

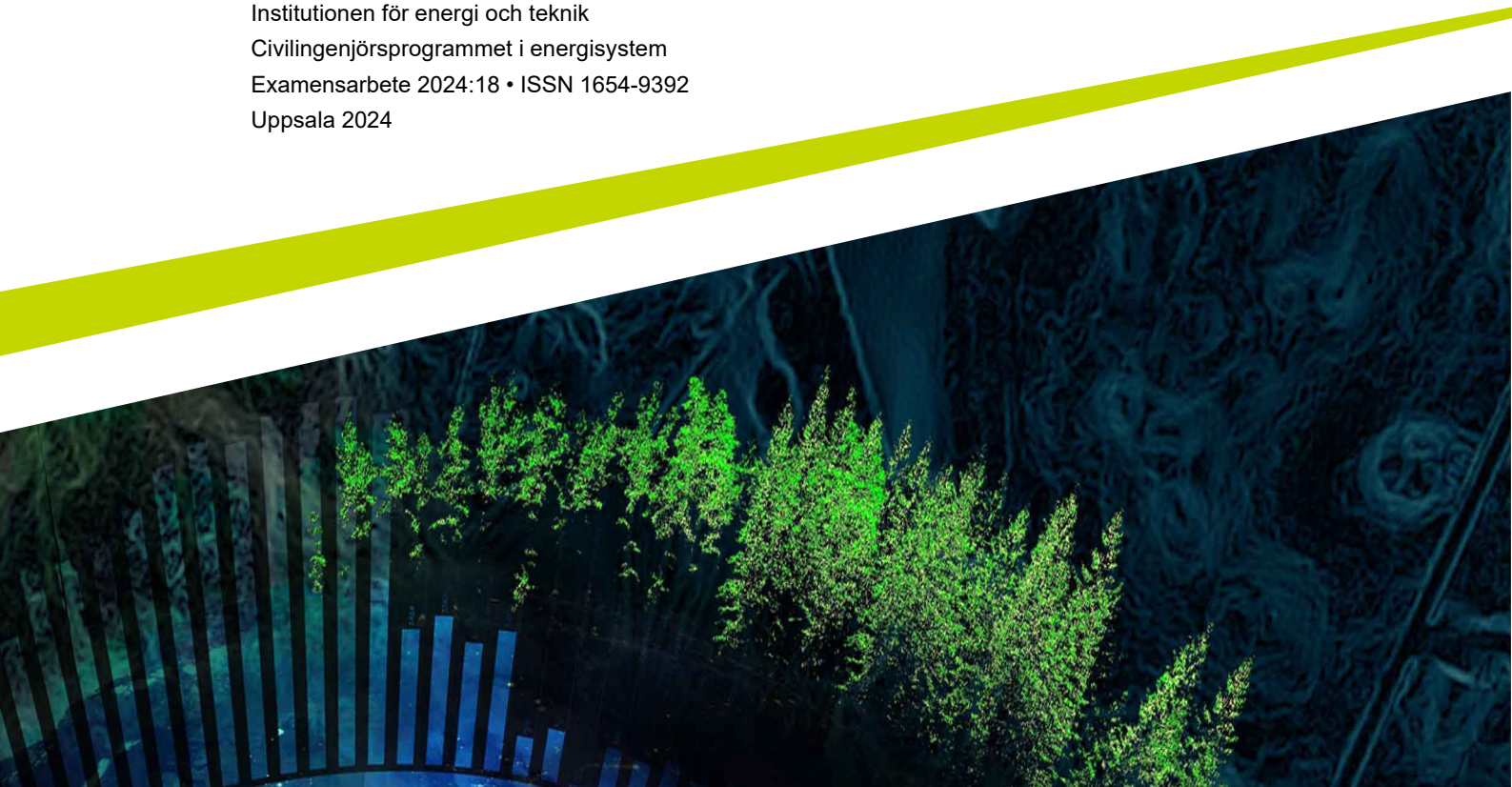


# Analys av möjlighet till effektpositivitet för en planerad spårvagnsdepå i Uppsala

---

Maria Gregertsen, Sam Henriksson, Anna Johansson, Victoria Lind,  
Beata Nordqvist, Ellen Nymo, Filip Senneby

Självständigt arbete • 15 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Civilingenjörsprogrammet i energisystem  
Examensarbete 2024:18 • ISSN 1654-9392  
Uppsala 2024



# Analys av möjlighet till effektpositivitet för en planerad spårvagnsdepå i Uppsala

*Analysis of the potential for power positivity of a planned tram depot in Uppsala*

Maria Gregertsen, Sam Henriksson, Anna Johansson, Victoria Lind, Beata Nordqvist, Ellen Nymo, Filip Senneby

**Handledare:** Anders Larsolle, institutionen för energi och teknik  
**Examinator:** David Ljungberg, SLU, institutionen för energi och teknik

**Omfattning:** 15 hp  
**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E  
**Kurstitel:** Självständigt arbete i energisystem  
**Kurskod:** EX0946  
**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:** 2024:18  
**ISSN:** 1654-9392

**Nyckelord:** effektpositiv, smarta energilösningar, spårvagnsdepå

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik

# Sammanfattning

Uppsala står inför stora utmaningar gällande kapacitetsbristen i regionen, vilket gör det nödvändigt att hitta lösningar för det elektriska effektuttaget. Syftet med projektarbetet är att ta fram koncept för hur den planerade spårvagnsdepån i Uppsala kan uppnå effektpositivitet. För att identifiera under vilka timmar som depån måste vara effektpositiv för att inte bidra till kapacitetsbristen har en nätbelastningsprofil tagits fram från Svenska Kraftnät för elområde SE3. De timmarna som depån är effektpositiv är 09:00 till 11:00 samt 17:00 till 20:00. Koncepten innefattar olika storlekar på solcellsanläggning på taket, olika storlekar på batterilager samt en beteenderelaterad lösning där den största lasten på depån, hjulsvarven, flyttades från användning under dagtid till nattid. Detta för att minska belastningen på elnätet under de timmar på dagen då behovet i den omliggande staden är som allra störst. Projektet innefattar en detaljerad kartläggning av depåns timvisa effektbehov för att möjliggöra identifiering av konsumtionstoppar.

Undersökningar för att hitta en rimlig, men även bäst lämpad energimix presenteras i rapporten. Genom simuleringar i UUBEM har olika energilösningar undersökts, som innefattar både energislag och kvantiteter. Baserat på dessa data har flertalet koncept tagits fram, där både beteenderelaterade och elförsörjningslösningar tas i beaktning. Dessa koncept inkluderar kombinationer av solceller, batterier och biogas- eller biodieselgeneratorer. Resultaten visar att om taket beläggs med solceller på 50 % av ytan finns en möjlighet att leverera effekt tillbaka till nätet. Även att vid val av två batterier kan depån vara helt självförsörjande, inte konsumera effekt från nätet. En ekonomisk analys presenteras också för att bedöma de olika alternativen. De slutliga valen av lösningar kommer huvudsakligen att bero på ekonomiska och politiska faktorer.

# Abstract

Uppsala faces significant challenges regarding capacity shortages in the region, making it necessary to find solutions for electrical power consumption. The purpose of this project is to develop concepts for how the planned tram depot in Uppsala can achieve power positivity. Identification for the hours when the depot needs to be power positive to avoid contributing to the capacity shortage, a grid load profile has been created with data from Svenska Kraftnät for the SE3 electricity area. The concepts include various sizes of solar installations on the roof, different sizes of battery storage, and a behavior-related solution where the largest load at the depot, the wheel lathe, is moved from use during the day to nighttime. This is to reduce the load on the power grid during the hours of the day when the surrounding city's demand is at its highest. The project includes a detailed mapping of the depot's hourly power needs to enable the identification of consumption peaks.

The project involves a detailed mapping of the depot's hourly power needs to enable the identification of consumption peaks. Investigations to find a reasonable, yet best-suited energy mix are presented in the report. Through simulations in UUBEM, various energy solutions have been examined, encompassing both energy sources and quantities. Based on these data, several concepts have been developed, considering both behavioral and power supply solutions. These concepts include combinations of solar cells, batteries, and biogas or biodiesel generators. The results show that if the roof is covered with solar cells on 50% of the surface, there is a possibility to deliver power back to the grid. Also, with the choice of two batteries, the depot can be completely self-sufficient, not consuming power from the grid. An economic analysis is also presented to evaluate the different alternatives. The results show that the depot has good potential to achieve the goal of becoming power positive. However, the final choices of solutions will mainly depend on economic and political factors.

*Effektpositiv, smarta energilösningar, spårvagnsdepå*

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning .....</b>	<b>2</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>3</b>
<b>Förkortningar och förklaringar .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Introduktion .....</b>	<b>6</b>
1.1. Syfte.....	6
1.2. Avgränsningar.....	6
<b>2. Teori.....</b>	<b>8</b>
2.1. Energiläget i Uppsala.....	8
2.2. Spårvagnsdepån.....	8
2.3. Energislag .....	9
2.4. Energilagring.....	10
2.5. UUBEM.....	11
<b>3. Metod .....</b>	<b>12</b>
3.1. Depåns elkonsumtion .....	12
3.2. Batterilagring.....	12
3.3. Modellering av depåns effektförbrukning .....	13
<b>4. Resultat.....</b>	<b>15</b>
4.1. Konsumtion.....	15
2. Olika energislagskombinationer.....	16
4.2.1. Icke-justerad effektanvändning.....	16
4.2.2. Justerad effektanvändning .....	18
4.3 Ekonomi.....	23
4.3.1. Batterier .....	23
4.3.2. Solceller.....	23
4.3.3. Generatorer .....	23
<b>5. Diskussion.....</b>	<b>25</b>
5.1. Konsumtion.....	25
5.2. Biobränsle.....	25
5.3. Val av koncept.....	26
<b>6. Slutsatser.....</b>	<b>28</b>
<b>Tack till medverkande .....</b>	<b>29</b>
<b>7. Referenser .....</b>	<b>30</b>
<b>8. Delrapporter .....</b>	<b>31</b>

# Förkortningar och förklaringar

Begrepp	Förklaring
Effektpositiv	Beskrivande begrepp för en byggnad eller utrymme som nödvändigtvis inte är energipositiv på årsbasis men energipositiv under vissa utvalda timmar.
Beteenderelaterad lösning	Innebär förändring i beteendemönster relaterat till vilken tidpunkt som konsumtionen av elektricitet sker. Den beteenderelaterade lösningen resulterar i den justerade effektkurvan.
Justerad effektdata	Teoretisk framtagen effektdata med identiska värden som ursprunglig data men där tidpunkten för konsumtion har ändrats.
UUBEM	Uppsala Urban Building Energy Model. En modelleringsmodell som är uppbyggd av kodmoduler i Python.
Elområde	Sverige är indelat i tre olika elområden vid namn SE1-SE4 med syfte att hantera olika begränsningar i elnätet. I denna rapport används elområde SE3 vilket är det området Uppsala tillhör.
Uppdragsgivare	Region Uppsala.
Förestring	Omvandling av en syra till ett alkyl- eller arylderivat.
NOCT	Nominal operating cell temperature.
Azimut	Vinkel mellan vertikalplanet genom himmelsobjektet och observatörens meridian.

# 1. Introduktion

Sverige antog år 2017 ett klimatpolitiskt ramverk som ska skapa långsiktiga förutsättningar för att landet ska nå sina klimatmål. I strävan mot ett mer hållbart samhälle blir det viktigt hur samhället kan ställa om till fossilfria energikällor. En storskalig elektrifiering är något som ger Sverige denna möjlighet, men ställer i sin tur nya krav på samhällets olika delar.

Energimyndigheten (2023) menar att elbehovet kan öka med hela 70–160 % till år 2050, vilket blir en utmaning för ett redan belastat elnät. Om den framtida efterfrågan på energi ska bemötas krävs det omfattande utbyggnationer av energisystemen i kombination med nya innovativa lösningar.

Uppsala står som övriga storstadsregioner i Sverige inför stora utmaningar med den ständigt ökande kapacitetsbristen i elnätet. Denna kapacitetsbrist hämmar elektrifieringen som behövs för stadens hållbara omställning. Uppsalas försök att övergå till elbussar har idag redan behövts begränsas och det är svårt att etablera nya företag och industrier. Nya tekniska lösningar kan dock möjliggöra denna omställning och ett koncept som Uppsala kommun har undersökt är energipositiva byggnader. Dessa byggnader främjar hållbarhet och minskar klimatpåverkan, men bidrar inte till att lösa kapacitetsproblematiken. Region Uppsala och STUNS Energi menar att lösningen på detta problem ligger i effekten.

År 2025 kommer Region Uppsala inleda en byggnation av en spårvagnsdepå som ska vara *effektpositiv*. Detta innebär att depån ska kunna vara självförsörjande med el under några timmar varje dygn då elnätet är som mest belastat. Att installera spårvagn till ett redan ansträngt elnät kan på detta sätt vara möjligt.

## 1.1. Syfte

Syftet med projektarbetet är att ta fram koncept för hur den planerade spårvagnsdepån i Uppsala kan uppnå effektpositivitet. Koncepten innefattar olika gröna elförsörjningsalternativ och beteenderelaterade lösningar. Detta för att minska belastningen på elnätet under de timmar på dagen då behovet i den omliggande staden är som allra störst.

## 1.2. Avgränsningar

Initiala avgränsningar som antas i rapporten är att endast elektricitet som energibärare undersökts. Varför värme valts att inte undersökas grundar sig i att det är förbestämt av uppdragsgivare att spårvagnsdepån erhåller sin värmeförsörjning från fjärrvärmnätet, samt att det pågår ett parallellt projektarbete som syftar mot att effektivisera värmeförsörjningen av depån.

Vidare har spårvägens konsumtion och dess eventuella försörjning av depån inte beaktats i modelleringen. Detta beror främst på två saker. För det första är projektets syfte att undersöka depåns möjligheter att vara effektpositiv och de magnituder spårvägens konsumtion kommer upp i gör detta omöjligt med dagens teknologi och de givna riktlinjerna från uppdragsgivare. För det andra försvårar det projektet avsevärt ur ett elkrafttekniskt perspektiv eftersom elektriciteten inte bara kan skickas mellan depå och spårväg på ett smidigt sätt utan behöver transformeras däremellan.

Då syftet med rapporten är att uppnå effektpositivitet för spårvagnsdepån har det valts att utvärdera möjligheten för detta under de mest svårhanterliga timmarna på året. Under kalla vinterdagar är behovet av eleffekt stort i regionnätet och detta kommer leda till att kapacitetsbristen ofta inträffar just då, (Energiforsk, u.å.). Med anledning av detta kommer metoden vara att hantera det mest svårhanterliga dygnet i januari månad och utifrån det hitta en möjlig lösning.

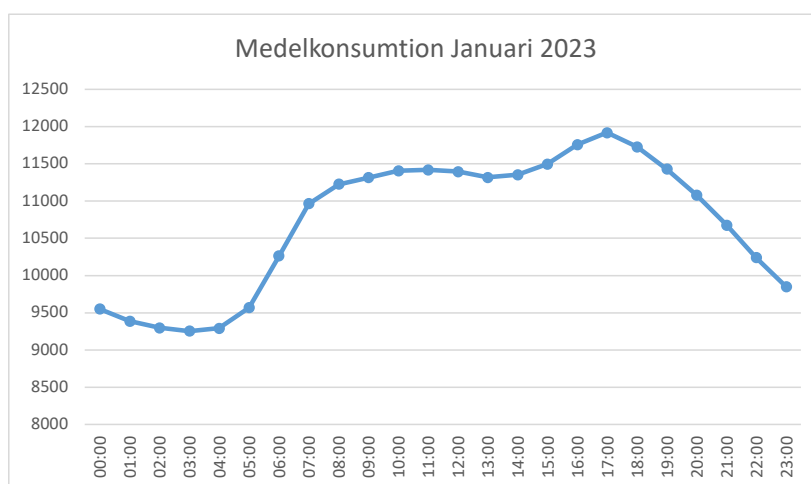


## 2. Teori

### 2.1. Energiläget i Uppsala

Uppsalas elnät drabbades för ett antal år sedan av kapacitetsbrist och har sedan dess haft svårt att leverera den mängd el som kommunen kräver. Problemet beror på ett antal faktorer så som en ökad efterfrågan på el samt ett elnät som inte utvecklats i takt med den ökade elkonsumtionen. På grund av kapacitetsbristen begränsas etableringen av nya stadsdelar och verksamheter som kräver stora mängder el vilket gör det viktigt att nya byggnader projekteras på ett sätt som inte belastar elnätet. (Uppsala kommun, 2024)

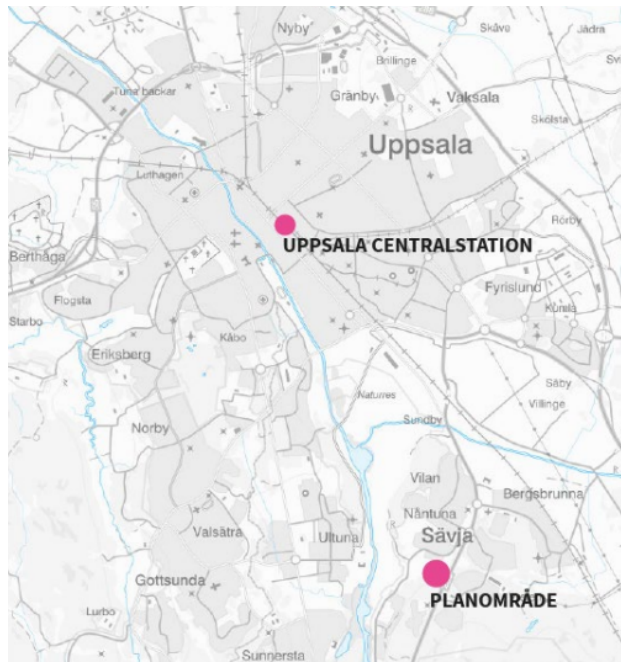
Spårvagnsdepån ska fungera i ö-drift under de timmar på dygnet då Uppsalas elnät är som mest belastat. Under vintermånader är kapacitetsbristen som störst och i delrapport 1 presenteras därför medelkonsumtionen för ett dygn under januari månad i elområdet SE3, som Uppsala tillhör, denna visas i figur 1.



Figur 1. Medelkonsumtionen av el för ett dygn i januari 2023.

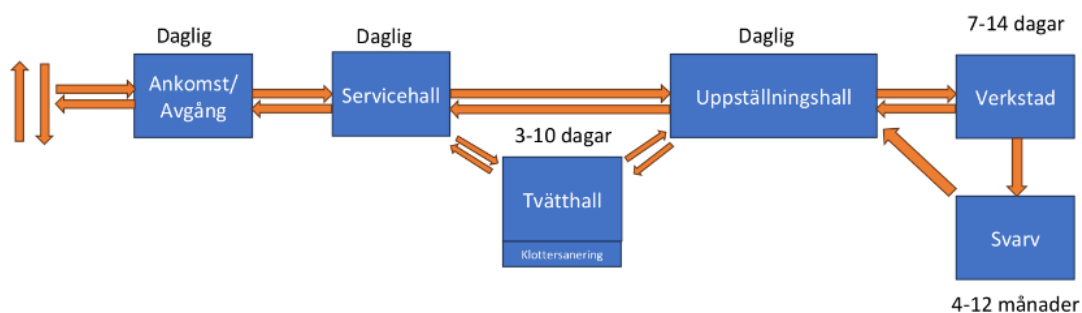
### 2.2. Spårvagnsdepån

Uppsalas framtida spårvagnsdepå kommer vara belägen en bit utanför centrum i området Sävja, se figur 2. Efter dialog med Region Uppsala framkommer det att depån planeras bestå av två byggnader som i denna rapport benämns som hus 1 och hus 2. Byggnaderna består i sin tur av flertalet utrymmen med olika funktioner, därav olika effektuttag. Hus 1 består av en verkstad samt service- och tvätthall där spårvagnarna underhålls, samt en svarvhall där hjulen på spårvagnen slipas för att bibehålla komfort. Utöver dessa utrymmen består hus 1 även av ytor för kontorsarbete, teknik och lager samt en plattform för verkstadsarbete. Hus 2 består av en uppställningshall där spårvagnarna står parkerade när de ej är i trafik.



Figur 2. Karta över platsen där spårvagnsdepån planeras att byggas (Mörk, 2021).

Enligt Uppsala kommun planeras verksamheten på depån följa ett flödesschema som beskriver den dagliga verksamheten på depån. I figur 3 presenteras hur frekvent de olika funktionerna sker.



Figur 3. Flödesschema på depån vid normal drift.

## 2.3. Energislag

Solceller är grundpelaren i detta projekt eftersom de är platseffektiva. Eftersom soltimmarna över ett år är någorlunda förutsägbara går det att modellera för att se vilka brister som finns. Tvåsidiga solceller som används i detta projekt är anpassade efter det svenska klimatet. Dessa solceller kan använda solljus som reflekteras från snön, för att inte produktionen under vintermånaderna ska bli försvinnande liten. (PPam solkraft, 2024).

Vindkraft på mindre skala är tekniskt möjligt, men ej väl beprövat till den skala som avses med detta projekt. Det är mest tillämpligt på enskilda hushåll vilkas energiförbrukning inte liknar den av en spårvagnsdepå. Det är också platskrävande eftersom de små vindkraftverken behöver stå ca 5–7 rotordiametrar ifrån varandra (Delrapport 4, elproduktion), vilket också kan bli ett hinder när man vill öka skalan på produktionen. Därför lämpar sig dessa vindkraftverk bäst där produktionen som krävs inte är lika omfattande.

Biobränslegeneratorer undersöks även som en del av lösningen för en effektpositiv spårvagnsdepån då solkraften potentiellt inte kan täcka hela behovet av depån. Fossildrivna generatorer är ej önskvärda på grund av den nuvarande klimatkrisen. De typer av generatorer som undersökts drivs av biodiesel, förnybar diesel, eller biogas. Generatorerna som använts för kostnadsdata i denna rapport är en stor leverantör av dieselgeneratorer på marknaden idag som är från Power Generation Enterprises (<https://www.powergenenterprises.com/featured/generators.html>). Kostnadsdata för biogasgeneratorer har antagits i samma storlek som liknande naturgasgeneratorer då dessa har liknande komponenter, till dessa har generatorer från Pdegenerators (<https://www.pdgenerators.com/natural-gas-prime-generators>) använts.

De olika biobränslealternativen beskrivs mer ingående i Delrapport 4. Biogas tillverkas av biomassa som i Uppsala främst utgörs av matrester. Produkten består mestadels av metan och koldioxid, men är koldioxidneutral över hela livscykeln (Delrapport 4 – Elproduktion), och har mycket låga utsläpp av partiklar, svavel- och kväveoxider. Biogasgeneratoren orsakar därför minst luftföroreningar av alla alternativen.

Biodiesel är en produkt som liknar fossil diesel, men består av förestrade vegetabiliska oljor. Detta gör att den kemiska sammansättningen blir olik fossil diesel och därför krävs vissa anpassningar av dieselmotorn för att kunna drivas på biodiesel. Förnybar diesel HVO100 står för hydrerade vegetabiliska oljor och har snarlika egenskaper som vanlig diesel men har lägre utsläpp av farliga ämnen. Den har dessutom ingen tidsgräns för förvaring eftersom den inte drar till sig vatten. Den kemiska sammansättningen av HVO100 är mycket lik fossil diesel vilket gör att den kan användas i alla dieselmotorer. Utsläppen av kväveoxider är fortfarande höga, men något lägre än vid användning av fossil diesel (Delrapport 4 – Elproduktion).

## 2.4. Energilagring

Energilagring är en viktig komponent i att göra spårvagnsdepån effektpositiv, detta eftersom energilagret kan lagra energi under tider då elnätet inte är belastat, för att sedan använda den energin vid effekttoppar. Energilagrets funktion är att lagra elen som produceras på plats och ha möjlighet att lagra el från elnätet när elpriset är lågt. Elen från energilagret kan användas på depån eller skickas tillbaka till elnätet. För energilagring kommer litiumjonbatterier att användas. Dessa batterier fungerar genom att energi utvinns när litiumjonerna rör sig mellan elektroderna i batteriet (Batteriföreningen, 2022). Litiumjonbatterier kan bevara 90–98% procent av energin som används för att ladda batteriet (Bischofberger, C 2023).

För att använda litiumjonbatterier som energilager på spårvagnsdepån krävs följande komponenter: batterisystem, batterihanteringssystem, växelriktare, kontroller, ventilation, brandsläckning, och energihanteringssystem. Dessa komponenter tillsammans gör att batterienergilagret kan ta emot energin som produceras på spårvagnsdepån, leverera tillbaka energi både till elnätet och spårvagnsdepån samt att det hanteras på ett säkert och effektivt sätt (Evesco, 2021). Ytterligare studerades också om vätgasenergilagring skulle användas i stället för batterienergilagring. Jämförelse av dessa alternativ och slutsatser kan ses i delrapport 3, Energilagring. I denna delrapport beskrivs hur ett batterilager fungerar och dess komponenter mer ingående.

## 2.5. UUBEM

UUBEM eller Uppsala Urban Building Energy Model är en simuleringsmodell i Python som har tagits fram av lärare och professorer på Uppsala universitet. Modellen finns beskriven och evaluerad i rapporten ”Urban building energy modeling from geo-referenced energy performance certificate data: Development, calibration, and validation” (Shadram & Widén, 2023).

Syftet med modellen är att kunna simulera energianvändningen i en stadsdel med byggnader och den tar hänsyn till många aspekter. I detta projekt används modulen endast för solcellsproduktion samt en ny framtagen modell som simulerar lagring av energi i batterier. (Delrapport 2)

Vid beräkning av genererad effekt från solceller kombinerar modellen en rad olika parametrar som definieras i ett Excelblad, se bilagor nedan samt Delrapport 2. En specifik solcellsmodul kan väljas där modularea, maxeffekt, NOCT och en temperaturkoefficient fastställs. Solcellsmodulerna kopplas sedan ihop till ett större system där parametrar som azimut, vinkel på solpanelerna och antalet bestäms.

I modulen för simulering av lagring av energi i batterier definieras parametrar som batteriets maximala- och minimala kapacitet, batteriets upp- och urladdningseffektivitet samt antalet batterier.

De två modulerna som beskrivs ovan kan sedan kombineras på olika sätt och resultera i olika potentiella lösningar för spåravagnsdepån.

## 3. Metod

### 3.1. Depåns elkonsumtion

Spårvagnsdepåns elkonsumtion delades in i tre kategorier för att på ett enkelt sätt kartlägga var och vilken tid på dygnet konsumtionen sker. Dessa kategorier är ventilation, belysning och verksamhet där begreppet verksamhet inkluderar laster som exempelvis tvätt och verkstadsarbete. Med anledning att depån samt spårvägen fortfarande är i planeringsstadiet var det nödvändigt att göra ett antal antaganden. Detaljer kring dessa presenteras i delrapport 1.

Belysningen på depån förväntas bestå av endast LED-lampor för att vara så energieffektiv som möjligt. För att räkna på den effekt som belysningen uppskattas dra undersöktes hur mycket ljus de olika utrymmena kräver baserat på riktvärden (Xcen, u.å.). I delrapport 1 redovisas hur beräkningen från uppskattad mängd ljus konverteras till belysningens effektbehov. I beräkningarna gjordes antaganden kring vilka timmar på dygnet som lamporna i de olika byggnaderna förväntas lysa. Det togs ingen hänsyn till typ av armatur, färg på väggar och tak eller antal fönster.

I delrapport 1 presenteras även hur stor effekt verksamheten på spårvagnsdepån konsumerar. Med verksamhet menas de aktiviteter som utförs i varje enskilt utrymme. Det som ligger som grund för beräkningarna är värden från elmätare i Uppsalas stadsbussdepå, litteraturstudier och dialog med uppdragsgivare. Alla värden för ventilation hämtas från stadsbussdepån och skalas till de dimensioner som är angivna för spårvagnsdepån. Antaganden som behövs göras för verksamheten är att tvätthallen jämförs med stadsbussdepåns tvätthall vid drift, trots att det är olika fordon. Detaljerade verkstadsuppdrag försummas. Elbilsladdning antas alltid ske under dagtid och kontorslokalens effektuttag antas är lika med noll.

Beräkningarna sammanställdes i ett kalkylark. För att möjliggöra de beteenderelaterade lösningarna som var centrala för uppgiften delades arket upp mellan de olika utrymmena som ska ingå i depån. I slutändan summerades alla effektvärden på timbasis vilket resulterade i ett effekt-dygn på depån. Värdena är jämförbara med ett kallt vinterdygn eftersom syftet är att vara effektpositiv under de mest kritiska timmarna vilka infaller under vintern. För att minimera effekttopparna genomfördes en beteenderelaterade lösning vilket innebar att svarvens verksamhet flyttades till nattid. Detta kommer benämnas senare i rapporten som justerad effektdata.

### 3.2. Batterilagring

Implementation av batterienergilagring på spårvagnsdepån kan genomföras på flertal sätt. I detta fall är planen att implementera det på liknande sätt som Vattenfall har gjort med deras batterilager i Uppsala, Gränby. Deras batterilager består av 480 batteripackar lagrade i 16 containrar och tar upp en yta på ungefär en halv fotbollsplan, med en effekt på 5 MW och lagringskapacitet på 20 MWh (Vattenfall). För spårvagnsdepån behövs ett energilager närmare en till tre containrar, där en container bidrar med 0,31 MW och 1,25 MWh.

Exakt hur stort energilagret ska vara bestäms genom modellering av olika scenarion. För ett energilager kommer en del area att behövas allokeras. Bredvid spårvagnsdepån finns area som är åsidosatt för expansionsmöjligheter i framtiden. En del av denna area skulle kunna

användas för att förvara batterierna. Utifrån Environmental and energy study institute (Eesi, 2019) var kostnaden för litiumjonbatterier 200 USD per kWh år 2017 och 2025 beräknas kostnaden ligga på 100 USD per kWh. För jämförelse och beräkningar av kostnader för batterier kommer 150 USD per kWh att användas.

### 3.3. Modellering av depåns effektförbrukning

I ett kalkylark i Excel definieras parametrar som senare läses in i en simuleringskod i Python, se teori för UUBEM samt bilagor. I kalkylbladet kan två byggnader konstrueras som ska efterlikna spårvagnsdepån enligt tilldelad planritning. Planritning och modellering av byggnader visualiseras i figur 4 och 5 nedan. Dessa byggnaders takyta väljs sedan att täckas med 25, 50, 75 eller 90 procent av solcellsmoduler, vilket ger fyra olika scenarion, se tabell 1 nedan. Dessa solcellsalternativ kombineras därefter med ett, två eller tre batterier, vilket i sin tur ger 12 olika potentiella lösningar för spårvagnsdepån. (Delrapport 2)

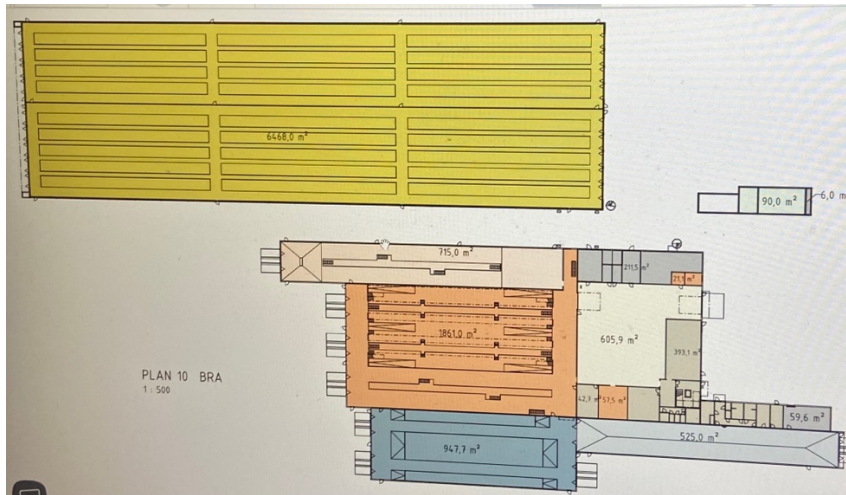
Tabell 1. Antalet solceller för olika andel takbeläggningsgrader

Procent solceller	Antal på hus 1	Antal på hus 2	Total installerad effekt [MW]
90%	3000	2523	2,0
75%	2500	2103	1,7
50%	1667	1402	1,1
25%	833	701	0,6

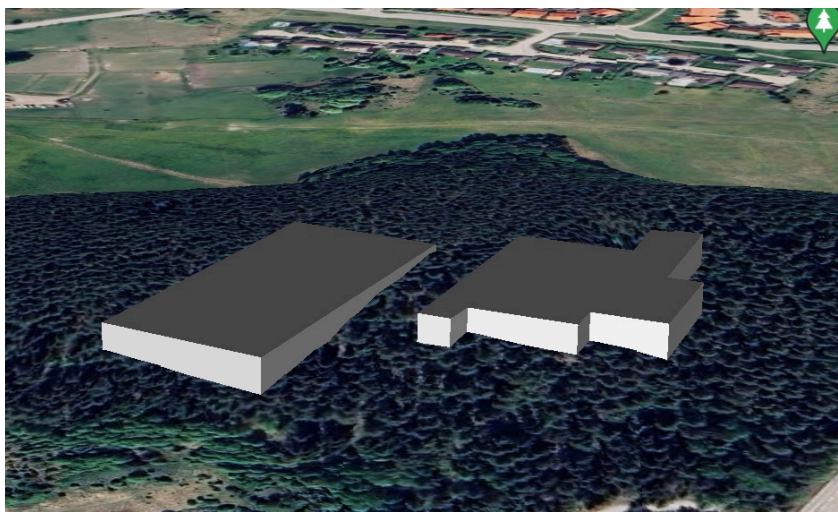
I dessa 12 scenarier tas effektbristen fram för att ge en bild av hur mycket extra effekt som depån behöver för att vara självförsörjande under timmarna som regionnätet är högbelastat. För att täcka den momentära effektbristen används en generator. Dimensionerna för generatorm styrts av hur stor effektbristen blir maximalt, samt hur ofta det inträffar.

För att avgöra vilka timmar på det utvalda dygnet, ett dygn i januari år 2023, som nätet anses belastat undersöks elområde SE3, från Svenska Kraftnät, som illustreras i figur 1. I modellen väljs det därför att definiera timmarna 09:00 till 11:00 samt 17:00 till 20:00 som nätets högbelastade timmar. Under dessa timmar ska depån använda sig av sin egen producerade och lagrade energi. Övriga timmar är det okej för depån att dra effekt från nätet och ladda upp sina batterier.

Figur 4 visar hur de två byggnaderna förväntas se ut. Utifrån denna ritning kan depåns byggnader modelleras i UUBEM och illustreras i figur 5.



Figur 4. Depåns byggnader från planritning.



Figur 5. Modellering av byggnader visualiserat i Google Earth.

# 4. Resultat

## 4.1. Konsumtion

I figur 6 visas den totala effektförbrukningen på spårvagnsdepån för varje timme under ett dygn. Den största lasten är hjulsvarven som går att observera mellan timmarna 08–17.



Figur 6. Effektanvändning på depån över ett dygn.

Figur 7 visar effektförbrukningen efter att den beteenderelaterade lösningen tillämpats. I detta fall har hjulsvarvning flyttats till natten, vilket ger en jämnare effektanvändning över hela dygnet.



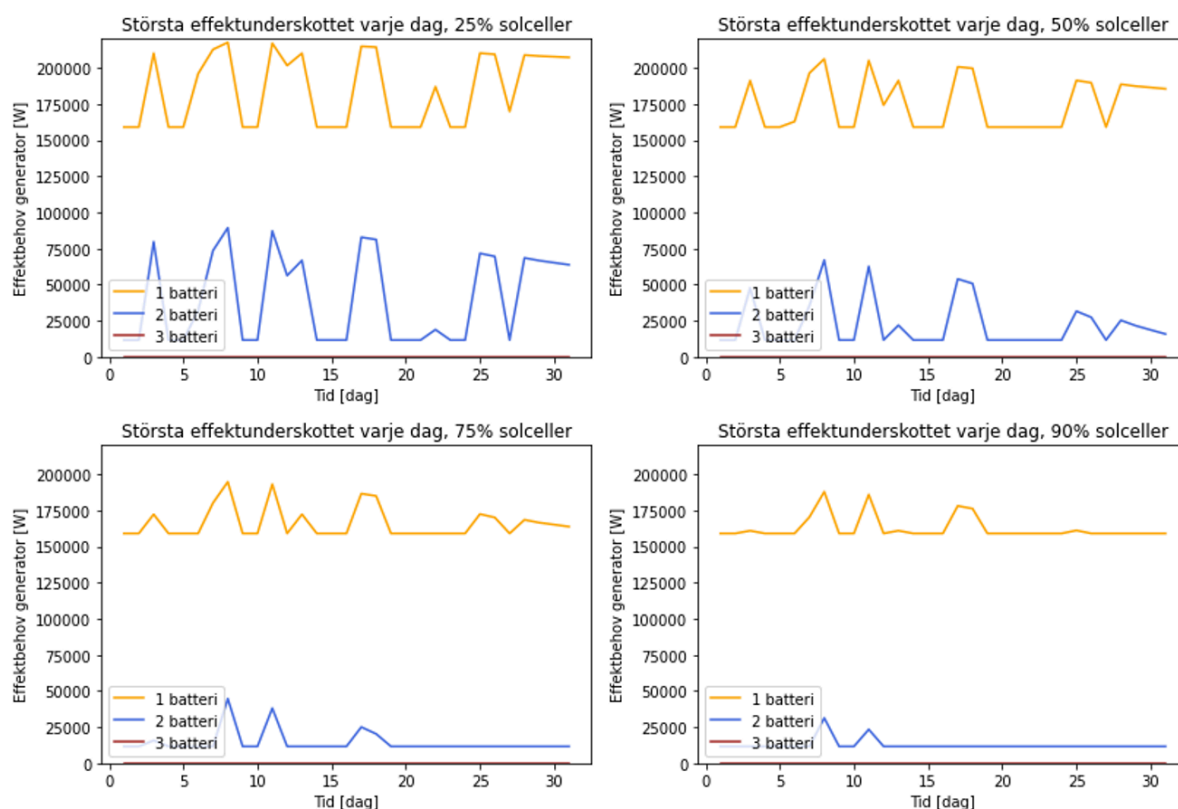
Figur 7 Effektanvändning på depån över ett dygn efter beteendelösningar.



## 2. Olika energislagskombinationer

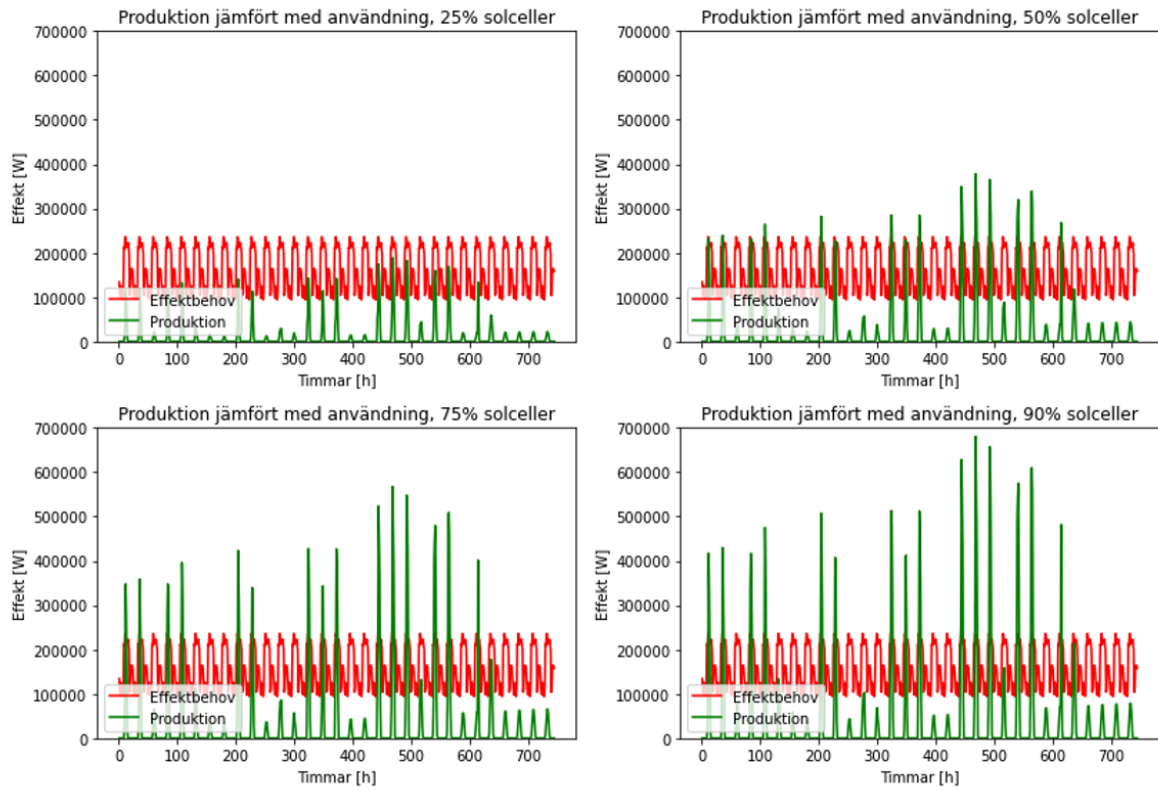
### 4.2.1. Icke-justerad effektanvändning

I figur 8 presenteras vad det största effektunderskottet ligger på för varje dag under januari månad. Samtliga fyra fall visar hur stor effekt som generatoren måste täcka beroende på om ett, två eller tre batterier finns tillgängliga. Det kan även utläsas från figur 8 hur betydelsen av mängden installerade solceller avgör storleken hos generatoren. Används endast ett batteri kommer det största effektunderskottet att ligga runt 200 kW om 25% av takytan täcks med solceller. Installeras en större mängd solceller kan denna siffra minskas med cirka 25 kW. Ökas i stället antalet batterier från ett till två kan det största underskottet reduceras ner till en effekt på 25–50 kW beroende på hur många solceller som installeras. Effektunderskottet kan med tre batterier gå ner till noll, då finns inget behov av en generator.



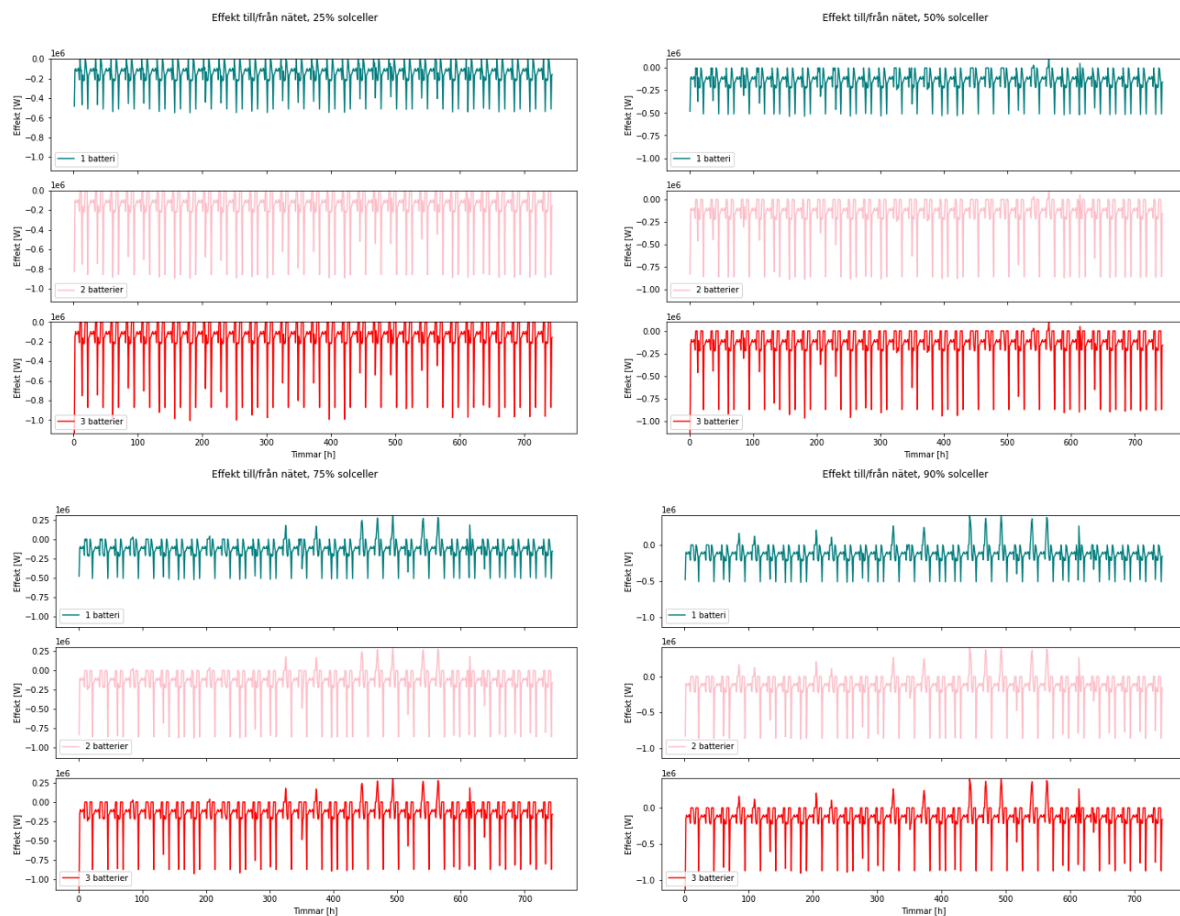
Figur 8. Största effektunderskottet per dag under januari månad innan justerad effektanvändning.

Storleken på solcellsanläggningen är en av de parametrar som avgör hur mycket effekt som kan levereras tillbaka till Uppsalas elnät. I figur 9 presenteras endast solelproduktion och effektbehov på depån, utan något batterilager. Om 25% av takytan beläggs med solceller finns ingen möjlighet för depån att vara effektpositiv, men i fallet där 50–90% beläggs kommer det under ett visst antal timmar gå att leverera tillbaka effekt till elnätet vilket visas i figur 9. I figuren visar de gröna topparna som ligger ovanför den röda grafen de timmar under januari månad som depån är effektpositiv samt hur stort effektöverskottet är.



Figur 9. Effekten som spårvagnsdepån kräver för varje timme under januari månad jämfört med hur mycket effekt som solcellerna kan leverera beroende på anläggningens storlek.

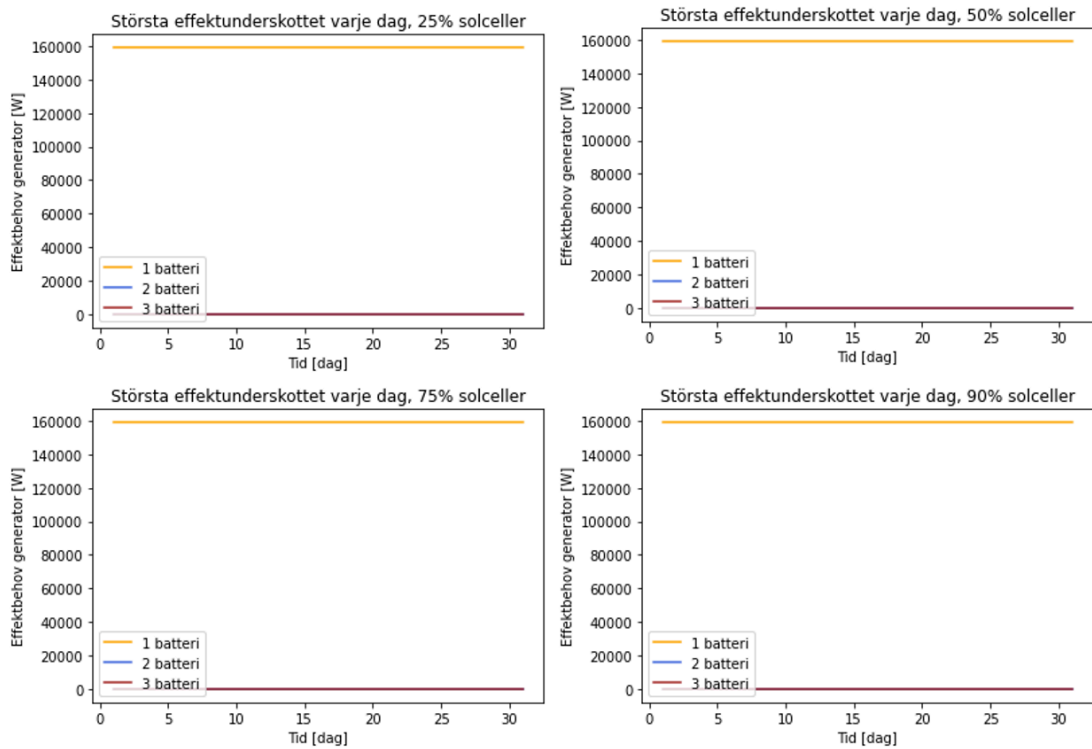
När depån producerar mer el än vad som används kan den i stället för att direkt leverera tillbaka till elnätet lagras i batterier. För att titta på ytterligare en parameter visas i figur 10 hur depåns möjlighet att vara effektpositiv påverkas av antalet batterier. I figuren levererar spårvagnsdepån tillbaka effekt till elnätet när grafen ligger på den positiva y-axeln. Det går att utläsa att det krävs en solcellsanläggning som täcker minst 50% av takytan för att möjliggöra en effektpositiv depå.



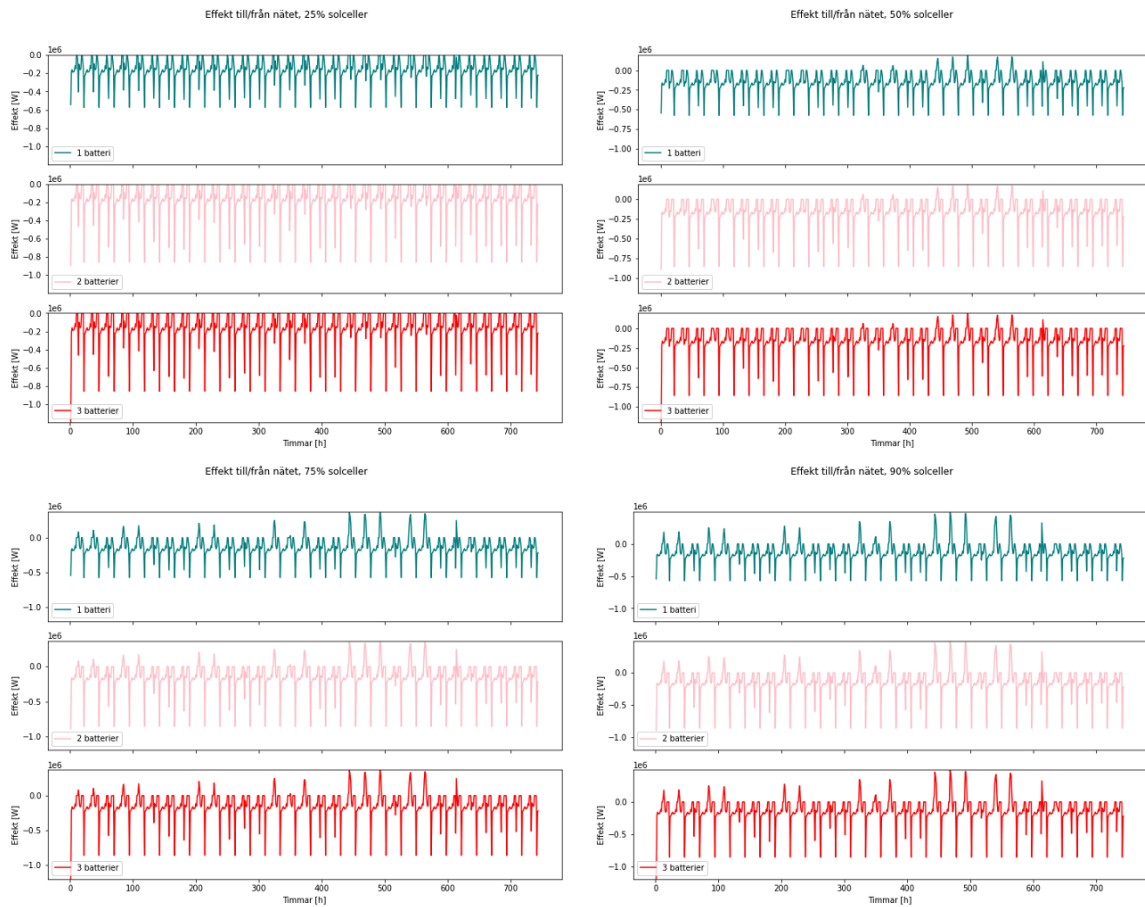
Figur 10. Levererad effekt till/från Uppsalas elnät för olika storlekar på solcellsanläggningen.

#### 4.2.2. Justerad effektanvändning

Att flytta svarvningen av hjul till nattetid resulterar i en justerad effektanvändning vilket gör att endast två batterier krävs för att helt bli av med uppkomsten av effektunderskott, vilket kan avläsas i figur 11. I figuren överlappar graferna för två och tre batterier varandra. Figur 11 visar att det inte är nödvändigt med en generator om två batterier installeras då det totala effektbehovet är lika med noll oavsett storlek på solcellsanläggning. Den justerade effektanvändningen resulterade i ett nytt mer jämt beteendemönster, vilket kan utläsas i figur 12. Figuren visar även att den justerade effektkurvan gör att det redan vid ett batteri och en solcellsanläggning som täcker 50% av taket kan leverera tillbaka effekt till elnätet.



Figur 11 Största effektunderskottet i genomsnitt per dag under januari månad efter justerad effektanvändning.



Figur 12. Levererad effekt till/från Uppsalas elnät för olika storlekar på solcellsanläggningen efter justerad effektanvändning.

Tabell 2–7 visar värden för effektunderskott som råder vid olika fall. Med ”Toppbrist” menas det maximala underskottet som kommer att råda under alla timmar i januari månad. Värdet ”Genomsnittlig brist/dag” är ett mått på hur stort underskottet är i genomsnitt per dag. Det sista mätvärdet ”Summan av totalbristen” är en summering av alla gånger effektbrist uppstått och behövs täckas av generatorn. Med detta mått går det att utläsa den faktiska kvantifierade förbrukningen av generatorproducerad el på månadsbasis för de olika simuleringsfallen.

I tabell 2–4 presenteras resultat för när svarvningen av hjulen flyttats till nattetid. I Tabell 1 går det att utläsa att genom ökning av antalet solceller från 25% till 50% kan toppbristen minska med 5% och den genomsnittliga bristen med 18%. Samtidigt skulle även den genomsnittliga effektbristen per dag minska med 15%. Oavsett hur stor andel solceller som taket beläggs med är det lägsta värdet som kan nås 188 kW och toppbristen minskas med 14% med en sådan åtgärd.

Tabell 2. Icke-justerad effektanvändning och ett batteri.

<b>1 batteri</b>	<b>Andel av taket belagt med solceller</b>			
	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>90%</b>
Effektunderskott [kW]				
Toppbrist	218	206	195	188
Genomsnittlig brist/dag	23,1	19,6	18,0	17,3
Summan av totalbristen	17 200	14 600	13 400	12 900
Behov biogas	250	250	200	200
Behov biodiesel	250	250	200	200

Genom att implementera ett till lika stort batteri så kan taket för effektbristen sänkas avsevärt. Implementering av ett extra batteri, men med lika många solceller, sänker toppbristen från 218 kW till 89,3 kW vilket är en minskning med 59%. Skulle man därefter skala upp andelen solceller från 25% till 50% kan en ytterligare sänkning av toppeffektbristen nås, motsvarande 25%. Då har samtidigt den genomsnittliga bristen per dag och totala summan över en hel månad sänkts med 42%.

En jämförelse mellan effektbristen som råder för 25% solceller + 1 batteri och effektbristen för 25% solceller + 2 batterier ger att toppeffekten kan minska med 59% och totala effektunderskottet på en månad med hela 92%. Batteristorlekens inverkan på totala minskningen av effektbristen är högre jämfört med antalet installerade solceller. Jämförs 50% solceller för 1 respektive 2 batterier så kommer toppbristen minska med 68% och summan av effektunderskottet med 94%. För 75% solceller är samma värden 77% respektive 96%.

Tabell 3. Icke-justerad effektanvändning och två batterier.

<b>2 batterier</b>	<b>Andel av taket belagt med solceller</b>			
	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>90%</b>
Effektunderskott [kW]				
Toppbrist	89,3	67,0	44,6	31,3
Genomsnittlig brist/dag	1,93	1,13	0,676	0,595
Summan av totalbristen	144	839	503	424
Behov biogas	100	80	50	50
Behov biodiesel	100	80	50	50

Då ett tredje batteri implementeras kan inte längre någon nettoeffektbrist uppmätas. Detta innebär att oavsett om taket beläggs med 25% solceller eller 90% solceller, så kommer aldrig depån få ett nettoeffektbehov som behöver täckas av en generator.

Tabell 4. Icke-justerad effekanvändning och tre batterier.

<b>3 batterier</b>	<b>Andel av taket belagt med solceller</b>			
	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>90%</b>
Effektunderskott [kW]				
Toppbrist	0	0	0	0
Genomsnittlig brist/dag	0	0	0	0
Summan av totalbristen	0	0	0	0
Behov biogas	0	0	0	0
Behov biodiesel	0	0	0	0

I tabell 5–7 anges värden för effektunderskottet då effektanvändningen på depån har justerats med beteendeförändringar.

Med den justerade effektförbrukningskurvan på depån kommer toppbristen förbli densamma oavsett hur många solceller som taket beläggs med. Denna toppbrist kan inte hanteras av en högre solelproduktion då bristen inträffar så att batteriets kapacitet blir den begränsande faktorn. Det går dock att minska den totala effektbristen över hela månaden genom att implementera fler solceller. Att belägga taket med 50% solceller jämfört med 25% solceller kommer minska den totala effektbristen med 10% över hela månaden. Det bästa resultatet som kan nås är en minskning på 16%, genom att taket beläggs med 75% solceller. Att gå över detta kommer inte ge någon skillnad på resultatet, då batterikapaciteten ändå är för låg för att kunna lagra den extra energin över tillräckligt lång tid.

Hur stor inverkan som den justerade användningen av effekt har på den totala effektbristen går att utläsa genom att jämföra tabell 2 och tabell 5. Med 25% solceller + 1 batteri så kan topp effektbristen minskas från 218 kW till 159 kW, vilket är 27% lägre. Samtidigt skulle det summerade effektunderskottet minskas med 42%.

Tabell 5. Justerad effektanvändning och ett batteri.

<b>1 batterier</b>	<b>Andel av taket belagt med solceller</b>			
<b>Effektunderskott [kW]</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>90%</b>
Toppbrist	159	159	159	159
Genomsnittlig brist/dag	13,5	12,1	11,3	11,3
Summan av totalbristen	10 100	9010	8400	8400
Behov biogas	200	200	200	200
Behov biodiesel	200	200	200	200

I både tabell 6 och tabell 7 är samtliga värden för effektunderskottet 0, vilket även visades i figur 11. Det kommer alltså räcka med två batterier för att täcka alla timmar där nettoeffektunderskott råder om effekten justeras på detta sätt.

Tabell 6. Justerad effektanvändning och två batterier.

<b>2 batterier</b>	<b>Andel av taket belagt med solceller</b>			
<b>Effektunderskott [kW]</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>90%</b>
Toppbrist	0	0	0	0
Genomsnittlig brist/dag	0	0	0	0
Summan av totalbristen	0	0	0	0
Behov biogas	0	0	0	0
Behov biodiesel	0	0	0	0

Tabell 7: Justerad effektanvändning och tre batterier.

<b>3 batterier</b>	<b>Andel av taket belagt med solceller</b>			
<b>Effektunderskott [kW]</b>	<b>25%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>90%</b>
Toppbrist	0	0	0	0
Genomsnittlig brist/dag	0	0	0	0
Summan av totalbristen	0	0	0	0
Behov biogas	0	0	0	0
Behov biodiesel	0	0	0	0

## 4.3 Ekonomi

### 4.3.1. Batterier

I tabell 8 kan kostnaden för 1, 2 och 3 batterier studeras, där ett batteri motsvarar en container. Kostanden ökar proportionellt med antalet batterier.

Tabell 8. Kostnaden för batterier.

Batterier	1	2	3
Kostnad SEK	2 510 000	4 520 000	6 530 000

### 4.3.2. Solceller

I tabell 9 ses kostnadsdata för solcellerna som har beräknats med standardvärde för en solcellspark på 10kWh med grönt ROT-avdrag och moms inräknat.

Tabell 9. Kostnaden för solcellerna vid olika procentandelar av taket täckt.

Taktäckning %	25%	50%	75%	90%
Kostnad SEK	7 384 000	14 768 000	22 152 000	26 582 400

### 4.3.3. Generatorer

Tabell 10 till 13 visar exempel på kostnaden i SEK för de olika alternativen av biodrivmedelsgeneratorer. Dieselgeneratorernas kostnad ökar inte proportionellt med procentandelen. Detta kan förklaras med att det finns en grundkostnad för alla komponenter som är hög, sedan ökar kostnaden successivt eftersom alla delar blir större. Biogasgeneratorn är dyrare än dieselgeneratorerna vid högre brist, alltså större generatorer, men är billigare när bristen är mindre.

Tabell 10. Kostnaderna för **dieselgeneratorer** för den brist som blir över vid olika kombinationer. Procentandelarna som anges är andel takyta täckt av solceller.

	25%	50%	75%	90%
1 batteri	524 000	524 000	460 000	460 000
2 batterier	396 000	310 000	299 000	299 000
3 batterier	0	0	0	0

Tabell 11. Kostnaderna för **biogasgeneratorer** för den brist som blir över vid olika kombinationer. Procentandelarna som anges är andel takyta täckt av solceller.

	25%	50%	75%	90%
1 batteri	870 000	870 000	696 000	696 000
2 batterier	348 000	246 000	203 000	203 000
3 batterier	0	0	0	0



Tabell 12. Effekten som blir över vid justerade konsumtionsdata för **dieselgeneratorer**.  
 Procentandelarna som anges är andel takyta täckt av solceller.

	25%	50%	75%	90%
1 batteri	460 000	460 000	460 000	460 000
2 batterier	0	0	0	0
3 batterier	0	0	0	0

Tabell 13. Effekten som blir över vid justerade konsumtionsdata för **biogasgeneratorer**.  
 Procentandelarna som anges är andel takyta täckt av solceller.

	25%	50%	75%	90%
1 batteri	696 000	696 000	696 000	696 000
2 batterier	0	0	0	0
3 batterier	0	0	0	0

## 5. Diskussion

### 5.1. Konsumtion

En kritisk del i tillvägagångssättet för projektet var att kartlägga konsumtionen. Eftersom en beteenderelaterad lösning skulle ingå i resultatet var målet att kartläggningen skulle innefatta specifikt vart och när på dygnet konsumtionen sker.

Svarven var en väldigt stor del av konsumtionen. Beteendelösningen var endast att svarven flyttades till nattid. Om denna lösning är möjlig i praktiken beror på faktorer som inte omfattas i detta projekt. Parametrar som kan försvåra denna verksamhetsförflyttning är främst personaltillgången. Depån kommer vara under drift nattetid vilket talar för att förflyttningen är möjlig, men om svarven kräver speciell kompetens som inte är tillgänglig den tiden på dygnet är oklart. Denna förflyttning innebär också högre bemanning nattetid, vilket blir en ekonomisk fråga. Däremot bidrar en hög elkonsumtion under dagen till höga elkostnader. En hög elkonsumtion under dagen medför även att fler solceller eller batterier behöver installeras vilket också bidrar till högre kostnader. Vilka magnituder båda dessa parametrar, personalkostnad och elpriset, kommer upp i är idag okänt och denna avvägning bör genomföras när den är möjlig. Rapporten presenterar endast båda fallen och kanske är en hybridlösning möjlig i praktiken, där den beteenderelaterade lösningen sker enbart på vintern. En annan aspekt som kan försvåra förflyttningen är buller vid drift vilket kan påverka djurlivet och eventuell framtida bebyggelse omkring depån.

LED-belysningen är energieffektiv och drar därav relativt lite effekt jämfört med de övriga kategorierna. Det kan vara svårt att kapa effekttoppar med lösningar inom belysningskategorin eftersom det antagits att all belysning redan drar så lite effekt som möjligt. Att släcka lampor vid effektbrist i elnätet hade kunnat vara en möjlighet i utrymmen som exempelvis uppställningshallen. En sådan lösning skulle kunna vara till hjälp i lägen när det endast är en liten brist i elnätet, men det är inte en lösning i det stora hela. Däremot kan det vara precis vad som behövs i vissa lägen och en tänkbar sista utväg att ta när det krisar.

Ventilationsvärdena från Stadsbussdepån kommer endast från ett dygn i januari 2024, vilket medför att endast ett dygn för hela året representeras och beräknas. Anledningen till detta är att rapporten syftar till att undersöka depåns effektuttag från ett ”worst case scenario” dygn, då det är som kallast vilket det var detta dygn. Även tvätthallsvärden beräknas från det givna dygnet och baseras på effektuttaget under drift. En intressant observation skulle kunna vara att temperaturen dagarna innan spelar roll. Under väldigt kalla dagar blir fordon inte lika smutsiga som under varmare dygn under vintertid på grund av slask. Detta gör att de fall då många kalla vinterdagar följer efter varandra är behovet av tvätt inte lika stort.

Resultatet baserades på en del antaganden som presenteras och argumenteras för i delrapport 1. Eftersom simuleringen baseras på konsumtionen på depån kommer därför även det resultatet differentiera i verkligheten. Modellen UUBEM är i övrigt i stort sett felfri. Den används i många olika sammanhang och är framtagen och utvecklad av kompetenta personer.

### 5.2. Biobränsle

Biogas produceras lokalt i Uppsala vilket gör att nära samarbete med leverantör kan upprättas. Detta ger möjligheten till god uppsikt över tillgången och innebär korta transportsträckor. Tillgången på biogasgeneratorer är begränsad då användningen av dessa inte är lika vanliga

som dieselgeneratorer. Antalet leverantörer och storleksordningen på generatorer som säljs kan också vara en begränsande faktor. Trots detta kvarstår att om en biogasgenerator går att hitta, så blir luftföroreningarna mycket mindre än med dieselliknande alternativ.

Biodiesel fungerar i vanliga dieselgeneratorer med vissa modifikationer vilket gör att tillgången på denna typ av generator i olika storlekar är god. Dock är nackdelen att biodiesel släpper ut mer luftföroreningar än biogas vid förbränning. Produktionen av biodiesel mestadels är förlagd utanför Sverige. Detta gör att leverantör av bränsle blir ett större problem och att det säkerhetspolitiska läget i världen i stort kan komma att påverka tillgången av detta drivmedel.

Förnybar diesel fungerar i alla dieselgeneratorer vilket är en fördel gentemot biodieseln. Den har även en oändligt lång förvaringstid vilket är bra eftersom generatoren inte planeras vara ständigt i drift. Det har även fördelen att vid brist på bränsle kan generatoren även drivas på vanlig diesel, detta är dock ej önskvärt på grund av de betydande utsläppen av luftföroreningar och växthusgaser.

Slutsatsen i detta blir att avvägningen mellan vilken generator som passar systemet bäst kommer att bero på vilka avtal som bäst kan upprättas med regionens befintliga kontakter och vilka leveransvägar som blir lättast att etablera.

En intressant punkt i resultaten är att toppbristen som generatoren är tänkt att kompensera för inte blir speciellt stor och om man har tre battericontainrar behövs ingen generator alls vilket kan avläsas i tabellerna 4 och 7. Eftersom bristtopparna är mycket högre än genomsnittsbristen, blir det svårbedömt vilken generator som är mest lämplig. Mängden bränsle som krävs för de olika fallen är också relevant för det beslut som ska fattas men detta blev ett för stort område att ta hänsyn till med tanken på mängden olika kombinationer som presenteras i resultaten. Det hade varit intressant att undersöka möjligheten att ha en större och en mindre generator för att effektivare kunna leverera den effekt som krävs en viss timme, men eftersom målet med detta projekt är att göra spårvagnsdepån effektpositiv, har generatorerna som används valts för att täcka toppbristen.

### 5.3. Val av koncept

Genom att studera figurerna i resultatet går det att dra slutsatser om vilket eller vilka koncept som passar bäst för en specifik situation. Figur 8 visar tydligt hur ett ökat antal batterier bidrar till ett betydligt lägre behov av effekt från exempelvis en biodieselgenerator. Det går även att avläsa i figuren att ett ökat antal solceller drar ner behovet av annan tillförd effekt, vilket är rimligt. Det som är högst intressant med figur 8 är att den visar att vid val av tre batterier kommer depån att klara av att fungera under ö-drift de högbelastade timmarna utan någon tillförd effekt från en biogenerator.

Fortsättningsvis visar figur 9 tydligt hur den konstanta konsumtionen ser ut över månaden men framför allt hur stor skillnaden blir vid installation av fler solceller. Vid installation av 25 % solceller går det maximalt att producera drygt 175 kW jämfört med installationen av 90 % solceller som maximalt kan producera drygt 650 kW. Vid val att installera fler än 75 % solceller går det även att avläsa i figur 10 att depån kan leverera tillbaka effekt till nätet.

I modelleringen valdes det även att studera en justerad effektdata. Denna kunde fås genom att lägga svarvverksamheten på natten, vilket gav intressanta resultat. Största effektunderskottet, illustreras i figur 11, blev obefintligt vid val av fler än ett batteri och maximalt 159 kW vid val av ett batteri. Vid jämförelse med bristen i figur 8 går det lätt att se att förflyttningen av svarvverksamheten har en stor inverkan på det maximala effektbehovet. Det går även att jämföra figur 10 och figur 12, som beskriver effekt till/från nätet, och se att effekten som depån drar från nätet vid användning av justerade effektdata blir jämnare fördelad över dygnens timmar.

Då man läser av toppbristen i tabell 2–7 så framgår det att toppbristens beteende skiljer sig åt där den icke-justerade effektens inverkan på toppbristen för olika scenarier varierar, medan med den justerade effektkurvan så verkar maxunderskottet stabilisera sig på 159 kW oavsett andel solceller. Detta är på grund av att den icke-justerade effektkurvan har två intervall där regionnätet är högbelastat samtidigt som depån har ett nettoeffektbehov, vilket framgår i figur 7 Nettoeffektbehovet mellan dessa intervall kommer dock att skilja sig åt. Förutom längden på intervallen så är det även stor skillnad på mängden effekt som finns att tillgå under de olika tidsperioderna.

I tabell 2–7 så framgår det att toppbristens beteende skiljer sig åt, där den icke-justerade effektens inverkan på toppbristen för olika scenarier varierar, medan den justerade effektkurvans toppbrist stabiliserar sig på 159 kW oavsett andel solceller. Detta är på grund av att det finns två intervall där regionnätet är högbelastat, men nettoeffektbehovet kommer att skilja sig åt mellan de två effektkurvorna.

För att hantera effektbristen på förmiddagen har depån ett laddat batteri, effekt från den momentära solcellsproduktionen samt en biogenerator att tillgå. I den icke-justerade effektanvändningskurvan, figur 7, sammanfaller högbelastat elnät med ett nettoeffektbehov på depån. Toppbristen blir väldigt hög och kräver 3 batterier för att hanteras.

Eftermiddagens intervall med nettoeffektbehov är längre, men når inte samma toppbrist, då depåns egna effektbehov har sjunkit. Trots att effektbrist finns så är det största toppbristvärdet, i tabell 2–4, ett resultat av förmiddagstimmarna.

Vid användning av justerade effektdata så är effektkonsumtionen mellan dag och natt jämnare. Resultatet av detta är att förmiddagstimmarnas toppar går att kompensera för med endast 25% solceller och 1 batteri. Det är i stället eftermiddagens något längre intervall som kommer att ge toppbristvärdet, som förblir oförändrat med ökad andel solceller. Då batteriet laddas ur så hade solinstrålningen behövt vara tillräckligt stor för att täcka effektbehovet. Detta kommer inte att inträffa, då solinstrålningen i princip är obefintlig mellan 17:00 och 20:00 i januari.

## 6. Slutsatser

Syftet med projektarbetet var att analysera en planerad spårvagnsdepå i Uppsala samt utveckla koncept med både tekniska och beteenderelaterade lösningar för hur depån ska kunna vara effektpositiv. Resultatet visar att depån har goda möjligheter att uppnå målet att bli effektpositiv. Valet av kombination av solceller, batterier och biogeneratorer är en fråga för uppdragsgivaren att avgöra utifrån dess önskemål. Vid val av fler än 50 % solceller finns en möjlighet att kunna leverera tillbaka effekt till nätet. Vid val av fler än två batterier krävs det ingen biogenerator för att depån ska fungera under ö-drift, vid användning av icke-justerade effektdata. Om driften av svarven läggs på nattetid krävs det färre solceller, batterier samt en mindre biogenerator för att depån ska fungera under ö-drift. De olika koncepten ger en möjlighet till uppdragsgivare att tolka och applicera resultatet efter sin specifika situation.

## Tack till medverkande

Stort tack till följande för deras betydande hjälp under projektets gång:

Joakim Widén från Uppsala universitet

Hanna Marklund och Region Uppsala

Rafael Waters från STUNS

## 7. Referenser

Andersson, PG, Gibrand, M (2008) Litteratursammanställning över kollektivtrafiksystem – som finns på världsmarknaden och är i bruk. Trivector, Rapport 2008:26  
<https://malmo.se/download/18.3307ccf61248129e9ad800011635/>

[Inventering+kollektivtrafiksystem+för+tätort+2008-0529+slutversion.pdf](#) [2024-04-18]

Batteriföreningen, (2022). *Litiumjonbatterier*.  
<https://batteriforeningen.se/litium-jon/>[2024-05-03]

Bischofberger, C (2023). *The pros and cons of batteries for energy storage*. IEC e-tech, issue 6/2023  
<https://etech.iec.ch/issue/2023-06/the-pros-and-cons-of-batteries-for-energy-storage> [2024-05-03]

Zablocki, A (2019). *Energy storage*. Enviromental and energy study institute (EESI). Fact Sheet, February 22, 2019. <https://www.eesi.org/papers/view/energy-storage-2019> [2024-05-03]

Energimyndigheten (2023). *Scenarier över Sveriges energisystem 2023. Med fokus på elektrifieringen 2050*. Statens energimyndighet, ER 2023:07.

Energiforsk (u.å.). *Coordinets demo i Uppsala*.  
<https://energiforsk.se/program/coordinet/uppsala/> [2024-06-06]

Evesco, (2021). *Battery energy Storage System components*. <https://www.powersonic.com/blog/battery-energy-storage-system-components/>[2024-05-03]

Mörk, K. (2021). *Planbeskrivning Detaljplan för Uppsala spårvagnsdepå. Del av Nåntuna 10:1 med flera*. Uppsala Kommun, Plan – och byggnadsnämnden, PBN 2021-003915.

PPam solkraft, (2024). *PPAM Transparium – Dubbelsidiga solpaneler*.  
<https://ppam.se/produkter/transparium/>[2024-05-17]

Shadram, F. & Widén, J. (2023) *Urban building energy modeling from geo-referenced energy performance certificate data: Development, calibration, and validation*.  
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104664> [2024-06-07]

Uppsala Kommun (2024). *Så säkrar vi tillgången på el*.  
<https://www.uppsala.se/kommun-och-politik/sa-arbetar-vi-med-olika-amnen/energi/uppsalaeffekten/>  
[25-04-2024]

Vattenfall, (u.å). *Batterilager Uppsala*. <https://www.vattenfalleldistribution.se/var-verksamhet/innovation/batterilager/>[2024-05-03]

Xcen (u.å.) *Hur mycket belysning/ljus behövs?*  
<https://www.xcen.se/faq-vanliga-fragor/hur-mycket-belysning/ljus-behovs> [2024-04-18]

## 8. Delrapporter

Delrapport 1

Kartläggning av elkonsumtion

Beata Nordqvist, Victoria Lind och Anna Johansson

Delrapport 2

Modellering i UUBEM

Filip Senneby, Ellen Nymo

Delrapport 3

Energilager

Sam Henriksson

Delrapport 4

Elproduktion

Maria Gregertsen



## 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. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

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

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.