid beräkning av värme- och massbalansen i Figur 1. HRT i tabellen är förkortning för "Hydraulic retention time" och motsvarar den genomsnittliga tiden som slam befinner sig i røtkammaren.

Tabell 1: Data från Lövsta kring biogasanläggning

<b>Biogasanläggning (Avser 2022)</b>	
Volym rötlager [ $m^3$ ]	$3500 \cdot 2 + 2500 \cdot 2 + 4000 + 1500 \cdot 2 = 19000$
Årlig elproduktion [MWh]	3002.6 (medeleffekt 342kW)
Årlig värmeproduktion [MWh]	2939.5
Värmebehov röt-kammare [MWh]	347
Temperatur röt-kammare [Grader celisus]	38
Volym röt-kammare [ $m^3$ ]	3600
HRT [dagar]	63
Årlig biogasproduktion [ $Nm^3$ ]	1466062
Metanhalt medel [%]	54
Koldioxid medel [%]	43
Effekt motor max [kW]	499

## 5.5 Utsläpp vid lagring och spridning av rötrest

Under lagring av rötrest emitteras ammoniak, metangas och lustgas. Utsläppen i Sverige vid lagring av stallgödsel var år 2021 cirka 0.6 miljoner ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter och stod för nästan 9% av lantbrukssektorns utsläpp (Naturvårdsverket, 2022). Metangas som har en klimatpåverkan på 25 CO<sub>2</sub>-ekvivalenter stog för hälften och lustgas som har en klimatpåverkan på 298 CO<sub>2</sub>-ekvivalenter den andra hälften (Naturvårdsverket, 2022).

### 5.5.1 Metan- och lustgasutsläpp vid lagring

Metanförluster vid lagring påverkas av flera faktorer, t.ex. rötningsprocessens HRT, sammansättningen på rötresten, temperatur i lagringsutrymmet, hur lagringsutrymmet täcks, pH-värdet och om det är substrat eller rötrest som lagras.

Hög temperatur hos rötresten samt högt innehåll av aktiva metanbildande mikrober är faktorer som kan gynna metanbildningen i lagrad rötrest. Den stimulerade metanbildningen i röt-kammaren kan innebära att metangasutsläppen blir högre hos lagrad rötrest än hos orötad gödsel (Rodhe m.fl 2021). Metan kan även produceras under lagring då mikroorganismerna fortsätter att producera metan även efter att rötningsprocessen har avslutats (Rodhe m.fl 2013).

Rodhe (2016) har mätt utsläpp av metan vid lagring av rötad och orötad rötrest. Pilotlagret, som baserades på rötad och orötad rötrest med en sammansättning av 90% flytgödsel och 10% djupströgödsel, genomgick två olika behandlingsmetoder. Dels en enstegsrötning i en röt-kammare och dels en tvåstegsrötning i seriekopplade röt-kammare, där materialet förflyttades från den första till den andra röt-kammaren. Varje rötningstillfälle hade en uppehållstid på 24 dygn. Vid enstegsrötningen hölls temperaturen i den första röt-kammaren konstant vid 39°C, medan den andra röt-kammaren hölls vid 40°C. Resultaten från pilotlagret visade att metanutbytet för enstegsrötningen i den första

rötkammaren var eller  $14.3 \text{ m}^3$  metan/ton utflöde. För tvåstegsrötningen i den andra rötkammaren var motsvarande värden  $3.8 \text{ m}^3$  metan/ton utflöde.

Laboratorieförsök kompletterade pilotlagsstudien genom att utvärdera maximal metanbildningskapacitet och restmetanpotential. Efter 105 dagar bestämdes den maximala mängden metanproduktion baserat på restmetanpotentialen. För rötresten från den första rötkammaren (pilotlagret) var restmetanpotentialen  $4.6 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton}$ , motsvarande 32% av metanproduktionen från den första rötkammaren. För den andra rötkammaren (pilotlagret) var restmetanpotentialen  $3.3 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton}$  rötrest, motsvarande 18% av den totala metanproduktionen från båda rötkastrarna.

När det gäller metanemissioner under lagring observerades vid enstegsrötningen från pilotlagret en emission på  $1.46 \text{ m}^3/\text{ton}$  rötrest och vid tvåstegsrötningen en emission på  $1.03 \text{ m}^3/\text{ton}$  rötrest. Det kunde konstateras att av restmetanpotentialen går 32% av metanet förlorat vid lagring för enstegsrötningen och 31% förloras vid tvåstegsrötningen (Rodhe m.fl 2016).

Indirekta lustgasutsläpp är en funktion av mängden ammoniak som förloras. Enligt IPCC(2019) antas att 1% av ammoniakutsläppen kommer hamna under förhållanden så att den ombildas till lustgas.

### 5.5.2 Ammoniakförluster vid lagring

Ammoniakutsläpp bidrar till övergödning och försurning av både land och hav. Det finns också en indirekt påverkan via förluster av ammoniak och nitrat som kan omvandlas till lustgas i andra delar av ekosystemet, (så kallade indirekta lustgasutsläpp). Det sker då ammoniak omvandlas via nitrifiering och denitrifiering (Rodhe, 2018). För lantbrukets del innebär ammoniakförlusterna en ekonomisk förlust när kvävet i stallgödseln försvinner och man tvingas acceptera en lägre kvävegiva till grödan. Det kan påverka avkastningen från odlingen eller att det behöver kompletteras med inköpt mineralgödsel.

Rodhe (2019) gjorde mätningar på ammoniakförlusterna vid lagring för rötad och orötad flytgödsel. Utan täckning av lagerbehållare gjordes mätningar under sommaren 2017 som hade en låg medeltemperatur på  $14^\circ\text{C}$  mellan 5 maj och 28 augusti. Resultatet visade att kväveförlusterna för rötad flytgödsel motsvarade omkring 54% av ammoniumkväveinnehållet (Rodhe m.fl 2019).

Vidare har studier gjorts för att mäta minskningen av ammoniakutsläpp vid lagring av flytgödsel med täckning av lagringsutrymmet. Karlsson (1996) har visat att kväveförlusterna vid lagring av flytgödsel i en behållare vars yta är täckt med en flytande plastduk reducerade ammoniakavgången med 84-87%. Motsvarande reduktion med flytande plastduk vid lagring av urin var 87-91% (Karlsson 1996). Eskillson (2013) förklarar att ett tätslutande tak eller en tät flytande täckning kan minska förlusterna med upp till 90-95%.

### 5.5.3 Ammoniakförluster vid spridning

Ammoniakavgången vid spridning av rötrest eller gödsel påverkas bland annat av spridningsteknik (bandspridning eller ytmyllning), fuktighet och temperatur i marken, väderförhållanden, årstid och rötrestens viskositet.

Ju snabbare den utspridda gödseln torkar, desto mer ammoniak hinner avgå innan rötresten har trängt ner i marken. Därför blir ammoniakavgången lägre när du sprider vid kallt och fuktigt väder med svag eller ingen vind, än om den sprids vid varmt, torrt och blåsig väder. Vårspridning i vårbruket kan ge mindre ammoniakförluster än spridning i växande gröda på försommaren (Ehrnebo 2005). Ju mer lättflytande gödseln är, desto bättre är förutsättningarna för god kontakt med markpartiklarna eftersom gödseln lättare tränger ner i marken (Rodhe, 2021).

Rodhe (1996) har sammanställt kväveförluster vid spridning av gödsel beroende på årstid, spridningssätt, gödselsammansättning och vad för typ av gröda som gödslet har spridits. Under försommaren beräknades kväveförlusterna uppgå till 50% av ammoniumkväveinnehållet vid spridning av rötrest i vall. Uppgifter från Lövsta visar att cirka 60% av rötresten sprids i vall. Rodhe (2016) påvisade att cirka 51% av ammoniakinnehållet i rötad gödsel förlorades vid vårspridning och cirka 27% vid sommarspridning. Resultatet från Rodhe (2016) är motsägelsefullt gentemot vad som beskrivits ovan kring parametrar som påverkar ammoniakförluster. Detta är ytterligare bevis på att ammoniakförluster har många variabler som påverkar resultatet utöver de som beskrivits ovan och är inte alltid enkla att förklara utan genomgående analyser av påverkande parametrar.

## 5.6 Åtgärder för att minska utsläpp av ammoniak och metan

Det finns flera sätt att minska utsläppen av ammoniak vid lagring och spridning av rötrest, exempelvis genom att sänka rötrestens pH-värde genom surgörning med svavelsyra. Att sänka pH-värdet till ungefär 5.5 innebär att nästan allt lättlösligt kväve återfinns i form av ammonium, vilket i praktiken innebär en försumbar ammoniakavgång (Nyord och Kristensen, 2011). För att minska metanutsläppen kan lagringsutrymmet kylas eftersom den mikrobiella aktiviteten minskar vid kallare temperaturer. Det går även att täcka lagringsutrymmen med ett gastätt tak som då gör att metangasen fångas upp och kan då användas som biogas. Att ha annan typ av tak kan också vara till fördel för att minska temperaturökning som kan ske vid soliga dagar.

### 5.6.1 Ammoniakutsläpp från surgjord rötrest vid lagring och spridning

Rodhe (2019) undersökte effekten av surgörningens påverkan på ammoniakförluster under lagring av rötrest där man observerade att ammoniakförlusterna, när flytgödslet surgjordes, blev försumbart låga (Rodhe m.fl 2019) Rodhe (2016) undersökte vilken effekt surgörning av nötflytgödsel har på ammoniakavgången vid spridning till vall.

Resultatet var uppdelat i om gödslet var rötad eller orötad samt om gödslet spreds under sommar eller vår. Vid vårspridning var ammoniakförlusterna för rötrest 50.8% av tillförd mängd ammoniumkväve utan surgörning. När syra tillsattes till rötresten blev ammoniakförlusterna 3.5% av mängden tillförd ammoniumkväve, vilket motsvarar en minskning med cirka 93%. Vid sommarspridning var ammoniakförlusterna 26.5% av tillförd mängd ammoniumkväve utan surgörning. Med tillsatt syra blev ammoniakavgången 1.7% av tillförd mängd ammoniumkväve vilket motsvarar en minskning på cirka 94%. pH-värdet under vårspridningen hade sänkts från 7.35 till 5.9 och vid sommarspridning hade pH-värdet sänkts från 7.9 till 4.9 (Rodhe m.fl 2016).

### 5.6.2 Metanförluster vid kväveboostning av rötrest

Utifrån bästa kännedom har få studier undersökt metanförluster vid surgörning av rötrest. En LCA-studie, av Astudillo and Schmidt från år 2019, genomfördes på Dansk mjölkproduktion. Den undersökte hur klimatpåverkan minskade vid plasmabehandling med N2-Applieds teknik. I den aktuella studien konstaterades att det inte sker något metanutsläpp efter kväveboostning av det danska gödslet, det vill säga att metanutsläppen vid plasmabehandlad rötrest minskade metanutsläppen med 100%.

## 5.7 Elpris

Lövsta producerar el som köps och säljs på SLU:s egna anläggningar. Prissättningen sker på månadsbasis och är baserad på spotpriset plus nätavgift och energiskatt. Sverige är uppdelat i 4 elområden och priset på el skiljer sig beroende på vilket elområde som undersöks. Uppsala ligger i elområde 3 så prissättningen på deras el följer spotpriset för område 3. Priset på el varierar beroende på utbudet och efterfrågan. Är efterfrågan hög medan utbudet lågt tenderar priset till att vara högt och tvärtom när efterfrågan är låg. Lågt elpris kan bero på hög produktion från förnybara energikällor eller varmt väder. Förnybar elproduktion är billigare än icke-förnybar, varför elpriset brukar vara lägre när produktionen från förnybart är hög. Efterfrågan på el brukar minska under sommartid då uppvärmningsbehovet minskar. Nätavgift är den kostnad som elkunder betalar för att ha tillgång till elnätinfrastruktur. Avgiften täcker kostnader för att bygga, underhålla och driva elnätet med ledningar, transformatorer, mätare och andra anläggningar som behövs för att säkerställa en pålitlig distribution av el. Energiskatt är en skatt som adderas vid användning av energi. Syftet är att uppmuntra energieffektivitet och minska miljöpåverkan genom att göra fossila bränslen och energiintensiva processer dyrare.

Energiskatt genererar också intäkter för regeringen som används för att finansiera olika samhällsändamål (Energimarknadsbyrån 2023). Skatteverket förklarar att el eller bränsle som förbrukas i yrkesmässig jordbruksverksamhet eller skogsbruksverksamhet kan ge rätt till lägre energiskatt. Det fås vanligtvis genom att ansöka om återbetalning av skatten i efterhand. Till jordbruksverksamhet räknas exempelvis spannmålsodling och spannmålstorkning, växthusodling samt uppfödning av nötkreatur. För el som förbrukas

finns rätt till återbetalning med skillnaden mellan gällande skattesats och 0.6 öre per kilowattimme (Skatteverket 2023).

## 5.8 El och mineralgödsels klimatpåverkan

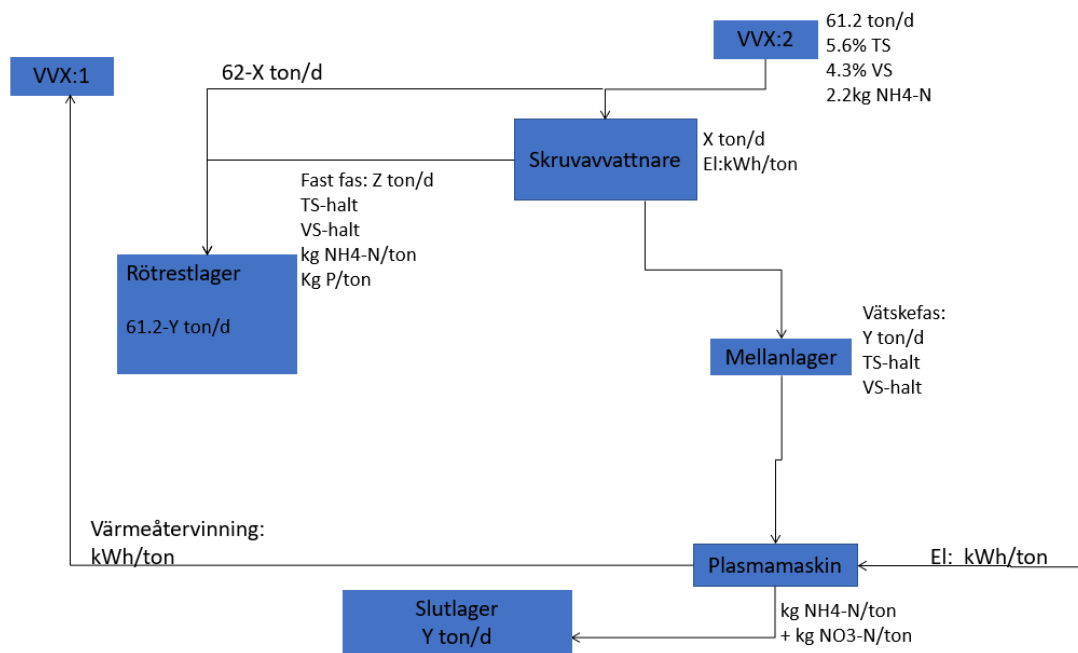
Mineralgödsels klimatpåverkan är i Sverige 3.65kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg kväve (Yara, 2019). För vindkraft är klimatpåverkan 12g/kWh (Naturskyddsföreningen, 2021). Klimatpåverkan från elanvändning kommer baseras på dessa uppgifter. Motivering kring varför vindkraft används vid beräkning av klimatpåverkan är att NEO-maskin kommer användas främst vid låga elpriser. Elpriset är ofta lågt vid mycket förnybar elproduktion och Sverige har mycket förnybar el i form av vindkraft.

## 6 Metod

I detta avsnitt besvaras vilken metod som använts för att besvara de specifika frågeställningarna, data/faktorer som är av betydelse samt metodik för beräkning.

### 6.1 Systembeskrivning av plasmainstallation

I Figur 2 beskrivs den installerade NEO-maskinen i ett flödesschema. Istället för att all rötrest flyttas direkt till ett rötrestlager som idag (Se Figur 1, VVX:2 till Rötrestlager), kommer en viss mängd rötrest pumpas in i en skruvavvattnare. Mängden rötrest som produceras på Lövsta är betydligt mer än vad NEO-maskinen kan boosta, varför endast en fraktion av rötresten kan behandlas med NEO. Skruvavvattnaren separerar fibrer från rötresten vilket resulterar i en fiberfas och en vätskefas. Fiberfasen kommer tillsammans med den oseparatorade rötresten förflyttas till ett rötrestlager (Rötrestlager i Figur 2). Vätskefasen förflyttas istället till ett mellanlager. Fiberfasens och vätskefasens koncentration av TS, VS och NH<sub>4</sub> kommer efter skruvavvattnaren skilja sig gentemot den icke-separerade rötrestens koncentration. Från mellanlagret pumpas vätskefasen in i NEO-maskinen, där kväveboostning av vätskefasen sker med hjälp av elektricitet. När NEO är i drift genereras mycket värme som bör återvinnas i värmeväxlare för att också värma röt-kammaren. Efter att vätskefasen har kväveboostats pumpas det till ett större lagringsutrymme för långtidslagring (från plasmainstallation till slutlager i Figur 2). Till sist sprids vätskefasen på Lövstas gårdar. TS-halt och VS-halt på Lövstas rötrest är givet i flödesschemat.



Figur 2: Flödesschema för undersökt system

Det har inte ingått i uppgiften att genomföra en komplett beräkning av biogasanläggningens värmeflöden och hur värmeförsörjningen kan komma att ändras efter en installation av en plasmaenhet. Dock anger N2-Applied att utgående kylvattentemperatur från plasmaenheten är 60° C. För att återvinna denna värme från plasmaenheten är det troligt att någon av följande två alternativa installationer skulle vara aktuella:

1. Den installation med lägst investering för värmeåtervinning från plasmaenheten är att nyttja VVX:1 (se Figur 1 och 2) för att värma cirkulationsflöde av röt-kammarinnehållet, som har en temperatur på ca 38°C. Detta alternativ ger en lägre värmeåtervinning, eftersom röt-kammartemperaturen är hög. Med detta alternativ torde kylvattnet från plasmaenheten bara kunna sänkas till uppskattningsvis 45°C efter passagen av värmeväxlaren.
2. För att nå en högre värmeåtervinningsgrad från plasmaenheten bedöms det att biogasanläggningen behöver investera i en ny värmeväxlare efter VVX:2 (se Figur 1), som förvärmer flytgödseln som rötas. Flytgödseln bedöms ha en temperatur på 20 till 30°C efter att den passerat igenom VVX:2. Med detta alternativ torde kylvattnet från plasmaenheten kunna sänkas till uppskattningsvis 35°C efter passagen av värmeväxlaren. För att nå en hög värmeåtervinning från plasmaenheten behöver antagligen biogasanläggningens uppvärmningssystem modifieras enligt alternativ 2 vilket undersöktes i känslighetsanalysen i avsnitt 8.

De komponenter som behövs för att kunna installera en NEO-maskin på Lövsta är följande:

- NEO-maskin med luftkylare
- Skruvavvattnare
- Mellanlager

## 6.2 NEO-maskin med kylsystem

Hela NEO-maskinen får plats i en container och innefattar, utöver plasmamaskin, rörledningar och slanganslutningar samt kabel- och signalanslutningar tillsammans med utrymme för ventilation och frånluft. Externt tillkommer en luftkylare för att återvinna värme som uppstår under drift av NEO-maskinen och återföra värmen till röt-kammaren för att minska behovet av värmeförsel från CHP.

Viktig information för att beräkna kväveproduktionskostnaden är effekten [kW] som behövs för att driva enheten samt kväveproduktionshastigheten [kgN/h]. Med en given effekt och kväveproduktionshastighet kan mängden energi för att producera ett kg kväve beräknas. Information från kylsystem som behövs är kapacitet för värmeåtervinning [% av plasmaeffekt] samt temperatur innan och efter värmeåtervinning [°C]. Med given temperatur på kylvattnet innan uppvärmning kan mängden vatten som värms upp till given temperaturen efter uppvärmning beräknas. Sedan sker värmeutbyte mellan röt-kammare och kylarvatten i värmeväxlare. Värmeutbytet mellan vattnet och röt-kammaren är vad som bestämmer den verkliga värmeåtervinningen.

Tabell 2 presenterar data från N2-Applied avseende NEO. Det som ansätts som total effekt innebär effekt som tillkommer från pumpning av rötrest, användning av kylsystem, kompressor, styrsystem och nätaggregat och inkluderas i effektbehovet vid kväveproduktionen.

Tabell 2: Data inhämtad från N2-Applied

<b>NEO med utrustning</b>	
Effekt NEO-maskin	50kW
Total effekt	+ 30% av NEO-maskinens effekt
kväveproduktionshastighet	1 kgN/h
Kvävetillförsel [kgN/kgNH <sub>4</sub> -N]	1.4
Kylvattentemperatur innan värmeåtervinning från kväveboostning	20°C
Utgående kylvattentemperatur	60°C
kylvattentemperatur efter värmeväxling med röt-kammare	45°C
Möjlig värmeåtervinning från kväveboostningen	75% av tillförd elektricitet till plasmasteget

Kvävetillförsel är angivet som 1.4kgN/kgNH<sub>4</sub>-N. Det innebär att mängden kvävetillförsel från NEO till rötrest är 1.4 gånger massan ammoniumkväve i rötresten. Detta innebär att för varje kg kväve i form av ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>) i rötresten kommer 1.4kg kväve i form nitrat (NO<sub>3</sub>) tillsättas rötresten. Faktorn 1.4 beror på att åtgången av nitrat för att sänka pH-värdet till en viss nivå skiljer sig för olika rötresten och beror på



rötrestens sammansättning, buffringsförmåga, alltså förmågan till att motstå förändring i pH-värde, och dess relation till mängden karbonater i gödslet. En hög halt av bikarbonat och ammoniumkväve och låga halter av flyktiga fettsyror gör att buffertkapaciteten ökar (Christensen et al., 2013).

### 6.3 Rötresten från Lövsta

När energimängden/kg producerad kväve är bestämd kan energimängd/ton vätskefas bestämmas genom att beräkna hur många kg kväve som kommer tillsättas/ton rötrest. Detta kräver information om rötrestens sammansättning i form av TS, VS och  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Mängden tillsatt kväve i form av nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) beror på rötrestens innehåll av ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ).

Tabell 3 visar rötrestens sammansättning på Lövsta under andra kvartalet 2022 (Lövsta, 2022).

Tabell 3: Rötrestens innehåll på Lövsta 2022 under andra kvartalet

Torrsubstans, TS [%]	5.6
VS [% av TS]	76.7
$\text{NH}_4\text{-N}$ [kg/ton]	2.2
N-tot [kg/ton]	4.0

Varför rötresten från andra kvartalet används beror på att VS-halten ej var angiven för första kvartalet. Sammansättning var dock snarlik.

### 6.4 Skruvavvattnare

Skruvavvattnaren som fördelar rötresten i en vätskefas och en fiberfas kräver information kring dess effekt [kW] samt hur rötresten fördelas mellan fast form, flytande form och fördelning av TS, VS och  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Skruvavvattnaren som används är av modellen 2.2-400 Stallkamp vilket installerades på biogasanläggningen i Möre som Rise har utfört tester på och presenteras i Tabell 4.

Tabell 4: Skruvavvattnare effektbehov och genomströmningshastighet

<b>2.2-400 Stallkamp</b>	
Effekt	2.2kW
Skruvavvattnare Genomströmningshastighet	2 m <sup>3</sup> /h

Resultat på fördelningen mellan vätske- och fiberfas på Lövsta baseras på resultatet på Möres skruvavvattnare. Tabell 5 presenterar medelvärde utifrån tre olika resultat på

Möres skruvavvattnare. Resultat som presenteras är viktfordelning, TS- och VS-halt samt ammoniumkvävehalt.

Tabell 5: Möre biogasanläggning resultat på vätskefas och fiberfasuppdelning

<b>Skruvavvattnare från Möre</b>	<b>Vätskefas</b>	<b>Fiberfas</b>	<b>Rötrest</b>
Viktfordelning [%]	93.6	6.4	100
TS-halt [%]	4.4	24.8	5.7
VS-halt [% av TS]	67.4	87.6	73.0
NH <sub>4</sub> -N [kg/ton]	2.5	2.5	2.5

Viktfordelningen antas vara samma för Lövsta som på Möre biogasanläggning. TS-halten på vätske- och fiberfasen på Lövsta beräknas genom att beräkna andelen av TS som återfinns i vätske- och fiberfas från Möre (ekvation 1).

$$\text{Andel av TS i vätskefas} = \frac{\text{TS-halt vätskefas} \cdot \text{viktfordelning vätskefas}}{\text{TS-halt rötrest} \cdot \text{viktfordelning rötrest}} \quad (\text{ekv1})$$

Liknande bestäms andelen av VS som återfinns i vätskefasen från resultaten på Möre (ekvation 2).

$$\text{Andel av VS vätskefas} = \frac{\text{VS-halt vätskefas} \cdot \text{TS-halt vätskefas} \cdot \text{Viktfordelning vätskefas}}{\text{VS-halt rötrest} \cdot \text{TS-halt rötrest} \cdot \text{Viktfordelning rötrest}} \quad (\text{ekv2})$$

Beräkningsmetoden är samma för fiberfasen. Andel av TS och VS, av totalen, som återfinns i vätske- samt fiberfasen används för Lövstas vätske- och fiberfas (ekvation 3).

$$\text{TS-halt vätskefas} = \frac{\text{Andel av TS i vätskefas Möre} \cdot \text{TS-halt rötrest} \cdot \text{Viktfordelning rötrest}}{\text{Viktfordelning vätskefas}} \quad (\text{ekv3})$$

Resultatet visar TS-halten [%] för vätskefasen på Lövsta. VS-halten beräknas på liknande sätt. TS- och VS-halt på Lövstas rötrest är givet i tabell 3 i avsnitt 6.3.

## 6.5 Mellanlager

Efter att rötresten fördelats i en fiber och vätskefas i skruvavvattnare kommer vätskefasen korttidlagras i ett mellanlager innan den pumpas in i NEO som kan ses i Figur 2 i avsnitt 6.1. Mellanlagret behövs då NEO inte nödvändigtvis drivs samtidigt som skruvavvattnaren. Storlek på lagret dimensioneras så att vätskefas alltid finns tillgängligt att användas i NEO-maskinen när den är i drift. Vätskefas finns alltid tillgängligt från mellanlagret om skruvavvattnaren producerar en vätskefas snabbare än vad NEO kväveboostar samma

mängd vätskefas. Samtidigt måste mängden rötrest som pumpas ut från rötkammaren motsvara en tillräcklig mängd som tillåter skruvavvattaren att uppfylla detta villkoret. Tabell 6 representerar det genomsnittligt dagliga rötrestflödet och den maximala mängd vätskefas som skruvavvattaren kan producera samt maximal kväveproduktion från NEO-maskinen.

Tabell 6: Viktiga uppgifter för dimension av mellanlager

Rötrestflöde från rötkammare [m <sup>3</sup> /d]	61.2
Potentiell mängd vätskefas [m <sup>3</sup> /d]	57.3
Maximal kväveproduktion från NEO-maskin [kg/d]	24

För att dimensionera storlek på mellanlager krävs uppgifter kring antal drifttimmar som NEO-maskinen kör samt mängden kväve som tillsätts vätskefasen/ton. Därför är storlek på mellanlager svårt att beräkna innan ett resultat har presenterats. Då en markant större mängd vätskefas kan flöda från skruvavvattaren gentemot mängden kväve som NEO kan producera som kan ses i Tabell 6, kan slutsatsen dras att vätskefas alltid kommer finnas tillgängligt för NEO. Dimensioneras mellanlagrets storlek utifrån flödet från skruvavvattaren skulle lagret motsvara en storlek på cirka 57m<sup>3</sup>. Uppgifter från N2-applied har dock angivit att en rimlig storlek på mellanlager är mellan 15 - 30 m<sup>3</sup> beroende på antal drifttimmar och rötrestens sammansättning. Antagande kring lagerstorlek kan till fördel därför motsvara uppgifter som N2-applied har angett och sättas till 30m<sup>3</sup>

## 6.6 Energiberäkningar

### 6.6.1 Värmeåtervinning

För att beräkna mängden återvunnen värme till rötkammaren används följande steg:

- 1) Beräkna värmeåtervinningen från NEO-maskin med ekvation 4:

$$\text{besparad effekt}[\%] = \text{plasmaeffekt} \cdot \text{värmeåtervinning} \quad (\text{ekv4})$$

- 2) Vattenflödet kan beräknas om temperaturen på vattnet före och efter uppvärmning är känt, tillsammans med vattnets specifika värmekapacitet. Vattenflödet beräknas enligt ekvation 5:

$$\text{vattenflöde}[\text{kg}_{H_2O}/\text{h}] = \frac{\text{besparad effekt} \cdot 3600}{\text{värmekapacitet}_{H_2O} \cdot \text{temperatur}(\text{innan} - \text{efter})} \quad (\text{ekv5})$$

Effekten är multiplicerad med 3600 för att enheter ska stämma överens (kW till kJ/h). Temperatur innan motsvarar kylvattnets temperatur innan den värms upp av plasmamaskinen och efter är temperaturen efter den värmts upp av plasmamaskinen.

3) När vattenflödet har beräknats kan värmeöverföringen genom värmeväxlaren beräknas i ekvation 6.

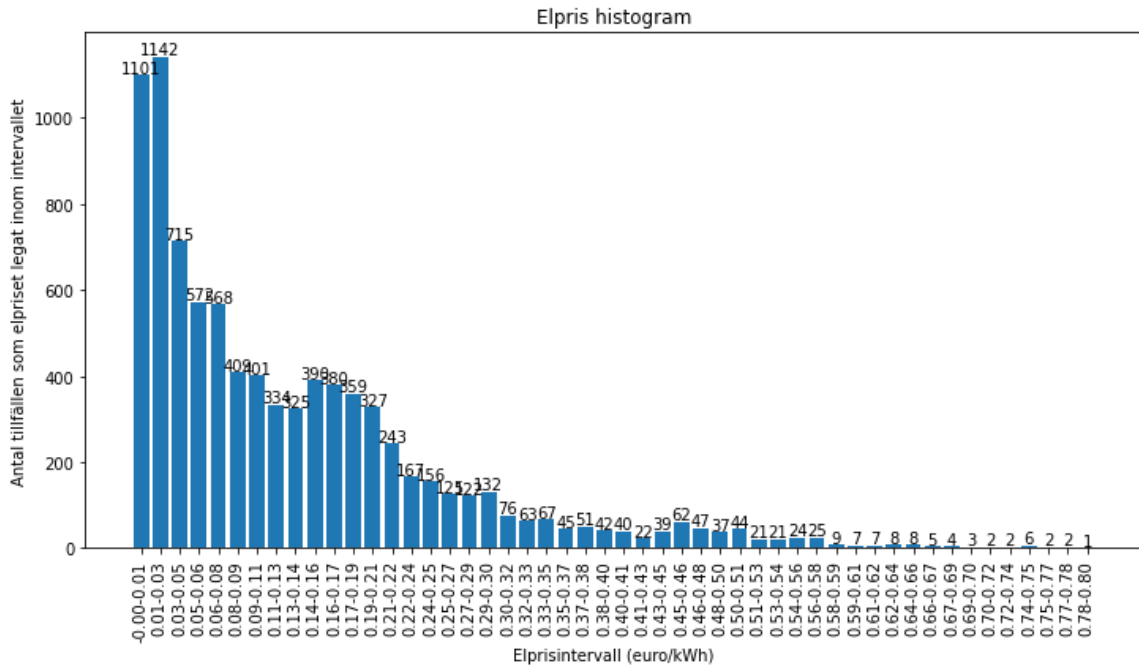
$$\text{värmebesparing i rötchammaren} = \frac{\text{värmekapacitet}_{H_2O} \cdot \text{temperatur(innan - efter)} \cdot \text{vattenflöde}}{3600} \quad (\text{ekv6})$$

Dividera med 3600 för att få värmebesparingen i kWh.

Dessa beräkningar bestämmer mängden återvunnen värme från luftkylaren till rötchammaren och utgör en metod för att kvantifiera energibesparingarna i systemet. Utgående kylvattentemperatur och värmeåtervinning från kväveboostningen är angivet i Tabell 2 i avsnitt 6.2. Värmebesparingen i rötchammaren beror på de alternativa installationer som beskrevs i avsnitt 6.1 då de ger möjlighet till olika returtemperaturer på kylvattnet efter värmeväxling till rötchammaren. Tabell 2 anger alternativ 1 när Lövsta nyttjar den befintliga värmeväxlaren (VVX:1 i Figur 1 och 2).

### 6.6.2 Elbehov och bestämning av drifttimmar

NEO drivs på elektricitet och antalet drifttimmar som ger lägsta produktionskostnad för kväve beror bland annat på spotpriset på el. Som Figur 3 visar så fördelades spotpriset i 50 stycken lika stora prisintervall och varje intervall innehåller antalet timmar under året som spotpriset har legat inom intervallgränsen. Initial input för maskinen är att den är i drift endast i det lägsta prisintervallet, det motsvarar då ett visst antal drifttimmar. Kostnaden för att producera kväve går då att beräkna inom det angivna prisintervallet. När en kostnad för producerad kväve är bestämd inom prisintervallet utökades beräkningsmodellen till att inkludera även nästa prisintervall, det näst lägsta prisintervallet på el. Detta resulterar i fler drifttimmar, men också ett snittpris/timme för el som är högre. Den nya kostnaden för producerad kväve beräknas därefter. Denna beräkning itereras tills alla prisintervall är inkluderade i beräkningsmodellen, vilket innebär att NEO är i drift alla timmar under året. Detta resulterade i en kostnadskurva för producerad kväve. I det intervall där kväveproduktionskostnaden är lägst kommer motsvara att maskinen är i drift i alla prisintervall upp till det prisintervall. Antalet prisintervall kommer påverka noggrannheten i kostnadsberäkningen för producerad kväve. Fler prisintervall innebär noggrannare kostnadsuppskattning. Syftet med beräkningsmetoden är att maximera kostnadseffektiviteten genom att använda maskinen så mycket som möjligt men till den billigaste kostnaden. Även om elkostnaderna ökar med fler drifttimmar kommer också intäkterna öka samt nyttjandegraden för maskinen. Detta tillåter att investeringskostnaden fördelas på fler drifttimmar och därmed sänker timkostnaden. Elpriset baseras på spotpriset i prisområde SE3 mellan Mars 2022 - Mars 2023. Intervallgränser inom tidsperiod undersökt med frekvens av timmar kan ses i Figur 3. Notera att X-värden i Figur 3 är avrundade till två decimaler för ökad läsbarhet.



Figur 3: Varje stapel motsvarar antalet tillfällen (timmar) som elpriset legat inom timprisintervallet (X-värden) mellan mars 2022-mar s2023

## 6.7 Ekonomiska utgångspunkter

### 6.7.1 Annuitetsmetoden

Annuitetsmetoden är en metod som beskriver en investerings kostnad i lika stora årliga belopp. Ekvationen för annuitetsmetoden kan skrivas på olika sätt beroende på tillgänglig information. I detta fall beskrivs metoden som ekvation 7.

$$\text{kapitalkostnad} = \text{investering} \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (\text{ekv7})$$

Där  $r$  = ränta och  $n$  = år, kapitalkostnad anger hur mycket ett lån kostar under hela avskrivningstiden.

När en investering görs brukar det finnas ett avkastningskrav på investeringen för att beräkna om investeringen är lönsam eller inte. Då Lövsta biogasanläggning ägs av SLU, som är ett svenskt statligt universitet, är det staten som behöver låna pengar för att göra investeringen. När staten lånar pengar inom en bestämd tidsperiod betalar staten i gengäld en fast ränta till lånegivaren, så kallad obligationsränta. Obligationräntan för ett lån som ska betalas tillbaka på 10 år motsvarar 2.3% (2023-05-06). Obligationräntan för ett lån som ska betalas tillbaka på 30 år motsvarar 2.45% (DI, 2023).

För att beräkna hur stort lånet blev då Lövsta investerar i N2-applieds teknik och

därmed hur mycket som betalas tillbaka/år används annuitetsmetoden. Kapitalkostnaden kommer därför motsvara den kostnad som Lövsta behöver betala varje år under hela avskrivningstiden för att ha investerat i NEO inklusive annan utrustning som kan behövas. Kapitalkostnaden är underlag för att beräkna lägsta produktionskostnad för kväve. Livslängden på plasmanheten är 15 år enligt Lövsta. Räntan sätts därför någonstans emellan obligationsränta på 10 och 30 år, det vill säga

- Ränta: 2.35%
- Livslängd: 15 år

### 6.7.2 Fasta kostnader

De fasta kostnaderna innefattar inköp av

- NEO-maskin

Kostnad för NEO med tillhörande utrustning är hämtad från N2-Applied.

- Skruvavvattnare

Kostnad för skruvavvattnare baseras på priset som biogasanläggningen på Möre köpte sin PSS 2.2-400 Stallkamp.

- Mellanlager

Kostnad för mellanlager baseras på prisuppgifter på begagnade lagertankar från processöverskott.se samt kostnadsoffert från RISE på begagnade lagertankar. Ett medelvärde i kr/liter från 8 lagertankar med olika storlekar användes och dimensionerades sedan efter sökt volym. Tabell B2 och B3 i bilaga anger kostnader på olika lagringstankar (B2 från processöverskott och B3 från RISE), Tabell B4 i bilaga anger medelvärdet med olika volymer.

- Kostnad för att göra ett av Lövstas långtidslager tillgängligt för lagring av kväveboostad rötrest

Att ordna ett långtidslager görs genom att avlägsna sediment från ett av Lövstas befintliga lagringsutrymmen så att mängden föroreningar är för små för att påverka pH-värdet i rötresten. Som beskrivits i avsnitt 5.2.1 har kväveboostad rötrest lägre pH än vanlig rötrest och får därmed inte lagras med annan typ av rötrest som har högre pH-värde. Det kan påverka de positiva miljööverdelar pH-värdet har på rötresten. Kostnaden motsvarar arbetskraft samt kostnad för användning av arbetsmaskin. Kostnaden för arbetskraft baseras på Labour Cost Survey (LCS) för arbetare inom el-, gas och värmeverk. LCS mäter arbetskraftskostnad/h i form av direkta kostnader (lön och bonus) respektive indirekta kostnader (sociala avgifter) och publiceras av CSB (CSB 2016). Arbetsmaskin består av spolbil och kostnaden motsvarar hyrkostnad från Excellentsyd.se. Antalet timmar som arbetet tar baseras på arbetstid från en tidigare lagringstömning utförd av RISE på ett mindre lagringsutrymme än vad Lövsta har på sin biogasanläggning.

Arbetstiden dimensioneras därefter linjärt utifrån Lövstas lagervolym. Ekvation 8 och 9 visar beräkningsuppställning

$$\text{Arbetstimmar} = \frac{\text{Arbetstid för tidigare lagringstömning} \cdot \text{Lagervolym för Lövsta}}{\text{Lagervolym från RISE}} \quad (\text{ekv8})$$

$$\text{Kostnad} = \text{Arbetstimmar} \cdot \text{Arbetskostnad/h} + \text{Maskinkostnad/h} \cdot \text{Hyrtid} \quad (\text{ekv9})$$

Tabell 7 anger den datan som krävs för att uppskatta kostnad för tömning av Lövstas lager. Valuta som används i rapporten är Euro eftersom N2-Applied anger sin plasmaenhet i Euro. N2-Applied är även ett norskt företag med annan valuta än Sverige och Euro kan anses som mer internationell.

Tabell 7: Data för att beräkna kostnad för lagertömning

Enhet	Värde	Källa:
Valutakurs SEK till Euro [SEK/€]	11.1	Dagens industri (2023-03-20)
Arbetskostnad [€/h]	42.88	CSB (2016)
Maskinkostnad [€/h]	134.23	Excellentsyd.se
Lagervolym Lövsta [m <sup>3</sup> ]	2500	Lövsta
Arbetstid från tidigare tömning av RISE [h]	56	RISE
Lagervolym från tidigare tömning av RISE [m <sup>3</sup> ]	500	RISE

- Försäkringskostnad på investering

Utöver fasta kostnader tillkommer försäkringskostnad på investering. Försäkringskostnad för biogasanläggningar varierar beroende på faktorer som investeringssumma, försäkringsbelopp och eventuella samordningsmöjligheter. Rapporten av (FAL 2005) anser att 0.1 till 0.5% av investeringen betalas i årlig försäkringspremie.

### 6.7.3 Rörliga kostnader

De rörliga kostnaderna innefattar

- Elkostnad (inklusive energiskatt och nätavgift) för NEO och skruvavvattnare.

Elkostnaden baserades på spotpriset i elområde 3 under perioden mars 2022 - mars 2023. Utöver spotpriset tillkommer nätavgift på 26 öre/kWh vilket motsvarar 0.0234 €/kWh och energiskatt på 36 öre/kWh vilket motsvarar 0.0324 €/kWh. Nätavgiften och energiskatten är information inhämtad genom kontakt med Magnus Källmark, en representant av Lövsta. Hur mycket el som behövs beror på den totala effekten och produktionshastigheten på kväve från NEO-maskinen och beräknas enligt ekvation 10.

$$\text{Elbehov/kgN} = \text{Total effekt} \cdot \text{Kväveproduktionshastighet} \cdot \text{tid} \quad (\text{ekv10})$$

Effektbehov och produktionshastighet är angivet från Tabell 2 i avsnitt 6.2.

- Tillsyn av utrustning och fysiskt arbete som krävs för att driva systemet

Tillsyn av utrustning baserades på uppgifter från N2-Applied kring kostnad för tillsyn samt tid mellan tillsynstillfällen. Fysiskt arbete baserades på uppskattad daglig arbetstid inhämtat från N2-Applied. Det fysiska arbetet bestod främst av att göra vätskefas tillgänglig från bufferttank till NEO. Kostnaden motsvarade arbetskraft som baserades på Labour Survey Cost (LCS) för arbetare inom el-,gas och värmeverk enligt uppgifter från CSB.

#### 6.7.4 Intäkter

Rapporten har tagit hänsyn till följande intäkter:

- Ersatt mineralgödsel (Undvikt kostnad)

Intäkten från ersatt mineralgödsel bestämdes genom att beräkna skillnaden i kvävemängd i boostad gentemot vanlig rötrest/ton. Antagandet görs att ett kg kväve i form av  $\text{NH}_4$  och  $\text{NO}_3^-$  från rötrest kan ersätta ett kg  $\text{NH}_4$  och  $\text{NO}_3^-$  från mineralgödsel. Priset på mineralgödsel inhämtas från Lövsta och presenteras i Tabell 8.

Tabell 8: Innehåll av näringsämnen på de mineralgödsel som Lövsta köper (YARA, u.å)

Mineralgödsetyp	Andel kväve från ammonium [%]	Andel kväve från nitrat	Annat innehåll [%]	I lager [kg]
Axan 27-4	13.5	13.5	Mg-0.6 S-3.7	167 575
MAP NP 12-23	12	0	P-23	0
NPK 24-4-5-3	13.3	10.3	P-3.6 K-4.6 Mg-0.5 S-3	120 750
Sulfan	12	12	Mg-0.5 S-6	76 500

Vilket mineralgödsel som ersätts baserades på vilket mineralgödsel som har högst andel av kväve men minst andel av annat innehåll samt vad Lövsta har störst behov av. Detta resulterade i att Axan 27-4 är det mineralgödsel som ersätts med kväveboostad rötrest. Priset på kväve beräknades enligt ekvation 11

$$\text{kvävepris} = \frac{\text{Mineralgödsetpris}}{\text{andel kväve}} \quad (\text{ekv11})$$

Priset för Axan motsvarade 7.1kr/kg vilket motsvarar 0.64€/kg och kväveinnehållet är 27%, pris för mineralgödsetkväve anges i Tabell 9.

- Intäkt från utsläppsrätter



I studien har reducerade koldioxidutsläpp värderats i form av utsläppsrätter som en potentiell intäkt. Denna intäkt är beroende på om Lövsta kan delta i handel för utsläppsrätter. Är detta inte möjligt för Lövsta kan de reducerade utsläppen allokeras till minskad klimatpåverkan på mjölkproduktion där ersättning erhålles enligt Arlas hållbarhetsstrategi. Allokering av reducerade koldioxidutsläpp är beskrivet i bilaga A. Intäkt från utsläppsrätter, angivet i Tabell 9, bestämdes genom att först beräkna skillnaden i klimatpåverkan mellan kväveboostad rötrest gentemot vanlig rötrest. Utsläppen sker i form av metan- och lustgas.

$$\text{utsläpp}_{\text{vanlig}} - \text{utsläpp}_{\text{boostad}} \quad (\text{ekv12})$$

Sedan togs skillnaden i klimatpåverkan från produktion av mineralgödselkväve gentemot att använda el.

$$(N_{\text{boostad}} - N_{\text{vanlig}}) \cdot \text{utsläpp}_{\text{mineralgödselkväve}} - \text{elbehov} \cdot \text{utsläpp}_{\text{vindkraft}} \quad (\text{ekv13})$$

Varför just vindkraft användes berodde på att NEO-maskinen drivs vid de billigaste elpriserna då den snabbt kan sättas på och stängas av. Elpriset brukar vara lågt när mycket intermittent el produceras. I Sverige består mycket av den intermittenta elproduktionen av vindkraft.

- Värme (undvikt kostnad)

Värmebesparningen beskrevs i avsnitt 6.6.1 och priset för värme som Lövsta betalar är angivet i Tabell 9.

- Investeringsstöd från klimatklivet

Investeringsstödet beräknas som avdragen fraktion av kapitalkostnaden motsvarande 40%. För klimatklivet är vanliga tak för stödnivåer 30-65%, 40% har N2-applied använt vid uppskattning av investeringsstöd varför 40% används.

Tabell 9 presenterar priser som används för intäkterna från värmeåtervinning minskade utsläpp och mineralgödsel.

Tabell 9: Priser

Mineralgödselkväve [€/kg-N]	2.37 (Lövsta 2023)
Värmepris [€/kWh]	0.078 (Lövsta 2023)
Utsläppsrätt [€/tonCO <sub>2</sub> -ekv]	90.55 (EEX 2023)

### 6.7.5 Ekonomisk beräkning

I den ekonomiska beräkningen antogs att

$$\text{produktionskostnad} = \text{kostnader} - \text{intäkter} \quad (\text{ekv14})$$

Kostnader innebär fasta och rörliga kostnader

$$\text{kostnader} = \text{fasta} + \text{rörliga} \quad (\text{ekv15})$$

De fasta kostnaderna bestod av kapitalkostnader, tömning av stort lager och försäkringskostnad. Detta beräknat i en årlig kostnad.

$$\text{fasta} = \text{kapitalkostnad} + \text{tömning} + \text{försäkring} \quad (\text{ekv16})$$

De rörliga kostnaderna bestod av elkostnad för användning av skruvavvattare och NEO-maskin med tillkommande utrustning. Även kostnad för fysiskt arbete och tillsyn av utrustning.

$$\text{rörliga} = \text{elkostnad} + \text{tillsyn} + \text{fysiskt arbete} \quad (\text{ekv17})$$

Intäkterna bestod av besparad värme från NEO-maskin, minskade koldioxidutsläpp och deras värde i utsläppsrätter och ersatt mängd mineralgödsel som kväveboostning innebar.

$$\text{intäkter} = \text{värme} + \text{utsläppsrätter} + \text{mineralgödsel} + \text{investeringbidrag} \quad (\text{ekv18})$$

På grund av beräkningsuppställningen kunde varje enskild intäkts påverkan på produktionskostnaden enkelt bestämmas. I resultatet ställdes kväveproduktionskostnaden upp enligt följande:

**a)** Ingen hänsyn till intäkt.

$$\text{produktionskostnad} = \text{kostnader} - 0 \quad (\text{ekv19})$$

Denna kväveproduktionskostnad tog inte hänsyn till någon intäkt utan enbart kostnaderna kopplade till kväveproduktionen. När intäkt från värmebesparning togs hänsyn till i produktionskostnaden gjordes detta enligt ekvation 20:

**b)** Kväveproduktionskostnad med värmebesparning

$$\text{produktionskostnad} = \text{kostnader} - \text{värme} \quad (\text{ekv20})$$

Därmed fås hur stor påverkan som värmebesparningen medför när den jämförs med produktionskostnaden utan intäkt. När nästa intäkt togs hänsyn till, vilket motsvarade intäkt från utsläppsrätter så innebar det att kväveproduktionskostnaden både inkluderade intäkt i form av värmebesparning samt intäkt i form av utsläppsrätter, därmed kunde,

delvis summan av båda intäkternas påverkan på produktionskostnad, men även intäkternas separata påverkan på produktionskostnaden bestämmas.

c) Kväveproduktionskostnad med intäkt från utsläppsrätter

$$\text{produktionskostnad} = \text{kostnader} - \text{värme} - \text{utsläppsintäkt} \quad (\text{ekv21})$$

Nästa intäkt byggde som sagt vidare på föregående produktionskostnadsberäkning och innefattar därmed både intäkt från värme samt utsläppsrätter. Vid fortsatt inkludering av nästa intäkt, vilket motsvarade intäkt från mineralgödselsättning följde samma resonemang, alltså att intäkten byggde vidare på föregående produktionskostnadsberäkning. Denna konstatering exemplifieras i ekvation 22.

d) Investeringsbidrag

Investeringsbidraget minskar kostnaden för investering och leder till en minskning av de fasta kostnaderna.

e) Mineralgödselsättning

$$\text{produktionskostnad} = \text{kostnader} - \text{värme} - \text{utsläppsintäkt} - \text{mineralgödsel} \quad (\text{ekv22})$$

Intäkten från ersatt mineralgödsel tog både hänsyn till vad som produceras i NEO och de besparade ammoniakförlusterna som boostningen innebär. Hur mycket som besparas beräknades enligt ekvation 23.

$$\text{intäkt mineralgödsel} = \text{mineralgödselpris} \cdot (\text{kväveproduktion} + \text{besparad ammoniak}) \quad (\text{ekv23})$$

Enheten för kväveproduktionskostnaden uttrycktes som €/kg-N, där N står för växttillgängligt kväve och innefattar både det nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), som NEO producerar, och ammoniak ( $\text{NH}_4^+$ ), som besparas på grund av kväveboostningen. De besparade ammoniakförlusterna som kväveboostningen medför är inkluderade i enheten genom att dividera kväveproduktionskostnaden med den fraktion som den besparade ammoniakförlusten tillför.

$$\text{Kväveproduktionskostnad} = \frac{\text{fasta} + \text{rörliga} - \text{intäkt}}{\text{kväveproduktion} + \text{besparad ammoniak}} \quad (\text{ekv24})$$

När kväveproduktionskostnaden bestämdes gjordes en känslighetsanalys på elpriset genom att använda spotpris från annat årtal för att undersöka hur produktionskostnaden påverkas av olika tidsperioder.

## 6.8 Miljöpåverkan

För att beräkna intäkt från ersatt mineralgödsel och utsläppsrätter behövde ammoniakförluster, metanförluster och lustgasförluster beräknas både för vanlig och boostad rötrest. Förluster baserades på källor använda från avsnitt 5.5.

### 6.8.1 Ammoniakförluster vid lagring

Från avsnitt 5.5.2 anges ammoniakförlust under lagring vid olika scenarier.

Tabell 10: Ammoniakförluster från olika källor

<b>Ammoniakförluster vid lagring</b>	<b>Värde</b>	<b>Källa</b>
Flytgödsel utan tak [%]	54	(Rodhe, 2019)
Flytande plastduktak [% reduktion]	84-87 för flytgödsel	(Karlsson 1996)
Flytande plastduktak [% reduktion]	87-91 för urin	(Karlsson 1996)
Tättslutande tak, ospecificerad [% reduktion]	90-95	(Eskilsson 2013)

Antagande 1: Baserat på Rodhe (2019) antas att utsläppen under lagring av icke-boostad rötrest på Lövsta motsvarar 54% men eftersom Lövsta har duktak på deras lagringsutrymmen antas att utsläppen reduceras med 90% (Tabell 10). Detta resulterar i en total ammoniakförlust på 5.4% under lagring.

Antagande 2: Från samma rapport av Rodhe (2019) var ammoniakförlusterna försumbart låga när rötresten surgjordes och detta utan täckning. Med täckning bör förlusterna vara ännu lägre, varför det antas inte ske några ammoniakförluster under lagring av boostad rötrest.

### 6.8.2 Ammoniakförlust vid spridning

Från avsnitt 5.5.3 anges ammoniakförluster vid spridning och presenteras i Tabell 11.

Tabell 11: Ammoniakförluster från två olika rapporter på surgjord och vanlig rötrest

<b>Ammoniakförluster vid spridning</b>	<b>Värde</b>	<b>Källa</b>
Spridning av vanlig rötrest på vall [%]	50	(Rodhe, 1996)
Spridning av surgjord rötrest på vall under sommar [% reduktion]	94	(Rodhe m.fl 2016)
Spridning av surgjord rötrest på vall under vår [% reduktion]	93	(Rodhe m.fl 2016)

Antagande 3: Ammoniakförlust vid spridning av icke-boostad rötrest beror på vilken gröda som rötresten sprids på. Eftersom ungefär 60% av den totala mängden rötrest från Lövsta sprids på vall är det sannolikt att den boostade rötresten, vilket förväntas utgöra en betydligt mindre andel än 60% av Lövstas totala rötrest, även den kommer spridas på Vall. Från Rodhe (1996) i avsnitt 5.5.3 förklarades att cirka 50% av ammoniumkväveinnehållet

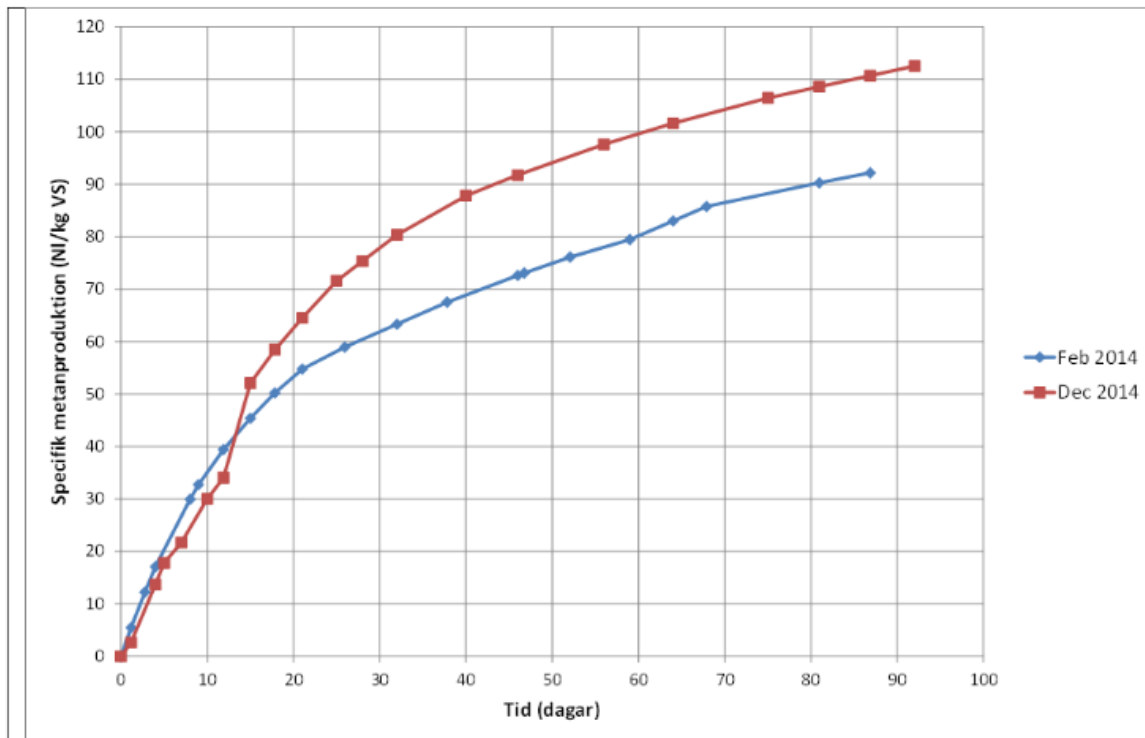
förlorades vid spridning på Vall. Det antas därför att 50% av ammoniumkvävet kommer förloras från vanlig rötrest (Tabell 11). Utsläppen sker på ammoniumkväveinnehållet efter att utsläpp redan skett från lagring.

Antagande 4: Ammoniäkförlust för kväveboostad rötrest vid spridning baseras på resultat från surjord rötrest från Rodhe (2016), då effekten som kväveboostad rötrest har på förlusterna är mycket snarlik den för sugjord rötrest. Undersökning för hur surgörning påverkar förluster vid spridning på Vall förklarades i avsnitt 5.5.3. Resultatet visade att förlusterna kan reduceras med 93% under vårspridning och 94% under sommarspridning (Rodhe m.fl 2016). Spridningen av rötrest sker under tidig sommar på Lövsta och reduktionen antas vara 94% av förlusterna (Tabell 11).

Av de totala ammoniakförlusterna kommer 1% hamna i förhållanden så att lustgas bildas som beskrivits i avsnitt 5.5.1 (IPCC 2019).

### 6.8.3 Metanförluster

Metanförlusterna baserades på studien beskriven i avsnitt 5.5.1. Metanförlusterna från studien beräknades på restmetanpotentialen hos rötresten och utsläppen mättes efter enstegsrötning och tvåstegsrötning som beskrivits i avsnitt 5.5.1. Utsläppen på Lövsta baserades på metanutsläpp efter enstegsrötning hos studien då Lövsta endast rötter i ett steg. Utsläppen motsvarar 32% av restmetanpotentialen och rapporten anger en restmetanpotential på  $74\text{Ndm}^3/\text{kg VS}$  hos rötresten. Vad restmetanpotentialen är på Lövsta baserades på uppgifter från RISE som mätte detta under 2014 och presenteras i Figur 4.



Figur 4: Restgaspotential på rötrest i Lövsta februari 2014 och december 2014 (RISE 2014)

Restmetanpotentialen under December 2014 efter cirka 91 dagar motsvarar cirka 111 Ndm<sup>3</sup>/kg VS och i februari efter cirka 89 dagar motsvaras den av cirka 91 Ndm<sup>3</sup>/kg VS. Sammansättningen på substratet år 2014 är inte likadan som den är idag. Figur B2 i bilaga visar innehållet 2014 medan Tabell B1 i bilaga visar sammansättningen på substratet 2022.

Antagande 5: Antagandet görs att restgaspotentialen på Lövsta motsvarar siffror från februari 2014. Sammansättning februari 2022 liknar sammansättning februari 2014 bättre än vad december 2022 liknar sammansättning under december 2014.

Hänsyn tas till att endast vätskefasen i rötresten kommer ge mindre metanutsläpp från kväve-

boostningen medan fiberfasen fortfarande kommer ge utsläpp då denna inte kväveboostas. För att bestämma hur stora utsläppen är för den icke-boostade rötrestens vätskefas måste information kring hur mycket av det organiska materialet som kommer kvarstå i vätskefasen efter skruvavvattnaren beräknas. Detta baserades på resultat från Möre biogasanläggning och kräver både information kring mängden torrsbstans och hur stor andel av torrsbstansen som är organiskt material. Beräkningsgång för resultat från skruvavvattnare presenterades i avsnitt 6.4.

Antagande 6: Metanförluster från boostad rötrest baserades på en livscykelanalys av plasmateknik på dansk mjölkproduktion beskriven i avsnitt 5.6.2. Inga metanförluster skedde från kväve-

boostningen i livscykelanalysen och därmed sätts metanförlusterna för boostning till noll även i denna rapport.

## 7 Resultat

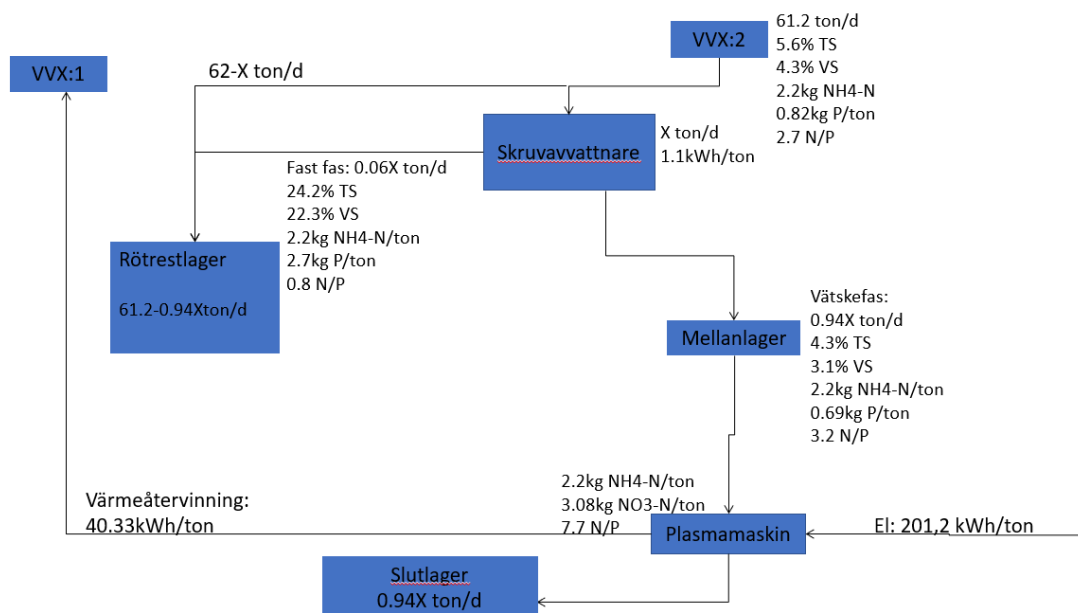
### 7.1 Mass- och Energibalans för plasmasystemet

Resultatet från rötrestens uppdelning efter skruvavvattaren presenteras i Tabell 12.

Tabell 12: Rötrestens uppdelning efter skruvavvattare

	Vätskefas	Fiberfas	Rötrest
VS [%]	3.07	22.32	4.30
TS [%]	4.32	24.24	5.60
Viktuppdelning [%]	93.6	6.4	100
NH <sub>4</sub> -N [kg/ton]	2.2	2.2	2.2

Med den givna mängden ammoniumkväve kan mängden tillsatt nitrat till vätskefasen beräknas och därmed elbehovet/ton vätskefas. Flödesschemat för det undersökta systemet som presenterades i avsnitt 6.1 (Figur 2) kan återigen ställas upp med värden ifyllda, presenterat i figur 5.



Figur 5: Flödesschema för undersökt system

Från värmeväxlare (VVX:2 i Figur 5) flödar rötrest genom skruvavvattaren. Mängden kan variera, men måste åtminstone motsvara mängden vätskefas som plasmamaskinen boostar så att det alltid finns vätskefas tillgängligt i mellanlagret (Mellanlager i Figur 5). Maximalt kan mängden rötrest genom skruvavvattaren motsvara mellanlagrets storlek. Produceras en större mängd vätskefas än detta kommer det inte gå att lagra all vätskefas. Därför sätts denna mängd som  $X$  eftersom det beror på hur mycket vätskefas som plasmamaskinen boostar.

Efter skruvavvattaren kommer rötresten fördelas i cirka 6% fast fas och cirka 94% vätskefas. Den fasta fasen lagras tillsammans med vanlig rötrest (Rötrestlager i Figur 5), medan vätskefasen lagras i mellanlagret. Det krävs 1.1kWh/ton rötrest för att driva skruvavvattaren. TS, VS och  $\text{NH}_4 - N$  är angivet för de olika faserna i Tabell 12 och i Figur 5. Från mellanlagret pumpas vätskefas in i plasmamaskinen som tillför 3.08kg nitrat/ton vätskefas ( $\text{NO}_3^- - N/\text{ton}$ ), vilket kräver 201.2kWh el/ton vätskefas. 40.33kWh/ton värme från plasmamaskinen kan besparas och återvinnas. Den boostade vätskefasen lagras i ett separat slutlager (Slutlager i Figur 5).

Värden är omräknade till per ton. Det görs enkelt då kväveproduktionshastigheten är känd samt är det också känt hur mycket kväve som tillsätts/ton rötrest.

## 7.2 Resultat från ammoniak, lustgas- och metanförluster

När ammoniumkvävemängd i vätskefasen är känd kan mängden kväve i boostad rötrest beräknas. Därefter kan ammoniakförluster från vanlig och boostad rötrest beräknas. Utifrån dessa förluster kan mängden ersatt mineralgödsel beräknas samt lustgasemissioner från vanlig och boostad rötrest. Utifrån TS-halten bestäms VS-halten och därmed metanförluster. Tabell 13 presenterar växttillgängligt kväve i vanlig rötrest och boostad rötrest, i vanlig rötrest finns enbart ammoniumkväve efter att ammoniakförluster har skett på ammoniumkväveinnehållet presenterat i Tabell 12. I boostad rötrest finns växttillgängligt kväve i form av både ammoniumkväve, där mindre förluster har skett gentemot vanlig rötrest på grund av surgörningens påverkan på förlusterna, och nitratkväve tillsatt från NEO. Detta ger hur mycket mer växttillgängligt kväve som finns i boostad rötrest gentemot vanlig rötrest och därmed hur mycket mineralgödsel som ett ton boostad rötrest kan ersätta. Mineralgödsets klimatpåverkan är angivet i avsnitt 5.8 och klimatpåverkan från att använda el för kväveboostning är också angivet i 5.8. Sedan presenteras emissioner i form av lustgas och metangas för både vanlig och boostad rötrest. Sist presenteras hur mycket boostad rötrest har kunnat reducera klimatbelastningen gentemot den vanliga rötrestens koldioxidutsläpp.



Tabell 13: Resultat på kväveinnehåll och klimatpåverkan

<b>Kväveinnehåll</b>	<b>Värde</b>
Växttillgängligt kväve till grödan från vanlig rötrest	1.04kg/ton
Växttillgängligt kväve till grödan från boostad rötrest	5.21kg/ton
Skillnaden i kvävetillförsel mellan boostad och vanlig	4.17 kg/ton rötrest
<b>Emissioner</b>	
Metanemissioner i vanlig rötrest	0.71 kg/ton
Lustgasemission från vanlig rötrest	0.0116 kg/ton
Metanemissioner från boostad rötrest	0 kg/ton
Lustgasemission från boostad rötrest	0.000695 kg/ton
<b>Reducerad klimatbelastning</b>	36.14 kgCO <sub>2</sub> /ton rötrest
Ersatt mineralgödsel	42.1%
Reducerad metanemission	48.9%
Reducerad lustgasemission	9.0%
Elanvändning klimatpåverkan	2.63 kgCO <sub>2</sub> /ton
Reducerad klimatbelastning inkl användning av el	33.72 kgCO <sub>2</sub> /ton

### 7.3 Kapitalkostnad

Tabell 14 visar investeringarna som behövs och deras avskrivningstid.

Tabell 14: Investeringar och deras avskrivningstid

	Investering [€]	Avskrivning [år]	Källa:
Lagringstank	12 376	15	Processöverskott.se och Edström, personligt meddelande
NEO-maskin	250 000	15	Nyvold, personligt meddelande
Skruvavvattnare	23 909	15	Edström, Personligt meddelande
Avlägsning av sediment	17 376	15	Exellentstyrd.se Edström, personligt meddelande
Försäkring	911		FAL

Kapitalkostnaden beräknas med hjälp av annuitetsmetoden som beskrivits i avsnitt 6.7.1 och med en ränta på 2.35% eftersom räntan bör vara något högre än obligationsränta på 10 år men lägre än obligationsränta på 30 år.

$$Kapitalkostnad = \frac{0.0235}{1 - (1 + 0.0235)^{-15}} \cdot 303661 \quad (\text{ekv25})$$

$$\text{Kapitalkostnad} = 303661 \cdot 0.0798 + 911 = 25167 \quad (\text{ekv26})$$

Kapitalkostnaden motsvarar alltså 25 167€/år.

Med bidrag från klimatklivet kan kapitalkostnaden minskas till 15 465€/år.

## 7.4 Rörliga kostnader

De rörliga kostnaderna består av elkostnad baserat på spotpriset enligt Figur 3. Frekvensen av spotpriset sjunker vid större prisintervall medan låga spotpriser uppkommer mer frekvent.

De rörliga kostnaderna består även av energiskatt, nätavgift, tillsyn av utrustning och fysiskt arbete som beskrivits i avsnitt 6.7.3. Med hänsyn till den välkända elektricitetsanvändningen för NEO och skruvavvattare enligt avsnitt 7.1, är det möjligt att härleda kostnaden per timme för energiskatt och nätavgift. Resultatet presenteras i Tabell 15.

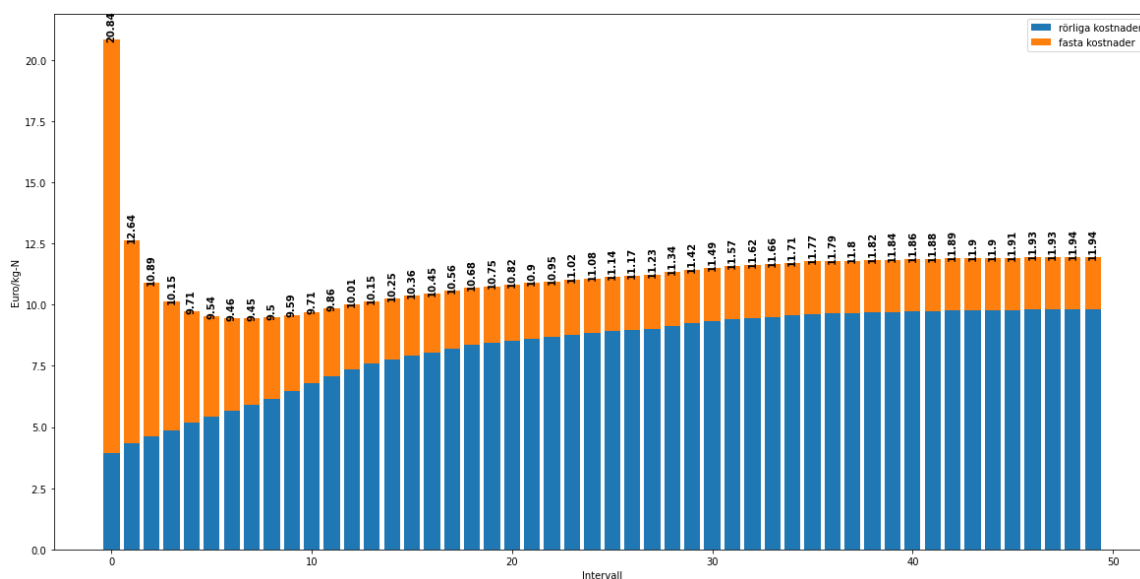
Tabell 15: Rörliga kostnader

Energiskatt	2.12€/h
Nätavgift	1.53€/h
Tillsyn av utrustning	0.4€/h
Fysiskt arbete	0.89€/h

De rörliga kostnaderna presenteras på timbasis på grund av att produktionskostnaden för växttillgängligt kväve presenteras per kilogram enligt avsnitt 7.5 - 7.9. Från Tabell 2 är det känt att kväveproduktionshastigheten för NEO är 1kgN/h vilket innebär att omvandling mellan kväveproduktionskostnad/kg och kväveproduktionskostnad/h är i förhållande 1:1. Följaktligen blir de rörliga kostnadernas individuella påverkan på produktionskostnaden mycket enkel att förstå.

## 7.5 Kväveproduktionskostnad utan hänsyn till intäkt

Figur 7 åskådliggör hur produktionskostnaden för 1kg växttillgängligt kväve varierar utifrån intervallgränserna på spotpriset (som presenterades i Figur 6). Y-axeln representerar kostnaden i euro där siffran ovan varje stapel representerar värdet på y-axeln. X-axeln representerar intervallen presenterade som intervall 1-50. Dessa motsvarar ett ökande timprisintervall och motsvarar de intervallgränser som presenterades i Figur 6.



Figur 6: Kväveproduktionskostnad/kg N utan någon intäkt inkluderad

Den lägsta kväveproduktionskostnaden kan avläsas till 9.45€/kg och sker efter 5242 timmar. Det innebär ett timpris upp till 0.126 €/h.

Tabell 16 visar utvalda intervall från Figur 6 med respektive antal drifttimmar, produktionskostnaden och prisintervall. Den fetmarkerade raden visar det billigaste intervallet.

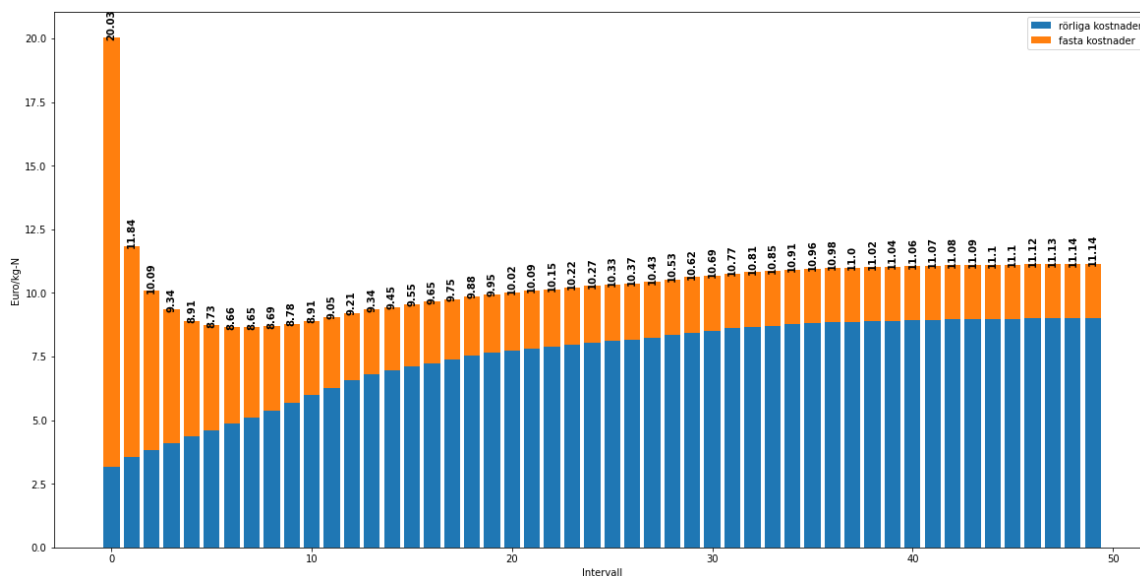
Tabell 16: Produktionskostnaden för kväve vid olika utvalda intervall från Figur 6

Intervall	Drifttimmar	Produktionskostnad [€/kg N]	Prisintervall [€/h]
1	1101	20.83	-0.003 - 0.014
2	2243	12.64	-0.003 - 0.03
3	2958	10.89	-0.003 - 0.046
4	3530	10.14	-0.003 - 0.0621
5	4098	9.71	-0.003 - 0.0781
6	4507	9.54	-0.003 - 0.0942
7	4908	9.46	-0.003 - 0.11
<b>8</b>	<b>5242</b>	<b>9.45</b>	<b>-0.003 - 0.126</b>
9	5567	9.50	-0.003 - 0.142
10	5957	9.59	-0.003 - 0.158
...	...	...	...
50	8760	11.94	-0.003 - 0.8

Från både Tabell och Figur blir det tydligt att produktionskostnaden sjunker fram till lägsta prisintervall och sedan ökar stadigt därefter.

## 7.6 Kväveproduktionskostnad med värmebesparing

I Figur 7 presenteras kväveproduktionskostnaden men med återvunnen värme som beräknades i avsnitt 6.6.1. Den återvunna värmen tillkommer som en konstant och beräknades till 14kWh/kgN med ett värmepris på 86.3 öre/kWh. Det resulterar i en konstant kostnadsbesparing på 1.088€/kgN



Figur 7: Kväveproduktionskostnad/kg N med intäkt från värmeåtervinning

Skillnaden mellan Figur 6 och 7 är att de rörliga kostnaderna har minskat till följd av värmebesparingen.

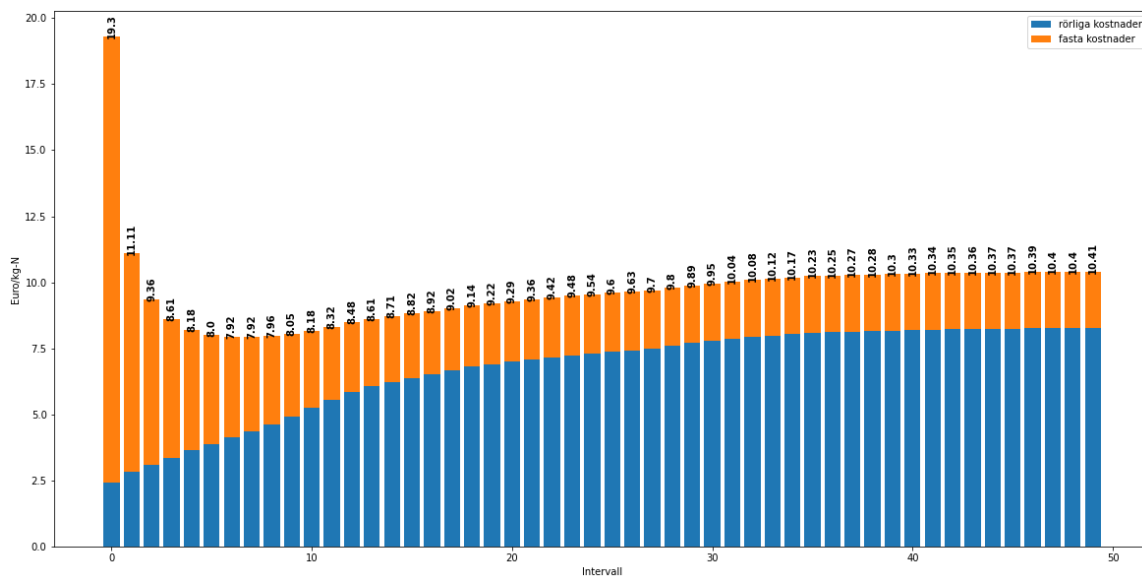
Tabell 17 redovisar utvalda intervall från Figur 7 med respektive antal drifttimmar, produktionskostnaden och prisintervall.

Tabell 17: Produktionskostnaden för kväve vid utvalda intervall från Figur 7

Intervall	Drifftimmar	Produktionskostnad [€/kg N]	Prisintervall [€/h]
1	1101	20.03	-0.003 - 0.014
2	2243	11.84	-0.003 - 0.03
3	2958	10.09	-0.003 - 0.046
4	3530	9.34	-0.003 - 0.0621
5	4098	8.91	-0.003 - 0.0781
6	4507	8.73	-0.003 - 0.0942
7	4908	8.66	-0.003 - 0.11
<b>8</b>	<b>5242</b>	<b>8.65</b>	<b>-0.003 - 0.126</b>
9	5567	8.69	-0.003 - 0.142
10	5957	8.78	-0.003 - 0.158
...	...	...	...
50	8760	11.14	-0.003 - 0.8

## 7.7 Kväveproduktionskostnad med intäkt från utsläppsrätter

Utöver värmebesparningen kan de minskade metan och lustgasutsläppen värderas i utsläppsrätter i form av minskade utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Priset för en utsläppsrätt varierar men den senaste datan (2023-04-18) gav ett pris på 90.55€/ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. När besparade CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/kg N är kända kan 1kg kväve värderas. Resultatet visar att cirka 1€/kg kväve besparas och sätts som en minskning av rörliga kostnader i Figur 8 tillsammans med minskningen av kväveproduktionskostnaden som värmebesparningen tillför.



Figur 8: Kväveproduktionskostnad/kg N med intäkt från värmeåtervinning och utsläppsrätter

Tabell 18 visar utvalda intervall från Figur 8 med respektive antal drifttimmar, produktionskostnaden och prisintervall.

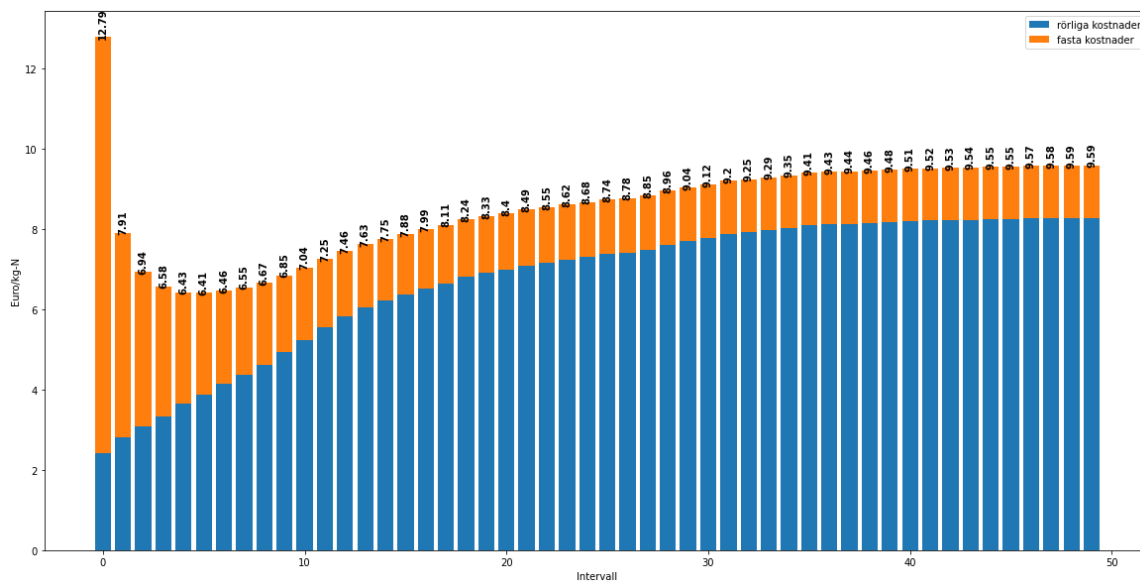
Tabell 18: Produktionskostnaden för kväve vid utvalda intervall

Intervall	Drifttimmar	Produktionskostnad [€/kg N]	Prisintervall [€/h]
1	1101	19.30	-0.003 - 0.014
2	2243	11.11	-0.003 - 0.03
3	2958	9.36	-0.003 - 0.046
4	3530	8.61	-0.003 - 0.0621
5	4098	8.18	-0.003 - 0.0781
6	4507	8.00	-0.003 - 0.0942
7	4908	7.92	-0.003 - 0.11
<b>8</b>	<b>5242</b>	<b>7.91</b>	<b>-0.003 - 0.126</b>
9	5567	7.96	-0.003 - 0.142
10	5957	8.05	-0.003 - 0.158
...	...	...	...
50	8760	10.41	-0.003 - 0.8

## 7.8 Kväveproduktionskostnad med investeringsbidrag

Klimatklivet reducerar kostnad för investering och därmed också kapitalkostnaden. Detta kan utläsas i Figur 9 då den orangea stapeln minskar, Figur 9 inkluderar alltså intäkt från

värmebesparing, utsläppsrätter och investeringsbidrag.



Figur 9: Kväveproduktionskostnad/kg N med intäkt från värmeåtervinning, utsläppsrätter och investeringsbidrag

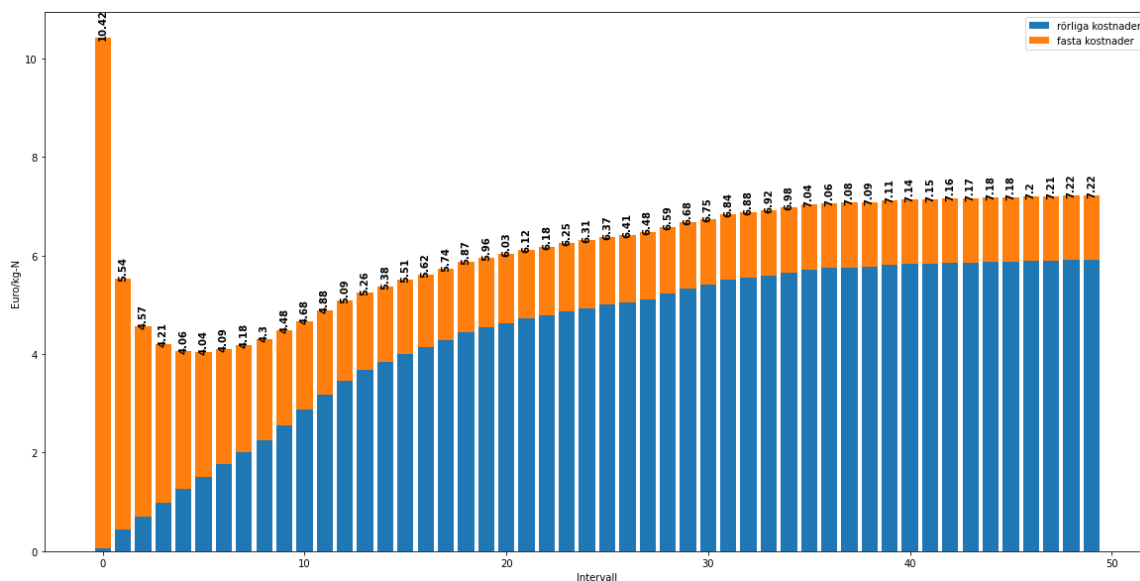
Tabell 19 visar utvalda intervall från Figur 9 med respektive antal drifttimmar, produktionskostnad och prisintervall.

Tabell 19: Produktionskostnaden för kväve vid utvalda intervall från Figur 9

Intervall	Drifttimmar	Produktionskostnad [€/kg N]	Prisintervall [€/h]
1	1101	12.79	-0.003 - 0.014
2	2243	7.91	-0.003 - 0.03
3	2958	6.93	-0.003 - 0.046
4	3530	6.58	-0.003 - 0.0621
5	4098	6.43	-0.003 - 0.0781
<b>6</b>	<b>4507</b>	<b>6.41</b>	<b>-0.003 - 0.0942</b>
7	4908	6.46	-0.003 - 0.11
8	5242	6.55	-0.003 - 0.126
9	5567	6.67	-0.003 - 0.142
10	5957	6.85	-0.003 - 0.158
...	...	...	...
50	8760	9.59	-0.003 - 0.8

## 7.9 Kväveproduktionskostnad med intäkt från ersatt mineralgödsel

I Figur 10 inkluderas även intäkten för ersatt mineralgödsel. Mineralgödsets pris och kvävehalt är känt från Lövsta och presenterades i tabell 8 och 9, mängden kväve tillförd grödan från boostad gentemot vanlig rötrest är beräknad och presenterades i tabell 13. Ersättningen/kg växttillgängligt kväve blir därmed:



Figur 10: Kväveproduktionskostnad/kg N med intäkt från värmeåtervinning, utsläppsrätter, investeringsbidrag och ersatt mineralgödsel

Tabell 20 visar utvalda intervall från Figur 10 med respektive antal drifttimmar, produktionskostnaden och prisintervall.

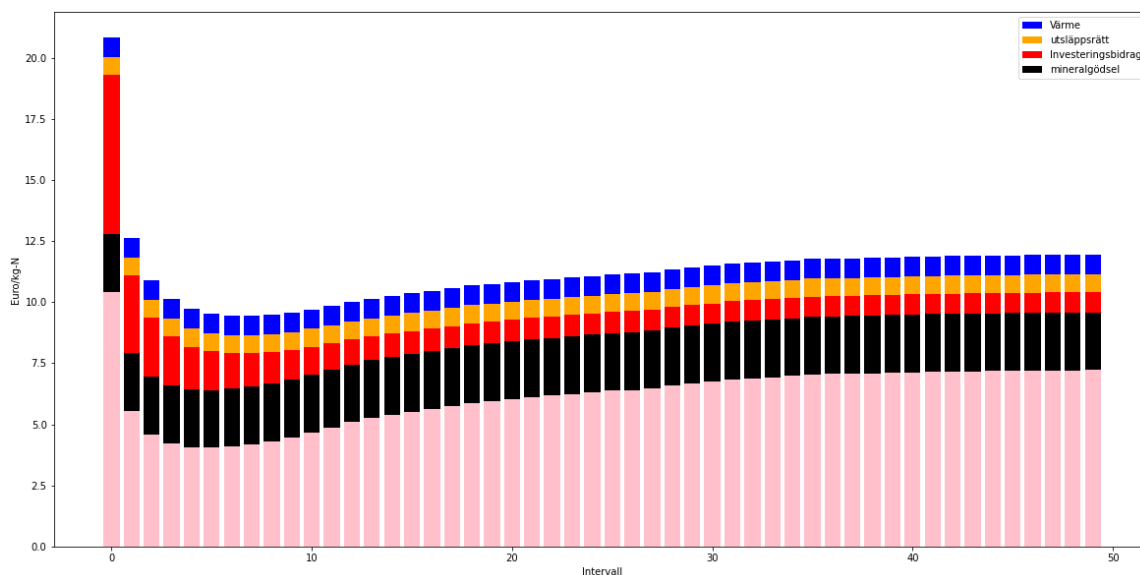


Tabell 20: Produktionskostnaden för kväve vid utvalda intervall

Intervall	Drifttimmar	Produktionskostnad [€/kg N]	Prisintervall [€/h]
1	1101	10.42	-0.003 - 0.014
2	2243	5.54	-0.003 - 0.03
3	2958	4.57	-0.003 - 0.046
4	3530	4.21	-0.003 - 0.0621
5	4098	4.06	-0.003 - 0.0781
<b>6</b>	<b>4507</b>	<b>4.04</b>	<b>-0.003 - 0.0942</b>
7	4908	4.09	-0.003 - 0.11
8	5242	4.18	-0.003 - 0.126
9	5567	4.30	-0.003 - 0.142
10	5957	4.48	-0.003 - 0.158
...	...	...	...
50	8760	7.22	-0.003 - 0.8

## 7.10 Förtydligande avseende intäkternas påverkan

Figur 12 presenterar varje intäkts påverkan av produktionskostnaden. Ingen intäkt motsvarar alla färger; värmebesparing motsvarar den blå stapeln; utsläppsrätter motsvarar den gula; investeringsbidrag den röda samt motsvarar mineralgödselersättning den svarta.



Figur 11: Kväveproduktionskostnad/kg N med intäkternas påverkan på produktionskostnaden i olika färger

Utifrån Figur 11 har ersatt mineralgödsel störst påverkan på kväveproduktionskostnaden.

Investeringsbidraget minskar produktionskostnaden mycket under få drifttimmar men minskar med antalet drifttimmar. Värme, utsläppsrätter och mineralgödsel är konstant över alla timmar. Tabell 21 presenterar intäkternas påverkan på produktionskostnaden under den billigaste produktionskostnaden (4.04€/kgN vid 4507 drifttimmar). Vad som bör noteras är att produktionskostnaden beräknas som kostnader – intäkter, så för att investering i plasmamaskin ska vara lönsamt måste produktionskostnaden bli negativ om ersatt mineralgödsel har tagits hänsyn till som en intäkt. Vill produktionskostnaden jämföras mot mineralgödselpriset går det att göra genom att inte ta hänsyn till intäkten ersatt mineralgödsel, detta kan vara till fördel då kvävepriset är något som, precis som elpriset, varierar väldigt mycket beroende på exempelvis råvarupriser samt utbud och efterfrågan, detta analyseras mer i avsnitt 9.3.

Tabell 21: Procentuell del av intäkt

<b>Intäkt</b>	<b>Andel av minskning</b>
Värmeåtervinning	14.6%
Utsläppsrätter	13.3%
Investeringsbidrag	29.0%
Mineralgödsersättning	43.1%

## 7.11 Förtydligande avseende kostnadernas påverkan

Av de totala kostnaderna under den billigaste produktionskostnaden stod de fasta kostnaderna för 43.2%, medan de rörliga kostnaderna stod för 56.8%. Bland de fasta kostnaderna hade investering i NEO-maskin störst påverkan på priset, medan det för rörliga kostnaderna var elpriset, följt av energiskatt. Tabell 22 presenterar hur stor påverkan som de olika kostnaderna hade på produktionskostnaden under den billigaste produktionen (4.04€/kgN vid 4507 drifttimmar).

Tabell 22: Procentuell del av kostnad under billigaste produktionskostnaden

<b>Fasta kostnader</b>	<b>Rörliga kostnader</b>
NEO-maskin (66.2%)	El (32.6%)
Mellanlager (3.3%)	Fysiskt arbete (12.1%)
Skruvavvattnare (6.3%)	Tillsyn av utrustning (5.5%)
Rengöring av stort lager (4.6%)	Energiskatt (28.9%)
Försäkring och ränta (19.6%)	Nätavgift (20.9%)
<b>Totalt (43.2%)</b>	<b>Totalt (56.8%)</b>

I tabell 23 redovisas även de rörliga och fasta kostnadernas påverkan vid 5252 drifttimmar, vilket motsvarar den billigaste produktionskostnaden när inga intäkter tas hänsyn till. De fasta kostnadernas påverkan minskar till 37.5% och de rörliga ökar till 62.5% av

totala kostnader. Fler drifttimmar innebär ett högre snittpris på el samtidigt som de fasta kostnadernas påverkan/driftime minskar med fler drifttimmar.

Tabell 23: Procentuell del av kostnad under billigaste produktionskostnaden utan hänsyn till intäkter

<b>Fasta kostnader</b>	<b>Rörliga kostnader</b>
NEO-maskin (66.2%)	El (38.3%)
Mellanlager (3.3%)	Fysiskt arbete (11.1%)
Skruvavvattnare (6.3%)	Tillsyn av utrustning (5.0%)
Rengöring av stort lager (4.6%)	Energiskatt (26.5%)
Försäkring och ränta (19.6%)	Nätavgift (19.1%)
<b>Totalt (37.5%)</b>	<b>Totalt (62.5%)</b>

Snittpriset på el vid 4507 drifttimmar motsvarar 0.0366€/h och vid 5242 drifttimmar 0.0468€/h. På grund av elpriset's höga variation och höga påverkan på produktionskostnaden görs en känslighetsanalys på elpriset.

## 8 Känslighetsanalys

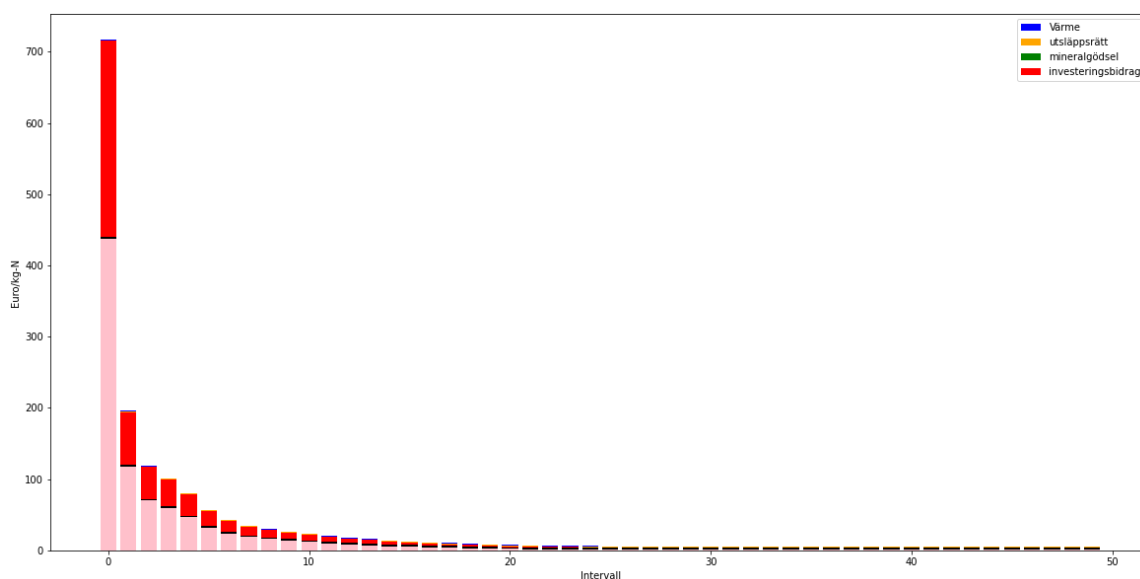
Varje timme under det undersökta tidsintervallet (Mars 2022 - Mars 2023) motsvaras av en procentuell andel av ursprungspriset. Den nya lägsta produktionskostnaden beräknas tillsammans med antalet drifttimmar det motsvarar samt hur stor reduktionen blir jämfört med ursprungspriset på kväveproduktionen. Utöver reduktion av elpriset reduceras även energiskatten i enlighet med återbetalning på energiskatten från skatteverket. Lövsta har angivit en energiskatt på 36 öre/kWh eller 0.0324€/kWh som angivits i avsnitt 6.7.3 och skulle kunna minska sin energiskatt om de ansökte om återbetalning enligt priser angivna i avsnitt 5.7. Energiskatten sätts därför till 0.6 öre/kWh. Resultatet presenteras i Tabell 24.

Tabell 24: Känslighetsanalys på elpris

Elpris [% reduktion]	Snittpris spot [€/kWh]	Lägsta produktionskostnad [€/kgN]	Antal drifttimmar	Reduktion av kostnad[%]
30	0.09	1.95	4908	52
40	0.077	1.74	4908	57
50	0.064	1.51	5567	63
60	0.051	1.25	5957	69
70	0.038	0.94	6696	77
80	0.026	0.56	7433	86

Med en 30% reduktion av elpriset tillsammans med en energiskatt på 0.6 öre/kWh istället för 36 öre/kWh minskar produktionskostnaden till 1.95€/kgN. Det motsvarar en minskning med 52% jämfört med ursprungspriset. Det ökar även antalet drifttimmar som lägsta produktionskostnaden motsvarar från 4507 till 4908.

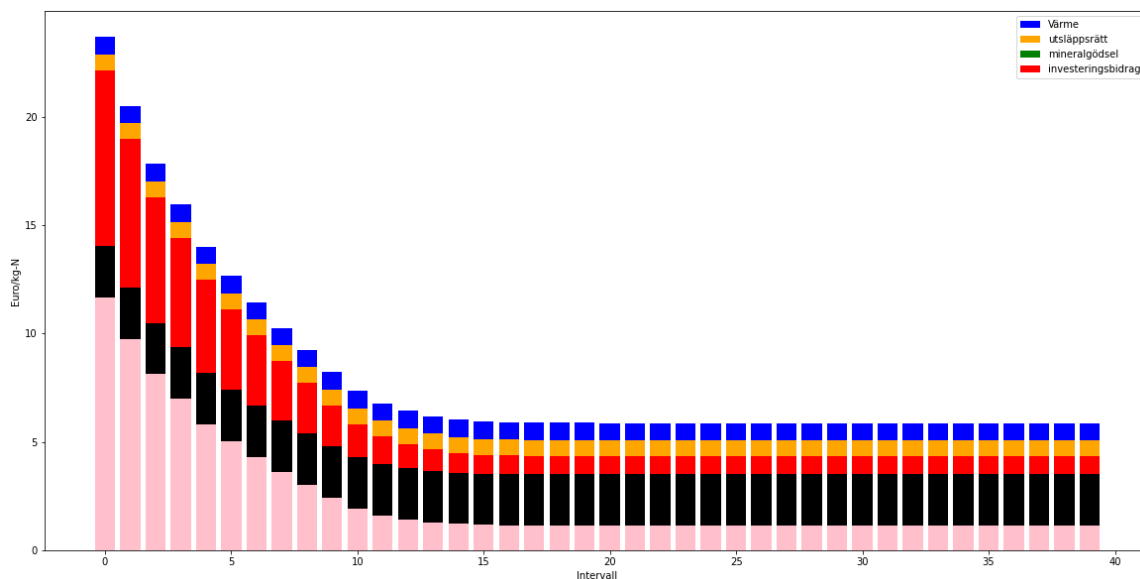
En undersökning av produktionskostnaden för kväve under perioden mars 2019 till mars 2020 presenteras i Figur 12. Eftersom kväveproduktionskostnaden är starkt påverkad av elpriset, har ett nytt tidsintervall för elpriset testats för att undersöka eventuella skillnader mellan olika år. Under den analyserade tidsperioden har medelpriset på el varit 0.034 euro per kilowattimme (kWh), och för detta prisintervall har en energiskatt om 0.6 öre per kWh använts.



Figur 12: Produktionskostnad för kväve

Figur 12 visar produktionskostnaden för kväve under perioden 2019 till 2020, med en notabel skillnad i fördelningen av timmar jämfört med timpriserna mellan 2022-2023. Särskilt i de låga timprisintervallen finns det väldigt få timmar, vilket resulterar i mycket höga produktionskostnader under dessa perioder. Denna situation uppstår på grund av att de fasta kostnaderna inte fördelas på många timmar, vilket leder till en mycket hög kapitalkostnad per kgN.

För att förbättra läsbarheten och förståelsen av produktionskostnadens fördelning, presenteras Figur 13 där Figur 12 återspeglas, men med de första 10 intervallgränserna exkluderade. Detta tillvägagångssätt ger en mer balanserad och representativ bild av kostnadsfördelningen över tidsperioden, vilket kan underlätta analysen av resultaten.



Figur 13: Produktionskostnad för kväve

Produktionskostnaden minskar mycket under de första intervallgränserna för att sedan plana av och fortsättningsvis hålla sig någorlunda konstant. Tabell 25 visar utvalda intervall med produktionskostnad, antal drifttimmar och prisintervallet som det motsvarar.

Tabell 25: Produktionskostnaden för kväve vid utvalda intervall

Intervall	Drifttimmar	Produktionskostnad [€/kg N]	Prisintervall [€/h]
1	776	438	-0.000287 - 0.00155
...	...	...	...
20	3780	2.42	0.033-0.0347
21	4730	1.92	0.0347 - 0.0365
22	5646	1.61	0.0365 - 0.382
23	6474	1.41	0.0382 - 0.04
24	7236	1.29	0.04 - 0.417
25	7829	1.21	0.0417 - 0.0435
...	...	...	...
<b>35</b>	<b>8729</b>	<b>1.13</b>	<b>0.0592 - 0.0609</b>
...	...	...	...
50	8760	1.13	0.0854 - 0.0871

Den lägsta produktionskostnaden blir 1.13€/kgN och sker vid 8729 drifttimmar, men skillnaden i produktionskostnad är minimal fram till sista intervallgräns. Mellan intervallgräns 30-50 ligger produktionskostnaden på 1.13€/kgN där skillnaden är på tusendelar, det är tydligt när man kollar på Figur 13 att skillnaden är mycket liten.

Som förklarat i avsnitt 6.1 kan Lövsta välja att investera i en ny värmeväxlare efter VVX:2 (se Figur 1), som förvärmer flytgödsel som rötas för att nå en högre värmeåtervinning från plasmaenheten. Kylvattnet bör då kunna sänkas till 35° C istället för 45° C, vilket ökar värmebesparningen från 14 till 23.5kWh. Detta ger en minskad produktionskostnad på cirka 0.73€/kgN. Detta medför i så fall en lägsta produktionskostnaden, med 2019-2020 års elpris hamnar på cirka 0.4€/kgN.

## 9 Resultatdiskussion

### 9.1 Analys av resultat

Det övergripande syftet med det aktuella studieprojektet har varit att beräkna lägsta produktionskostnad för kvävet som funktion av elprisets variation och kvantifiera potentiella miljöfördelar som konceptet bedöms kunna resultera i. Lövsta biogasanläggning har använts som exempel för att studera potentiella vinster av installation av en NEO-maskin från N2-Applied, som ”kväveboostarbiogödsel. För de ekonomiska uträkningarna fann vi att den lägsta produktionskostnaden med senaste elprisdatan för Lövsta sker vid 4507 drifttimmar och motsvarar 4.04€/kgN. Detta inkluderar intäkter i form av undvikt kostnad för inköp av mineralgödsel, återvinna värme från NEO-maskin, minskade utsläpp av lustgas och metan och värdet i utsläppsrätter samt bidrag på investering från klimatklivet. Om produktion från plasmamaskinen ska vara lönsam måste intäkterna vara större än kostnaderna och resultera i en negativ produktionskostnad. Vill kväveproduktionspriset jämföras mot mineralgödselpriset inkluderas inte intäkten ersatt mineralgödsel. Då kan kväveproduktionskostnaden på 6.41€/kgN jämföras mot kostnaden för mineralgödsel som Lövsta betalar på 2.36€/kg N. Kostnaden för att producera kväve med plasmateknik är cirka 2.7 gånger högre jämfört med det priset på mineralgödsel som använts. 4507 drifttimmar innebär att NEO boostar 1463 ton vätskefas, vilket motsvarar 6.3 viktprocent av totala mängden rötrest som produceras på Lövsta varje år. Detta gör att Lövsta behöver köpa ungefär 15st NEO-maskiner för att kunna boosta all rötrest på Lövsta. För resultatet valdes 50 intervallgränser för elpriset, vilket ger en noggrann prisuppskattning utifrån uppskattade kostnader och intäkter. Vid en känslighetsanalys, där elpris motsvarade 2019-2020 års siffror, en energiskatt som i enlighet med skatteverket kan reduceras för jordbruksverksamhet, kunde produktionskostnaden minskas till 1.13€/kgN som motsvarade 8729 drifttimmar. Skulle värmeåtervinning enligt alternativ 2 i avsnitt 6.1 väljas skulle kostnaden kunna reduceras till cirka 0.4€/kgN.

Gällande potentiella klimatvinster finns indikationer på besparing av 33.72 kgCO<sub>2</sub>/ton rötrest där reducerad lustgasemission står för cirka 9%, reducerad metanemission 48.9% och ersatt mineralgödsel 42.1%.

Även om, beräkningsmodellen har bedömts vara rimlig utifrån studieprojektets frågeställningar, har flera antaganden behövts göras för att uppskatta produktionspris. Därför kan denna enskilda studie inte enbart utgöra ett underlag för om en investering i

N<sub>2</sub>-Applied teknik är lönsam eller ej. Det kan dock visa en riktning av olika faktorer som behöver beaktas och diskuteras. Det bör också noteras att annan beräkningsmetodik är möjlig, exempelvis beräkning av totala intäkter och kostnader istället för kostnad/kgN. Resultatet som presenteras är endast en uppskattning på hur kväveproduktionspriset blir. Resultatet bör därför ses som en uppskattning av produktionskostnad, antal drifttimmar och minskning av klimatavtryck med plasmateknik. Resultatet är en uppskattning som varierar beroende på flera parametrar som exempelvis värmepris, elpris, mineralgödselpris, ammoniumkväveinnehåll i vanlig rötrest, vilket beror på substratinnehållet som i sig varierar. Utsläpp av metan, lustgas och ammoniak är också baserade på tidigare studier och beror på många parametrar som beskrivits i avsnitt 5.5 och 5.6. Därför kan också dessa skilja sig från reella data/förutsättningar. Annat resultat, som både kan ge högre och lägre produktionskostnad kan därför motiveras.

## 9.2 Fasta kostnader

De fasta kostnaderna bestod av NEO-maskin, skruvavvattare, kostnad för inköp av mellanlager, kostnad för avlägsning av sediment från stort lager samt försäkringskostnad. Kostnad för avlägsning av sediment, mellanlager samt försäkringskostnad är uppskattade och är inte specifika för Lövsta. De har därför större potential till att skilja sig från beräknat värde om en installation görs. Av dessa har kostnad för rengöring av stort lager störst osäkerhet då kostnaden är baserad på uppskattad tid för rengöring och uppskattad arbetskostnad. Vad Lövsta betalar för arbetare skiljer sig från studiens uppskattning och tid för rengöring av lagringsutrymme beror på effektivitet i arbete samt hur mycket slam som behöver rensas. Det medför således en osäkerhet i studiens uppskattade kostnad och den kan därför vara både högre och lägre. Kostnad för mellanlager och försäkring är baserade på tidigare studier och är därför också osäkra, men antas inte kunna variera i lika stor utsträckning som avlägsning av sediment.

## 9.3 Intäkter

Pris för utsläppsrätt, värmebehov och mineralgödsel är priser som varierar beroende på marknaden. Pris för värme fluktuerar med avseende på utbud och efterfrågan. Under sommarhalvåret när uppvärmningsbehovet är lägre blir värmepriset billigare och under vintern dyrare. Detta har inte aktuell studie tagit hänsyn till vid intäkt från värmebesparning, men bör i fortsatta undersökningar beaktas.

Även pris för en utsläppsrätt beror på utbud och efterfrågan, samt kan den ekonomiska situationen såsom ekonomisk tillväxt, industriell produktion och energiförbrukning påverka priset på utsläppsrätter. Utsläppsrätter handlas ofta på sekundära marknader, där spekulation och handelsaktiviteter kan påverka priserna. Faktorer som marknadens förväntningar och handelsvolym kan därtill påverka priset. Mellan 9 Jan - 18 april 2023 har priset fluktuerat mellan 75 - 95 €/ton CO<sub>2</sub> (EEX 2023).

Mineralgödselpriset har liksom elpriset varierat mycket sensaste åren. Mineralgödselpriset

påverkas av priset på råvaror som används för att producera kvävegödsel, som ammoniak eller urea. Om råvarupriserna ökar kan det leda till högre kostnad för produktion av kvävegödsel. Utbud och efterfrågan påverkar även mineralgödselpriset. Priset varierar även säsongsvist, vid odlingsår med intensiv jordbruksverksamhet och därmed hög efterfrågan kan öka priset för mineralgödsel. Energipriser påverkar också kostnaderna för transport och produktion, det vill säga stiger energipriserna stiger priset för mineralgödsel. Väljer Lövsta

### **9.3.1 Allokering av klimatpåverkan till mjölkproduktion**

Det är inte helt klart om Lövsta gård faktiskt kan vara involverat i handel med utsläppsrätter. Om detta inte är möjligt skulle klimatpåverkan inte spela en avgörande roll i kostnadskalkylen. Istället kan de minskade koldioxidutsläppen kopplas till Lövsta gårds mjölkproduktion. Detta beror på att Arla, förutom det vanliga mjölkpriset, erbjuder en extra ersättning om koldioxidpåverkan från mjölkproduktionen kan minskas. Därför har de minskade koldioxidutsläppen som plasmamaskinen genererar allokerats till förmån för Lövsta gård och dess mjölkproduktion. Mer detaljer om denna allokeringprocess finns i Bilaga A.

## **9.4 Rörliga kostnader**

### **9.4.1 Elpriset**

En betydande anledning till den höga kostnaden för kväveproduktion med plasma är elpriset. För det undersökta tidsintervallet (mars 2022 - mars 2023) har snittpriset på el varit 0.127€/kWh eller 1.42kr/kWh. Jämfört med snittpriset för 2019 som var 0.405kr/kWh eller 2020 som var 0.221kr/kWh (Energimyndigheten, 2023). Snittpriset på el mars 2022 - mars 2023 är därför att betrakta som mycket högt. Anledningen till det ökade elpriset är många, exempelvis nedläggning av kärnkraftverk. Det pågår också en elektrifiering som i samhället ökar efterfrågan på el, parallellt som utbyggnaden av nya elproducenter inte ökar i lika stor takt. Det är även en obalans mellan produktion och konsumtion. Då elproduktionen är hög i norra Sverige samtidigt som populationen är högst i södra och mellersta Sverige. Det medför att elpriset vanligtvis är lägre i norra Sverige än i södra och mellersta Sverige. En av de största anledningarna till varför elpriset är mycket högre under den tid som datan beräknades relaterar till Rysslands invasion av Ukraina. I samband med kriget har Ryssland strypt exporten av naturgas till många Västeuropeiska länder, som använde naturgasen till sin elproduktion. Då Sveriges elnät är sammankopplat med många Västeuropeiska länder påverkas också Sverige negativt av detta, med konsekvens av förhöjda prisnivåer på el (Vattenfall 2022).

### **9.4.2 NEO-maskin**

För att driva NEO-maskinen har rapporten använt en effekt på 50kW och en produktionshastighet på 1kgN/h. NEO har möjlighet att variera sitt effektlöde, där en vanlig effekt är



40kW med en produktionshastighet på 0.8kgN/h. En effekt på 50 valdes för att en högre produktionshastighet boostar mer rötrest på samma antalet timmar. Det simplifierar även omvandling mellan timmar kväveboostning med mängd producerad kväve och kan därmed anses mer förståeligt och pedagogiskt att använda. NEO utvecklas ständigt av N2-Applied och målet är att nå ännu bättre effektiviteter.

### 9.4.3 Skruvavvattnare

Resultat från skruvavvattnare är baserad på resultat från Möre biogasanläggning, det vill säga substratsammansättningen är inte specifik för Lövsta. Fördelningen på TS,VS och NH<sub>4</sub> för fiberfas och vätskefas ger inte samma resultat vid varje användning. Vid vidare studier bör Lövsta använda (dvs producera) egna data för mer tillförlitliga resultat.

## 9.5 Förluster av metan,lustgas och ammoniak

Ammoniakförlusterna är baserade på resultat från tidigare studier (beskrivet i avsnitt 5.5.2 och 5.5.3) och förhållanden som substratsammansättning, fuktighet och temperatur i mark, väderförhållanden och när på året som spridning sker är faktorer som påverkar hur stora utsläppen blir. Dessa faktorer kommer skilja sig för Lövsta gentemot vad tidigare studier har visat, varför ammoniakförluster endast är en uppskattning. Lustgasutsläpp är baserade på ammoniakförluster och beror på samma faktorer. En rekommendation är därför att Lövsta vid fortsatt installation av NEO-maskin bör undersöka den egna rötrestens ammoniakförluster med fältförsök för att få mer korrekta resultat.

Metanutsläppen är också baserade på tidigare studier (beskrivet i avsnitt 5.5.1) och metanutsläpp vid lagring beror på flera faktorer som substratsammansättning, temperatur i lagringsutrymme, hur lagringsutrymmet täcks och pH-värde i lagret. Precis som för ammoniakförluster kommer dessa förhållanden skilja sig för Lövsta gentemot studien som användes. I studien bestod rötresten av 90% flytgödsel och 10% djupströgödsel, vilken är jämförbart med Lövstas sammansättning som har 86% flytgödsel och 14% djupströgödsel (Bilaga; Tabell B1). Studien använde en uppehållstid på 24 dygn i röt-kammaren medan Lövsta har en uppehållstid på 63 dygn. Det skulle kunna innebära en lägre restgaspotential och därmed lägre metanutsläpp under lagring för Lövsta. Restgaspotentialen som presenterades i Figur 4 är resultat från substratsammansättningen på Lövsta 2014 och idag ser substratsammansättningen annorlunda ut (jämför Tabell B1 och Figur B2 i bilaga). Detta påverkar också tillförlitligheten i metanförluster. För att få mer trovärdiga resultat på metanförluster bör Lövsta utföra egna laborietester eller fältmätningar på metanförluster för att direkt kvantifiera metanemissioner från deras rötrest.

## 9.6 Potentiella fördelar med NEO som inte tagits hänsyn till

Av systemet som undersökts finns andra fördelar med NEO, som inte tagits hänsyn till i aktuellt studieprojekt. Idag bygger försörjningen av mineralgödsel till svenskt lantbruk

på import, då Sverige saknar egen produktion. Det finns i regel inga reservlager av mineralgödsel vare sig centralt eller hos enskilda lantbrukare. En strypning av denna import, om så bara för en växtsäsong, skulle innebära stora produktionsförluster. Klimatkrisen, Corona-pandemin och kriget i Ukraina har belyst denna sårbarhet i svensk livsmedelsförsörjning (Ahlgren 2023). En fördel med att installera en NEO-maskin är därför att det minskar beroendet av importerad mineralgödsel och ökar Sveriges självförsörjandegrad.

Behovet av att transportera mineralgödsel försvinner som en följd av installation av NEO-maskin. Transporten är både en kostnad och ger också klimatutsläpp. Med kväveboostad rötrest behöver endast rötresten spridas och inte mineralgödsel. Det minskar tiden för spridning av viktig näring på åkern och är både en tidsbesparing samtidigt som den ger minskat klimatavtryck genom att minska användandet av åkermaskiner. Att använda en NEO-maskin kan vara ett alternativ istället för att investera i gastätt tak till rötrestlager, eftersom utsläppen reduceras drastiskt.

Slam från rötammare är illaluktande på grund av produktion av flyktiga svavelföreningar från mikrobiell aktivitet, Behandling av slurryn med tekniken från N2 Applied kombinerar minskningen av viss mikrobiell aktivitet i slurryn med ammoniakreducerande effekten av försurning. Detta innebär att slammet nästan inte luktar och att dess omgivning inte utsätts för illaluktande lukt. Detta ger i sin tur högre flexibilitet för lantbrukaren att sprida flytgödseln vid idealiska tidpunkter för skörden, utan att behöva oroa sig för grannar, helgdagar eller vindriktning (N2-applied 2023).

Lövsta producerar mjölk från deras gård och Arla har lanserat en hållbarhetsstrategi som kan ge ersättning på mjölkpriset om koldioxidutsläpp kan reduceras från mjölkproduktionen. Genom att allokera de reducerade koldioxidutsläppen som NEO medför till Lövstas mjölkproduktion finns det därför en potentiell intäkt genom Arlas hållbarhetsstrategi. I Bilaga A har de reducerade koldioxidutsläppen allokerats till Lövstas mjölkproduktion som kan användas som underlag om Lövsta har i syfte att undersöka en installation av NEO fortsättningsvis.

En stor fördel med NEO är dess utnyttjande som buffert, väljer Lövsta att investera i lokal produktion av el kan all den produktionen användas för kväveproduktion och låta NEO vara mindre beroende av fluktuerande elpriser.

## 10 Slutsats

Under ramen för studieprojektets förutsättningar och antaganden i beräkningar, indikeras att lägsta produktionskostnad för kvävegödsel blir 4.04€/kgN producerad med det studerade priset på el (Mars 2022 - Mars 2023). Detta motsvarar en produktionsmängd på 4507kg kväve i nitrat eftersom produktionshastigheten är satt till 1kgN/h för NEO. Detta motsvarar att cirka 1463 ton rötrest kan kväveboostas. Vid andra studerade prisintervall tillsammans med lägre energiskatt kan produktionskostnaden minskas.

Ammoniakbesparningen motsvarar cirka 1.09kgNH<sub>3</sub>/ton rötrest på grund av minskade förluster som kväveboostningen tillför. Klimatavtrycket minskar med 33.72kgCO<sub>2</sub>/ton rötrest. Elpriset är den största variabeln som påverkar produktionskostnaden.

Mot bakgrund av att flera antaganden har gjorts som grund för beräkningar i det aktuella studieprojektet, finns dock en osäkerhet i resultatet och det bör därför betraktas som ett diskussionsunderlag och inte enskilt utgöra ett beslutande underlag till om en NEO-maskin ska installeras på Lövsta eller inte. Resultatet utgör ett alternativ på hur produktionskostnad blir med en NEO-maskin och kan också användas som en jämförelse relativt mot andra fortsatta studier vid installation av NEO-maskin.

Slutsats utifrån studieprojektets avgränsning är att NEO är dyrare än att använda mineralgödsel. N2-Applied jobbar dock hårt med att öka effektiviteten på dess plasmamaskin för att en högre kväveproduktion till en lägre elanvändning. Potentialen för NEO är god och med fortsatt forskning på NEO samt andra förhållanden än detta studieprojekt finns goda chanser till att NEO utkonkurrerar inköpt mineralgödselkväve.

## 11 Referenser

- Agriwise (2009). *Volymvikter*. [http://www.agriwise.org/demo/databok2010htm/kap27b/01\\_Densitet.htm](http://www.agriwise.org/demo/databok2010htm/kap27b/01_Densitet.htm) [2023-05-01]
- Ahlgren, S. 2009. *Crop Production without Fossil Fuel. Production Systems for Tractor Fuel and Mineral Nitrogen Based on Biomass*. Doktorsavhandling, No 2009:78. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala
- Ahlgren, S. 2023. *Växtnäring i osäkra tider*. Research Institutes of Sweden. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/vaxtnaring-i-osakra-tider>
- Astudillo M F and Schmidt J (2019). Reducing environmental impacts of Danish milk production with plasma treatment of manure. 2.-0 LCA consultants
- Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (2005). *Ergebnisse des Biogas-Messprogramms*. (FKZ 22017900). Galzow. file:///C:/Users/Administrat%C3%B6r/Downloads/pdf.223ergebnisse\_biogasmessprogramm.pdf
- Dagens Industri (2023). *Sverige 10 år räntekurs*. <https://www.di.se/rantor/stat-10y-33383/> [2023-05-21]
- Dong H., Mangino J. & McCallister T (2006). *EMISSIONS FROM LIVESTOCK AND MANURE MANAGEMENT*. Chapter 10, Volume 4: IPCC
- Energimyndigheten, (2023). **Växthusgasberäkning**. <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/hallbarhetslagen/fragor-och-svar/vaxthusgasberakning/> [2023-05-21]
- Ehrnebo M (2005). *Spridning av flytgödsel*. Jordbruksverket, Linköping ISSN 1102-8025
- European Energy Exchange (2023). *Emission spot primary market auction report 2023*. <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/eua-primary-auction-spot-download>
- Esposito G., Frunzo L., Giordano A., Liotta F., Panico A. & Pirozzi F. (2012). *Anaerobic co-digestion of organic wastes*. (ISSN 1569-1705). Rev Environ Sci Biotechnol DOI 10.1007/s11157-012-9277-8
- Folkhälsomyndigheten (2022). *Tillsynsvägledning om temperatur inomhus*. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/temperatur/> [2023-05-21]
- Kjessler & Mannerstråle (1999). *MÅTTSYSTEM FÖR ENERGI OCH EFFEKT*. [FAKTABLAD]. Helsingborg: KM Miljöteknik. <https://eslov.se/wp-content/uploads/bilagafakta2.pdf> [2023-05-21]
- N2-Applied (2023). *Technology*. <https://n2applied.com/the-technology/>. [2023-05-25]
- Naturvårdsverket (2022). **Jordbruk, utsläpp av växthusgaser**, <https://www.naturvardsverket>

.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-jordbruk [2023-03-20]

Nyord, T. & Kristensen, K. 2011. Analyse af ammoniakemission efter udspredning af svinegylle med 4 forskellige pH værdier. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, 09-03-2011.

Rodhe, L (2021). *Checklista - risker och förslag till motåtgärder: Ammoniakförluster vid spridning av stallgödsel och andra organiska gödselmedel* . (https://adm.greppa.nu/download/18.5c2800d1831a97195c61919/1662703105489/Checklista%20ammoniak%20spridning%20Slutlig%20version.pdf) [2023-05.21]

Rodhe L., Ascue J., Tersmeden M. Pizzul L., 2019. *Ammoniakavgång från flytgödsellager - orötad och rötad nötflytgödsel, med och utan surgörning*. Rapport 2019:51, Research Institute of Sweden.

Rodhe L., Ascue J., Tersmeden M., Willen A., Nordberg Å., Salomon E. Sundberg M., 2013. *Växthusgaser från rötad och orötad gödsel vid lagring och efter spridning - samt bestämning av ammoniakavgång och skörd i vårkorn*. Rapport 413, Lantbruk & Industri . JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

Rodhe L., Delin S. & Gustafsson K., 2016. *Surgörning av nötflytgödsel - effekt på ammoniakavgången vid spridning av rötad respektive ickerötad gödsel i vall*. (H1333101). JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

Rodhe L., Edström M., Nordberg Å., Tersmeden M. & Ascue J., 2016. *Åtgärder för att minimera växthusgasutsläpp från lager med rötad och orötad gödsel (år1)*.. Jordbruksverksprojekt Dnr: 4.1.18-11570/14. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

Salomon E. & Wivstad M., (2013) *Rötrest från biogasanläggningar - återföring av växtnäring i ekologisk produktion* ISBN: 978-91-576-9182-8. SLU - Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala

SCB (2016). *Arbetskostnad per timme 2016 i Sverige efter näringsgren*. (Uppdaterad 2020-05-22). <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/arbetsmarknad/loner-och-arbetskostnader/labour-cost-survey-lcs/pong/tabell-och-diagram/2016/arbetskostnad-per-timme> [2023-05-21]

SGC 2012. *Basdata om biogas*. Svenskt Gastekniskt Center. ISBN: 978-91-85207-09-1. <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/BasdataomBiogas2012.pdf>

Skatteverket (2023). *Energiskatter*. <https://skatteverket.se/foretag/skatterochavdrag/punktskatter/energi> [2023-05-25]

Vattenfall (2022). *Därför är elpriserna så höga*. <https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/varfor-ar-elpriset-hogt> [2023-06-11]

Österberg, K. (1999). *15 Konstgödnigen*. **NyTeknik**, 16 dec. <https://www.nyteknik.se/digitalisering/15-konstgodningen/2037197> [2023-05-21]

## 12 Bilaga A

### 12.1 Introduktion

Arla lanserade sin hållbarhetsstrategi 2019 om att ha ett netto noll utsläpp av växthusgaser i hela värdekedjan från ko till konsument 2050 globalt och 2045 nationellt inom Sverige. Strategin har även satt upp delmål om att minska de absoluta utsläppen av växthusgaser från deras produktionsanläggningar, logistik och energianvändning med 63% fram till 2030. Arla har också åtagit sig att minska växthusgasutsläppen från deras gårdar med 30% per ton standardiserad invägd mjölkråvara och vassle fram till 2030 jämfört med 2015. Därför investerade Arla 2019 i ett skraddarsytt klimatberäkningsverktyg för att samla och analysera data om gårdsutsläpp med anledningen att identifiera de bästa åtgärderna för att nå de uppsatta målen. Klimatberäkningsverktyget använder internationellt godkända beräkningsmetoder som baseras på ISO-standard för livscykelanalys (14044). Verktyget innehåller över 200 frågor om ämnen som foder, energianvändning och gödselhantering för att beräkna klimatavtrycket för varje kilo mjölk som produceras på Arlagårdarna. Att delta i dessa klimatberäkningar är frivilligt för konventionella gårdar men ägare får ersättning ovanpå mjölkpriset för att genomföra dessa klimatberäkningar (Arla 2022). Det är därför intressant för Lövsta att undersöka hur en installation av en NEO-maskin kan minska klimatbelastning på Lövstas mjölkproduktion som potentiellt kan ge ersättning på ovanpå mjölkpriset.

### 12.2 Syfte

Från intresse av Lövsta kommer kväveboostningens minskade klimatpåverkan allokeras till mjölkproduktionen.

### 12.3 Frågeställning

- Vad blir minskningen av CO<sub>2</sub>/kg mjölk om de minskade koldioxidutsläppen allokeras till mjölkproduktionen vid installation av en NEO-maskin på Lövsta

### 12.4 Avgränsningar

Detta arbete menar inte till att göra en fullständig Livscykelanalys för att beräkna mjölkens klimatpåverkan. Arbetet använder heller inte Arlas klimatberäkningsverktyg utan ämnar endast till att göra en uppskattning av minskade klimatutsläpp för mjölkproduktionen.

### 12.5 Lövsta gård

På Lövsta gård finns SLU:s forskningscentrum för lantbrukets djur, vilket innefattar cirka 300 mjölkkor, 132 suggor och cirka 2000 slaktgrisar. Varje ko producerar ungefär 11 000kg mjölk/år.

## 12.6 Metod

### 12.6.1 Nötflytgödsel på Lövsta

Av substratsammansättningen på Lövsta består cirka 60% av nötflytgödsel, detta från 300 mjölkkor. Tabell B0 presenterar information kring nötkreatur.

Tabell B0: Data kring ko och nötflytgödsel

<b>Mjölldata (RISE 2023)</b>	
Antal mjölkcor	300
N-tot [kg/ton]	3.0
Mjolkproduktion [kg/ko]	11 000
Nötflytgödselproduktion [ton/år]	14 800
Nötflytgödsel/ko [ton/år]	49.3

Nötflytgödslets sammansättning är av intresse för senare allokering av reducerade utsläpp till mjolkproduktion på Lövsta som potentiell intäkt enligt Arlas hållbarhetsstrategi. Intäkt från mjolkproduktion har inte beräknats utan ska framstå som underlag för fortsatt undersökning av NEO.

### 12.6.2 Allokering av utsläpp till mjolkproduktion

När utsläpp från vanlig och kväveboostad rötrest är beräknad allokeras Lövstas rötrest mot nötflytgödsel. För att på ett förenklat sätt kunna allokera hela reduktionen av klimatgaser med att kväveboosta rötrest till producerad mjolk har en kvävebaserad ansats genomförts som baserar sig på skillnaden i volymkoncentration av totalkväve i rötrest (ej kväveboostad) mot innehåll i den nötflytgödsel som rötas. Förenklingen bygger på följande antaganden:

$$\frac{\text{N-tot/ton nötflytgödsel}}{\text{N-tot/ton rötrest}} = \text{ton nötflyt/ton rötrest} \quad (\text{ekvA1})$$

Ekvationen anger hur mycket nötflytgödsel som motsvarar samma totalkvävemängd som ett ton rötrest. Detta anger hur mycket av de reducerade koldioxidutsläppen som kan allokeras till mjolkproduktion. Hur utsläppen beräknas till reducerade CO<sub>2</sub>-ekv/kg mjolk görs på följande sätt.

$$\frac{\text{reducerade klimatgaser/ton rötrest} \cdot \text{flytgödselproduktion}}{\text{ton nötflyt/ton rötrest}} = \text{kgCO}_2\text{-reduktion/ko} \quad (\text{ekvA2})$$

$$\frac{\text{kgCO}_2\text{-reduktion/ko}}{\text{Mjolkproduktion/ko}} = \text{reducerad kgCO}_2\text{-ekv/kg mjolk} \quad (\text{ekvA3})$$



## 12.7 Resultat

Den reducerade klimatbelastningen från mjölproduktionen beräknades till 0.113kgCO<sub>2</sub>/kg mjölk.

## 12.8 Diskussion

### 12.8.1 Mjölk

Från Tabell B1 i bilaga kan det konstateras att nötflytgödseln bidrar med ca 60 viktprocent av den substratblandning som rötas. Dess kväveinnehåll bidrar med ca 45% av substratblandningens totala kväveinnehåll med avseende på antagandet att kväveinnehållet motsvarar 3kgN/ton. Mängden rötrest som den studerade kväveboostenheten kommer kunna processa kommer att understiga 10 viktprocent av den årliga rötrestproduktionen. Det kommer behövas 5-10 st av den studerade skalan på kväveboostenhet för att kväveboosta hela produktioen av nötflytgödsel (mängden kväve som den innehåller). Vidare medför rötningen att en del av substratblandningens organiskt bundna kväve mineraliseras och förekommer i form av ammoniumkväve i rötresten. Detta medför alltså att totala mängden ammoniumkväve i producerad rötrest blir något större än mängden som finns i den substratblandning som rötas, vilket också bör beaktas vid en mer noggrann beräkning av klimatgasreduktionen med kväveboostning av rötresten vid allokering till producerad mjölk. Vidare fibersepareras rötresten innan kväveboostningen. I denna studie antas vidare att separerade fibrer återförs till den rötrest som ej kväveboostas, varför den viktreduktion som fibersepareringen medför ej tas hänsyn till i beräkningen. Detta är exempel på rötningssystemets komplexitet som inte beaktats i denna studie när reduktionen av klimatgasutsläpp till mjölken har beräknats. Resultatet kan jämföras mot Astudillo m.fl. (2019) som rapporterar en reduktion av klimatgaser motsvarande 0,15 kg CO<sub>2</sub>-ekv/kg mjölk. Astudillo jämförde ett system med rötning av nötflytgödsel från mjölkproduktion följt av kväveboostning av producerad rötrest, med ett system med biogasproduktion utan kväveboostning. Detta resultat bygger på en genomförd LCA beräkning för hur utsläppen av klimatgaser påverkas vid dansk mjölkproduktion. Systemgränserna inkluderar foderförsörjning inklusive uppfödning av rekrytering liksom produktionen av kött som produktionsformen genererar, där producerad biogas används till produktion av kraftvärme och där LCA-beräkningarna för elektricitet baserar sig på dansk marginal elektricitetsmix.

## 13 Bilaga B

Tabell A1: Dagligt medelvärde på substratsammansättningen som pumpas in i röttkammaren från januari till december 2022

Substrat 2022									
	Datum	Fastgödsel [ton]	Ensilage [ton]	Mjöl [ton]	Svinflyt [ $m^3$ ]	Nötflyt [ $m^3$ ]	Totalt	Gödsel flyt+fast	Mjöl,ensilage, potatis
Januari	2022-02-01	1	0.32 0.89	3.82	20.45	56.74	81.94	94.2%	5.8%
Februari	2022-03-01	0.85	2.61	5.28	19.60	43.31	71.56	89.0%	11.0%
Mars	2022-04-01	0.68	2.47	4.34	19.38	43.29	70.17	90.3%	9.7%
April	2022-05-04	0.66	1.57	4.40	18.63	41.36	66.63	91.0%	9.0%
Maj	2022-06-02	0.69	1.46	5.85	17.09	40.77	65.87	88.9%	11.1%
Juni	2022-07-01	0.07	2.44	4.10	20.90	34.33	61.86	89.4%	10.6%
Juli	2022-08-01	0	1.93	3.24	15.10	29.26	49.51	89.6%	10.4%
Augusti	2022-09-02	0.64	2.88	3.88	14.35	28.58	50.33	86.6%	13.4%
September	2022-10-03	1.05	3.44	5.42	21.87	41.57	73.34	87.9%	12.1%
Oktober	2022-11-01	0.63	3.01	5.37	20.16	45.68	74.85.2	88.8%	11.2%
November	2022-12-01	0.22	4.05	6.10			10.37	2.1%	97.9%
December	2022-12-31	0.26	3.36	5.30			8.92	2.9%	97.1%

Tabell B2: Kostnad för begagnade lagringstankar (Processöverskott.se)

Typ av tank	Volym [liter]	Kostnad	kr/liter
Rostfri 304	50 000	257 000	5.14
Rostrfri 304	54 168	233 000	4.3
Rostfri 304	64 500	228 000	3.53

Tabell B3: Kostnad för begagnade lagringstankar (RISE)

Typ av tank	Volym [liter]	Kostnad [kr]	kr/liter	Transportkostnad [kr]
T4 SKU:22800	25 000	59 000	2.36	okänd
T4 SKU: 26094	22 000	107 000	4.86	10 000
T4 modell okänd	23 000	135 000	5.63	8 000
T4 H0188	23 000	80 000	3.47	20 000
T4 V1261	30 000	105 000	3.50	20 000

Tabell B4: Kostnad för begagnad lagringstank baserat på volym

Volym [liter]	Kostnad tank + transport [kr]	Kostnad [€]
20 000	96 500	8 686
30 000	137 500	12 376
40 000	178 500	16 067
50 000	219 500	19 757
60 000	260 500	23 447

Tabell B5: Möre biogasanläggningens resultat från skruvavvattnare

	Torrsubstans [%]	Ammoniumkväve [g/kgTS]
<b>Rötrest</b>	5.3	46
	5.97	49
<b>Flytfraktion</b>	4.16	58
	4.68	62

Produkt	Areal	Totalt	Behov (ej utfört)	Lager 2023-02-27		Inköps- behov	a'pris	Summa	
				Plats	Mängd				
Axan 27-4	637,96	186 386	36 534 kg	Axan 27-4	167 575kg	0	7,10	0	
Ekogödsel Plus 10-3-1	75,22	35 125	0 kg	Biofer 10-3-1	750kg	0	4,80	0	
Ekogödsel plus N-14	41,27	28 889	0 kg			0	7,99	0	
MAP NP 12-23	199,21	18 720	251 kg	MAP NP 12-23	0kg	251	4,59	1 152	
NPK 24-4-5-3	251,82	102 416	11 208 kg	NPK 24-4-5-3	120 750kg	0	3,61	0	
NS 24-6 SULFAN	335,04	131 584	27 277 kg	Sulfan	76 500kg	0	7,14	0	
Polysulphate Yara	53,78	5 378	0 kg	Polysulphate Yara	0kg	0	0,00	0	
Rötrest biogas ospec	454,43	10 122	0 ton	Rötrest biogas ospec	-18 551 ton	0	45,00	0	
Summa:								1 152	

Figur B1: Mängd och pris på mineralgödsel (Jarl Ryberg 2022)

Tabell B6: Innehåll av näringsämnen på de mineralgödsel som Lövsta köper (YARA, u.å)

Mineralgödseltyp	Andel kväve från ammonium [%]	Andel kväve från nitrat	Annat innehåll [%]
Axan 27-4	13.5	13.5	Mg-0.6 S-3.7
MAP NP 12-23	12	0	P-23
NPK 24-4-5-3	13.3	10.3	P-3.6 K-4.6 Mg-0.5 S-3
Sulfan	12	12	Mg-0.5 S-6

	Dec 2014	Feb 2014	
VS-in	9,41	8,24	Ton VS/d
HRT	46,8	54,5	Dagar
OLR	2,61	2,29	Kg VS/m <sup>3</sup> &d
<u>Metanprod.</u>	2341	2440	Nm <sup>3</sup> /d
Specifik <u>metanprod</u>	249	296	<u>Nl</u> /kg VS
VS-ut	3,980	2,58	Ton VS/d
Vallgröda	10,32	3,01	Ton/d
Mjöl	2,34	5,18	Ton/d
Potatis	1,35	0,31	Ton/d
<u>Nötflytg.</u>	47,17	46,6	Ton/d
<u>Svinflytg.</u>	14,24	10,7	Ton/d
<u>Fastg.</u>	1,48	0,24	Ton/d
Inflöde	76,89	66,04	Ton/d
Utflöde	71,34	60,26	Ton/d
Eleffekt	373	388	kW

Figur B2: Substratinnehåll på Lövsta 2014 (RISE 2014)

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

- <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.