



Självständigt arbete i energisystem 15 hp
Juni 2026

Utvärdering av användnings- områden för biogas i offentlig sektor

Planering inför utfasning av biogas i
kollektivtrafiken i Uppsala

Tilde Bedinger, Frida Dahlman, Henrik Eriksson,
Daniel Ingemarsson, Kerstin Ljungemyr, Hampus Nyhlén,
Linus Wesslén

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik
Uppsala universitet
Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten
Institutionen för fysik och astronomi
Civilingenjörsprogrammet i energisystem
Uppsala 2026

Utvärdering av användningsområden för biogas i offentlig sektor. Planering inför utfasning av biogas i kollektivtrafiken i Uppsala

Evaluation of biogas applications in the public sector. Planning for phaseout of biogas in Uppsala's public transport system

Tilde Bedinger, Frida Dahlman, Henrik Eriksson, Daniel Ingemarsson, Kerstin Ljungemyr, Hampus Nyhlén, Linus Wesslén

Handledare: Åke Nordberg, SLU, Institutionen för energi och teknik
Bitr. handledare: Linus Engstam, SLU, Institutionen för energi och teknik
Examinator: Anders Larsolle, SLU, institutionen för energi och teknik
Håkan Rensmo, Uppsala universitet. Institutionen för fysik och astronomi

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i energisystem
Kurskod: SLU: EX0946
Uppsala universitet: 1FA311
Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i Energisystem
Kursansvarig inst.: Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik
Uppsala universitet
Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten
Institutionen för fysik och astronomi
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2026
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel (SLU EX0946): Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
Delnummer i serien: 2026:13
ISSN: 1654-9392
Nyckelord: energisystem, resiliens, energiberedskap, biogas, elektrifiering, Uppsala, Region Uppsala reservkraft, kollektivtrafik

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Uppsala universitet
Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten
Institutionen för fysik och astronomi

Sammanfattning

I takt med att kollektivtrafiken elektrifieras kommer biogasens roll som drivmedel i Uppsalas stadstrafik att minska. Samtidigt finns en etablerad biogasproduktion i Uppsala, där organiskt avfall och avloppsslam omvandlas till biogas och biogödsel. Biogasen förväntas även i framtiden vara en del av Uppsalas cirkulära energi- och resurssystem men nya användningsområden behöver identifieras. Syftet med detta arbete är att utvärdera alternativa användningsområden för biogas inom offentlig sektor i Region Uppsala, med fokus på nyttjande av befintlig infrastruktur, ekonomi, miljöpåverkan, energieffektivitet och robusthet.

I resultatet presenteras två huvudsakliga användningsområden som undersökts. Det första scenariot är att använda biogas för lokal el- och fjärrvärmeproduktion vid Uppsalas stadsbussdepå. Detta skulle kunna ske genom en biogasdriven motor eller CHP-anläggning, där elen används för att bidra till laddning av elbussar och spillvärmens tas tillvara. Resultatet visar att den framtida elbussflottan kan innebära ett årligt elbehov på ungefär 35-44 GWh. Eftersom det redan finns biogasinфраstruktur kopplad till bussdepån med lagring och en pipeline från kungsängen, finns det potential att till stor del utnyttja befintliga system.

Simulering visar att en CHP Biogasmotor med 5MW installerad effekt producerade 37 GWh el och krävde 91 GWh energi i rågas, vilket stämmer väl överens med den beräknade framtida gasproduktionen på 90 GWh. Trots att 37 GWh el producerades krävdes en elimport på 19 GWh från elnätet. Den exporterade elen uppgår till 12 GWh. Utöver den exporterade elen tillgodogörs även 44 GWh värme för fjärrvärmeexport. Den sammanlagda investeringskostnaden för akumulator tank och motor blir mellan 52,6-71,9 miljoner kr. Ekonomisk analys visar på en årlig förlust på 58 miljoner kronor per år. Total klimatpåverkan visar en minskning i utsläpp på 1570 ton CO₂eq/år.

Det andra alternativet är att använda biogas som bränsle för reservkraft. Detta undersöks för större samhällsviktiga verksamheter, såsom Akademiska sjukhuset. Resultatet visar att biogasdriven reservkraft kan bidra till minskad klimatpåverkan jämfört med dagens fossila alternativ och samtidigt stärka lokal energiberedskap genom att använda ett regionalt producerat bränsle. Samtidigt finns utmaningar kopplade till lagring, transport, kostnader och det faktum att befintlig reservkraftsinfrastruktur redan är anpassad efter andra bränslen.

För Akademiska sjukhuset dimensionerades reservkraftssystemet till 7 aggregat med en effekt på 2MW vardera. Vid antagen testkörning två timmar per månad beräknades de årliga utsläppen per aggregat till 15 552 KgCO₂e för diesel MK1, -120,96 KgCO₂e för biogas samt 9360 KgCO₂e för EcoPar A. Den uppskattade investeringskostnaden uppgick till 140-182 miljoner kronor, samt cirka 10 miljoner för gaslager eller gasledningsanslutning. För det mobila reservkraftverket beräknades bränslebehovet till 8-9 m³ CBG vid 200 bar vid en effekt på 170kW under 48 timmar. Den uppskattade investeringskostnaden för aggrega-

ten uppgick till 2-2,6 miljoner kronor, samt cirka 500 000 kronor för gaslager (CBG-gasflak).

Abstract

As public transport becomes increasingly electrified, the role of biogas as a vehicle fuel in Uppsala's urban bus traffic is expected to decline. At the same time, Uppsala has an established biogas production system, where organic waste and sewage sludge are converted into biogas and biofertilizer. Biogas is still expected to remain part of Uppsala's circular energy and resource system in the future, but new areas of application need to be identified. The aim of this thesis is to evaluate alternative uses of biogas within the public sector in Region Uppsala, with a focus on the utilization of existing infrastructure, economic performance, environmental impact, energy efficiency, and robustness.

The results present two main alternative applications. The first scenario involves using biogas for local electricity and district heating production at Uppsala's city bus depot. This could be achieved through a biogas-powered engine or a combined heat and power plant, where the electricity contributes to charging electric buses and the waste heat is recovered. The results show that the future electric bus fleet may require approximately 35–44 GWh of electricity per year. Since biogas infrastructure is already connected to the bus depot, including storage and a pipeline from Kungsängen, there is potential to make extensive use of existing systems.

The simulation shows that a CHP biogas engine with an installed capacity of 5 MW produced 37 GWh of electricity and required 91 GWh of energy in raw gas, which corresponds well with the estimated future gas production of 90 GWh. Despite the production of 37 GWh of electricity, 19 GWh still had to be imported from the electricity grid, while 12 GWh was exported. In addition to the exported electricity, 44 GWh of heat was recovered and exported to the district heating network. The total investment cost for the accumulator tank and engine is estimated at SEK 52.6–71.9 million. The economic analysis indicates an annual loss of SEK 58 million. The total climate impact shows a reduction in emissions of 1,570 tonnes CO₂-eq per year.

The second alternative is to use biogas as a fuel for backup power generation. This was examined for larger critical public services, such as Uppsala University Hospital. The results show that biogas-powered backup generation can help reduce climate impact compared with current fossil alternatives, while also strengthening local energy preparedness by using a regionally produced fuel. However, there are challenges related to storage, transport, costs, and the fact that existing backup power infrastructure is already adapted to other fuels.

For Uppsala University Hospital, the backup power system was dimensioned as seven generator units with a capacity of 2 MW each. Assuming test operation for two hours per month, the annual emissions per generator were calculated as 15,552 kg CO₂e for MK1 die-

sel, -120.96 kg COe for biogas, and 9,360 kg COe for EcoPar A. The estimated investment cost was SEK 140–182 million, plus approximately SEK 10 million for gas storage or a gas pipeline connection. For the mobile backup power unit, the fuel demand was calculated as 8–9 m³ of CBG at 200 bar for an output of 170 kW over 48 hours. The estimated investment cost for the generator units was SEK 2–2.6 million, plus approximately SEK 500,000 for gas storage using CBG gas container modules.

Förord

Detta är ett självständigt arbete i energisystem på kandidatnivå i samband med utbildningen Civilingenjör inom Energisystem vid Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) och Uppsala Universitet.

Arbetet har pågått under våren 2026 där vi som 7 studenter har samarbetat med problemägaren Region Uppsala för att hitta alternativa användningsområden av biogas då biogasbussar inom stadstrafiken planeras att fasas ut. Utredningen lockade gruppen eftersom det är ett verklighetskopplat problem som regionen vill lösa och vi vill vara en del av förändringen i vår lokala miljö. Inriktningen av lösningen som vi hittade lockade oss också eftersom det är starkt kopplat till elektrifiering samt den framtida energisäkerheten utifall det blir kris.

Vi som grupp vill rikta ett stort tack till våra handledare vilket är universitetslektor i bioenergiteknik Åke Nordberg vid SLU samt doktoranden Linus Engstam. De har båda bidragit med värdefulla insikter och diskussioner vilket har möjliggjort arbetet.

Ett särskilt tack går till projektledaren Freja Dahlström från STUNS eftersom hon har agerat som koordinator med regionen och hittat värdefulla kontaktpersoner. Från regionen har experten inom biogas Tobias Timander varit med på flera av mötena med STUNS där han har gett oss insikt i regionens prioriteringar och bidragit med viktig data. Denna ledning har uppskattats mycket från vår sida.

Sist vill vi tacka varandra inom gruppen för ett värdefullt och givande samarbete.

Uppsala, maj 2026

Tilde Bedinger, Frida Dahlman, Daniel Ingemarsson, Kerstin Ljungemyr, Linus Wesslén, Henrik Eriksson, Hampus Nyhlén

Innehåll

Förord	7
1 Inledning	10
2 Material och metoder	13
2.1 Nuvarande och framtida biogasproduktion	14
2.1.1 Dagens biogasproduktion i Uppsala	14
2.1.2 Framtidsprognos 2035	15
2.2 Kraftvärmeproduktion för elbussar och fjärrvärme	15
2.2.1 Framtida elbehov	16
2.2.2 Dimensionering av motor	18
2.2.3 Dimensionering av akumulator tank	18
2.2.4 Simuleringsmodell	18
2.2.5 Ekonomi	20
2.2.6 Klimatpåverkan	20
2.2.7 Robusthet	21
2.3 Reservkraft	21
2.3.1 Energieffektivitet	21
2.3.2 Befintlig infrastruktur	22
2.3.3 Dimensionering av reservkraft	22
2.3.4 Ekonomi	24
2.3.5 Klimatpåverkan	24
2.3.6 Robusthet	25
2.4 Användning av AI	25
3 Resultat	27

3.1	Kraftvärmeproduktion för elbussar och fjärrvärme	27
3.1.1	Nyttjande av befintlig infrastruktur	27
3.1.2	Elbehov	27
3.1.3	Dimensionering av motor	28
3.1.4	Motorns driftstrategi	28
3.1.5	Fjärrvärme	28
3.1.6	Dimensionering av akumulator tank	29
3.1.7	Energiflöden	29
3.1.8	Ekonomiska faktorer	30
3.1.9	Klimatpåverkan	31
3.1.10	Robusthet	32
3.2	Reservkraft	33
3.2.1	Dimensionering av reservkraft	33
3.2.2	Ekonomi	34
3.2.3	Klimatpåverkan	34
3.2.4	Robusthet	35
4	Diskussion	36
4.1	El och fjärrvärmeproduktion vid Uppsalas stadsbussdepå	36
4.2	Reservkraft	37
5	Slutsatser	39
	Referenser	40
	Delrapporter	45

1 Inledning

År 2024 hade Sverige hela 99 % fossilfri elproduktion (Statens energimyndighet, 2025), men andelen fossilfri energianvändning uppgick endast till 67 % (Sveriges miljömål, 2025). Den sektor som använder absolut störst del fossila bränslen är transportsektorn (Naturvårdsverket, 2025). För att Sverige ska nå upp till klimatmålet om 70 % lägre växthusgasutsläpp från inrikes transporter till 2030 jämfört med 2010, krävs både energieffektivisering och utfasning av fossila drivmedel (Naturvårdsverket, 2024).

Biogas är enligt många ett förnybart bränsle eftersom den produceras genom att ta tillvara på exempelvis matavfall, gödsel eller slam från avlopp eller industri (IVL Svenska Miljöinstitutet, 2026). Genom rötning av de olika restprodukterna produceras metangas. Om restprodukter som gödsel lämnas att brytas ned öppet släpps metangasen ut direkt i atmosfären, vilket har en mycket hög klimatpåverkan; genom att istället samla upp gasen och använda den som fordonsbränsle för att ersätta fossila alternativ, samt förbränna den till koldioxid under energiutvinning, minskas de totala växthusgasutsläppen avsevärt (Statens energimyndighet, 2025). Sedan 2021 är det vid utsläppsberäkningar i ett livscykelperspektiv tillåtet att inkludera utsläpp som undviks genom att ta vara på restprodukterna (Statens energimyndighet, 2025). Beroende på vilket substrat som används vid produktionen blir biogasen mer eller mindre koldioxidneutral. Det genomsnittliga växthusgasutsläppet för biogas är -2,52 g koldioxidekvivalenter per kWh, vilket kan jämföras med exempelvis bensen vars livscykelutsläpp är cirka 314 g koldioxidekvivalenter per kWh (Statens energimyndighet, 2025).

Biogas utgör en central del av den svenska kollektivtrafikens energiomställning och är det enskilt vanligaste förnybara drivmedlet för gasbussar i landet (Statens energimyndighet, 2025). Även om biogasen ger upphov till koldioxidutsläpp vid förbränningstillfället är dessa en del av det korta biogena kretsloppet; den huvudsakliga klimatvinsten i ett livscykelperspektiv genereras genom att bränslet ersätter fossila alternativ samt förhindrar metanläckage från restprodukter (Statens energimyndighet, 2025). På en global nivå är biogasanvändningen ofta begränsad till småskaliga basbehov som matlagning på grund av ekonomiska och infrastrukturella barriärer Surendra et al. (2014). I ett utvecklat energisystem som det svenska är förutsättningarna annorlunda, men för att uppnå total klimatneutralitet har EU ett delmål i form av nollutsläpp från avgasrör för stadsbussar till år 2035 (Europeiska unionens råd, 2024). Detta i kombination med teknikutveckling och minskade kostnader har gjort att elbussar numera ingår i ordinarie upphandling av kollektivtrafik (Sveriges Kommuner och Regioner, 2020). I och med detta kan biogas tänkas bli mindre attraktivt som drivmedel inom denna sektor under kommande år. Samtidigt ökar antalet biogasanläggningar och biogasproduktionen i Sverige (Statens energimyndighet, 2025). Av denna orsak är det relevant att undersöka alternativa användningsområden för biogasen.

Alternativa användningsområden för biogas är till exempel som bränsle för industri och fordon som inte kan elektrifieras, uppvärmning eller produktion av el (Statens energimyndighet, 2025). Biogasens fundamentala styrka ligger i dess egenskap som en flexibel energibärare som kan samla upp energin ur organiskt avfall och omvandlas till både värme, elektricitet eller fordonsbränsle Surendra et al. (2014). I det sistnämnda alternativet gör biogasens lagringsförmåga att den hade kunnat bidra till balansering av elnätet eller som reservkraft för samhällsviktig verksamhet. Att undersöka dessa möjligheter har blivit än mer aktuellt i och med en mer volatil elproduktion (Affärsverket svenska kraftnät, 2025). Dessutom ställer ett alltmer ansträngt säkerhetsläge skärpta krav på att samhällsaktörer ska kunna garantera kontinuitet i samhällsservicen även i händelse av kris (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2025). Den optimala strategin för energiutvinning ur biogas är dock starkt systemberoende; en empirisk studie av en storskalig avfallsbaserad biogasanläggning visar att uppgradering till biometan generellt maximerar koldioxidbesparingen, men att lokal kraftvärmeproduktion (CHP) kan konkurrera ut uppgraderingsalternativet förutsatt att en tillräckligt hög andel av spillvärmes kan återvinnas och nyttjas i ett fjärrvärmenät Negro et al. (2025).

Region Uppsalas mål är att i enlighet med gällande lagstiftning i EU att sluta införskaffa biogassubstrat för stadstrafiken vid år 2035 (Region Uppsala, 2025). Eftersom biogas utgör en viktig del av den cirkulära ekonomin och avfallskretsloppet kommer regionen även framöver att ha tillgång till biogas under överskådlig tid. Detta innebär att nya användningsområden för denna energikälla behöver utvecklas.

Syftet med arbetet är att identifiera alternativa användningsområden för biogasen inom Region Uppsalas verksamhet. Dessa nya användningsområden ska utvärderas med avseende på: nyttjande av befintlig infrastruktur, ekonomiska faktorer, miljöpåverkan, energieffektivitet och robusthet.

I arbetet analyseras två scenarier som bedöms vara särskilt relevanta för Region Uppsala utifrån lokala förutsättningar och verksamhetens behov. Det första scenariot undersöker möjligheten att använda biogas för el- och fjärrvärmeproduktion vid stadsbussdepån, där elen kan användas för att ladda Region Uppsalas nya elbussar. Detta scenario motiveras av den pågående elektrifieringen av kollektivtrafiken och det ökade elbehov som uppstår vid laddning av bussflottan.

Det andra scenariot behandlar användning av biogas som bränsle för reservkraft. Reservkraft kan dimensioneras och utformas på flera olika sätt. För arbetets problemägare Region Uppsala undersöks två alternativ: reservkraft för Akademiska Sjukhuset och ett mobilt biogasdrivet reservkraft. Båda alternativen undersöks för biogas i form av komprimerad biogas (CBG). Inom ramen för detta arbete undersöks dessa alternativ utifrån de fem faktorer som specificerats i syftet.

En omfattande studie av Negro et al. (2025) analyserade driften vid en storskalig avfallsbaserad biogasanläggning som skiftade konfiguration från direkt elproduktion till biometanuppgradering för gasnätet. Deras kvantitativa resultat visade att uppgradering till biometan i det aktuella sammanhanget genererade en växthusgasbesparing på 151,9 kg CO₂-ekvivalent per MWh rågas, jämfört med endast 120,2 kg CO₂-ekv per MWh vid ren elproduktion i motorer. Studien visade dock att direkt el- och kraftvärmeproduktion från biogas kan bli mer klimatvänlig än uppgradering till biomethane, förutsatt att minst 31 % av den årliga spillvärmen kan återvinnas och nyttjas i ett fjärrvärmenät.

Utöver den tekniska flexibiliteten har biogasanläggningars ekonomiska och driftmässiga optimeringspotential studerats. Hochloff and Braun (2014) utvecklade en linjär programmeringsmodell (MILP) för att undersöka lönsamheten i att utrusta kontinuerligt producerande biogasanläggningar med överdimensionerad motorkapacitet och gaslagring. Deras kvantitativa resultat visade att anläggningens marknadsintäkter ökar när elproduktionen koncentreras till höglasttimmar och kombineras med budgivning på reservkraftsmarknader. Studien slog fast att en överdimensionering av installerad eleffekt med en faktor på 1,7 i förhållande till den kontinuerliga gasproduktionen gav det bästa kostnads-effektförhållandet, men att de rena marknadsintäkterna exklusive politiska subventioner (såsom den tyska flexibilitetspremien) ändå resulterade i en negativ nettobidragsskalkyl Hochloff and Braun (2014).

När det gäller biogasens specifika roll för elnätsbalansering och reservkraft, visar en systemsimulering av Aahäivälä et al. (2017) att gasmotoranläggningar besitter en mycket hög operativ flexibilitet i volatila elsystem. Deras kvantitativa modellering visar att snabbstartande gasmotorer kan nå full reservkrafteffekt inom 5 minuter från uppstart, vilket sänker start- och tomgångskostnaderna med upp till 95 % jämfört med traditionell reservkraft Aahäivälä et al. (2017). Vidare påvisar deras systemanalys att integrationen av denna typ av flexibel gaskraft kan generera en årlig driftkostnadsbesparing för elområdet på upp till 15,6 miljoner euro genom mer effektiv balansering av fluktuerande energikällor Aahäivälä et al. (2017).

Som komplement till dessa vetenskapliga studier pågår även flera tillämpade projekt på kommunal nivå i Sverige. I Stockholm planeras biogas användas som ett komplement till elektrifiering genom att förse trygghetspunkter med biogas samt förbereda gasmotorer som reservkraft för samhällsviktiga verksamheter (Stockholm Gas AB and Gasnätet Stockholm AB, 2024), medan Norrköpings kommun bedömer att flytande biogas blir viktig för tung trafik (Norrköpings kommun, 2025) och Göteborg planerar att helt ställa om sitt lokala gasnät till biogas (Göteborgs Stad, 2022).

2 Material och metoder

Arbetet genomfördes som en fallstudie med fokus på två alternativa användningsområden för biogas inom Region Uppsalas verksamhet enligt nedan. Först behövde den nuvarande och framtida biogasproduktionen utvärderas.

Den insamlade informationen sorterades utifrån de jämförelsekriterier som används i arbetet: nyttjande av befintlig infrastruktur, ekonomi, miljöpåverkan, energieffektivitet och robusthet. Kvantitativa data, exempelvis energimängder, verkningsgrader, utsläppsfaktorer och kostnader, sammanställdes i tabeller för att kunna användas i beräkningar. Kvalitativ information, exempelvis tekniska begränsningar, driftmässiga förutsättningar och infrastrukturerella hinder, sammanställdes och användes i den avslutande bedömningen.

När fullständig lokal data saknades användes värden från litteratur, myndighetsrapporter eller tekniska referenser. Dessa värden behandlades som antaganden och användes för att möjliggöra analys för båda scenarierna.

Vid utvärdering av robusthet används definitionen från Myndigheten för Civilt Försvar (MCF), tidigare under namnet Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB). Definitionen av robusthet innebär då att system har en flexibilitet att anpassa sig samt en resiliens att kunna motstå olika former av påverkan eller hot. (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2023) Robusthet går inte att kvantifiera i ett jämförelsetal. Handedarna för detta kandidatarbete, Åke Nordberg (universitetslektor och docent vid SLU) och Linus Engstam (doktorand), har betonat att detta är en utmaning brett inom både biogasbranschen och dess forskningsfält och att mer resonerande och analyserande tillvägagångssätt därför bör tillämpas.¹

Enligt en rapport från Försvarets Forskningsinstitut (FOI) är utökade möjligheter att nyttja flera olika energikällor samt lokal produktion av energi två sätt att öka robustheten i energisystemet. Rapporten lyfter explicit att just beroende av bränsletransporter är en sårbarhet. (Ellis and Pastuhoff, 2021).

Utifrån MSB/MCF:s definition av robusthet och exemplen i rapporten från FOI bedöms robusthet utifrån följande kriterier:

- Ger biogas i alternativet en möjlighet att nyttja en ny energikälla i sammanhanget?
- Minskar biogas i alternativet behovet av långväga bränsletransporter?

¹ Åke Nordberg är universitetslektor och docent vid SLU och jobbar framförallt med Biogas. Linus Engstam är doktorand inom samma område och jobbar under ledning av Nordberg. Handedarna har varit behjälpliga kontinuerligt i arbetet men den information som hänvisas till i detta stycke finns antecknat i ett mötesprotokoll mellan kandidatgruppen och handledarna den 20e april 2026

Bedömningen av de två kriterierna görs utifrån en jämförelse med dagens systemsammansättning. Bedömningen görs i en färgskala om tre färger som svarar mot hur robustheten i systemet ser ut i jämförelse med dagens system: grön (robustheten ökar), gul (robustheten förblir ungefär densamma) eller röd (robustheten minskar).

2.1 Nuvarande och framtida biogasproduktion

	Produktionskostnad (kr/kWh)
Biometan (97% metanhalt)	1,0
Rågas (65% metanhalt)	0,8

Tabell 1: Produktionskostnad för biometan och rågas (Nordin, 2026)

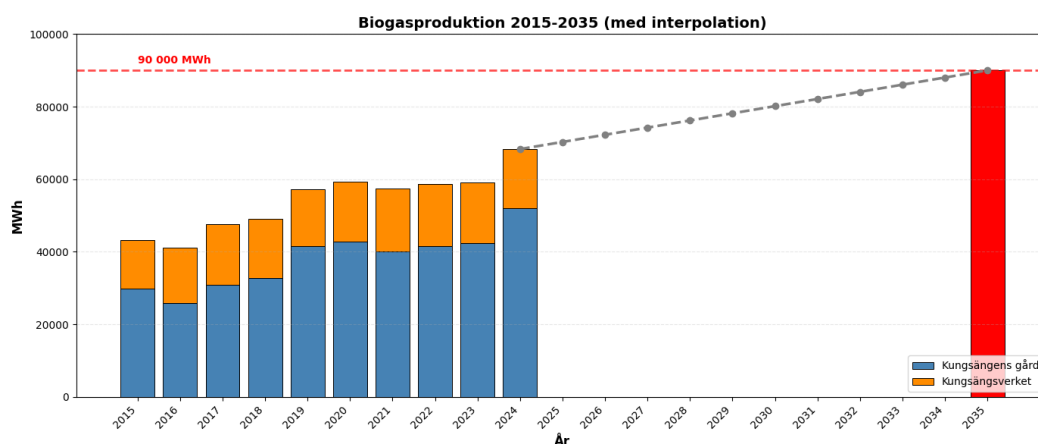
2.1.1 Dagens biogasproduktion i Uppsala

I Uppsala produceras biogas av Uppsala Vatten och Avfall AB. Under 2024 behandlades 60 500 ton organiskt avfall från hushåll och företag, bland annat matavfall från Uppsala kommun och slakteriavfall från olika verksamheter (Uppsala Vatten och Avfall AB, 2026). Biogasen bildas genom rötning, där organiskt material bryts ner av bakterier i en syrefri miljö. Resultatet blir metangas med en koncentration på ungefär 65 procent (Nordin, 2026). Övriga komponenter är koldioxid, vattenånga och ett antal spårgaser som kan orsaka tekniska problem (Energigas Sverige, 2026b).

Beroende på vad gasen ska användas till behöver den olika nivåer av rening och uppgradering. Ska den förbrännas för att producera värme, exempelvis för att värma upp röt-kammare på kungsverket, kan den förbrännas utan att först renas. (Nordin, 2026) Vanligen renas däremot gasen, där spårgaser filtreras ut och vattenånga avskiljs genom att kyla ned gasen. Om gasen ska användas i busstrafiken avskiljs även koldioxid i en process som kallas uppgradering. (Energigas Sverige, 2026c) Koldioxid är en inert gas som inte stör förbränningen i en motor, vilket innebär att uppgradering är onödig om en hög energitäthet inte är nödvändigt. (IEA Bioenergy, 2013) I Uppsalas fall kan gasens produktionskostnad isåfall minska med 20%. (Nordin, 2026)

Biogasen används idag främst som fordonsgas till bilar och stadsbussar, medan en mindre del används till uppvärmning. Det material som blir kvar efter produktionen används som biogödsel, vilket gör att näringsämnen kan återföras till jordbruket (Uppsala Vatten och Avfall AB, 2026). Biogasproduktionen i Uppsala är därför en viktig del av kommunens arbete med cirkulär resurshantering, eftersom avfall omvandlas till fossilfritt bränsle och användbart gödsel.

2.1.2 Framtidsprognos 2035



Figur 1: Prognos för biogasproduktion²

Enligt Uppsala kommuns Miljöbarometer producerades 68 306 MWh biogas i Uppsala Vattens biogasanläggningar år 2024. Där ingår både Kungsängens gård, där biogas produceras av matavfall och slaktavfall, och Kungsängsverket, där biogas produceras av avloppsslam (Nordin, 2026).

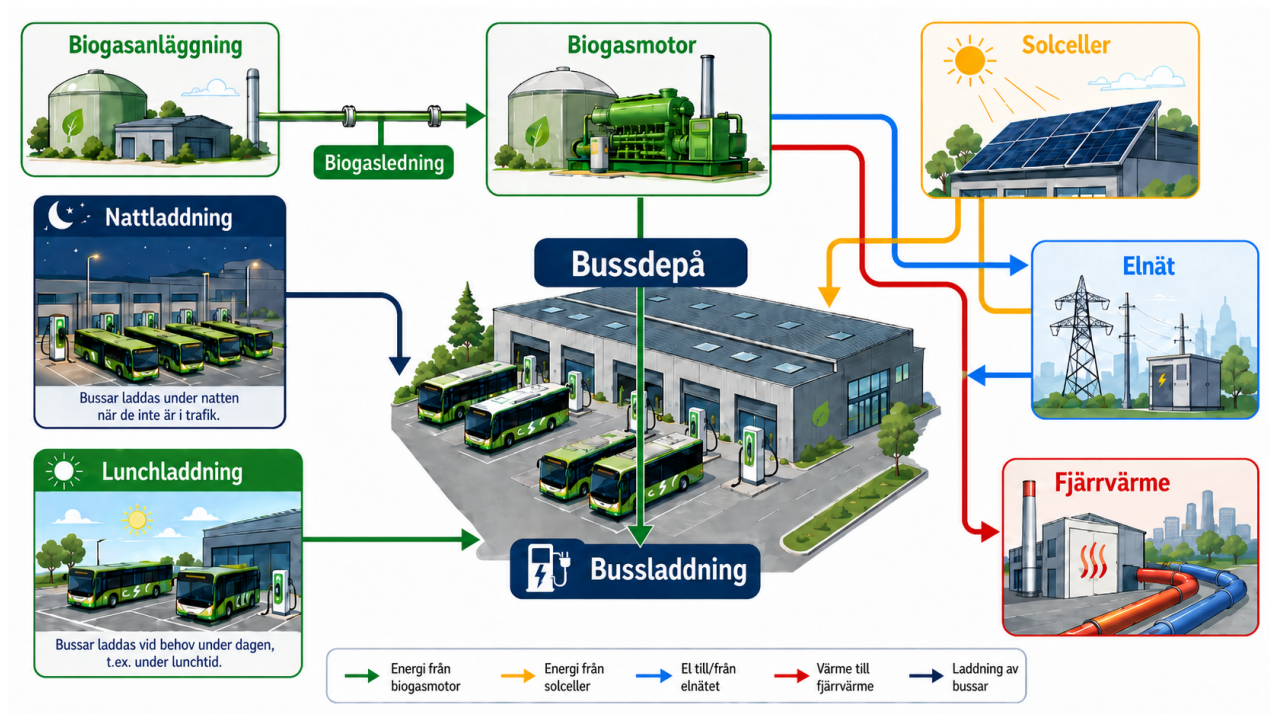
Uppsala Vatten fick 2024 en utökning på mängden avfall de tillåts hantera, vilket förväntas öka biogasproduktionen. När den pågående utbyggnaden är klar 2027 förväntas kungsängsgården producera 60 000 MWh om året. Kungsängsverket förväntas öka produktionen allt eftersom Uppsalas befolkning ökar. Om nuvarande tillstånd utnyttjas fullt ut förväntas total produktion nå 90 000 MWh utan ytterligare expansion (Uppsala Vatten och Avfall AB, 2024).

Eftersom att detta arbetes syfte är att hitta alternativa användningsområden för biogas när biogasbussar fasas ut kommer 90 000 MWh användas som den förväntade årliga produktionen från 2035 och framåt. Det är inte specificerat precis när denna volym kan nås men för analysens syfte är den exakta tidpunkten inte relevant, snarare att detta är den produktionsvolym som är möjlig med dagens infrastruktur.

2.2 Kraftvärmeproduktion för elbussar och fjärrvärme

I samband med elektrifieringen av bussflottan i Uppsalas stadstrafik finns ett alternativ att använda biogasen för att producera elektricitet. Lösningen kan genomföras genom att installera en stationär biogasdriven motor vid stadsbussdepån.

Det analyserade energisystemet för stadsbussdepån illustreras i Figur 2.



Figur 2: Det utredda och simulerade energisystemet för stadsbussdepån. Bilden är genererad av AI.

Biogasmotorn skulle utnyttja den nuvarande pipelinen från Uppsala Vattens anläggning för att producera el från biogas. Elen skulle gå till bussladdning och export till elnätet. Spillvärmen från motorn kan utnyttjas för export till Uppsalas fjärrvärmenät.

Vid bussdepån finns redan idag solceller. Regionbussdepån har en total installerad effekt på 400 kWp (Region Uppsala, nd) medan stadsbussdepån har en total installerad effekt på ca 300 kWp³. All denna solel inkluderades i analysen.

2.2.1 Framtida elbehov

Till 2027 kommer 60 elbussar att köpas in till Uppsala Region. Investeringen är ett initialt steg till elektrifiering av busstrafiken, men elektrifieringens utveckling är ännu inte fastställd. Målet är att från 2035 börja fasa ut biogasbussarna inom Uppsalas stadstrafik⁴.

³Stadsbussdepåns installerade effekt angavs av Daniel Svärdsjö, energicontroller på Region Uppsala, via e-post, 11/5-2026.

⁴Tobias Timander (Teknikspecialist inom biogas hos Region Uppsala) besvarade frågor angående den elektrifieringen av stadsbusstrafiken via möte med STUNS den 23e april 2026

Företaget Gamla Uppsala Buss (GUB) är ett bolag som ägs av Region Uppsala och tillhandahåller Uppsalas stadsbusstrafik (Gamla Uppsala Buss, 2026d). För att kartlägga det framtida elbehovet av elbussarna undersöks antalet befintliga biogasbussar inom regionens stadsbusstrafik. Enligt GUB är märket MAN deras befintliga huvudleverantör av biogas-, el- och HVO-bussar (Gamla Uppsala Buss, 2026a). Den befintliga flottan kvantifieras i tabellen nedan.

Tabell 2: Befintlig bussflotta med förbränningsmotor för Uppsalas stadstrafik ägd av GUB.

Transportmedel	Antal	Busstyp	Källa
HVO	20	Normalbuss	(Gamla Uppsala Buss, 2026c)
HVO	51	Ledbuss	(Gamla Uppsala Buss, 2026c)
Biogas	26	Normalbuss	(Gamla Uppsala Buss, 2026a)
Biogas	43	Ledbuss	(Gamla Uppsala Buss, 2026a)
Biogas lätthybrid	28	Ledbuss	(Gamla Uppsala Buss, 2026a)
Summa	168		

I ett framtidsscenario där den befintliga bussflottan ersätts med elbussar, antas den nya fordonsflottan bestå av MAN:s elbussmodeller. Detta antagande motiveras av att MAN erbjuder elbussmodeller för stadstrafik, vilket framgår av GUB:s webbplats (Gamla Uppsala Buss, 2026b). De redovisade modellerna och deras specifikationer beskrivs i tabellen nedan.

Tabell 3: Specifikationer hos MAN's eldrivna bussmodeller.

Modell	Kapacitet	Effekt	Längd	Räckvidd	Källa
MAN LION'S CITY 12 E	534 kWh	160 kW	12,2 m	500 km	(MAN Truck & Bus 2026a)
MAN LION'S CITY 18 E	712 kWh	267 kW	18,8 m	460 km	(MAN Truck & Bus 2026b)

För de nya elbussarna kvantifieras den årliga elanvändningen med hjälp av bussarnas antal, bussmodell och laddningsmönster. Detta görs i pythonsimuleringen och redovisas i detalj i Delrapport 2.

För att få en ännu bättre bedömning av elbehovet har en andra metod använts för att beräkna det. Denna jämför BTE-verkningsgrad hos gasbussar med en framräknad total verkningsgrad för elbussar innefattande förluster i elproduktion, laddning, och drift.

	Biogasbuss	Lätthybrid Biogas
Verkningsgrad (BTE)	20.4%	26.6%

Tabell 4: Verkningsgrad för biogasbussar (Hu et al., 2024)

Resultatet blir en justeringsfaktor som representerar energieffektiviteten hos en elbuss som

laddas med el producerad i en stationär biogasmotor kontra energieffektiviteten av en biogasbuss. Därefter beräknades gasförbrukning per buss genom att dividera total gasförbrukning med antalet biogasbussar, och motsvarande gasbehov för biogasladdade elbussar beräknades med hjälp av justeringsfaktorn. Slutligen beräknades elbussarnas totala el och gasbehov. Hela beräkningen redovisas i detalj i delrapport 4.

2.2.2 Dimensionering av motor

En motor dimensioneras som underlag för simuleringens maxeffekt och avgör genomförbar driftstrategi. Parametrar som påverkar dimensioneringen innefattar elanvändning, värmebehov och biogasproduktion. I detta fall väljs dimensioneringsstrategi baserat på elanvändningen. Det bedöms vara den primära funktionen av motorn i samband med elektrifierings scenariot beskrivet i avsnittet ovan.

Motorns eleffekt dimensioneras efter elbehovet i simuleringsresultatet där behovsstorleken verifierades enligt Delrapport 2.

2.2.3 Dimensionering av akumulator tank

Som biprodukt producerar motorn värme vilket kan användas som fjärrvärme på nätet efter behov. För att få underlag till simuleringsmodellen dimensioneras därför en akumulator tank vilket kan lagra sparad värmeenergi och skicka ut den till tillåten nättemperatur. För ytterligare bakgrund information se delrapport 1. Metodiken för dimensioneringen baserades på ekvationen nedan.

$$V_{tank} = \frac{Q_{behov}}{\rho \cdot c_p \cdot (T_{max} - T_{min})} \quad (1)$$

där

V_{tank} = akumulator tankens volym [m^3]

Q_{behov} = dimensionerande energibehov [J]

ρ = densitet för vatten, 1000 kg/m^3 (Nordling and Österman, 2020)

c_p = specifika värmekapaciteten för vatten, $4,18 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ (Nordling and Österman, 2020)

2.2.4 Simuleringsmodell

En simuleringsmodell för energisystemet på stadsbussdepån, se Figur 2, utvecklades i Python. Dess huvudsyfte var att kvantifiera timvisa energiflöden mellan elbussarnas laddbehov

(se nedan), lokal el- och fjärrvärmeproduktion från biogasmotor, solcellproduktion och elnätet. Exempelvis används nedanstående formel för att varje timma beräkna nettoeffekten mot elnätet.

$$P_{elnt} = P_{laddning} - P_{biogas} - P_{sol} \quad (2)$$

Utifrån de kvantifierade energiflödena kunde sedan klimatutsläpp bestämmas med hjälp av emissionsfaktorer (se 2.2.5), och driftkostnader (OPEX) bestämmas med hjälp av syntetiska prisprofiler (se nedan).

Modellen kördes med en motor med installerad effekt på 3, 4 och 5 MW. Motorerna antogs köra på 100 % av sin kapacitet under natten och 60 % på dagtid. Detta motiveras av bussarnas laddmönster (se nedan).

Simuleringen genomfördes både för enskilda dygn för att analysera effektbalansen, samt för ett år för att få totala energier, driftkostnader och utsläpp.

En fullskalig beskrivning av modellen och dess begränsningar finnes i Delrapport 2.

Laddbehov

Stadsbussdepåns effektbehov finns främst i bussarnas laddningsbehov. Laddningen sker främst under natten, men en andel av bussarna behöver laddas även under lunchtid⁵.

Den nattliga laddningen av bussarna delades in i tre faser⁶. Först genomförs en initial laddning upp till ca 30 % SoC (State of Charge). Denna laddning sker relativt snabbt för att säkerställa att bussarna kan flyttas inom depåområdet och för att undvika att batterierna står urladdade under längre perioder.

Efter den initiala laddningen genomförs en bulk-laddning upp till ca 80 % SoC. Bulk-laddningen optimeras utifrån elspotpriser och depåns effekbelastning. Syftet med optimeringen är att minska elkostnader och effektoppar.

Inför att bussen ska avgå från bussdepån genomförs en slutladdning där batterierna laddas upp till önskad laddnivå för bussens planerade omlopp. Denna laddning sker under de sista timmarna före avgång för att undvika att batterierna står fulladdade under längre perioder.

För att ta hänsyn till att elbussarnas energibehov och laddförutsättningar varierar över året inkluderades säsongsberoende antaganden i modellen. Vinterperioden definieras i modellen som november till mars. Under denna period antas laddverkningsgraden vara lägre än

⁵Information om ungefärliga tider för laddningen angavs av Tobias Timander, teknikförvaltare och tekniskspecialist biogas på Region Uppsala, och Jonas Eriksson, teknisk chef Fastighet och Service på Region Uppsala, under ett möte 24/4-26

⁶Informaion gällande nattlig laddning av elbussar lämnades via e-post från Hans-Petter Larsson, teknisk direktör på Keolis, den 12e maj 2026.

under övriga månader, samt att ett uppvärmningsbehov av bussarna finns⁷.

Syntetiska produktions- och kostnadsprofiler

Utöver att simulera laddningsmönstret behövdes även en stor mängd historisk data hanteras. Istället för att använda konstanta årsmedelvärden skapades syntetiska timprofiler baserade på historiska data. Syftet med detta var att få med tidsmässiga variationer över dygnet och året, men samtidigt inte bli beroende av ett enskilt historiskt år och dess tillfälliga händelser.

De syntetiska profilerna skapades först genom att gruppera historiska data efter månad, dag och timme. För varje sådan kombination beräknades sedan ett historiskt medelvärde och standardavvikelse. Vid simulering hämtades sedan detta medelvärde. För att få med variation adderades sedan en slumpmässig avvikelse baserad på den historiska standardavvikelsen. Syntetiska profiler skapades för elspot-priser, solelproduktion och fjärrvärme-priser.

2.2.5 Ekonomi

För att beräkna OPEX-kostnaderna (driftskostnaderna) för bussarnas laddning med en installerad biogasmotor användes syntetiska kostnadsprofiler för fjärrvärme och elspotpriser (se ovan).

Antaget inköpspris för rågas till biogasmotorn är i modellen satt till 0,8 kr/kWh då detta enligt uppgift är produktionspriset för rågas⁸ och Region Uppsala får köpa gasen för ett förmånligt pris⁹. De syntetiska prisprofilerna och priset för rågasen multipliceras i modellen med de beräknade energiflödena för att få total OPEX.

2.2.6 Klimatpåverkan

Emissionsfaktorn för beräkning av utsläppen från biogasmotorn har satts till -2,52 kg koldioxidkvivalenter/kWh (Naturvårdsverket, 2026). Värdet innefattar utvinning, transport, omvandling och förbränning av bränslet sett ur ett livscykelperspektiv. Där i ingår rötning av gödsel. Genom att ta tillvara på gödslet undviks utsläpp som annars skulle uppstått vid lagring och spridning av obehandlad gödsel på åkrar (Energigas Sverige, 2026a). Enligt

⁷Effektoppar under vintern på grund av uppvärmningsbehov angavs av Tobias Timander, teknikförvaltare och teknikspezialist biogas på Region Uppsala, och Jonas Eriksson, teknisk chef Fastighet och Service på Region Uppsala, under ett möte 24/4-26.

⁸Omräknat värde från e-postkonversation med Lennart Nordin på Uppsala Vatten, 12/5-2026.

⁹Tobias Timander, teknikförvaltare och teknikspezialist biogas på Region Uppsala, och Jonas Eriksson, teknisk chef Fastighet och Service på Region Uppsala, under ett möte 24/4-2026.

Nordin (2026) planeras en ökad andel gödsel i substratet efter utbyggnaden av biogasanläggningen i Uppsala. Därmed har denna siffra setts som relevant. Trots att biogasmotorn på stadsbussdepån planeras att gå på rågas, snarare än uppgraderad biometan, används denna emissionsfaktor. Motiveringen har utförts på grund av bristande data angående rågasen och i samråd med handledare¹⁰.

För inköpt el har emissionsfaktorn för nordisk elmix på 59 g/kWh använts (Chi Johansson and Sandgren, 2026).

Eftersom biogasmotorn inte bara producerar el som går till laddning av stadsbussarna, utan även genererar fjärrvärme och el för export till elnätet, gjordes en allokering utifrån andel producerad energi per produkt¹¹. Mer om detta kan läsas om i Delrapport 2.

2.2.7 Robusthet

För att bedöma robusthet hos kraftvärmeproduktion vid bussdepån används kriterierna uttryckt i material och metoder. I bedömningstabellen i resultatet är referensscenariot baserat på det befintliga elnätet. Detta metodval motiveras av problemformuleringen där elproduktion för elektrifiering är primära syftet.

2.3 Reservkraft

För scenariot med reservkraft samlades information in om krav på reservkraft, möjliga bränslebehov, driftförhållanden och befintliga reservkraftslösningar. Eftersom reservkraft används vid störningar snarare än kontinuerlig drift samlades även information in om robusthet, lagringsmöjligheter och försörjningstrygghet.

2.3.1 Energieffektivitet

Reservkraftens huvudsakliga uppgift är att säkra tillgången till el vid eventuella avbrott. Därför undersöks faktorer såsom elektrisk verkningsgrad, energitäthet, lagringsförmåga och uppstartsförmåga.

I tabell 5 sammanställs elektrisk verkningsgrad för dieselmotor och biogasmotor samt energitäthet för diesel och biogas.

¹⁰Handledare tillika universitetslektor inom bioteknik Åke Nordin bekräftar detta i e-postkonversation 24/5-2026.

¹¹Handledare tillika universitetslektor inom bioteknik Åke Nordin bekräftar denna metod i e-postkonversation 24/5-2026.

Tabell 5: Sammanställning av elektrisk verkningsgrad för diesel- och biogasmotor samt energitäthet för diesel och komprimerad biogas vid 200 bar (CBG).

Parameter	Värde	Referenser
Elektrisk verkningsgrad dieselmotor	30-40 %	(Top one power, 2025).
Elektrisk verkningsgrad biogasmotor	34-40 %	(Baker et al., 2017)
Energitäthet diesel	ca 9,8 kWh/liter	(Eriksson and Hermansson, 2009)
Energitäthet CBG	ca 2,6 kWh/liter	(Eriksson and Hermansson, 2009)

Lagringsförutsättningarna skiljer sig mellan bränslena. Diesel kan vid normala lagringsförhållanden lagras i ca 12 månader (IPU Group, 2024). Metan är en kemiskt stabil gas och bryts inte ned vid lagring under normala förhållanden (St1 Biokraft, 2022). Begränsningar vid lagring av CBG är därför främst kopplade till de spårämnen som gasen innehåller. Vid de 200 bar som arbetet tagit sikte på som norm är även spårämnena stabila. (Sgouridis et al., 2017)

Beträffande uppstartsförmåga har dieselmotorer en snabb uppstartsförmåga på 10 sekunder (Sechilariu and Locment, 2016; Elkelawy et al., 2025) och är en väl beprövad teknik inom samhällsviktig verksamhet såsom sjukhus (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2015). Samtidigt visar studier att gasmotorer har god flexibilitet och snabb uppstartsförmåga där full effekt kan nås inom ca 5 minuter (?).

2.3.2 Befintlig infrastruktur

Akademiska sjukhuset i Uppsala har ett reservkraftssystem uppbyggt på flera nivåer för att säkerställa kontinuerlig drift vid elavbrott. Systemet består av avbrottsfri kraft (UPS) som omedelbart tar över försörjningen av kritiska funktioner samt centrala reservkraftsaggregat som drivs av dieseltypen EcoPar A ¹² (Region Uppsala, 2019).

2.3.3 Dimensionering av reservkraft

För att dimensionera reservkraften på Akademiska sjukhuset gjordes en uppskattning baserad på MSB:s princip om att reservkraftssystem dimensioneras utifrån verksamhetens kritiska laster (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2021). Reservkraftssystem för samhällsviktiga verksamheter såsom sjukhus ska kunna upprätthålla kritiska funktioner vid elavbrott (Energimyndigheten, 2026). Reservkraftens kapacitet bör täcka sjukhusets maxlast samt ha viss marginal för intermittenta laster (såsom hissar). För högsta robusthetsnivå

¹²Information gällande Akademiska Sjukhusets nuvarande reservkraftsanläggning lämnades muntligen på ett möte av Jonas Eriksson (Teknisk chef för Fastighets och Servicekontoret på Region Uppsala) den 11e maj 2026

bör reservkraften täcka 130 procent av maxlasten (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2021).

Eftersom uppgifter om Akademiska sjukhusets installerade effekt, topp effekt och befintliga reservkraftssystem inte är offentligt tillgängliga användes årlig inköpt el, se tabell 6, som underlag för att uppskatta sjukhusets genomsnittliga effektbehov.

Tabell 6: Tabellen visar den inköpta elektriciteten för Akademiska sjukhuset mellan åren 2022-2025.¹⁴

År	MWh köpt el
2025	46 200
2024	46 400
2023	44 800
2022	46 500

Reservkraft dimensioneras normalt utifrån anläggningens topp effekt snarare än medeleffekt. Eftersom uppgifter om Akademiska sjukhusets topp effekt saknades gjordes därför en uppskattning med säkerhetsmarginal där den installerade reservkrafteffekten valdes betydligt högre än den beräknade medeleffekten.

Det finns inga standardiserade värden för antalet reservaggregat eller aggregatens effekt för sjukhus, utan det krävs dimensionering för att bestämma detta (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2021). Den valda dimensioneringen bedömdes därför genom jämförelse med uppgifter från Håkan Wilken (biträdande programchef Norra Hagastaden, Region Stockholm) samt med den projekterade reservkraftsanläggningen vid Södersjukhuset (Locum, 2025).

Vid dimensionering av ett mobilt reservkraftverk användes en utredning gjord av konsultfirman WSP för Knivsta kommun år 2025, där reservkraft för två äldreboenden (särskilda boenden) undersöks (Ohlsson and Andersson, 2025). De två äldreboendena har totalt 110 boendeplatser för särskilt boende. Av dessa 110 platser är 10 korttidsplatser, och 60 platser för demensboende (Knivsta kommun, 2024). Äldreboendena kräver enligt utredningen reservkraft på 161kW respektive 170kW i effekt. De mobila reservkraftsaggregaten planeras att drivas med HVO 100 och kommer ha en tank på 800 liter (Ohlsson and Andersson, 2025). I tabell 7 redovisas uppskattad drifttid och bränsleförbrukning för denna tank. Utöver aggregatens interna lagringskapacitet planeras det en extern mobil bränsletank på 1770 liter, vilket uppskattas ge ytterligare ca 26 timmars drift vid full belastning (Ohlsson and Andersson, 2025).

¹⁴Datan har lämnats ut till oss per epost av Region Uppsalas Energicontroller Daniel Svärdsjö den 22 april 2026. Kontakten till Daniel förmedlades av kandidatarbetets förändringsledare Freja Dahlström som arbetar på STUNS

Tabell 7: Bränsleförbrukning och uppskattad drifttid för ett mobilt reservkraftsaggregat som drivs med HVO 100 vid olika belastningsnivåer baserat på en intern tankvolym om 800 liter.

Last (%)	Förbrukning (l/h)	Drifttid (h)
100	63,5	13
75	48,1	17
50	33,4	24

Det högsta effektbehov som identifierats i WSP:s utredning användes som dimensionerande last för det mobila reservkraftsaggregatet. Vidare antas aggregatet kunna leverera el under 48 timmar vid full belastning¹⁵. Bränslebehovet beräknades utifrån aggregatets effektbehov, elektrisk verkningsgrad för gasmotorer samt energitätheten för CBG.

2.3.4 Ekonomi

Investeringskostnader för biogasdrivna reservkraftverk är svåra att fastställa exakt. Det kräver mer ingående utredningar än detta kandidatarbete. I samråd med arbetets problemägare, Region Uppsala, har det därför beslutats att arbetet ska ge mer generella kostnadsuppskattningar.

En schablonkostnad för typiska gasmotorer ligger mellan 1000-1300 \$/kW (Baker et al., 2017). Denna schablon används för beräkning av investeringskostnader. Beräkningarna inbegriper dock inte kostnader för fastighetsspecifika ombyggnationer eller transport av biogasen.

2.3.5 Klimatpåverkan

Klimatpåverkan från de olika reservkraftsalternativen bedömdes genom en jämförelse av emissionsfaktorer uttryckta i kg CO₂e/MWh. Jämförelsen omfattar biogas, diesel MK1 och EcoPar A. Emissionsfaktorerna avser ett livscykelperspektiv och inkluderar utsläpp från utvinning, transport, omvandling och förbränning av bränslet enligt ISO 14040.

För diesel MK1 och biogas hämtades emissionsfaktorer från Naturvårdsverket (2026). För EcoPar A saknades motsvarande emissionsfaktorer och istället användes uppgifter från EcoPar AB (2026), där bränslet anges minska nettoutsläppen av koldioxid med 30-50 % jämfört med konventionell diesel ur ett livscykelperspektiv. I arbetet används ett genomsnittligt värde på ca 40% utsläppsreduktion jämfört med diesel MK1, se Tabell 8.

¹⁵Information gällande hur lång drifttid det mobila biogasdrivna reservkraftverket ska kunna leverera vid full last lämnades muntligen på ett möte av Jonas Erikson (Teknisk chef för Fastighets och Servicekontoret på Region Uppsala) den 5e maj 2026

Tabell 8: Emissionsvärden för diesel MK1, biogas och EcoPar A diesel

Bränsle	Kg CO ₂ e/MWh
Diesel MK1	324
Biogas	-2,52
EcoPar A	195

Den negativa emissionsfaktorn för biogas beror på att produktionen innefattar rötning av gödsel. Genom att ta tillvara på gödslen undviks utsläpp som annars skulle uppstått vid lagring och spridning av obehandlad gödsel på åkermark (Energigas Sverige, 2026a). Eftersom en ökad andel gödsel planeras användas i substratet efter utbyggnaden av biogas-anläggningen i Uppsala beaktas detta i analysen (Nordin, 2026).

För att uppskatta klimatpåverkan från reservkraftsdrift kombinerades emissionsfaktorerna med dimensioneringsantaganden. Beräkningarna används sedan för att jämföra klimatpåverkan från bränslena vid drift och återkommande testkörningar.

2.3.6 Robusthet

Samhällsviktig offentlig verksamhet ska enligt uppdraget fungera även i kris och krig. För att kunna säkerställa leverans trots kris och krig har den svenska staten långtgående befogenheter att ta över förfogande av egendom genom förfogandelagen samt ransonera begränsade tillgångar genom ransoneringslagen. Exakt hur det tar sig i uttryck i en kris eller krigssituation är däremot omöjligt att förutspå (Sveriges Riksdag, 2024a) (Sveriges Riksdag, 2024b). Ytterligare faktorer som ger oberäknelighet i händelse av kris och krig innebär än högre krav på robusthet.

Bedömning av robusthet för reservkraftverken görs utifrån de kriterier som räknats upp i inledningen av material och metoder.

2.4 Användning av AI

AI har använts i arbetet som det moderna ingenjörsk- och textbearbetningsverktyget det är. Konkret innebär detta att AI har använts till följande:

- Omformulera och korta ner text vi författat.
- Felsöka och utveckla kod samt modeller utifrån prompts vi författat.
- Söka källor på internet, exempelvis genom verktyget *Deep Research*. Där källkritiska bedömningar och genomläsningar av källor sedan gjorts manuellt.

- Tidseffektivt källhänvisa korrekt i Harvardstil i LaTeX kod utifrån information och länkadresser levererade av oss.

3 Resultat

3.1 Kraftvärmeproduktion för elbussar och fjärrvärme

3.1.1 Nyttjande av befintlig infrastruktur

Den befintliga infrastrukturen möjliggör förmågan att lagra trycksatt och flytande biogas vid stadsbussdepån (Skanska AB, 2010)). Den flytande biogasen importeras vid behov från andra kommuner och det sker inte någon produktion av flytande biogas (LBG) i Uppsala. Storleken av de befintliga lagerna möjliggör varierad drift vid ändrat behov. Specifik data angående lagringsstorlek redovisas ej på grund av sekretesskäl.

Den lagrade gas producerad inom Uppsala Region innefattar komprimerad biogas (CBG). Transporten sker från Uppsala Vattens produktionsanläggning via en pipeline (?).

3.1.2 Elbehov

Resultatet från simuleringen ger ett estimerat årligt laddbehov på ca 44 GWh el för elbussarna.

Nedan följer resultat från den alternativa beräkningsmetoden för elbehov som redovisas i delrapport 4:

	Verkningsgrad (BTE)
Biogasbuss	20.4%
Lätthybrid Biogasbuss	26.6%
Elbuss (biogasproducerad el)	$\approx 28.9\%$
Justeringsfaktor	$\approx 0,77$

Tabell 9: Verkningsgrad för olika typer av bussar och beräknad justeringsfaktor

En justeringsfaktor på 0.77 innebär att en elbuss som laddas med en stationär biogasmotor är mer energieffektiv än en ekvivalent biogasbuss.

Gasbehov för biogasbuss	35300 kg/buss/år
Gasbehov för elbuss	29000 kg/buss/år
Totalt gasbehov för 204 elbussar	4 870 000 kg/år
Totalt energibehov för 204 bussar	63,3 GWh
Motsvarande elektrisk energi vid laddning	34,9 GWh

Tabell 10: Gasbehov och elbehov

Elbussarnas högre energieffektivitet leder till att gasförbrukningen per buss minskar.

3.1.3 Dimensionering av motor

Utifrån elbehovet och begränsningen i tillgången av biogas blev den dimensionerade eleffekten 5MW. Fler scenarion av effektdimensionering undersöks i simuleringsrapporten.

Siffran för motorns eleffekt kan konverteras till motorns värmeeffekt genom beräkning av verkningsgrad. Detta resulterar i en värmeeffekt mellan 5-6MW beroende på driftförhållanden. I denna rapport antas värmeeffekten ligga 6MW för dimensioneringen av akumulator-tanken.

3.1.4 Motorns driftstrategi

För att maximera lönsamhet, utnyttjande av investering samt minimera risk för driftskador vid stopp och uppstart valdes driftstrategi med kontinuerlig produktion. Detta innefattar en basproduktion motsvarande 60% under dagtid då enbart en minimal del av bussflottan har behov av dagsladdning. Under natten mellan 22-04 sker topplasttimmar där bussarna har högt elbehov och därmed planeras motorerna gå på 100% installerad effekt. Denna driftstrategi implementeras i pythonmodellen.

Vid tillfällen av mycket låga elpriser, elbehov, värmebehov eller mängd tillgänglig biogas bör motorn klara av att minska effekten ytterligare. Detta motsvarar runt 20% av maxeffekt och baseras på ett antagande av gasmotors turndown ratio på 1:5. Antagandet stöds av att turbinmodeller med komplexare driftmöjligheter har enligt GE Vernova en ratio på 1:5 (GE Vernova, 2024).

.

3.1.5 Fjärrvärme

För att hantera spillvärmen från en motor finns det två olika metoder att undersöka vilket innefattar ett lokalt fjärrvärmesystem eller uppkoppling mot det centrala nätet. Det nuvarande fjärrvärmesystemet i Uppsala är ägt av Vattenfall då de äger ett fjärrvärmeverk som kan hantera diverse typer av avfall och grot (Vattenfall, 2026a).

För uppkoppling på det centrala fjärrvärmenätet krävs samarbete med Vattenfall eftersom de är nätagare. Deras verksamhet fungerar genom att de skickar ut 70-120°C vatten från fjärrvärmeverket ut i nätet där det sedan växlas ner till 50-60 °C vid fastigheter (Vattenfall,

2026c). För att upprätthålla dessa temperaturkrav uppmuntrar de inte att företag kopplar upp sig på centrala nätet¹⁶. Samarbetet de erbjuder går genom Samenergi vilket erbjuder avtal där företag kan sälja sin spillvärme till nätet. För den spillvärmen erbjuds ersättning baserat på hög temperaturleverans, planerbarhet i produktion och efter fjärrvärmebehov (Vattenfall, 2026b).

Utvärdering av möjligheten till detta typ av samarbete utgår från dialog med Vattenfall. Enligt uppgift från Vattenfall bedöms möjligheten av nätintegration god givet värmeeffekten beskrivet i avsnittet om motordimensionering samt en framledningstemperatur på 80 °C . Utifrån dessa uppgifter erhöles historiska prislistor för fjärrvärmen vilket integrerades i simuleringen.¹⁷

3.1.6 Dimensionering av akumulator tank

Resultatet av dimensioneringen utgick från en värmeeffekt på 6MW. Denna värmeeffekt beräknades utifrån resultatet av motordimensioneringen. Dimensioneringen resulterar i de heltalsavrundade dimensionerna nedan.

Tabell 11: Geometrisk specifikation för val av akumulator tankmodell.

Geometrisk parameter	Symbol	Värde	Enhet
Dimensionerande tankvolym	V_{tank}	780	m ³
Höjd-till-diameter-förhållande	H/D	2,0	-
Beräknad diameter (bredd)	D	8	m
Beräknad höjd	H	16	m

För härledning av beräkning se delrapport 1: Dimensionering av Ackumulator tank".

3.1.7 Energiflöden

Tabell 12 visar hur energiflödena för energisystemet på stadsbussdepån då en biogasmotor med elektrisk effekt på 5 MW installeras. Värdena är avrundade till två värdesiffror.

¹⁶Deciree Lundström (Säljstöd hos Vattenfall) besvarade frågor angående fjärrvärme uppkoppling på nätet via mail den 29e april 2026

¹⁷Jonas Sjöstedt (Fjärrvärmeexpert på Vattenfall) besvarade frågor angående fjärrvärmeuppkoppling på Stadsbussdepån vid Rapskatan 35 i Fyrislund Uppsala.

Tabell 12: Års-sammanställning av energiflöden vid bussdepån från simulering.

Eleffekt biogasmotor (MW)	Använd biogasenergi (GWh)	Producerad el från biogasmotor (GWh)	Importerad el (GWh)	Exporterad el (GWh)	Laddenergi till bussar (GWh)	Producerad värme från biogasmotor (GWh)
5	91	37	19	12	44	44

Biogasmotorn producerar 37 GWh el under simuleringsåret och kräver 91 GWh energi i rågas. Detta visar att dimensioneringen av biogasmotorn stämmer väl överens med den maximala biogasproduktionen, vilket enligt tidigare kommer att uppgå till 90 GWh. För att se hur energiflödena ser ut för fler dimensioneringar på biogasmotorn, se Delrapport 2.

Det totala laddbehovet för elbussarna uppgår till 44 GWh, men trots biogasmotorns elproduktion på 37 GWh krävs en elimport på 19 GWh från elnätet. Detta beror på biogasmotorns driftstrategi, vilken förklaras tidigare i rapporten. Driftstrategin medför också att den exporterade elen uppgår till 12 GWh. För att sätta denna siffra i kontext kan 12 GWh täcka det årliga elbehovet hos ca 2400 normalstora villor i Uppsala, förutsatt att de är uppkopplade till fjärrvärmenätet och har en snittförbrukning på ca 5000 kWh per år (Energimarknadsbyrån, 2026). Utöver den exporterade elen tillgodogörs även 44 GWh värme för fjärrvärmeexport.

3.1.8 Ekonomiska faktorer

De ekonomiska faktorerna som påverkar genomförbarheten av detta scenario innefattar Capex och Opex. Med Capex innefattas investeringskostnader för akumulator tank, gasmotor och byggnation.

Anskaffningskostnaden för ackumulator tanken varierar beroende på material och planerad lagringstemperatur. Vid scenariot av att vattentemperaturen överskrider 100 °C krävs en trycksatt tank och mer isolering. I detta fall är den planerade vattentemperaturen från gasmotorn 80 °C och därmed är en icke trycksatt tank relevant. För korttidslagring med ståltank varierar kostnaden mellan 300-800 €/m³. För den dimensionerade lagringstanken blir detta 234 000 - 624 000€ (Vicus Software, 2024). Konvertering av beloppet ger att 1€ = 11sek och investeringen 2,6-6,9 miljoner kr.

Investeringskostnaden för en biogasdrivenmotorn motsvarar 1000-1300USD/kW (Baker et al., 2017). Beräkning av kostnaden givet motorstorlek 5MW ger en kostnad mellan 5-6,5 miljoner USD. Detta motsvarar givet en konvertering 1USD =10 sek ett investeringsbelopp mellan 50-65 miljoner kr.

Den sammanlagda investeringskostnaden för akumulator tank och motor blir mellan 52,6-

71,9 miljoner kr.

Opexkostnader inkluderar elimport från elnätet, samt inköp av biogas från Uppsala vatten där Region Uppsala får förmånliga priser¹⁸. Antagna elpriser är baserade på historiska elspotpriser i elområde SE3. Antaget inköpspris för rågasen är i modellen satt till 0,8 kr/kWh då detta enligt uppgift motsvarar produktionspriset¹⁹.

Tabellen nedan visar de estimerade driftskostnaderna för stadsbussdepån enligt pythonsimuleringen. Värdena är avrundade till två värdesiffror. Mer om modelleringen kan läsas om i Delrapport 2.

Tabell 13: Ekonomisk års-sammanställning av driftskostnader och intäkter enligt simulering.

Eleffekt biogasmotor (MW)	Kostnad biogas (milj. kr)	Kostnad inköpt el (milj. kr)	Intäkt exporterad el (milj. kr)	Nettokostnad el (milj. kr)	Fjärrvärme- intäkt (milj. kr)	SUMMA (milj. kr)
5	73	8,6	8,2	0,4	15	-58

Att den ekonomiska års-sammanställningen (Tabell 13) visar en hög kostnad på 58 miljoner kronor per år stämmer väl med internationella teknisk-ekonomiska modelleringar av flexibla biogasanläggningar. Hochloff and Braun (2014) visade kvantitativt att trots att intäkterna optimeras genom att styra produktionen mot dyrare timmar via ett gaslager, är de rena marknadsintäkterna från el- och reservkraftsmarknaden ofta otillräckliga för att täcka investerings- och driftkostnaderna för systemet om inte externa statliga flexibilitetspremier eller subventioner inkluderas.

3.1.9 Klimatpåverkan

Tabell 14 visar de beräknade klimatutsläppen då en biogasmotor med 5 MW eleffekt är installerad, avrundat till två värdesiffror. De totala utsläppen från biogasmotorn uppgår till ca -230 ton koldioxidekvivalenter per år. Utsläppen för den inköpta elen uppgår till 1,1 miljoner kg koldioxidekvivalenter.

Tabell 14: Års-sammanställning av klimatutsläpp enligt simulering.

Eleffekt biogasmotor (MW)	Totala utsläpp biogasmotor (tusen kg CO₂e)	Allok. utsläpp fjärrvärme (tusen kg CO₂e)	Allok. utsläpp exp. el (tusen kg CO₂e)	Allok. utsläpp laddning (tusen kg CO₂e)	Utsläpp inköpt el (milj. kg CO₂e)
5	-230	-130	-34	-71	+1,1

¹⁸Tobias Timander, teknikförvaltare och tekniskspecialist biogas på Region Uppsala, och Jonas Eriksson, teknisk chef Fastighet och Service på Region Uppsala, under ett möte 24/4-2026.

¹⁹Omräknat värde från e-postkonversation med Lennart Nordin på Uppsala Vatten, 12/5-2026.

De totala utsläppen för laddning av elbussarna fås genom att summera de allokerade utsläppen för laddningen och utsläppen för den inköpta elen. Sammanlagt uppgår de till ca 1030 ton CO₂e. Detta kan jämföras med om bussarnas elbehov hade täckts av endast import från elnätet. Utsläppen hade då uppgått till ca 2600 ton koldioxidekvivalenter.

Att kraftvärmescenariot ger upphov till tydliga klimatvinster får starkt stöd vid en jämförelse med empiriska mätdata från Negro et al. (2025), vilka undersökt utsläppsbesparingar vid omställning mellan el- och biometanproduktion. Enligt deras kvantitativa analys ger biometanuppgradering en växthusgasreducering på 152 kg CO₂-ekvivalent per MWh rågas, medan ren elproduktion stannar på 120 kg CO₂-ekv per MWh Negro et al. (2025). Denna skillnad kan dock kompenseras om mer än 31 % av den årliga spillvärmens tas tillvara blir kraftvärmeproduktionen det mest miljöfördelaktiga alternativet Negro et al. (2025). Givet att stadsbussdepån i Uppsala i detta scenario tillgodogör sig hela 44 GWh värme för fjärrvärmeexport (se Tabell 12), överstiger anläggningen denna kritiska gräns med god marginal, vilket bekräftar att den lokala kraftvärmelösningen är klimatomässigt motiverad.

3.1.10 Robusthet

Utifrån definitionen av robusthet i metodavsnittet kan en motor bidra till både flexibilitet och robusthet. Detta beror på att motorn har funktionen att decentraliserat producera el och värme. I fallet med hot på Uppsalas befintliga energisystem bidrar den lokala produktionen av el och värme till självförsörjning och därmed en minskad sårbarhet. Vid avbrott av central el och värmeproduktion kan motorn agera som en reservkälla och öka resiliensen.

Flexibiliteten påverkas genom att Vattenfall är Uppsalas primära fjärrvärme producent som importerar olika typer av avfall. Genom att ta till vara på spillvärmens från biogasen bidrar det till att Vattenfall kan minska sina volyminköp av avfall och spara resurser. Den decentraliserade produktionen utgör dock en svårighet för Vattenfalls verksamhet då de behöver planera utifrån motorns driftförhållanden, vilket minskar deras flexibilitet²⁰.

Akumulator tankens funktion agerar som flexibilitet i uppkopplingen av nätet och Vattenfalls samarbete då lagringen av energi innebär utökad planerbarhet²⁰.

²⁰Jonas Sjöstedt (Fjärrvärmeexpert på Vattenfall) besvarade frågor angående Vattenfalls roll på fjärrvärmenätet och hinder för uppkoppling.

Kriterium	Elnät utan biogasmotor	Biogasmotor + elnät
Ger biogas i alternativet en möjlighet att nyttja en ny energikälla i sammanhanget?	Nej	Ja
Minskar biogas i alternativet behovet av långväga bränsletransporter?	Ja	Delvis
Ökar biogas förmågan till ett flexibelt energisystem?	Nej	Ja

Tabell 15: Utvärdering av bedömningskriterier av robusthet för olika alternativ.

3.2 Reservkraft

3.2.1 Dimensionering av reservkraft

Utifrån tabell 6 uppskattas den genomsnittliga elanvändningen till cirka 126 MWh per dygn, vilket motsvarar en genomsnittlig effekt på cirka 5,25 MW.

Baserat på den uppskattade effektförbrukningen och den valda säkerhetsmarginalen antas Akademiska sjukhusets reservkraftssystem dimensioneras för en installerad effekt på cirka 14 MW. Detta motsvarar sju reservkraftsaggregat med en märkeffekt på 2 MW vardera.

Den valda dimensioneringen bedöms vara rimlig utifrån personlig kommunikation med Håkan Wilken (biträdande programchef Norra Hagastaden, Region Stockholm), som uppskattar att ett sjukhus av Akademiska sjukhusets storlek sannolikt har mellan fyra och tio reservkraftsaggregat beroende på aggregatens effekt.²¹ Som jämförelse projekteras Södersjukhusets reservkraftsanläggning med sex reservkraftsaggregat (Locum, 2025).

Alternativet med ett mobilt reservkraftverk är lämpat för en mindre anläggning än ett storskaligt sjukhus. Det mobila reservkraftverket dimensioneras utifrån att klara det högsta effektbehovet från WSP:s utredningen på 170 kW. Med hänsyn till effektoppar och ökad robusthet antas ett biogasdrivet reservkraftsaggregatet behöva ha en installerad effekt på 200 kW. För 48 timmars drift vid ett effektbehov på 170 kW krävs totalt 8160 kWh producerad el.

Bränslebehovet beror på gasmotorns verkningsgrad samt biogasens energitäthet. Med antagandet att gasmotorns elektriska verkningsgrad och biogasens energitäthet är enligt tabell 5, motsvarar detta ett bränslebehov mellan 8-9 m³ CBG för 48 timmars drift. Jämfört med HVO 100 kräver ett biogasdrivet reservkraftverk mellan ca 3 gånger större bränslevolymer. Beräkningarna redovisas i delrapport 3.

Den höga driftsäkerheten och snabba responsen hos denna typ av system stöds av den

²¹ Håkan Wilken (Bitr. Programchef Norra Hagastaden, Region Stockholm) besvarade frågor om reservkraft för större sjukhus via mejl den 22 april 2026.

kvantitativa modelleringen i studien av Aahäivälä et al. (2017). Deras systemsimulering visar att moderna, snabbstartande gasmotorer uppnår full reservkrafteffekt inom 5 minuter från nollstart, vilket gör dem mycket lämpade för snabba nätinsatser Aahäivälä et al. (2017). Denna korta starttid innebär också att motorerna inte behöver hållas i kontinuerlig, kostsam varm beredskap; enligt Aahäivälä m.fl. Aahäivälä et al. (2017) reduceras start- och tomgångskostnaderna med upp till 95 % jämfört med traditionella reservkraftslösningar. Ur ett bredare systemperspektiv visar deras analys dessutom att integrationen av flexibla gasmotorer kan generera årliga driftskostnadsbesparingar på upp till 15,6 miljoner euro för elområdet genom en effektivare balansering av fluktuerande energikällor Aahäivälä et al. (2017). För Region Uppsala pekar detta på att en övergång till biogasdrivna aggregat inte bara säkrar den interna driften vid elavbrott, utan även erbjuder ett betydande systemtekniskt värde för det lokala elnätet.

3.2.2 Ekonomi

För Akademiska sjukhuset beräknas en investering i biogasdriven reservkraftverk innebära en total kostnad för gasmotorerna mellan 14-18,2 miljoner dollar. Omräknat till svenska kronor blir det mellan 140-182 miljoner kronor. Detta inbegriper dock inte kostnader för ombyggnationer i fastigheten eller transport av biogasen. För ombyggnationer tillkommer omfattande kostnader och transportkostnaderna beror på om transport sker per lastbil eller gasledning. För arbetet antas det minst kosta 10 miljoner kronor för lagring eller gasledningsanslutning. (Biodriv Öst, 2024)

För det mobila reservkraftverket om 200 kW effekt blir investeringskostnaden mellan 200 000-260 000 \$. Vilket omräknat till kronor blir mellan 2–2,6 miljoner kronor. Utifrån ett räkneexempel från Biogas Öst för CBG-gasflak som lagring av biogas antas minst omkring 500 000 kronor tillkomma för gaslager. (Biodriv Öst, 2024)

3.2.3 Klimatpåverkan

I detta arbete antas varje reservkraftsaggregat på akademiska sjukhuset ha en installerad effekt på 2 MW och tillsammans med emissionsfaktorerna i Tabell 8, blir utsläppen för vardera aggregat enligt Tabell 16.

Tabell 16: Utsläppsvärden per aggregat per timme

Bränsle	Kg CO ₂ e/h
Diesel MK1	648
Biogas	-5,04
EcoPar A	390

För att säkerställa att reservkraftssystemet fungerar korrekt rekommenderar Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2021) att ett totalfunktionsprov genomförs en gång per månad, där aggregaten ska drivas under full belastning i två timmar. Om reservkraften inte behöver användas vid faktiska elavbrott innebär detta att aggregaten är i drift totalt 24 timmar per år enbart för testkörning. Utifrån dessa antaganden kunde de årliga klimatutsläppen från testdrifterna beräknas för respektive bränsle och presenteras i Tabell 17.

Tabell 17: Totala utsläpp per aggregat i koldioxidekvivalenter per år

Bränsle	Kg CO ₂ e
Diesel MK1	15 600
Biogas	-121
EcoPar A	9360

3.2.4 Robusthet

Med robusthet menas den definition som MSB/MCF använder, specificerad i material och metoder (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2023). Robusthet bedöms utifrån de kriterier som specificerats i material och metoder.

Kriterium	Akademiska	Mobil reservkraft
Ger biogas i alternativet en möjlighet att nyttja en ny energikälla i sammanhanget?	Ja	Ja
Minskar biogas i alternativet behovet av långväga bränsletransporter?	Ja	Ja

Tabell 18: Utvärdering av uppfyllda kriterier för olika alternativ.

Biogasens lagringsstabilitet (som är bättre än diesel) bedöms även den bidra till ökad robusthet i energisystemet (IPU Group, 2024) (Sgouridis et al., 2017).

Båda de undersökta reservkraftsalternativ bedöms kunna bidra till en ökad lokal robusthet i energisystemet och för energiförsörjningen av samhällsviktig verksamhet. En ny energibärare för reservkraft introduceras i form av biogas och därmed minskar beroendet av långväga bränsletransporter. Därtill ökar lagringsstabiliteten.

4 Diskussion

4.1 El och fjärrvärmeproduktion vid Uppsalas stadsbussdepå

Lokal elproduktion vid Uppsalas stadsbussdepå är särskilt relevant eftersom elektrifieringen av busstrafiken kommer att öka elbehovet vid depån, samtidigt som uppsalaregionen redan nu har kapacitetsbrist i sitt elnät (Uppsala kommun, 2026). Beräkningarna i arbetet visar att en fullt elektrifierad stadsbussflotta skulle kunna kräva cirka 35-44 GWh el per år, men enligt simuleringen med biogasmotor behövs bara ca 19 GWh el köpas in från elnätet. En biogasdriven motor skulle alltså fungera som ett lokalt komplement till elnätet och bidra till att minska effekttoppar vid laddning av bussar. Samtidigt visar simuleringen en relativt stor ekonomisk förlust på 58 miljoner om året. Ytterligare studier behövs för att studera om förlusten kan minskas, exempelvis med en annan driftstrategi.

Stockholm Gas AB kom också fram till att elproduktion med biogas inte är ekonomiskt fördelaktig. Istället fann de en potential att ge en säkrare elförssörjning till samhällsviktiga verksamheter under kriser, och ge alternativ till reservkraftsystem som oftast är dieseldrivna. Denna ökade robusthet överensstämmer med denna studies resultat.

En styrka med detta alternativ är att det utnyttjar befintlig infrastruktur. Vid stadsbussdepån finns koppling av biogassystemet från Kungsängens gård och Kungsängsverket samt ett biogaslager, vilket gör att lösningen inte behöver byggas helt från grunden. Detta kan i helhet minska investeringskostnader och göra lösningen enklare att implementera jämfört med en helt ny lokalisering.

En annan fördel är möjligheten att ta vara på spillvärme från elproduktionen. Om en CHP-lösning används kan den totala energieffektiviteten bli högre än om biogasen enbart används för elproduktion. Spillvärmen skulle antingen kunna användas lokalt eller säljas till fjärrvärmenätet. Detta gör lösningen mer resurseffektiv, men skapar också beroenden. För att ansluta till det centrala fjärrvärmenätet krävs samarbete med Vattenfall, och värmens temperatur, planerbarhet och leveranssäkerhet blir viktiga faktorer för lönsamheten i samarbetet. Om spillvärmen inte kan användas effektivt minskar nyttan med lösningen. Vid eventuellt pilotprojekt skulle extensiv dialog med Vattenfall krävas för att säkerställa integrationen.

Det finns också begränsningar med alternativet. Elproduktion från biogas kan ha svårt att konkurrera ekonomiskt med inköpt el under perioder med låga elpriser. Lösningen blir därför mest intressant om den används strategiskt, exempelvis vid höga elpriser, hög belastning på elnätet eller som en del av en större beredskapslösning. En kontinuerlig drift året runt är inte nödvändigtvis det mest ekonomiska eller resurseffektiva alternativet, men det bidrar till en robust cirkulär process med lokal producerad energi. Biogasmotorn hade lett

till elexport till elnätet på en storleksordning av ca 12 GWh, vilket kan täcka den årliga elförbrukningen för ca 2400 medelstora villor i Uppsala. Det är ett bevis på hur lösningen hade kunnat leda till ett mer robust elsystem.

Sammantaget bedöms el- och fjärrvärmeproduktion vid stadsbussdepån vara ett tekniskt möjligt och lokalt relevant användningsområde för biogas. Alternativet passar särskilt väl eftersom det kopplar samman biogasens framtida roll med elektrifieringen av kollektivtrafiken.

4.2 Reservkraft

Biogas som reservkraft är ett relevant användningsområde särskilt eftersom energiberedskap och robusthet har blivit allt viktigare. Till skillnad från normal elproduktion syftar reservkraft inte till att producera billig el utan till att säkerställa samhällsviktiga funktioner vid elavbrott eller kris. Därför blir biogasens egenskaper såsom regional produktion, bränsletillgång och lagringsstabilitet relevant i denna typ av tillämpning. Samtidigt behöver dessa vägas mot tekniska aspekter som energitäthet, energieffektivitet och uppstartstid.

Biogas har lägre energitäthet än flytande diesel vilket kräver större lagringsvolym för reservkraft vid Akademiska sjukhuset (Eriksson and Hermansson, 2009). Däremot kan den regionala produktionen av biogas minska beroendet av långa bränsletransporter och därmed delvis kompensera för det ökade lagringsbehovet. Detta förutsätter dock att distributionen kan upprätthållas även vid händelse av kris.

Biogasmotorer och dieselmotorer har i princip samma elektriska verkningsgrad men varierande uppstartstid. Uppstartstiden för en gasmotor är längre än för en dieselmotor. Akademiska sjukhuset är försett med ett UPS-system som startar direkt vid ett elavbrott (Region Uppsala, 2019). Enligt Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2021) bör ett UPS-system kunna klara minst en timmes drift vid full belastning, vilket ger tid för den biogasdrivna reservkraften att starta och gör systemen relativt likvärdiga.

Beträffande ekonomin kan de kostnadsberäkningar som gjorts för biogasdrivna reservkraftverk i arbetets resultatdel kan jämföras med investeringskostnader för dieseldriven reservkraft. Kostnaden för biogasdriven reservkraft på Akademiska sjukhuset på 150–192 miljoner kan jämföras med Södersjukhusets (SÖS) investering i dieseldriven reservkraft, som uppgår till totalt 576 miljoner kronor. I den kostnaden inkluderas emellertid även takbeläggning, isolering och hyra m.m. Anläggningen utformas i huvudsak i enlighet med MSB:s "Den Robusta Sjukhusbyggnaden" och dimensioneras alltså för att ha minst 30 procent överkapacitet (Locum, 2025). Den mobila biogasdrivna reservkraften beräknades kosta omkring 2,5-3,1 miljoner kronor. De dieseldrivna mobila reservkraftverken för äldreboendena som

WSP utrett beräknas för ett av äldreboendena kosta omkring 3 200 000 kronor för reservkraftverket + tank (ca 165 kW) (Ohlsson and Andersson, 2025). Jämförelserna visar på att kostnaderna för biogasdriven reservkraft till stor del (speciellt vid mindre anläggningar) kan vara jämförbara med deras dieseldrivna motsvarigheter.

För en komplett och mer tillförlitlig kostnadsbild bör dock specifika anläggningar undersökas närmare, men även möjligheter till eventuella stöd. Investeringar i sådant som minskar utsläpp kan få bidrag genom Klimatklivet (Länsstyrelsen Uppsala, 2026). Investeringar i sådant som ökar robusthet kan få stöd genom det riktade statsbidraget SSIK genom Socialstyrelsen (Socialstyrelsen, 2026).

En fördel med biogas är den lägre klimatpåverkan jämfört med diesel sett från ett livscykelperspektiv. Tabell 17 visar att utsläpp/år för EcoPar A är betydligt högre än för biogas. Eftersom reservkraft främst används vid testdrift blir däremot de årliga utsläppen begränsade. Klimatnyttan med biogas blir därför mest betydelsefull vid längre elavbrott eller om reservkraften behöver användas oftare.

För Akademiska sjukhuset bedöms en övergång till biogasdriven reservkraft bli kostsam och relativt komplex eftersom verksamheten redan har ett befintligt reservkraftssystem med höga krav på driftsäkerhet. Biogas bör därför inte ses som ett enkelt direkt substitut, utan snarare som ett möjligt komplement eller som ett alternativ vid framtida nyinvesteringar.

Ett mobilt biogasdrivet reservkraftverk framstår däremot som ett mer realistiskt första steg givet den mindre prislappen och möjligheten till flexibel användning vid småskaliga samhällsviktiga verksamheter utan omfattande ingrepp i befintlig infrastruktur. Implementering kräver dock vidare utredning av effektbehov, lagring, transport och driftsäkerhet.

Stockholm Gas AB fann en potential hos biogasdriven reservkraft att ge en säkrare elförssörjning till samhällsviktiga verksamheter under kriser, och ge alternativ till reservkraftsystem som oftast är dieseldrivna. Denna ökade robusthet överensstämmer med denna studies resultat.

5 Slutsatser

Sammanfattningsvis visar arbetet att biogas fortsatt kan fylla en viktig funktion i Region Uppsala även när den fasas ut som drivmedel i stadstrafiken. De användningsområden arbetet undersökt är lokal el- och värmeproduktion samt reservkraft för samhällsviktiga verksamheter.

El- och värmeproduktion vid bussdepån har en stor potential då biogasen kan samverka med elektrifieringen av bussarna för att nå målet om utsläppsfria transporter. En fördel med denna lösning är att delar av den befintliga infrastrukturen kan nyttjas, vilket minskar kostnaderna och underlättar omställningen.

Simulering visar att en CHP Biogasmotor på Stadsbussdepån med 5MW installerad effekt producerade 37 GWh el och krävde 91 GWh energi i rågas, vilket stämmer väl överens med den beräknade framtida gasproduktionen på 90 GWh. Trots att 37 GWh el producerades krävdes en elimport på 19 GWh från elnätet. Den exporterade elen uppgår till 12 GWh. Utöver den exporterade elen tillgodogörs även 44 GWh värme för fjärrvärmeexport. Den sammanlagda investeringskostnaden för akumulator tank och motor blir mellan 52,6-71,9 miljoner kr. Ekonomisk analys visar på en årlig förlust på 58 miljoner kronor per år. Total klimatpåverkan visar en minskning i utsläpp på 1570 ton CO₂eq/år.

I arbetets del för biogasdriven reservkraft undersöktes två alternativ i olika skala. Ett större system för Akademiska sjukhuset samt ett mobilt reservkraftverk för mindre verksamheter.

För Akademiska sjukhuset dimensionerades reservkraftssystemet till 7 aggregat med en effekt på 2MW vardera. Vid antagen testkörning två timmar per månad beräknades de årliga utsläppen per aggregat till 15 552 KgCO₂e för diesel MK1, -120,96 KgCO₂e för biogas samt 9360 KgCO₂e för EcoPar A. Den uppskattade investeringskostnaden uppgick till 140-182 miljoner kronor, samt cirka 10 miljoner för gaslager eller gasledningsanslutning.

För det mobila reservkraftverket beräknades bränslebehovet till 8-9 m³ CBG vid 200 bar vid en effekt på 170kW under 48 timmar. Den uppskattade investeringskostnaden för aggregaten uppgick till 2-2,6 miljoner kronor, samt cirka 500 000 kronor för gaslager (CBG-gasflak).

För robusthet visade resultatet att biogasdriven reservkraft bidrar till en ökad lokal robusthet i energisystemet genom att det nyttjas en ny energikälla i sammanhanget samt att behovet av långväga transporter minskar.

Referenser

- Aahäivälä, N., Kiviluoma, J., Leino, J., and Lehtonen, M. (2017). System-level value of a gas engine power plant in electricity and reserve production. *Energies*, 10(7).
- Baker, T., Brown, M., and Jaramillo, P. (2017). Assessing the potential for biogas production from agricultural waste in the UK. *Energies*, 10(3):327. <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/3/327> Hämtad 2026-05-21.
- Biodriv Öst (2024). Biogas i industrin: Möjligheter och utmaningar vid konvertering. https://biodrivost.se/wp-content/uploads/2024/01/Biogas_industri.pdf. Hämtad 2026-05-21.
- Chi Johansson, N. and Sandgren, A. (2026). Emissionsfaktor för nordisk elmix år 2021–2023. <https://www.ivl.se/press/nyheter/2025-09-25-klimatpaverkan-for-kop-t-el-har-minskat-visar-nya-berakningar.html>. Hämtad: 2026-04-14.
- EcoPar AB (2026). Ecopar a - produktblad. <https://www.ecopar.se/drivmedel/ecopar-a/>. Hämtad: 2026-05-21.
- Elkelawy, M., Mohamed Draz, A., and Seleem, Hussein nad Abdalla Hamouda, M. (2025). Performance characteristics of diesel engine power plants: Efficiency, emissions, and operational flexibility. https://www.researchgate.net/publication/389534334_Performance_Characteristics_of_Diesel_Engine_Power_Plants_Efficiency_Emissions_and_Operational_Flexibility. Hämtad 2026-04-14.
- Ellis, H. and Pastuhoff, M. (2021). Energisystem för robust energiförsörjning. Technical Report FOI-R–5000–SE, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI). ISSN 1650-1942. <https://www.foi.se/rest-api/report/FOI-R--5000--SE> Hämtad: 2026-05-03.
- Energigas Sverige (2026a). Biogas och miljön. <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/biogas-och-miljon/>. Hämtad 2026-05-22.
- Energigas Sverige (2026b). Vad innehåller biogas? <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/faq-om-biogas/vad-innehaller-biogas/>. Hämtad: 2026-05-13.
- Energigas Sverige (2026c). Vad är uppgraderad biogas? <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/faq-om-biogas/vad-ar-uppgraderad-biogas/>. Hämtad: 2026-05-13.
- Energimarknadsbyrån (2026). Normal elförbrukning och elkostnad för villa. <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-elavtal-och-kostnader/elhandelsavtalet/elforbrukning/normal-elforbrukning-och-elkostnad-for-villa/>. Hämtad: 2026-05-24.

- Energimyndigheten (2026). Vägledning för hantering av reservkraftprocessen. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Arkitektkopia/ViewTemplate?tid=6bee108c52bb4bdaac771fb6d26e8b5b>. Hämtad: 2026-04-14.
- Eriksson, O. and Hermansson, T. (2009). Biogas i gästrikeregionen – big en systemanalys. Examensarbete, Högskolan i Gävle. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1130800/FULLTEXT01.pdf>. Hämtad: 2026-05-19.
- Gamla Uppsala Buss (2026a). Biogas. <https://www.gub.se/gub/miljo/fornybara-drivmedel/biogas/>. Hämtad: 2026-04-22.
- Gamla Uppsala Buss (2026b). El. <https://www.gub.se/gub/miljo/fornybara-drivmedel/el/>. Hämtad: 2026-04-28.
- Gamla Uppsala Buss (2026c). Hvo. <https://www.gub.se/gub/miljo/fornybara-drivmedel/hvo/>. Hämtad: 2026-05-04.
- Gamla Uppsala Buss (2026d). Start sida. <https://www.gub.se/gub/>. Hämtad: 2026-04-28.
- GE Vernova (2024). KA26 low load operation upgrade. <https://www.gevernova.com/gas-power/services/gas-turbines/upgrades/ka26-low-load-operation-upgrade>. Hämtad: 2026-05-25.
- Göteborgs Stad (2022). Göteborgs stads energiplan 2022–2030. Hämtad 2026-03-27.
- Hochloff, P. and Braun, M. (2014). Optimizing biogas plants with excess power unit and storage capacity in electricity and control reserve markets. *Biomass and Bioenergy*, 65:125–135.
- Hu, R., Chen, X., Li, L., Kong, F., and Liu, Y. (2024). Exhaust emissions and energy conversion of hybrid and conventional CNG buses. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 135:104405. Hämtad: 2026-07-18.
- IEA Bioenergy (2013). Biogas production and utilisation. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/IEA-Bioenergy-Update-18-Biogas-Production-and-Utilisation.pdf>. Sida 9. Hämtad: 2026-05-13.
- IPU Group (2024). Bp's advice on long term storage of diesel. <https://www.ipu.co.uk/bp-long-term-storage-of-diesel/>. Hämtad: 2026-05-19.
- Knivsta kommun (2024). Lokalförsörjningsplan: Socialnämnden 2024–2035. <https://knivstakommun.ondemand.formpipe.com/welcome-sv/namnder-styrelser/socialnamnden/socialnamnden-2024-12-12/agenda/lokalforsorjningsplan-socialnamnden-2024-2035pdf?downloadMode=open>. Hämtad: 2026-05-07.

- Locum (2025). Genomförandebeslut SÖS ny reservkraft. <https://www.locum.se/globalassets/global/5.-om-oss/styrelsen-dokument/2025-09-24-styrelsen-arkiv/11beslut-genomforandebeslut-sos-ny-reservkraft.pdf>. Styrelsedokument 2025-09-24. Hämtad: 2026-05-06.
- Länsstyrelsen Uppsala (2026). Klimatinvesteringsstöd (klimatklivet). <https://www.lansstyrelsen.se/uppsala/miljo-och-vatten/energi--och-klimatomställning/klimatinvesteringsstod.html>. Hämtad: 2026-05-08.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2015). Vägledning för hantering av reservkraftprocessen. Technical Report MSB784, MSB. Hämtad: 2026-05-19.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2021). Den robusta sjukhusbyggnaden – en vägledning för driftsäkra sjukhusbyggnader. <https://rib.msb.se/filer/pdf/29484.pdf>. Hämtad: 2026-04-16.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2023). Kontinuitetshantering – en presentation som beskriver nyttan: att skapa robusthet – för att vardagen inte alltid är sig lik. <https://www.mcf.se/sv/publikationer/kontinuitetshantering---en-presentation-som-beskriver-nyttan--att-skapa-robusthet--for-att-vardagen-inte-alltid-ar-sig-lik2/>. Publ.nr: MSB1417. (Myndigheten bytte 2026 namn till Myndigheten för civilt försvar). Hämtad: 2026-05-03.
- Naturvårdsverket (2026). Värden för att beräkna utsläppsminskning. <https://www.naturvardsverket.se/496762/globalassets/amnen/klimatomställning/klimatklivet/dokument/klimatklivet-varden-for-att-berakna-utslappsminskning.pdf>. Hämtad: 2026-04-17.
- Negro, V., Noussan, M., and Chiaramonti, D. (2025). Alternative options for biogas-to-energy: A comparison of electricity and biomethane generation based on the real operation of a production site. *Applied Energy*, 377. Hämtad: 2026-05-14.
- Nordin, L. (2026). Personlig korrespondens. Sektionschef Biogas, Uppsala Vatten och Avfall AB.
- Nordling, C. and Österman, J. (2020). *Physics Handbook for Science and Engineering*. Studentlitteratur, Lund, 10 edition.
- Norrköpings kommun (2025). Sammanträdesprotokoll, kommunstyrelsen 17 november 2025. Hämtad 2026-03-26.
- Ohlsson, M. and Andersson, M. (2025). Utredning reservkraft: Särskilda boenden för äldre (gård vilhelm och gård estrid). Opublicerad rapport Uppdragsnummer: 10386942, WSP Sverige AB. Framtagen på uppdrag av Knivsta kommun. Utlämnad på begäran 2026-04-14.

- Region Uppsala (2019). Elavbrott driftstörning, lokal instruktion. <https://publikdocplus.regionuppsala.se/Home/GetDocument?containerName=e0c73411-be4b-4fee-ac09-640f9e2c5d83&docId=DocPlusSTYR-2687&filename=Elavbrott+driftst%C3%B6rning%2C+lokal+instruktion.pdf&reference=DocPlusSTYR-2687>. Hämtad: 2026-04-16.
- Region Uppsala (n.d.). Energiportalen. <https://energiportalregionuppsala.se/>. Hämtad 25 april 2026.
- Sechilariu, M. and Locment, F. (2016). Chapter 3 - backup power resources for microgrid. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803736-2.00003-7> Hämtad: 2026-05-23.
- Sgouridis, S., Csala, D., and Bardi, U. (2017). The potential of biogas as a bridge fuel in the energy transition: A system dynamics analysis. *Biomass and Bioenergy*, 105:123–134. doi:10.1016/j.biombioe.2017.06.011.
- Skanska AB (2010). Skanska to construct bus depot in Uppsala for SEK 350 M. <https://www.globenewswire.com/news-release/2010/10/18/186033/0/en/Skanska-to-construct-bus-depot-in-Uppsala-for-SEK-350-M.html>. Hämtad: 2026-05-20.
- Socialstyrelsen (2026). Höja driftsäkerheten på fastigheter för hälso- och sjukvård. <https://statsbidrag.socialstyrelsen.se/regioner/hoja-driftsakerheten-pa-fastigheter-for-halso--och-sjukvard/>. Hämtad: 2026-05-08.
- St1 Biokraft (2022). Säkerhetsdatablad biogas. https://st1biokraft.com/media/pfhpveap/sdb-biogas_sv.pdf. Hämtad 2026-05-22.
- Stockholm Gas AB and Gasnätet Stockholm AB (2024). Hållbar och lokal energiförsörjning i stockholm vid kris. Hämtad 2026-03-26.
- Surendra, K. C., Takara, D., Hashimoto, A. G., and Khanal, S. K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31. Hämtad: 2026-05-14.
- Sveriges Riksdag (2024a). Förfogandelag (SFS 1978:262). https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forfogandelag-1978262_sfs-1978-262/. Hämtad: 2026-05-03.
- Sveriges Riksdag (2024b). Ransoneringslag (SFS 1978:268). https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/ransonering-slag-1978268_sfs-1978-268/. Hämtad: 2026-05-03.
- Top one power (2025). Diesel generator efficiency and fuel consumption: Principles, uses and advantages. <https://www.topone-power.com/diesel-generator-efficiency-and-fuel-consumption-principles-uses-and-advantages/>. Hämtad 2026-05-22.

- Uppsala kommun (2026). Så säkrar vi tillgången på el. <https://www.uppsala.se/kommun-och-politik/sa-arbetar-vi-med-olika-amnen/energi/uppsalaeffekten/>. Hämtad: 2026-03-30.
- Uppsala kommun, Miljöbarometern (2025). Producerad biogas. <https:// uppsala.miljobarometern.se/energi/energianvandning-och-energiproduktion/producerad-biogas/>. Uppdaterad 2025-09-03. Hämtad: 2026-04-27.
- Uppsala Vatten och Avfall AB (2024). Nytt miljötillstånd för uppsala vattens biogasanläggning. <https://www.uppsalavatten.se/om-oss/nyheter/arkiv/2024-12-10-nytt-miljotillstand-for-uppsala-vattens-biogasanlaggning>. Hämtad: 2026-04-27.
- Uppsala Vatten och Avfall AB (2026). Biogasanläggning. <https://www.uppsalavatten.se/om-oss/vara-anlaggningar/biogasanlaggning>. Hämtad: 2026-04-27.
- Vattenfall (2026a). Fjärrvärme i uppsala. <https://www.vattenfall.se/foretag/varme-kyla/om-oss/vara-orter/uppsala/>. Hämtad: 2026-05-07.
- Vattenfall (2026b). Samenergi – sälj din överskottsvärme. <https://www.vattenfall.se/foretag/varme-kyla/samenergi/vart-erbjudande/>. Hämtad: 2026-05-07.
- Vattenfall (2026c). Så fungerar fjärrvärme. <https://www.vattenfall.se/foretag/varme-kyla/fjarrvarme/sa-fungerar-fjarrvarme/>. Hämtad: 2026-05-07.
- Vicus Software (2024). Thermal energy storage. <https://vicus-software.com/en/knowledge/heat-generation/thermal-energy-storage/#short-term-storage-hours-to-days>. Hämtad: 2026-05-21.

Delrapporter

Delrapport 1

Dimensionering av ackumulatortank

Daniel Ingemarsson

Delrapport 2

Pythonmodell för simulering av laddningsmönster och energiflöden på stadsbussdepån

Kerstin Ljungemyr

Delrapport 3

Dimensionering av mobilt biogasdrivet reservkraftverk

Tilde Bedinger

Delrapport 4

Beräkning av bussflottans elbehov

Hampus Nyhlén

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

☒ JA, jag, Tilde Bedinger har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Frida Dahlman har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Henrik Eriksson har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Daniel Ingemarsson har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Kerstin Ljungemyr har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Hampus Nyhlén har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Linus Wesslén har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta