



Dimensionering av krisberedskap för elbilsladdning

En simuleringsstudie om krisberedskap för
samhällsviktiga funktioner

Linus Christiansen

Examensarbete • 30 hp

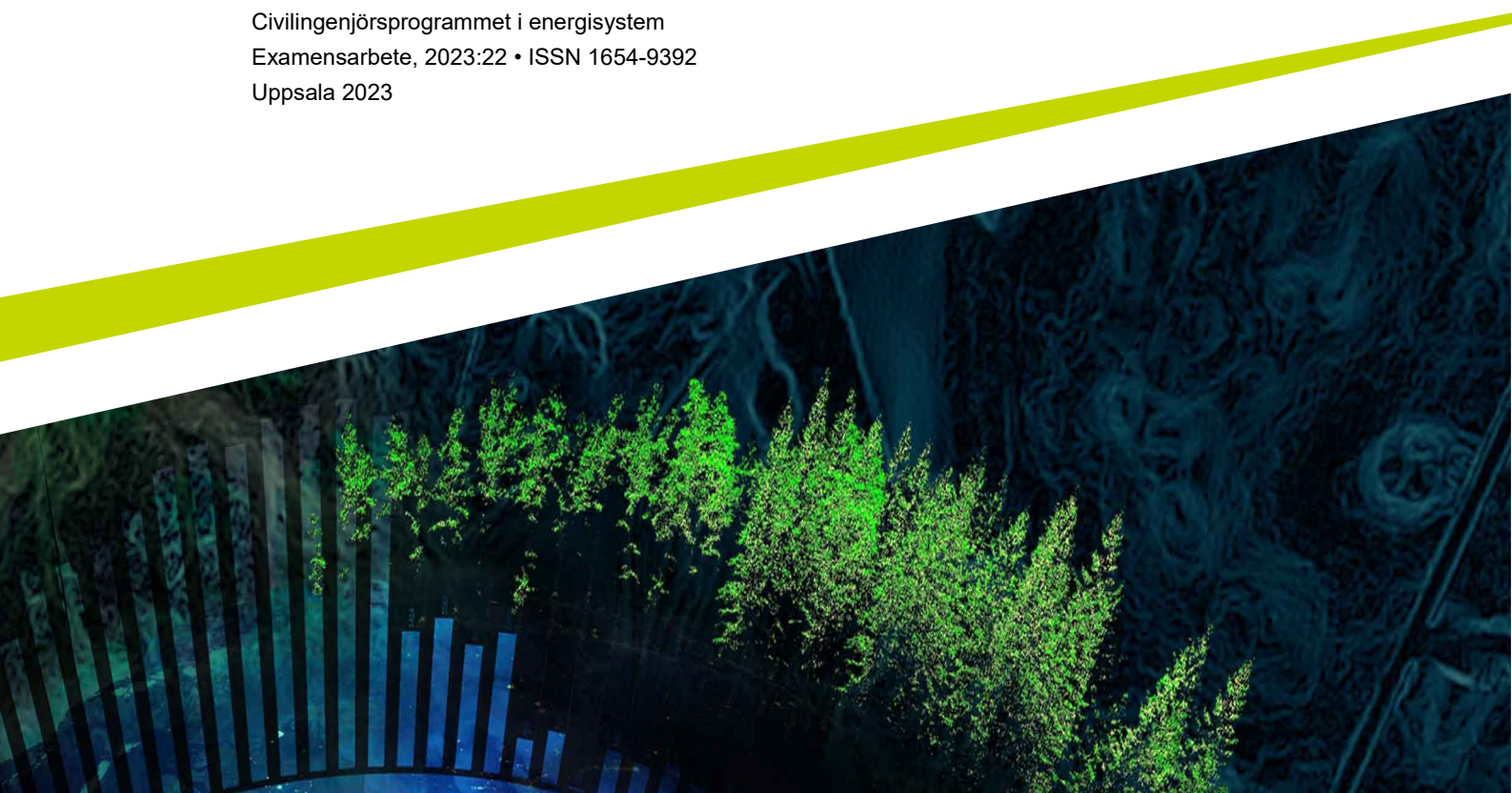
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakultet för naturresurser och jordbruksvetenskap, Institutionen för energi och teknik

Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Examensarbete, 2023:22 • ISSN 1654-9392

Uppsala 2023



Dimensionering av krisberedskap för elbilsaddning. En simuleringsstudie om krisberedskap för samhällsviktiga funktioner

Dimensioning of EV-charging systems in crisis situations

Linus Christiansen

Handledare: Tor Thomsson, Biodriv Öst
Ämnesgranskare: Gunnar Larsson, SLU, Institutionen för energi och teknik
Examinator: Åke Nordberg, SLU, Institutionen för energi och teknik

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: Examensarbete i energisystem
Kurskod: EX0724
Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i energisystem
Kursansvarig inst.: Institution för energi och teknik, SLU
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2023
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
Delnummer i serien: 2023:22
ISSN: 1654-9392

Nyckelord: krisberedskap, samhällsviktig verksamhet, personbilstransport, elfordon, elektrifiering

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakultet för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för energi och teknik

Abstract

With the rising number of electric vehicles in the Swedish vehicle fleet in combination with the rising electricity demand in the country, it begs the question. How should the electricity demand from charging of electric vehicles for vital societal functions be managed in a time of crisis without the support from the electric grid? This study focuses on the task of dimensioning reserve power systems for electric vehicle (EV) charging of parking spaces with 10, 20 and 30 cars. The results showed that in one case without support from the grid, a stationary internal combustion engine (ICE) with the electrical power of 110 *kW* in combination with a fuel storage system was enough to supply the system with sufficient electrical power, to charge a fleet of 30 cars for one week. In another case (the benchmark case) where the reserve power systems also were designed for everyday use outside a crisis with grid connection and renewable power generation, several components were added. A battery storage system in combination with solar and wind power systems for energy generation and storage for later use were designed as compliment to the ICE. The results showed that the system made significant energy savings when simulated in summer conditions approximately 500 *kg* of upgraded biogas compared to the benchmark case which were simulated in winter conditions. The benchmark case performed very similar to the case with only an ICE in winter conditions because the production of solar power was very small.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Med den närmaste tidens oroligheter i Europa och de höga elpriserna har ett nytt ämne kommit upp på tapeten. Vad händer när effekten i vägguttagen försvinner? Krisberedskap är något man pratar mer om, myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) har riktlinjer och rekommendationer för hur man som privatperson på bästa sätt ska agera i en kris. Andra viktiga delar av krisberedskap är att lista ut hur verksamheter som är viktiga för samhället ska fortsätta att fungera i svåra situationer. Studien tittar på krisberedskap för elbilsladdning i hemtjänsten, en verksamhet som är otroligt viktig för folkhälsan inte bara i kris utan även till vardags. Strategin och riktlinjerna för arbetet har inspirerats och dimensionernas av de krav som finns i MSB:s hemberedskap.

Elbilens popularitet har vuxit en hel del de senaste åren vilket också märkts på trafiken. Det tar lång tid att ladda en elbil jämfört med att tanka en vanlig diesel eller bensinbil, vars bränslen även kan lagras enklare i tankar. Elen som transporteras genom elnätet behöver lagras i batteriet för senare användning, eller användas direkt för att den inte ska förloras elen är på så sätt svårare att hantera. När då kommuner och samhällsviktiga verksamheter som hemtjänsten har börjat köra med allt fler elbilar skapar detta ett nytt problem i hur dessa elbilar ska laddas om det inte finns någon ström från elnätet. Arbetet tittar på olika varianter av reservkraftsystem för att ladda 10–30 elbilar. Krisberedskapssystemet kräver en maxeffekt på 110 *kW* för att täcka en fordonsflotta på 30 elbilar.

Resultatet visade att det fungerar bra att bara använda sig av en diselgenerator, biogasgenerator eller bränslecell som drivs på vätgas för att leverera den effekten som bilarna efterfrågar. Då generatoren förbränner bränsle för att producera el var systemet inte användbart till vardags utanför kris, eftersom det är bättre och smidigare att köpa el från elnätet. Utifrån detta gjordes ett system med ett stationärt batterilagret och förnybara energikällor som solpaneler och ett vindkraftverk. Med batterilagret kan man spara den producerade energin för senare användning. På så vis behöver generatoren inte användas lika mycket vilket syns i resultatet. Störst skillnad syns på reservkraften under sommar och vårmånaderna eftersom solcellerna producerar mycket energi under sommaren och mindre energi på vintern. Detta innebar att systemet sparade en stor mängd energi i form av bränsle ca 500 *kg* HVO och fordonsgas som annars hade varit tvungna att förbrännas i fallet med endast generatoren. Vintertid var energiförbrukningen i systemen nästan identisk. Energiproduktionen från sol- och vindkraftverken sparade bara några kilos bränsle. Det fanns alltså många sätt att forma beredskapssystemet på, beroende på vad verksamheten i fråga har för tankar kring användningen av krisberedskap skiljer sig utformningen av systemet. Då systemet har andra nyttor med krisberedskapen utanför kris är det en god ide att utforska ett större beredskapssystem. Studien visade att intermittenta energikällor som sol- och vindkraft kan producera relativt mycket energi, som vidare kan användas i dessa nyttor. Då syftet bara är att använda systemet i absolut kris är det bättre att bara installera en generator eftersom det blir billigast.

Exekutiv sammanfattning

Den svenska transportsektorn står inför en stor uppgift att ställa om från fossila bränslen till förnybara alternativ. Omställning kräver resurser från diverse drivmedel. Andelen elfordon i personbilsflottan har ökat markant den senaste tiden vilket i sin tur ställer högre krav på elnätet. Med den stundande effektbristen och oroligheterna i Europa är en viktig del av det framtida energisystemets dess energiförsäkran. Vid eventuell kris är det därför av hög prioritet att samhällsviktig verksamhet som hemtjänsten kan fortsätta arbeta och möjligheten att ladda elektrifierade transporter finns tillgänglig. Studien undersökte dimensioneringen av reservkraftsystem för elbilsladdning av 10–30 fordon. Resultaten visade att det är fullt möjligt att tillfredsställa fordonsflottans effektbehov med bara en biogasgenerator, dieselgenerator eller bränslecell som komponent i krisberedskapssystemet med maxeffekt på 110 *kW* för en flotta på 30 bilar med laddeffekten 11 *kW*. Då beredskapssystemet dimensionerades för ytterligare användning utanför krissituation adderades ett flertal komponenter. Ett batterilager i kombination med solkraft och vindkraft gav beredskapen en självständig energiproduktion och lager som hjälpte generatören täcka effektbehovet. Mellan de två systemen sågs stora energibesparingar i simuleringarna för vår, sommar och höst jämfört med att bara köra en generator. För vinterfallet var systemen väldigt lika eftersom produktionen av sol- och vindkraft var för liten och således var det endast generatören som arbetade för att täcka lastkurvan.

Förord

Innan vi fortsätter i rapporten vill jag fånga upp läsaren för att rikta ett tack till de personer och företag som har hjälpt mig under min arbetsgång. Jag vill börja rikta ett tack till BioDriv Öst som har gett mig möjligheten att skriva examensarbetet mot deras verksamhet. Tack till Björn Isaksson som har gett stöd vid frågor i arbetet. Jag vill också rikta ett stort tack till min handledare Tor Thomsson för vägledningen och tips under arbetets gång. Tack till min ämnesgranskare Gunnar Larsson som har hjälpt mig hålla ämnet relevant.

Vidare vill jag tacka Clas Rydén med flera på Karlskoga kommun som har gett mig insikt i kommunens verksamheter och relevant information till arbetet, det hade inte varit möjligt utan er.

Jag tackar Oscar Langnelöv för inspirationen till simuleringsmodellen och en bra bas att stå på. Sist vill jag tacka min kamrat Albin Werre som har varit till stor hjälp som vid uppbyggnad modellen, bolla idéer och de gånger jag kört fast i modelleringen.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Inledning	1
1.2	Syfte	1
1.3	Mål	2
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Alternativlösningar	2
2	Teoretisk bakgrund	5
2.1	Batterilager	5
2.2	Styrbara elproducenter	5
2.2.1	Förbränningsmotorer	5
2.2.2	Bränslecell	6
2.3	Bränslelager	8
2.4	Solceller	8
2.5	Vindkraftsverk	9
2.6	Ekonomi	10
3	Metod	11
3.1	Generering av lastkurva	11
3.2	Batterilager	14
3.3	Styrbara elproducenter	15
3.4	Solceller	16
3.5	Vindkraft	17
3.6	Ekonomi	18
3.7	Intervjustudie	20
4	Resultat	21
4.1	Svetsarevägen	21
4.2	Dunungevägen	24
4.3	Värmlandsvägen	27
4.4	Ekonomi	29
4.4.1	Svetsarevägen	29
4.4.2	Dunungevägen	30
4.4.3	Värmlandsvägen	30
4.5	Känslighetsanalys	31
4.5.1	Förändrad laddeffekt	31
4.5.2	Förändrade väderförhållanden	34
4.5.3	Förändrat antal bilar	37
4.5.4	Krisberedskap enbart med generator	39
4.6	Ekonomisk känslighetsanalys	40
4.7	Intervjustudie	40

5	Diskussion	43
5.1	Resultatdiskussion	43
5.2	Validering av frågeställningar	44
5.3	Ekonomisk jämförelse	46
6	Slutsats	47

1 Introduktion

1.1 Inledning

Den svenska transportsektorn står inför en stor uppgift att ställa om från fossila bränslen till förnybara alternativ. Denna omställning kräver resurser i form av både elektricitet och biobränslen. Andelen elfordon i den svenska personbilsflottan har ökat markant den senaste tiden då nyregistrering av elektrifierade personbilar uppgick till över 32 % av den totala mängden nyregistrerade bilar 2022 [40]. En större andel elektrifierade fordon ställer i sin tur högre krav på elnätet [8]. Med den stundande risken för effektbristen och oroligheter i Europa är en viktig del av det framtida energisystemets dess energiförsäkran. Exempelvis för transporter som elektrifierats kan laddningsproblem uppstå vid effektbrist eller andra kriser. Vid kris är det därför av hög prioritet att samhällsviktig verksamhet kan fortsätta arbeta och möjligheten att ladda elektrifierade transporter är god.

Hemtjänsten är ett exempel på samhällsviktig verksamhet som behöver energisäkras för att ladda dess elektrifierade fordonsflotta i kris. Examensarbetet avser att dimensionera olika krisberedskapssystem baserat på diverse energilösningar som solceller, generator och stationärt batterilager. Detta för att uppnå en tillfredsställande dimensionering för laddningen av fordonsflottan. Olika platser för fordonsparkeringar kommer analyseras, således kommer olika alternativ av energilösningar skilja sig i relevans från en plats till en annan. Krisberedskapssystemet kommer ligga i anslutning till fordonsparkeringen vilket gör parkeringsplatsens storlek till en faktor då vissa mindre parkeringar inte är kompatibla med alla sorters energilösningar. Exempelvis kan batterilager ta ganska stor plats vilket kan förhindra energilösningen från att implementeras på mindre parkeringar, således är parkeringar av den storleken mindre lämpade för operation av större krisberedskapssystem med flera komponenter. Av denna anledning är det därför viktigt att hitta energilösningar som passar inom ramarna för specificerad parkeringsplats samt det tidskrav som kan komma att ställas på hur länge beredskapen ska vara aktiv.

I studien definieras krissituationen som de fall då systemet inte får någon effekt eller elektrisk energi från elnätet. Beredskapssystemet måste således dimensioneras för att vara helt självförsörjande över en viss tid. Tidsaspekten för kris i studien baseras på Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps (MSB) riktlinjer för hemberedskap [27]. Riktlinjerna säger att en privatperson ska kunna klara sig en vecka med hemberedskap, samma krav har antagits för studiens beredskapssystem.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att utforska potentialen av ett krisberedskapssystem för elbilsladdning med en fordonsflotta på 10 - 30 elektriska personbilar, normal storlek för denna typ av verksamhet. Vidare avses att analysera utformning av reservkraften för att passa de laddningsbehov fordonsflottan kräver vid kris samt vilken nytta reservkraften kan tillföra i närområdet då det inte är en krissituation.

1.3 Mål

Huvudfrågeställning

- Hur designas och dimensioneras krisberedskap för personbilsladdning för att säkerställa att de laddade fordonen kan utföra sitt arbete?
- Vilka energikällor och lagringsalternativ är lämpliga att kombinera och vilka styrkor och svagheter finns med alternativen?
- Vilket beredskapssystem är mest fördelaktigt sett till ekonomi?

Sekundär frågeställning

- Hur kan lösningarna utnyttjas när det inte är en krissituation?

1.4 Avgränsningar

Beskrivet i stycket ovan kommer projektet avse att simulera ett krisberedskapssystem för elbilsladdning. Detta innebär att simuleringssteget i arbetet endast studerar hur beredskapen ska dimensioneras för att klara av det tidskrav som ställs i kristid. Modellen simuleras inte hur krisberedskapen eventuellt kan användas för frekvensreglering mot nätet [8], eller hur bilarnas användning kan påverka hur effektbehovet varierar. Det som är intressant för dimensioneringen av krisberedskapen är storlek och den effektkurva som genereras från elbilsladdning och den avsedda drifttiden för beredskapssystemet. Var hemtjänsten som projektet baseras på kör sina bilar är därför inte relevant för arbetet, bara den totala dagliga körsträckan för beräkning av lastkurva. Vidare antas laddeffekten i systemet vara 11 kW. Studien kommer att utgå från att förnybar energi används i krisberedskapssystemen. Bränslealternativet diesel syftar till HVO100, då fossil diesel och HVO liknar varandra och kan användas i samma motorer syftar dessa på bränsle eller process vid benämning i studien. Vidare syftar fordonsgas till uppgraderad biogas och användningen av ordet biogas menar rågas eller uppgraderad biogas.

1.5 Alternativlösningar

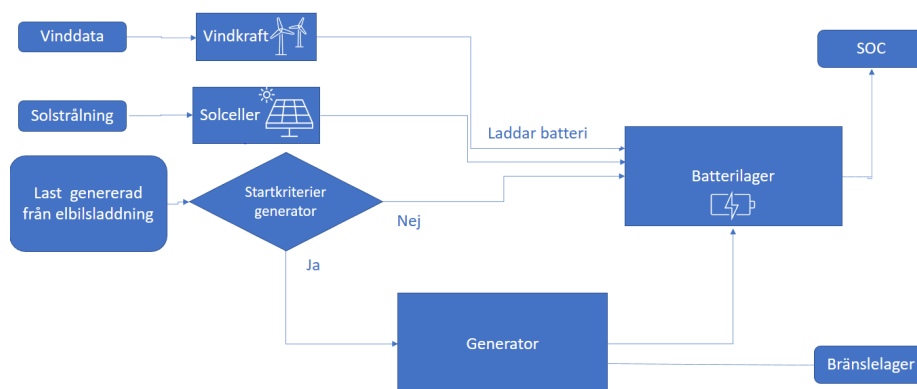
Projektet utformades för att analysera tre alternativ till krisberedskapssystem. Systemen bestod av följande energikomponenter i olika utformningar och dimensioner.

- Batterilager
- Generator/ Bränslecell
- Solceller
- Vindkraftverk

Alternativen anpassades utefter Karlskogas kommunala arbetsparkeringar för arbetsfordon och hemtjänsten. Energilösningarna som avsågs användas i parkeringarna beslutades

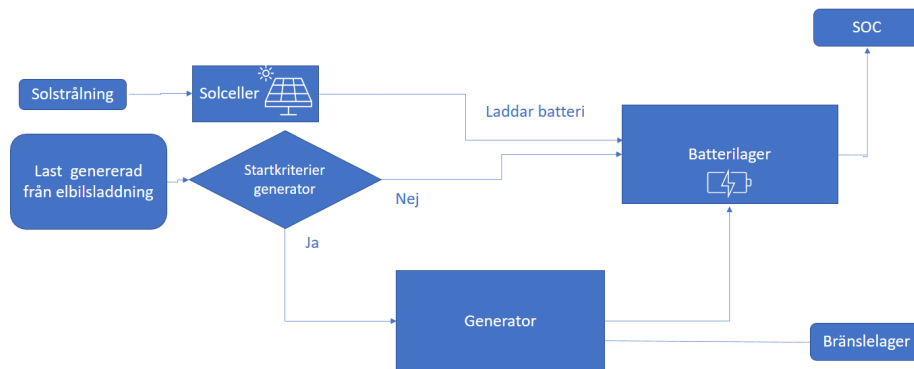
utefter storlek och platsmöjlighet till ett stort krisberedskapssystem.

Svetsarevägen i Karlskogas är studiens största parkering och ligger ut mot stadens industriområde. Parkeringen var det största krisberedskapssystem med två intermittenta energikällor, solceller och ett vertikalexlat vindkraftverk (VAWT) tillsammans med två styrbara energikällor. Ett stationärt batterilager och en generator driven av diesel, biogas eller vätgas för snabb effektgenerering. En översiktsbild på systemets komponenter presenteras i figur 1. Denna lösning är tänkt att utgå från Svetsarevägen i Karlskoga. Svetsarevägen är en stor kommunal parkering för arbetsfordon och kommunal verksamhet. Vid eventuell kris skulle denna parkeringsplats passa bra för att låta hemtjänstens verksamhet utgå ifrån. Parkeringen har gott om plats för eventuell utbyggnad för krisberedskap. I anslutning till parkeringen ligger också den kommunala verkstaden som kan anses som en viktig resurs under en kris för att upprätthålla kommunens fordonsgodsnivå. Krisberedskapssystemet kan således tillföra energi till verkstadsverksamheten. Alternativet kommer att ha en kapacitet för 30 elektrifierade parkeringsplatser.



Figur 1: Översiktsbild på ingående komponenter i Svetsarevägens krisberedskapssystem.

Dunungevägen är studiens medelstora parkering och hade följande komponenter solceller som intermittent energikälla tillsammans med stationärt batterilager och en generator. Generatoren drivs av diesel, biogas eller vätgas för snabb effektgenerering, översiktsbild presenteras i figur 2. Parkeringen var inspirerad av Dunungevägen i Karlskoga. Denna parkering är till storleken mindre än Svetsarevägen och ligger mer tättbebyggt. Dunungevägen är i dagsläget en av de parkeringar som Karlskogas hemtjänst utgår ifrån. Parkeringen har ett storkök i anslutning som tillagar måltider till hemvården, således finns eventuell potential till användning av beredskapssystemet till storköket. Alternativet kommer att ha en kapacitet för 20 elektrifierade parkeringsplatser.



Figur 2: Översiktsbild på ingående komponenter i Dunungevägens krisberedskapssystem.

Värmlandsvägen är studiens minsta beredskapssystem. Generator driven på diesel, biogas eller vätgas. Parkeringen är inspirerad utefter hemtjänstens parkering på Värmlandsvägen. En översiktlig bild på parkeringens system syns i figur 3. Denna parkering är minst av alternativen således har också denna parkering det minsta krisberedskapssystemet. Alternativet kommer att ha en kapacitet för 10 parkeringsplatser.



Figur 3: Översiktsbild på ingående komponenter i Värmlandsvägens krisberedskapssystem.

2 Teoretisk bakgrund

2.1 Batterilager

Förnybara energikällor som vind- och solkraftens elproduktion är svåra att förutse. Ett alternativ för att jämna ut produktionen är användning av batterilager för att öka tillgängligheten av förnybar energi i systemet [12].

Principen för batterier fungerar på följande vis: Batterier består av en anod, en katod och en elektrolyt som separerar polerna. Vid urladdning vandrar de elektriska laddningarna från anoden, den negativt laddade polen, genom elektrolytet (mediumet mellan anod och katod) till katoden, den positivt laddade polen i batteriet. Vid uppladdning av batteriet sker processen i omvänd ordning. Elektrolytets uppgift i processen är att överföra elektronerna effektivt. Konventionella litium-jonbatteriers elektrolyt består ofta av litiumsalter på grund av dess fördelaktiga ledningsförmåga av litiumjoner och isolering av elektronerna. Materialet i anoden består vanligtvis av en grafit och litiumblandning. Grafit är lättillgängligt och har goda egenskaper att agera som anod tillsammans med litium i batteriet. Vanligt material i katoden är litiummetalloxider, valet av materialet påverkar batteriets prestanda i stor utsträckning [4].

2.2 Styrbara elproducenter

Styrbara elproducenter, kommer analyseras i studien skiljer sig åt i sin funktion och fundamentala teknik. Diesel- och biogasgeneratorer, som är stationära förbränningsmotorer, separeras således från vätgasen som använder bränsleceller.

2.2.1 Förbränningsmotorer

Studiens förbränningsmotorer är stationära kolvmotorer med en fyrtakts otto- eller dieslcykel. Inspirerade av Sveriges lantbruksuniversitets forskningsgård Lövsta där det står en stationär biogasgenerator i anslutning till gårdens biogasproduktion, som förser gårdsverksamheten med elektrisk energi och värme (CHP).

Bränslet som studiens motorer kräver är primärt metan i olika former och HVO, således kan generatoren drivas på både fordonsgas, uppgraderad biogas kallat rågas och HVO. Biogasen har en större andel koldioxid från den anaeroba rötningen i röt-kammaren och har därför en lägre energidensitet.

Den elektriska verkningsgraden för generatorerna bestämdes med figur som presenterar verkningsgrad baserade på den installerade elektriska effekten i generatoren från följande referens [15].

Verkningsgraden för dieselgeneratoren är något högre än den för biogasgeneratoren [16]. Genom linjär interpolation kan den elektriska verkningsgraden för arbetets teoretiska biogas- och dieselgenerator beräknas med hjälp av [15].

$$k = \frac{n_{max} - n_{min}}{P_{el,max} - P_{el,min}} \quad (1)$$

Variabeln k är lutning på verkningsgradskurvan som kommer från största och minsta effekten generatören producerar $P_{el,max}$ och $P_{el,min}$, tillsammans med verkningsgraderna vid respektive effekter n_{max} och n_{min} . Med hjälp av den räta linjens ekvation erhålls elektriska verkningsgraden för generatören, n_{el} .

$$n_{el} = k \cdot P_{load} + n_{min} \quad (2)$$

Där P_{load} är den momentana elektriska effekten som generatören producerar.

Vidare kan energi- och bränslekonsumtionen från drift av generatören beräknas med hjälp av ekvation 2 och den elektriska energin generatören genererar över en viss tidsperiod.

$$E_{consumption} = \frac{n_{el}}{P_{load} \cdot t} \quad (3)$$

Nämnummern presenterar den elektriska effekt generatören producerar över en viss tid t , vilket ger generatörens producerade elektriska energi. För att sätta energikonsumtionen i kontext konverteras den till bränslekonsumtion med enheten kg .

$$m_{konsumtion} = E_{consumption} \cdot \rho_{bransle} \quad (4)$$

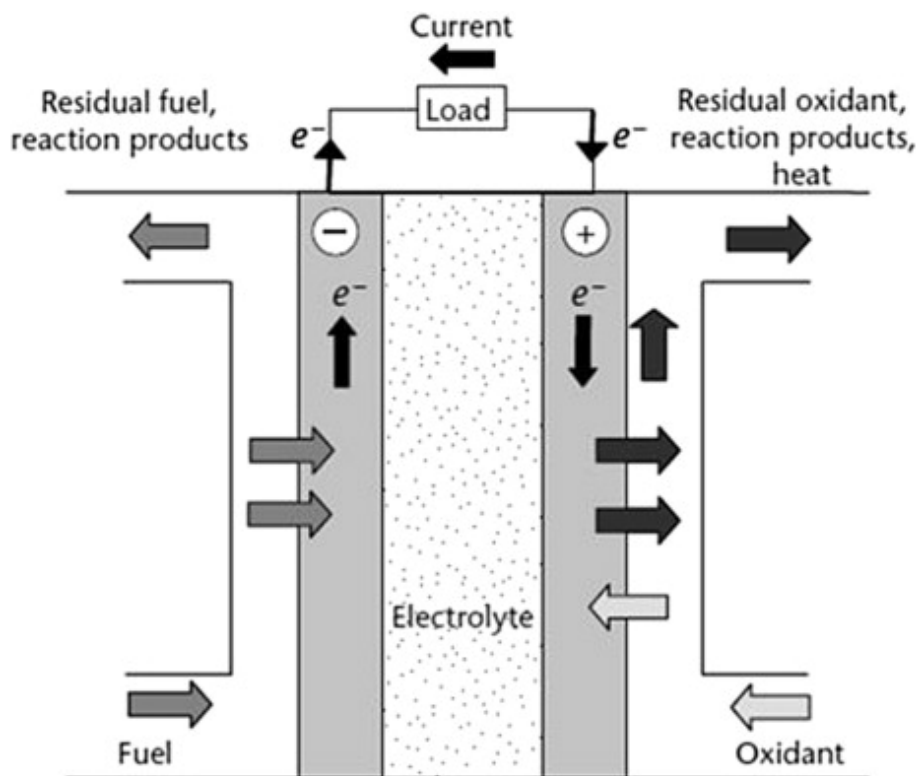
Där $\rho_{bransle}$ är energidensiteten i kWh/kg för det bränsle som används i förbränningen.

Precis som biogasgeneratören kommer dieselgeneratören att erhålla samma arbetsmönster när batterilagret inte kan tillhandahålla tillräcklig effekt för lasten. Förändring av generatortyp innebär att den elektriska verkningsgraden i ekvation 2 behöver förändras eftersom diesel och Otto-cykeln fungerar olika.

2.2.2 Bränslecell

Vidare presenteras det sista alternativet på generator i form av en bränslecell. Som tidigare följer beräkningar av massa- och energikonsumtion i ekvationerna 3 och 4. Bränslecellen använder vätgas som bränsle men utvinner inte energi från förbränning som tidigare förbränningsmotorer, istället sker en elektrolys. Vidare presenteras en förklaring till bränslecellens komponenter och elektrolyprocessen som utvinner energin. Bränslecellen består av en anod, katod och ett dielektriskt medium, mellan polerna. Vätgas passerar anoden och delas upp i elektroner och positivt laddat väte, se de mörkgråa pilarna i figuren. Det dielektriska mediet hindrar elektroner från att passera medans vätejonerna passerar vidare till katoden. Elektronerna måste finna en annan väg för att uppnå balans i reaktionen. Elektronen vandrar i en elektrisk krets för att gå runt det dielektriska mediet vilket ger

upphov till en ström se figur 4 [6]. Sist reagerar vätejonerna med syre för att bilda värme och vatten se det svarta pilarna i figuren.



Figur 4: Schematisk bild över bränslecellen med ingående komponenter [6].

Den kemiska reaktionen vid anoden för figur 4 presenteras nedan.



Anoden agerar som en katalysator för uppdelningen av vätegasen till joner och fria elektroner.



Reaktionen i katoden för figur 4 samlar upp vätejonerna och elektronerna och bildar vatten. Bränslecellen baseras på en PEMFC (Proton-exchange-membrane fuel cell). Enligt [6] är PEMFC den vanligaste varianten använd för transporter och fordonsindustrin. Baserat på samma rapport uppskattas bränslecellen verkningsgrad i studien vara 50 %.

2.3 Bränslelager

En essentiell komponent för att generatorerna ska kunna arbeta är bränsle. Bränslelager är därför en viktig aspekt att ta hänsyn till vid installation av krisberedskap. Som presenterats i kapitel 2.2 berör systemet tre bränslen: biogas, diesel och vätgas. Metoden för att lagra dessa bränslen skiljer sig åt.

Krisberedskapen avser att använda CBG (Compressed Biogas) lager för att lagra biogasen i anslutning till generatoren. CBG lagras oftast i cylindriska aluminium-metall tankar där gasen komprimeras till 200bar [13]. Komprimeringen innebär en initial energiinvestering på $0,42\text{kWh/kg}$ [17], den komprimerade gasen bevaras trycksatt och kräver sedan ingen ytterligare energi för att bevaras komprimerad.

Vätgasen är ett bränsle som kräver speciella tekniker för att lagras korrekt. Precis som biogasen lagras vätgasen i ett komprimerat stadie. Komprimering av vätgas sker under ett högre tryck, 700bar och bevaras precis som biogasen i cylindriska bränsletankar[3].

Sista bränslet som används i systemets generatorer är diesel. Bränslet kräver ingen speciell lagringsteknik utan lagras i konventionell bränsletank med korrekt storlek efter modellen.

2.4 Solceller

Implementeringen av solceller i krisberedskapssystemet fyller två huvudsakliga funktioner. Vid längre avbrott använda energin från solcellerna till laddning av fordon eller det stationära batterilagret för att dryga ut bränsleförbrukningen för generatoren. Sekundärt producerar solcellerna elektricitet till lokala verksamheter utanför krissituation. Solcellspanelens uppbyggnad följer kommande struktur.

Effektgenereringen från solcellsmodulen beräknas enligt följande formel.

$$P_{modul} = I_{r_{global}} \cdot n_{modul} \cdot A_{modul} \quad (7)$$

Där $I_{r_{global}}$ är den globalstrålning (direktstrålning + diffusstrålning) som träffar panelen i W/m^2 . Solcellsmodulens verkningsgrad definieras som n_{modul} och A_{modul} definierar den fysiska arean en modul har. Vid kombination av flera moduler till större system beräknas effekten enligt följande formel.

$$P_{sys} = P_{modul} \cdot N \quad (8)$$

Där N är antalet moduler som installeras på taket baserat på ledig yta och antagande att systemet kopplar 20 paneler i serie [23] P_{modul} är den elektriska effekten från en modul. P_{sys} alla panelers totala elektriska effekt.

$$N = 20 \cdot R \quad (9)$$

R representerar antalet rader med strängar placerade på ytan. Antalet rader beräknas genom ekvation 10.

$$R = \frac{S}{(20 \cdot A_{modul})} \quad (10)$$

Här är S den yta som solcellssystemet täcker. Antalet installerade moduler beräknas således genom att låta ytan för systemet S och ytan över panelerna vara lika stora.

2.5 Vindkraftsverk

Vindkraftverket i modellen agerar som ett specialfall då den inte kan anses vara lika applicerbar på de olika parkeringarna som granskas i studien. Kraftverket implementeras således på de parkeringarna där det storleksmässigt är möjligt och där godtagbara vindförhållanden existerar. Vindkraftverket i modellen är en Darreus H-rotor även benämnt som en VAWT (vertical axis wind turbine) se figur 5 för illustration. Det vertikala vindkraftverket har en del fördelar mot konventionella horisontalaxlade vindkraftverk HAWT (horizontal axis wind turbine). Installations och underhållskostnaderna är lägre då generatoren är lokaliserad på marken. VAWT har färre rörliga delar och ett lågt masscentrum vilket gör systemet mer robust [26].



Figur 5: Exempel på en VAWT[19] föreställande en H-rotor.

Effektgenerering från vindkraftverket beräknas med följande formler.

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A U_\infty^3 \quad (11)$$

Där C_p är turbinens effektkoefficient, ρ är luftens densitet, A är arean turbinen täcker när den snurrar och U_∞ är vindhastigheten långt bort från turbinen. Effektkoefficienten för

systemets VAWT beräknas genom att bryta ut C_p från ekvation 11. C_p beräknas med hjälp av de fysikaliska specifikationerna på turbinen för given vindhastighet.

$$C_{p, rated} = \frac{2P_{rated}}{\rho AU_{rated}^3}$$

Där U_{rated} är gränsvärdet för vindhastighet då turbinen uppnår sin märkeffekt. För högre vindhastigheter producerar vindturbinen med samma märkeffekt P_{rated} , istället sjunker effekt koefficienten för att matcha effektuttaget från turbinen. C_p beror av vindhastigheten, lägre vindhastigheter ger en högre effektkoefficient och högre vindhastigheter ger lägre effektkoefficient. Det som faktiskt händer vid högre vindhastigheter är att bladen tappar lyftkraften vid för höga attackvinklar och avlösning sker (stall på engelska) vilket i sin tur innebär att turbinen inte tar upp någon energi från vinden [19]. Således bromsar avlösningen turbinen från att snurra för snabbt och överbelastas. Kontrollsystemet är således passivt och kallas stall control på engelska.

2.6 Ekonomi

Beredskapssystemets ekonomiska aspekter som presenteras i rapporten är dess investeringskostnader som analyseras från diverse referenser. Vidare kan investeringskostnaden för en stationär förbränningsmotor (CHP) beräknas med ekvation 12 från [16] som gjort en ekonomisk analys av CHP generatorer.

$$I = 4639 * P_{el}^{(-0,3333)} \quad (12)$$

Där I är generatorns investeringskostnad i € och P_{el} är generatorns installerade effekt.

Nettonuvärde (NPV) används också i den ekonomiska analysen för att presentera lönsamheten i ett system över en avsatt tidsperiod. Utnyttjandegraden är svår att sätta ett nummer på. NPV kommer därför beräknas trivialt med den I som de intermittenta energikällorna kan tillföra. Vidare presenteras formeln för NPV.

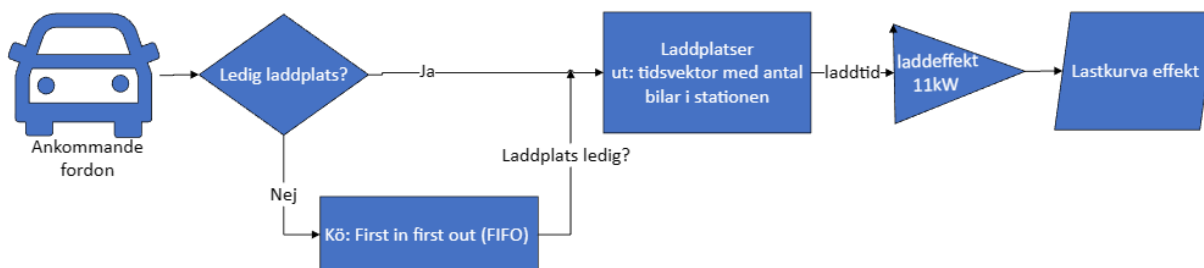
$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{I}{(1+r)^i} - Inv \quad (13)$$

Där n är antalet tidsperioder (år i detta fall), I är systemets årliga inkomst, r är räntan och Inv är systemets investeringskostnaden. När beräkningen får ett positivt NPV har systemet tjänat pengar och hela investeringen går plus. Vid negativt NPV visas den summa som kvarstår innan systemet går jämt upp.

3 Metod

3.1 Generering av lastkurva

En stor del av arbetets metod dedikerades till simulering av krisberedskapssystemet. Matlabs program Simulink har använts som simuleringsverktyg i projektet. I metoden applicerades de material som presenterades i kapitel 2 på den konstruerade simuleringsmodellen. Modellen var uppdelad i två huvudkategorier, parkeringsladdplatser och krisberedskapssystem. Parkeringsladdplatserna simulerades med händelsestyrd simulering med hjälp av paketet SimEvent. [20]. Syftet med den händelsestyrda simuleringen var att extrahera den lastkurva som laddningen av fordonsflottan genererade. Figur 6 presenterade en schematisk bild över den struktur av händelser som utspelades när fordonen ankom till parkeringen.



Figur 6: Flöde för ankommande fordon till parkeringsplatsen.

Från figur 6 syntes de processer som bilarna passerade igenom vid ankomst till parkeringsplatserna. Bilarna ställdes direkt i ett kösystem av typen först in först ut (FIFO), vid de tillfällen då kön var tom körde fordonen vidare och ställer sig vid en laddpunkt. Modellen kontrollerade bilbatteriernas SOC (State Of Charge) baserat på den sträcka bilen körde, den genomsnittliga energiförbrukningen och bilbatteriets maximala kapacitet enligt ekvation 14.

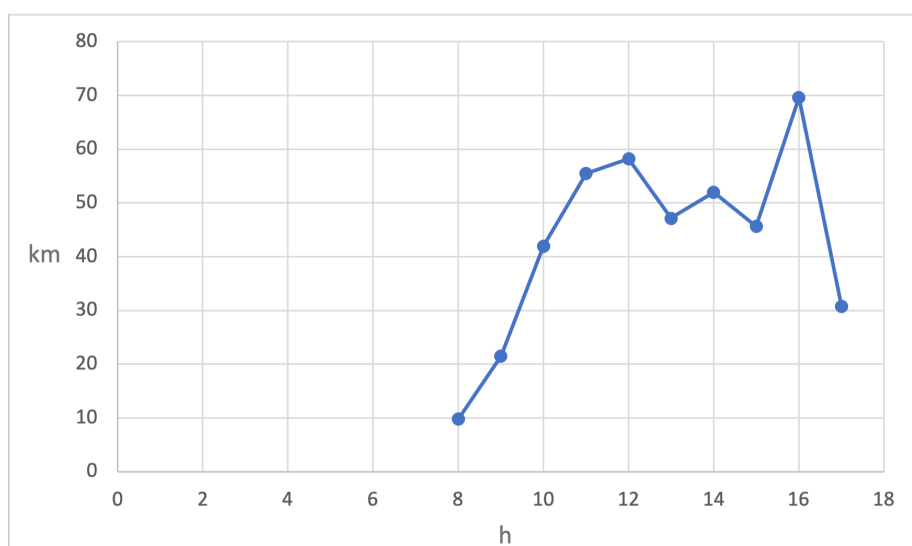
$$SOC = \frac{E_{max} - distance \cdot consumption}{E_{max}} \quad (14)$$

När laddpunkten erhållit information om fordonets SOC beräknades laddtiden för bilen baserat på laddeffekt som var $11kW$. Ekvationen presenteras nedan.

$$dt = \frac{E_{max}(1 - SOC)}{P_{chargepoint}} \quad (15)$$

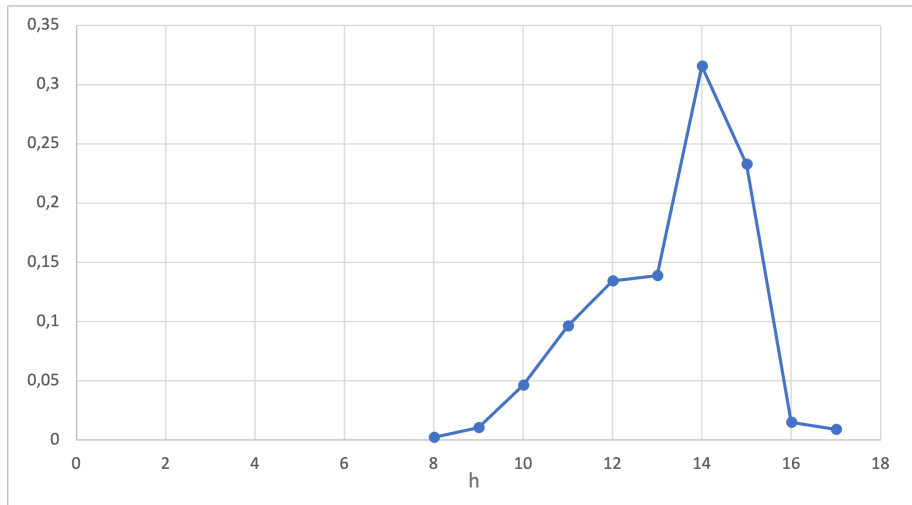
Laddtiden multiplicerades med laddeffekten $P_{chargepiont}$ för konvertering av kurvan med laddtider till parkeringens effektbehov. Effektbehovet som konstruerats i 6 skickades som signaler på den effekt beredskapssystemet behövde producera per timme i i figur 9. Resultatet från simuleringen visade en tidsvektor med det effektbehov som behövdes för varje simulerat tidssteg. I studiens fall innebar ett tidssteg 1h, den totala simuleringstiden för modellen var i majoriteten av fallen 168h vilket var det samma som en vecka.

Bilarnas ankomst till parkeringen baserades på kördata från hemtjänsten hos en kommun något större än Karlskoga. Medelvärdet av bilarnas dagliga körsträcka över en månad extraherades med hjälp av pivottabeller från Excel. Figur 7 presenterade den genomsnittliga dagliga körsträckan en bil kör som funktion av den timme bilen avslutade ett pass. Information om kväll- och nattpass saknades, således var dessa timmarna tomma från ankomster i figurerna 7 och 8.



Figur 7: Medel körsträckan för inkommande bil till parkeringen över dygnets timmar.

Sannolikheten för ankomsttiden summerade antalet inkommande bilar från kördatan och dividerade med elementen i tidsvektorn. Vektorerna viktades utefter antalet verkliga bilars ankomsttid på dygnet. Sannolikhets fördelningen för ankomsttiderna framställdes i figur 8.



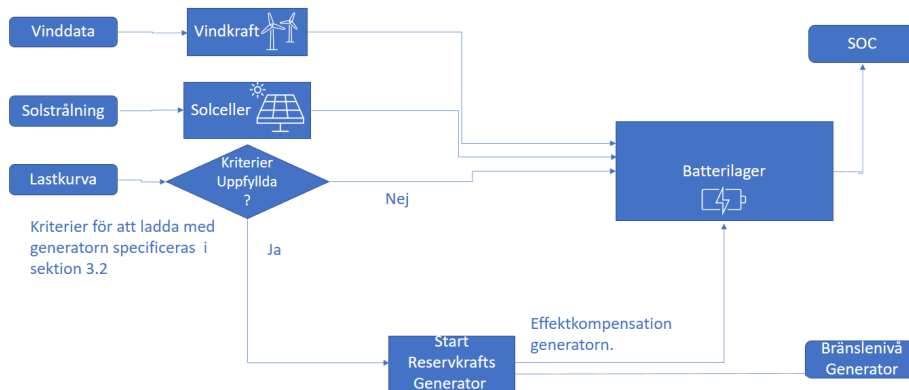
Figur 8: Sannolikhetsfördelningen att en bil ankommer till parkeringen över dygnets timmar.

Med hjälp av figur 8 kunde ankomsterna av fordonen bestämmas som inparameter i modellen. Distansfördelningen i figur 7 hade mestadels korta distanser och saknade information för en del av dygnets timmar. Körsträcka uppskattades därför från intervju med Clas Rydén ¹, fordonssamordare på Karlskoga kommun. Den årliga körsträckan för ett fordon var 40 000 km, vilket innebär ett dagligt genomsnitt på 110 km. För att behålla viss oförutsägbarhet i systemet adderades en slumpfaktor med uniform fördelning som varierade mellan $0,8 \leq k \leq 1,2$ vilket gav följande ekvation. Syftet med den uniforms fördelningen var att efterlikna en oförutsägbarhet vilket kan påträffas i verkligheten då bilarna inte kör exakt samma sträcka var gång.

$$d = 110 \text{ km} \cdot (\pm 20\%) \quad (16)$$

Där d var den dagliga distansen bilarna körde. Figur 9 visade en generell överblicksbilden på krisberedskapssystemet.

¹Clas Rydén, fordonssamordare på Karlskoga kommun



Figur 9: Flödeschema över systemets krisberedskap.

Vidare konstruerades blocken i figur 9. Översiktligt syntes de intermittenta energikällorna producera energi från väderdata på vindhastighet och solstrålningen. Energin summerades och används för att ladda batterilagret eller för att reducera lastkurvan, beroende på om det finns någon last att täcka eller ej. Likt vind- och solkraften användes generatören också för att ladda batterilagret eller eliminera lastkurvan. Generatören användes då lasten var för stor för batterilagrets effektleverans eller då batterilagrets SOC var för lågt. Kriterier för generatörens användning specificeras i kapitel 3.2. Utgående parametrar från modellen blev batterilagrets SOC och den bränslemängd som generatören förbrukade under simulerings-tiden. Dessa resultat användes för att bestämma dimensionerna på beredskapssystemets komponenter.

3.2 Batterilager

Batterilagret utvecklades baserat på en tidigare modell publicerad på Mathworks forum men med kraftiga modifikationer för att passa studiens modell [39]. Lastkurvan som genererades på parkeringsplatserna används som inparameter tillsammans med den genererad effekt från vindkraftverket och solcellsmodulerna. Effektkurvan från de intermittenta energikällorna adderades till lastkurvan som var negativt definierad. Den nya kurvan blev således positiv när det fanns överskottseffekt som kunde ladda batterilagret. Kurvan var negativ när det krävdes effekt från batterilagret för att täcka lasten. Upp och urladdningskontrollen sköttes med en boolean som släppte igenom signaler för upp eller urladdning beroende på positivt och negativt värde på lastkurvan. Beskrivningen presenterades i ekvationen 17.

$$P_{supply} = P_{load} + P_{intermittent} \quad (17)$$

Där lasten P_{load} alltid var negativt definierad och $P_{intermittent}$ var effekten genererad från de intermittenta energikällorna som alltid var positivt definierade. När P_{supply} var positivt lad-

dades systemet med effekten från P_{supply} . När P_{supply} var negativt beräknade systemet hur mycket av lasten som var kvar att täcka från batterilagret och de styrbara elproducenterna.

För att motverka att batterilagrets SOC här kallat SOC_{BESS} från att sjunka under 20 % modellerades några kriterier för att hjälpa lagringssystemet. Generatoren gick in och stödladdar batteriet om $SOC_{BESS} \leq 50\%$ upp till $SOC_{BESS} = 80\%$. När effektbehovet överskred batterilagrets märkeffekt som dimensionerades till 100 kW aktiverades generatoren och laddade med full effekt, således leverera generatoren hela effektbehovet. Batterilagrets uppgift var modellerad för att täcka de små effekttopparna där det var för kostsamt att starta generatoren. Batteriets driftområde modellerades för att verka inom $20\% \leq SOC_{BESS} \leq 80\%$ för att minimera slitaget på batteriet [11].

3.3 Styrbara elproducenter

Modelleringen av de styrbara elproducenterna (generatorer och bränslecell) var densamma, därför syftar hädanefter komponenten generator till alla tre alternativ till styrbar elproduktion. Vid modelleringen av generatoren baserades stora delar av modellen på det material som presenterats i kapitel 2. Krisberedskapssystemet syfte var att kompensera för den last som genererats från laddning av elfordonen. Generatorerna modellerades i systemet utefter den maximala effekten som krävdes för att möta det effektbehov som lasten ställde på systemet. Således modellerades generatorerna i relation till batteriet. De fall då batteriet inte fullständigt kompenserar för lastkurvan tillfördes även effekt från generatorblocket. Generatoreffekten som används i varje tidssteg konverteras med hjälp av verkningsgraden från ekvation 2 i generatorblocket till den totala mängden energin i bränsle som används i tidssteget. För presentationen i resultatet konverterades energimängden från det specificerade bränslet till massa bränsle genom ekvation 3. Således fungerar generatormodellen allmänt för de tre bränslen som krisberedskapen använder. Eftersom förbrukningen beräknade i energi kunde den enkelt konverteras till bränslevolym eller massa med hjälp av specifika faktorer för diesel, biogas eller vätgas.

Generatoren krävden del fysikaliska begränsningar för att modellen skulle vara representativ. En av dessa begränsningar var bränsletanken som försåg generator med energi. Syftet med arbetet är att dimensionera krisberedskapssystemet därför även den mängd bränsle som konsumeras över simuleringstiden. Ekvation 18 presenterar den implementerade bränsletankssystemet i modellen.

$$E_{fuelstorage} - E_{consumption} \cdot t_{sim} = 0 \quad (18)$$

Tiden t_{sim} representerade simuleringstid som passerade när bränsletanken fick slut på bränsle. Storleken på bränsletanken för de tre scenarierna iterrerades fram genom flertalet simuleringar. Det var således inte relevant att stanna simuleringen när bränsletanken tog slut utan generatoren fortsatte att arbeta och bränslenivån i tanken sjönk ner på negativa värden. En indikation tillhandahölls på hur mycket bränsle som saknades för modellen

att klara simuleringstiden.

Under modelleringen av generatorm implementerades också ett system för lastreglering av generatorm. Generators minsta effekt begränsades till 25% av den elektriska effekten generatorm dimensionerades för [34]. Simulering runt detta krav utfördes med hjälp av en regleringsfunktion där körschemat för generatorm förändrades beroende på lastkurvan. Det tillfälle då lastkruvas effekt översteg batteriets märkeffekt, $P_{rated,BESS}$, startades generatorm och kördes på full effekt för att maximera verkningsgraden, se ekvation 2. Batteriet stöttade generatorm genom att täcka resterande delen av lasten.

De styrbara elproducenternas verkningsgrader specificerades i tabell 1 och beräknades enligt kapitel 2.2.

Tabell 1: Verkningsgrad för olika generatorer

Generator	Verkningsgrad
n_{biogas}	$((0,02667 \cdot P_{use,el}) + 29,667)/100$
n_{diesel}	$((0,04667 \cdot P_{use,el}) + 29,667)/100$
$n_{branslecell}$	0,5

3.4 Solceller

Solcellsmodulerna implementerades i modellen genom multiplikation mellan den globala solstrålningen och verkningsgraden för solcellsmodulen. Verkningsgraderna uppskattades till 20% för polykristallina moduler [35], takyta för modellen specificerades i tabell 2 nedan. Solcellsmodulen hade en maxeffekt på 200W med en area på $1,6m \cdot 1,0m$ [32] vilket modellerades med en begränsande if-sats i de fallen då strålningen överstiger märkeffekten för modulen.

Väderdata hämtades från SMHI:s egen databas. Temperaturvärden till solcellssystemet hämtades från [29] där temperaturen presenterades med temperaturen i C° per timme. På samma vis hämtades den globalstrålningen för systemet med enheten W/m^2 [28] på timbasis. Reservkraftssystemet dimensionerades för tre storlekar på parkeringar, därför varierade även tillgänglig takyta att sätta solceller på. *Svetsarevägen* hade ett lutande tak vilket ger en utnyttjadsgrad på 97,4% och *Dunungevägen* som hade ett platt tak hade en utnyttjadsgrad på 74% [21]. För de tre parkeringarna på Svetsarevägen, Dunungevägen och Värmlandsvägen presenterades solcellsarean för parkeringsplatserna i tabell 2 nedan.

Tabell 2: Utnyttjad area till solcellsmoduler.

Parkering	Area [m^2]
Svetsarevägen	224
Dunungevägen	160
Värmlandsvägen	0

Den genererade effekten från solcellerna beräknades enligt ekvation 8. Vidare skickades den beräknade effekten som inparameter till BESS och behandlades enligt kapitel 3.2.

3.5 Vindkraft

Vindkraftsblocket i simuleringsmodellen hade följande struktur. Ekvation 11 beräknade effektproduktionen för installerad VAWT, med vindhastigheten långt bort från turbinen U_∞ , hämtad från SMHIs väderdatabas [30]. Vindkraftsdesignen som presenterats i avsnitt 2.5 är en VAWT. För referens till vindkraftsmarknaden modellerades vindkraftverket baserat på företagets AEROLs 5kW H-rotor. Turbinen modellerades efter specifikationer i tabell 3 [42].

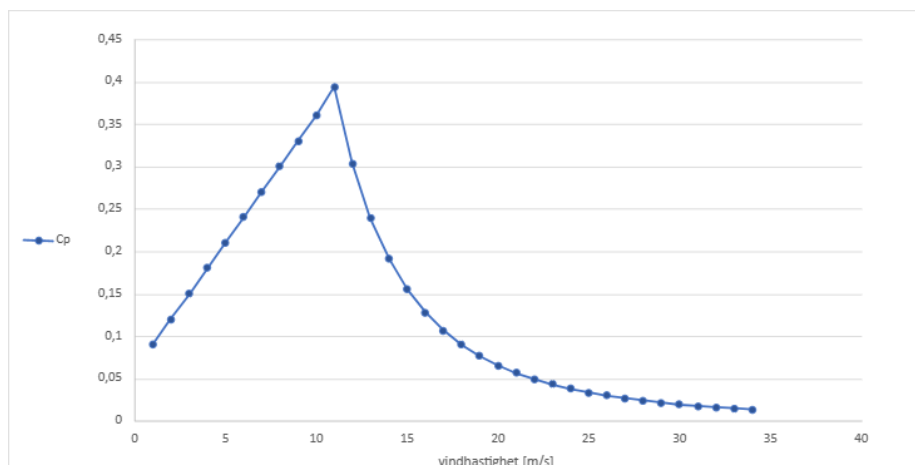
Tabell 3: Dimensioner på modellerat vindkraftverk.

Specifikationer	Värde	Enhet
Märkeffekt [P_{rated}]	5	kW
Diameter [d]	4.5	m
Svepyta [A]	15.9	m^2
cut-in vindhastighet [U_{in}]	1,5	m/s
optimal vindhastighet [U_{rated}]	11	m/s
cut-out vindhastighet [U_{out}]	52,5	m/s

Optimala effektkoefficienten (C_p) beräknades med hjälp av dimensionerna på turbinen från tabell 3, ekvation 11 och en luftdensitet $\rho_{air} = 1,2kg/m^3$.

$$C_p = \frac{2P_{rated}}{\rho_{luft} \cdot A \cdot U_{rated}^3} \quad (19)$$

Ekvationen ovan gav ett maximalt $C_p = 0.39$. Effektkoefficienten varierade beroende på vindhastigheten, för att efterlikna ett fysiskt vindkraftverk där effektkoefficienten stiger med ökad vindhastighet fram till U_{rated} [2]. Genom linjär interpolation kunde en förenklad C_p variant konstrueras. Andra halvan av figur 10 hämtades från ekvation (2.5) när effekten är konstant. Figur 10 presenterar C_p över vindhastigheten som vindkraftsmodellen simulerats efter.



Figur 10: Utveckling av C_p som funktion av vindhastigheten

Vindkraftverket som modellerats var litet i relation till industriella VAWT som kan ha turbiner med storleksordningen i MW.

3.6 Ekonomi

Avsnittet behandlade de prisuppskattningar på beredskapssystemets komponenter. Tillammans med avsnitt (2.6) användes detta i resultatet för att producera kostnadskalkylerna för krisberedskapssystemet.

Prisnivån på stationära batterier varierade beroende på källans ursprung, således analyserades flertalet källor för att gradera uppskattningen. Power circle visade att kostnaden för ett batterilager var mellan 2 000–6 000 *SEK/kWh* [5]. Andra källor pekade på att kostnaden för ett batterilager lade på på 7 200 *SEK/kWh* för litumbatterier medan blybatterier som var billigare på 2 500 *SEK/kWh* och Nickelmetallhydridbatterier något dyrare på 11 000 *SEK/kWh* [9]. Energirådgivarna syd validerade kostnaderna specificerade ovan då investeringskostnaden här var 6 000 – 10 000 *SEK/kWh* [38]. Batterikostnaden i detta arbete uppskattades till 6 000 *SEK/kWh*.

Vidare specificerades investeringskostnaden för diesel och biogas generatorerna i modellen från Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung [15].

Analys av kostnadskalkyl i rapporten Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung [15] för investeringskostnaden för en 200 *kW* biogasgenerator var € 800/*kW* för respektive € 600/*kW* för dieselgeneratoren. Validering av siffrorna gjordes genom Lantz artikel som tittade på ekonomiska förutsättningar för ett CHP kraftverk likt generatoren i denna rapport [16] och ekvation 12.

Ekvation 12 gav biogasgeneratoren en kostnad på € 793/*kW*. Där Lantz menade att kostnaden för dieselgeneratorer var 20 % billigare jämfört med gas-Ottomotorer. En annan källa

menade att en dieselgeneratoren på 1,8 kW hade en investeringskostnad på \$550 [18]. Detta ger \$306 /kWh vilket är betydligt mycket lägre jämfört med referenserna ovan. Variation på avgränsningar för kostnadskalkylen och syfte med generatoren kan vara anledning till stor variation varierande investeringskostnader mellan källorna. Kostnaden för bränslecellen var högre jämfört med resterande resterande systemet. Kostnaden för en bränslecell med en elektrisk effekt på 2 kW hade en investeringskostnad på \$6 000 vilket gav \$3 000/kWh enligt [18]. Andra källor visar liknande kostnadskalkyler för bränslecellssystemet [25]. Vidare sålde butiken Steadypower ett bränslecellsystem med märkeffekt på 80kW för \$311 370 omräknat blev detta \$3 892/kWh = 41 022 SEK/kWh [33].

En vital del sett till generatorerna i systemet var bränslelagret. Investering av en generator krävde även denna komponent. Kostnad för biogaslagret uppskattades från [1] variera mellan \$70 000 – \$130 000. Vidare bekräftade Biodriv Öst att ett CBG lager med kapacitet för 3 ton kostade ungefär 1 100 000 SEK². Detta gav ett kilopris på 367 SEK/kg. Kostnaden för en diseltank uppskattades från Lantbruksbutiken P-Lindberg till 18 000 SEK för en kubik [22], vilket ger ett kilopris på 18 SEK/kg. Kostnaden för Vätgaslagret var \$660/kg från [18].

Specificerade kostnaderna för solceller och vindkraftverket följer. Kostnaden för solcellerna varierade beroende på källa och storlek på modul. Ett pris uppskattades till \$468 med nominell effekt på 260 W [18]. Hemsol visade siffror på 2750 SEK/m² [10]. Svea Solar pekade på att priset kan variera mellan 2700 – 3300 SEK/m² [36]. Arbetet uppskattade panelernas kostnad till 2750 SEK/m².

Kostnadsalternativen för systemets VAWT från [14] analyserar två olika kostnader för storlekar på VAWTs. Artikeln täcker kostnad av verket, konstruktion och installation. Kostnaden för ett verk med nominell effekt 200kW hade en kostnad på \$606/kWh och ett verk med nominell effekt på 2MW kostade \$1069/kWh. Vidare antas kostnaden för vindkraftverket ligga något lägre jämfört med de större verken ovan på \$500/kWh.

Krisberedskapssystemet dimensioneras för att köras under en veckas tid. Systemet kräver således investering i rätt mängd bränsle för att klara av att köra systemet. Kostnaden för fordonsgas var den 22 maj 2023 31,45 SEK/kg [41]. Kostnaden för HVO100 vid samma tid var 27,32 SEK/l [24] med en densitet på 0,78 kg/l gav detta en kostnad på 35 SEK/kg. Bränslekostnaden för vätgas producerade från elektrolys kostade enligt Vätgas Sverige 40 – 60 SEK/kg [37]. Kostnaden innefattade produktionen, vid försäljning antogs bränslet kosta 90 SEK/kg i den ekonomiska analysen för inköp av bränsle.

²Björn Isaksson, BioDriv Öst

3.7 Intervjustudie

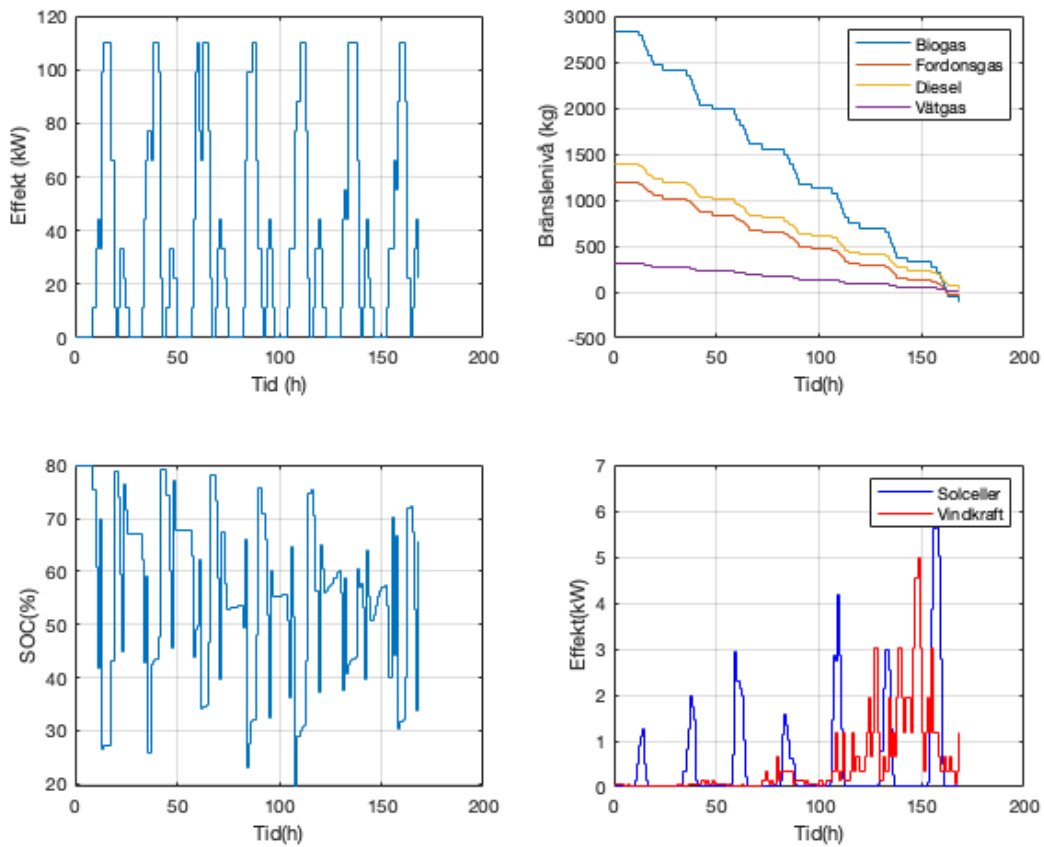
Studien utför intervjuer med kommuner som ingår i BioDriv Östs projekt *Fossilfritt 2030*. Syftet med intervjuerna tillhandahåller en överblicksbild på de åtgärder och planer som finns i medverkande kommuners krisberedskap. Planerna behöver inte specifikt syfta till krisberedskap för elbilsladdning utan det gäller även beredskap kring livsmedel och vårdarticklar. Således kan denna studie lättare relateras till verkliga system och verksamheter, för att ge vägledning i hur nya beredskapssystem som krisberedskap för elbilsladdning kan implementeras.

4 Resultat

Strukturen på resultatframställningen återkopplades till alternativlösningarna i kapitel 1.5. Parkeringarna simulerades i fyra månader januari, april, juli och oktober för att täcka alla årstider och dess varierande förutsättningar. Januari var månaden som resterande årstider mättes mot, eftersom detta var månad som krävde mest utav beredskapssystemet. Utöver simulering för specificerade månader varierades även den tid som beredskapssystemet behöver var självförsörjande. Enligt MSB innebar hemberedskap att privatpersoner skulle vara självförsörjande en vecka utan hjälp från samhället [27]. Således graderades resultatets simuleringstider till 1 dag (24 h) och 1 vecka (168 h). Detta gav rapporten 6 basfall som systemet dimensionerades mot för att uppnå självförsörjning. Resterande månader användes som en överblick för beredskapens potential i mer gynnsamma förhållande vilket presenterades i känslighetsanalysen. Resultaten som eftersöktes i projektet var SOC i batterilagret och bränslenivån i bränslelagret efter passerad simuleringstid. Iterering utfördes för att uppnå optimal storlek på systemets komponenter som presenterades och återkopplas till arbetes frågeställningar 1.3.

4.1 Svetsarevägen

Som beskrivits i alternativlösningar (1.5) var Svetsarevägen den största parkeringegen som analyserats. Komponenter och antalet bilar i beredskapsfallet presenterades i tabellen 4 nedan. Först presenterades resultatet för simulering över 1 vecka för Svetsarevägen i januari.



Figur 11: Simuleringsresultat för Svetsarvägens med 10 laddpunkter och 11 kW effekt över en vecka.

Figur 11 visade resultaten från simulering över en veckas tid med väderdata från januari 2022. I övre vänstra hörnet syntes genererad lastkurva som beredskapssystemet dimensionerades mot. Som visades i tabell (4) genererades kurvan från 30 bilar med en medel körsträcka på 110 km/dag . Vidare i övre högra hörnet presenterades bränslenivån för de tre typerna av bränsle över simuleringstiden på en vecka. Grafens lutning representerade bränsleförbrukningen för generatoren. I lägre vänstra hörnet syntes batterilagrets SOC över simuleringstiden med en lagringskapacitet på 250 kWh . Sista grafen visade produktionen av sol- och vindkraftsel för första veckan i januari 2022.

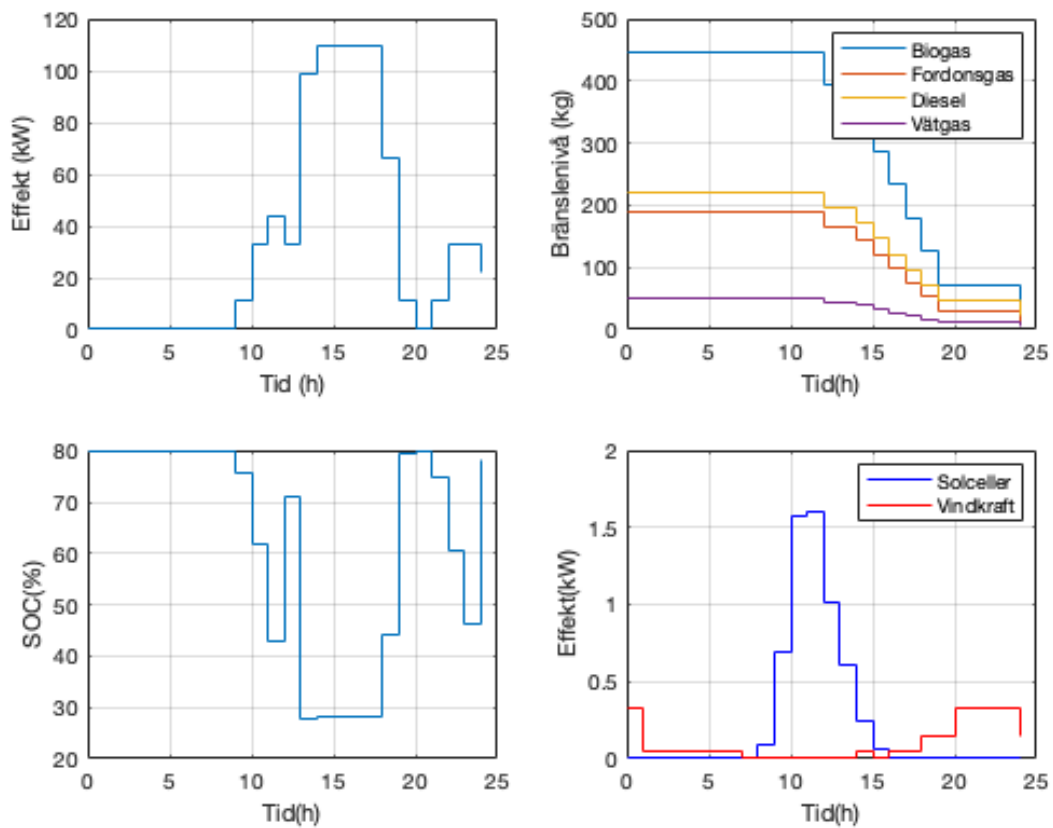
Framställda resultat i figur 11 krävde följande storlek på beredskapssystemet för att förse verksamheten med under kris se tabell 4.

Tabell 4: Simulerings-specifikationer för Svetsarevägen över 1 vecka.

Komponent	specifikation
Solcellsarea	224 m^2
Effekt vindkraftverk	5 kW
Batterilager kapacitet	250 kWh
Elektrisk effekt batterilager	100 kW
Storlek bränslelager, biogas	2995 kg
Storlek bränslelager, fordonsgas	1266 kg
Storlek bränslelager, diesel	1397 kg
Storlek bränslelager, vätgas	312 kg
Elektrisk effekt generator	110 kW
Antal bilar	30
Antal laddplatser	10

Mängden bränsle som krävdes var till viss del beroende av verkningsgraden på generatorerna samt skillnaden på energidensiteterna i bränslena. Biogas hade lägst densitet av de fyra alternativen, därför blev kvantiteten av bränslet större jämfört med de resterande alternativen.

Figur 12 presenterar resultatet för Svetsarevägen simulering över 1 dygn nedan.

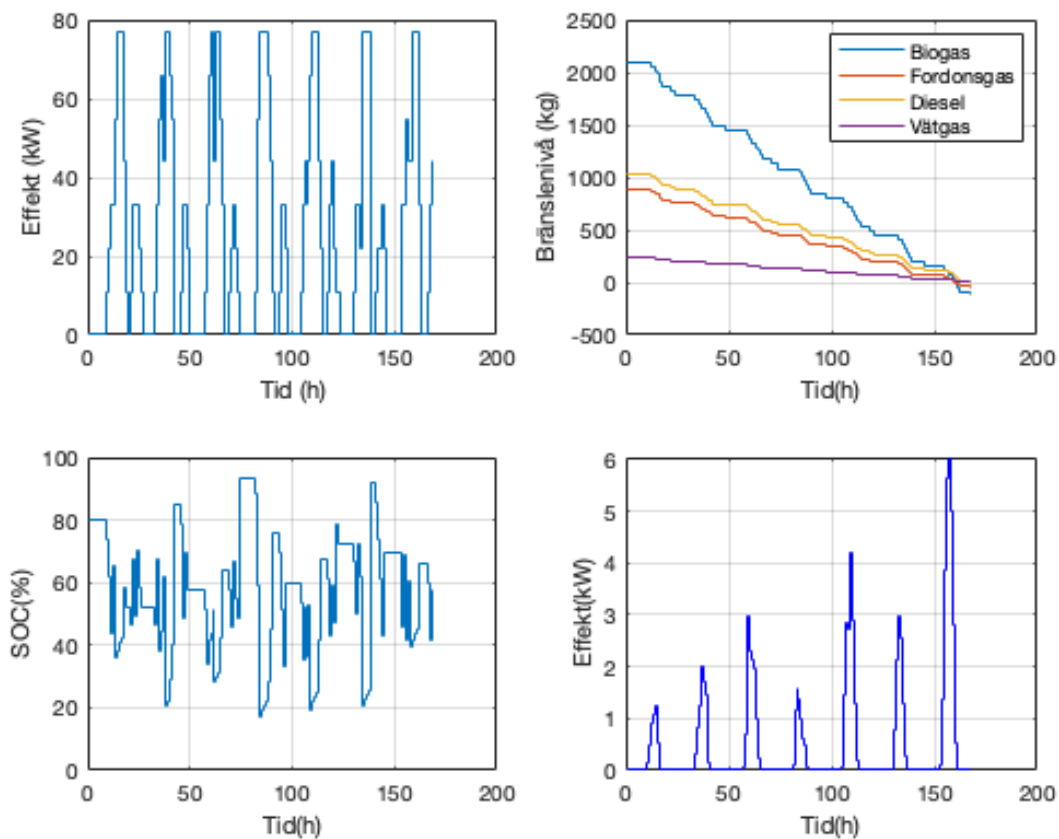


Figur 12: Simuleringsresultat för individuella beredskapskomponenter över 1 dygn.

Dimensioneringen över krisberedskapsystemet liknade fallet över en vecka. Simuleringen över en dag visade systemet i högre upplösning vilket tillät noggrannare analys av modellens beteende. Batterilagret började att täcka de tidiga timmarna i lastkurvan fram till dess att SOC sjönk under 50% vilket syntes i figur 12. Lastkurvan och batteriets SOC syntes som speglingar av varandra fram till dess att batteriet stannade av vid timme 13 och generatorn tog över effektproduktionen.

4.2 Dunungevägen

Dunungevägen som representerade den medelstora parkeringen i arbetet, följde samma motivering för laddning av forodnsflottan som användes i Svetsarvägen fall. Vidare begränsades antalet laddplatser till 7 stycken där vardra laddplats har en effekt på $11kW$. Resultat för Dunungevägen över en vecka presenterades i figur 13.



Figur 13: Simuleringsresultat för Dunungevägens individuella beredskapskomponenter över 1 vecka.

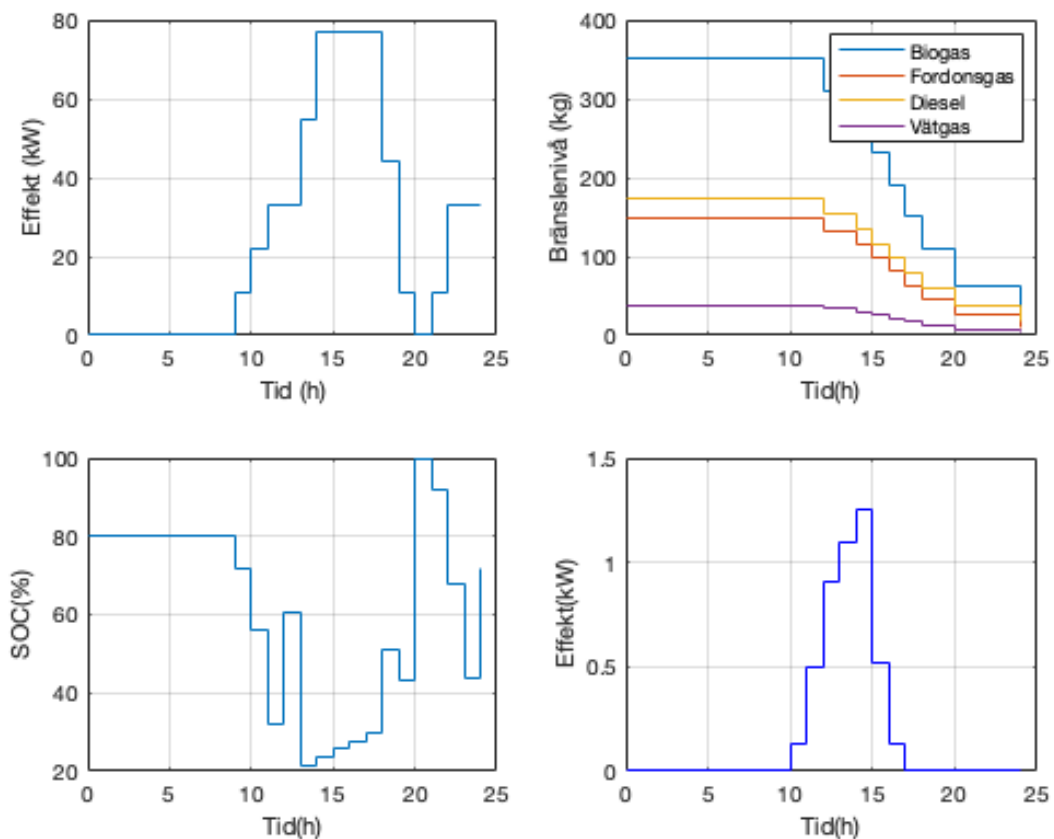
Likt Svetsarevägn följde resultatet samma struktur. Antalet bilar och laddplatser för Dunungevägen var 20 bilar respektive 7 laddplatser. Således kunde generatorns elektriska effekt minska till 80 kW . Dunungevägen var lokaliserad längre in mot stadskärnan jämfört med Svetsarevägen, således valdes vindkraft bort från systemlösningen. En kombination av platsbrist och sämre vindförhållande i tätbebyggt område anpassades beredskapsystem bara för solceller som intermittent energikällor. Batterikapaciteten för beredskapsystemet dimensionerades till 200 kWh . Figur 13 visades att batteriet till stor del arbetade inom optimalt SOC intervall. I figuren längst ner till vänster observerades att batterilaget laddas av solcellerna exempelvis mellan timme 10 och 20, något som inte var lika tydligt i Svetsarevägens figurer. Batterilaget hade också längre perioder svängde inte lika hastigt i SOC som Svetsarevägen. Vidare observerades en relativt flack konsumtionsgraf vilket kunde förklaras av den lägre generatoreffekten.

Dimensionen av beredskapsystemet syns i tabell 5.

Tabell 5: Simulerings-specifikationer för Dunungevägen över 1 vecka.

Komponent	specifikation
Solcellsarea	160 m^2
Batterilager kapacitet	200 kWh
Elektrisk effekt batterilager	100 kW
Storlek bränslelager, biogas	2282 kg
Storlek bränslelager, fordonsgas	965 kg
Storlek bränslelager, diesel	1068 kg
Storlek bränslelager, vätgas	233 kg
Elektrisk effekt generator	80 kW
Antal bilar	20
Antal laddplatser	7

Simuleringsresultatet för Dunungevägen över ett dygn presenterades i figur 14.

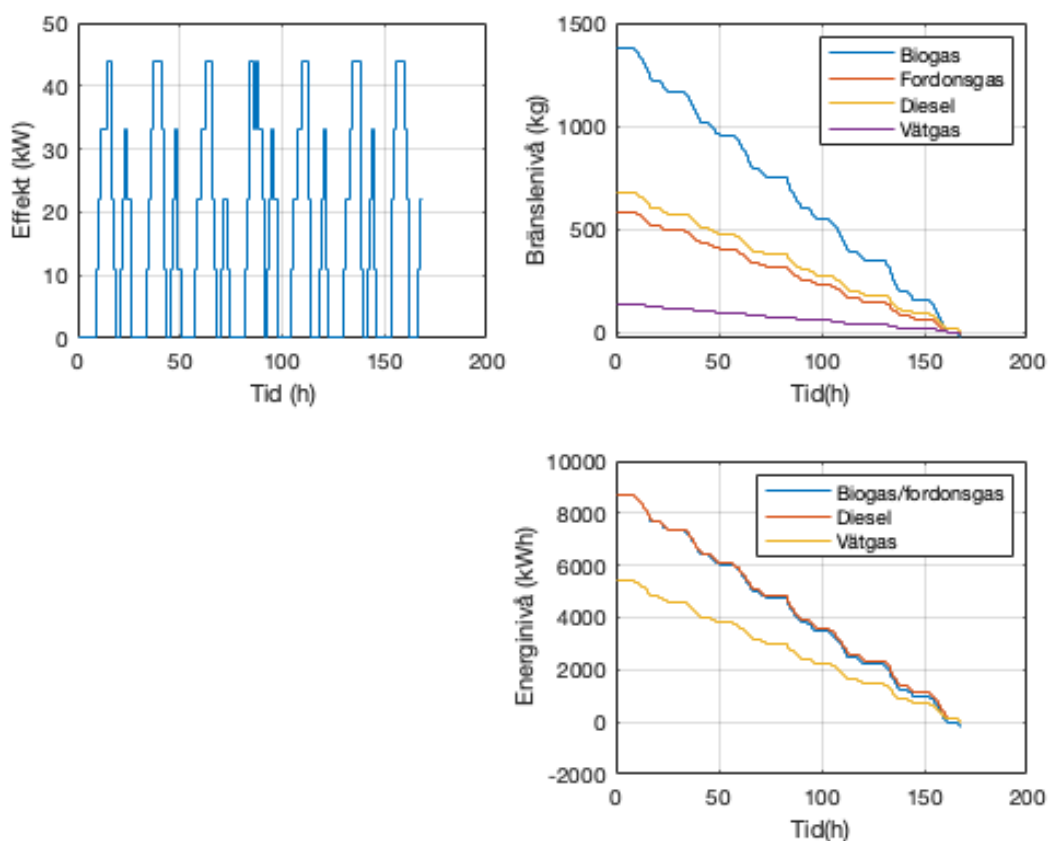


Figur 14: Simuleringsresultat för Dunungevägens beredskapskomponenter över 1 dygn.

Batterilagerts kapacitet minskades till 150 *kWh* över ett dygn. Upp och urladdningen av lagret blev något mer volatil när kapaciteten på batteriet minskades se figur 15. Modellens upplösning var timvis, således hann modellen inte få återkoppling på SOC tillräckligt snabbt och laddade utanför de tidigare begränsningarna på SOC. Detta syntes under timme 20 i grafen längst ned till vänster. Batterilagrets återkoppling på SOC är inte tillräckligt frekvent för att hålla SOC under 80% och batteriet laddade fullt.

4.3 Värmlandsvägen

Karlskogas parkeringsplats intill polishuset var den minsta i storleksordningen i studien. Beredskapsystemet bestod därför bara av en generator. Systemets simulering över en vecka presenterades i figur 15.



Figur 15: Simuleringsresultat för Värmlandsvägens beredskap över 1 vecka.

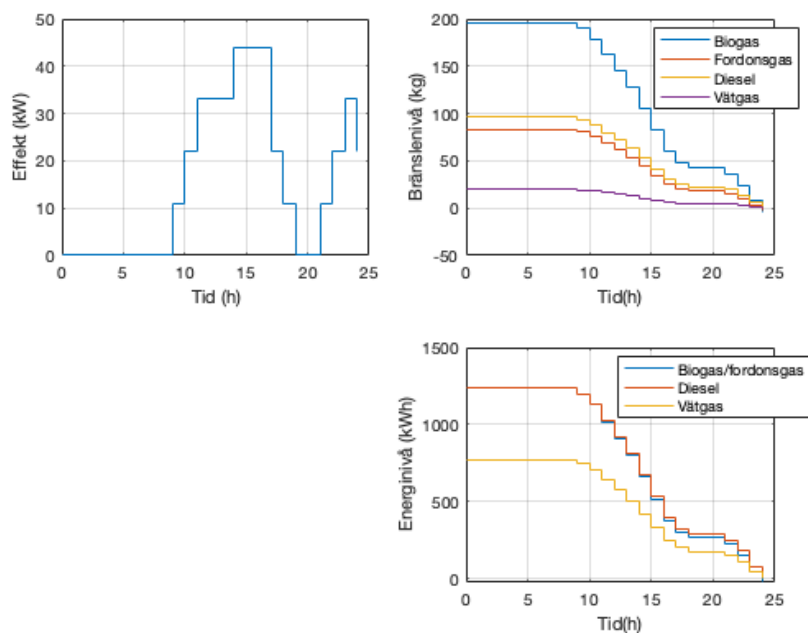
Som visas i figur 15 skiljde sig presentationen från parkringarna ovan. Längst upp till vänster visades lastkurvan och hur generatören arbetar, eftersom det inte fanns några

andra komponenter var generatoren identisk till lastkurvan. Längst upp till höger syntes bränslenivån för systemet i *kg*. Grafen längst ned till höger visade också bränslenivån i systemet i *kWh*. Vidare presenterades specifikationerna för parkeringens beredskapssystem. Från grafen längst upp till höger var konsumtionen av fordonsgas och diesel nästan identisk. Men från grafen längst ned till höger kunde det utläsas att konsumtionen av gas gick fortare mot noll vilket bekräftade att gas-Ottomotorn har sämre verkningsgrad vilket stämde överens med specifikationerna på verkningsgrad i metoden. Dimensionen av beredskapssystemet syns i tabell 6.

Tabell 6: Simuleringspecifikationer för Värmlandsvägen över 1 vecka.

Komponent	specifikation
Storlek bränslelager, biogas	1404 <i>kg</i>
Storlek bränslelager, fordonsgas	549 <i>kg</i>
Storlek bränslelager, diesel	677 <i>kg</i>
Storlek bränslelager, vätgas	137 <i>kg</i>
Elektrisk effekt generator	45 <i>kW</i>
Antal bilar	10
Antal laddplatser	4

Dimensioneringen av systemet förblev oförändrad oberoende av den tidsupplösningen som simulerades. Elektriska effekten på generatoren dimensionerades för hantering av maxlast från laddningen. Resultatet för upplösningen över ett dygn presenterades i figur 16.



Figur 16: Simuleringsresultat för Värmlandsvägens beredskap över 1 dygn.

I figur 16 blev det tydligt att detta bara fanns generatoren som komponent. Konsumptionsfigurerna till höger jobbade fortfarande efter timme 20 vilket är en trend som inte syns i de andra två figurerna med batterilager då den komponenten ofta täckte de sista topparna.

4.4 Ekonomi

4.4.1 Svetsarevägen

I följande kapitel presenterades de ekonomiska kalkyler för resultatens system. Kalkylerna visade investeringskostnader för systemen samt nettonuvärde baserade på den el som sålts från produktion av vind- och solex presenterat i figur 7.

Tabell 7: Investeringskostnad för Svetsarevägens beredskapssystem

Komponenter	Investeringskostnad fordonsgas [SEK]	Investeringskostnad HVO100 [SEK]	Investeringskostnad vätgas [SEK]
Batteri	1 500 000	1 500 000	1 500 000
Generator	1 201 079	960 863	4 512 384
Solceller	616 000	616 000	616 000
Vindkraftverk	26 350	26 350	26 350
Inköpskostnad Bränsle	39 816	48 895	18 720
Bränslelager	464622	25 146	2 170 397
Summa	3 847 867	3 177 254	8 853 212

Med elproduktionen från Solcellerna och vindkraftverket kunde nettonuvärdet (NPV) bestämmas. Värdet på den producerade elen beräknades från 2022 års genomsnittliga spotpris i elhandelsområde SE3 som var $1,379 \text{ SEK/kWh}$ [7]. Med en antagen investeringsränta på 6%

och samma inkomst på producerad el över 10 år kunde NPV för svetsarevägen presenteras i tabell 4.4.1.

Nettonuvärde på Svetsarevägens beredskapssystemet efter 10 år.

Komponenter	System med Biogas [SEK]	System med Dieselgenerator [SEK]	System med bränslecell [SEK]
Nettonuvärde [NPV]	-3 438 832	-2 768 220	-8 444 177

Den årliga intäkten för vindkraftverket var 16 500kr respektive solcellerna som var 46 300kr. Summerat hade beredskapssystemet en årlig inkomst på 67 000SEK om allt skulle säljas mot nätet förutsatt ett genomsnittligt spotpris på 1,379SEK/kWh.

4.4.2 Dunungevägen

I tabell 8 presenterades den ekonomiska investeringskalkylen för krisberedskapssystemet över en vecka.

Tabell 8: Investeringskostnad för dunungevägens beredskapssystem

Komponenter	Investeringskostnad fordonsgas [SEK]	Investeringskostnad HVO100 [SEK]	Investeringskostnad vätgas [SEK]
Batteri	1 200 000	1 200 000	1 200 000
Generator	971 234	776 987	3 281 734
Solceller	440 000	440 000	440 000
Inköpskostnad Bränsle	30349	37380	20070
Bränslelager	354 155	19 224	1 551 277
Summa	2 995 738	2 473 591	6 493 082

NPV för Dunungevägen presenterades i tabell 9 nedan.

Tabell 9: Nettonuvärde på Dunungevägens beredskapssystemet efter 10 år.

Komponenter	System med Biogas [SEK]	System med Dieselgenerator [SEK]	System med bränslecell [SEK]
Nettonuvärde [NPV]	-2 577 803	-2 230 002	-6 249 492

Den årliga intäkten för solcellerna som var 33100kr beräknades på samma vis som i kapitel 4.4.1.

4.4.3 Värmlandsvägen

I tabell 10 presenterades den ekonomiska investeringskalkylen för krisberedskapssystemet över en vecka. Värmlandsvägen hade inget nettonuvärde att presentera eftersom beredskapen inte hade någon årlig inkomst att avräkna. Således kunde systemet själv inte betala tillbaka något på investeringen.

Tabell 10: Investeringskostnad för Värmlandsvägens beredskapssystem

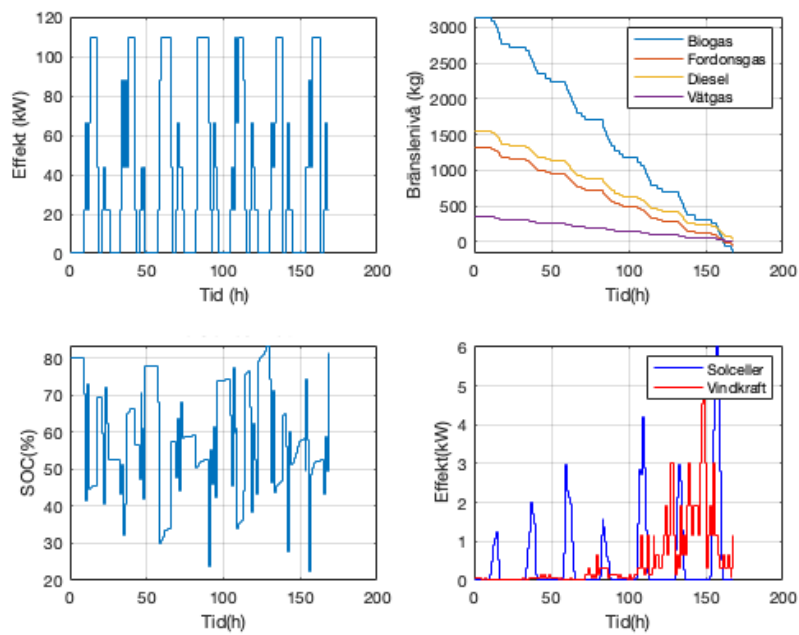
Komponenter	investeringskostnad fordonsgas [SEK]	investeringskostnad HVO100 [SEK]	investeringskostnad vätgas [SEK]
Generator/Bränslecell	661 691	529 353	1 845 976
Inköpskostnad Bränsle	18681	23 695	12 330
Bränslelager	217 998	12 186	953 027
Summa	898 371	565 234	2 811 332

4.5 Känslighetsanalys

Resultatet presenterade studiens basfallen, Känslighetsanalysen avsåg att analysera variationer i de presenterade basfallen. Parametrarna som ansågs ha en extra stor inverkan på systemets resultat var som utforskades i början av resultatet, förändrar antalet laddplatser, som uppskattas påverka mycket när det kommer till krisberedskapen toppeffekt. Detta är således en av de parametrar som kommer att förändras för att se den påverkan på systemet. Förändring av bilarnas antal kan också uppskattas erhålla en påverkan på systemet. Andra parametrar som uppskattas vara känsliga för krisberedskapssystemet var väderförhållandet för simuleringen av krisberedskapen. Modellen hade en del väderberoende energikällor. Uppskattningsvis kunde detta förändra resultatet på hur mycket de styrbara energikällor arbetade under sommarmånaderna. Likt arbetets minsta beredskapssystem som bara hade en generator som energikälla, var det intressant att utforska samma utfall på resterande systemen. Analysen avsåg att köra alla parkernigara med bara generator som, komponent, för att utforska ekonomiska skillnader i systemen, samt att bäst besvara arbetets frågeställningar och om variationerna av parametrarna en viktig del av arbetet?

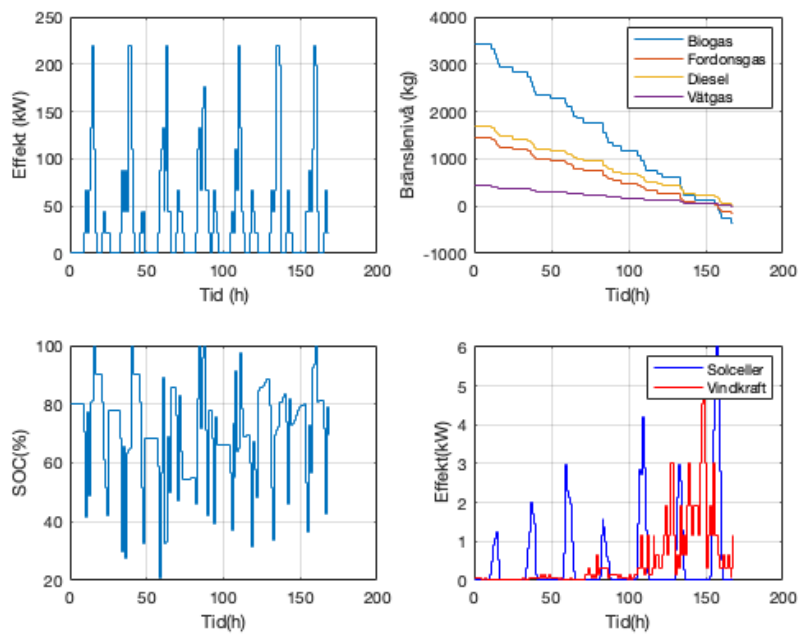
4.5.1 Förändrad laddeffekt

Antalet laddare och dess effekt hade en signifikant inverkan på lastkurvan, i detta avsnitt tilläts laddning med $22kW$ för hälften av total antalet bilar. Detta innebar att vardera laddstolpe hade en maxeffekt på $22kW$ och kunde ladda upp till två bilar. Antingen två bilar på $11kW$ vardera eller en bil på $22kW$. I Känslighetsanalysen presenterades tre fall med olika antal laddplatser. Första fallet var med 10 laddplaster och 5 av dessa med möjligheten att ladda med $22kW$ från figur 17.



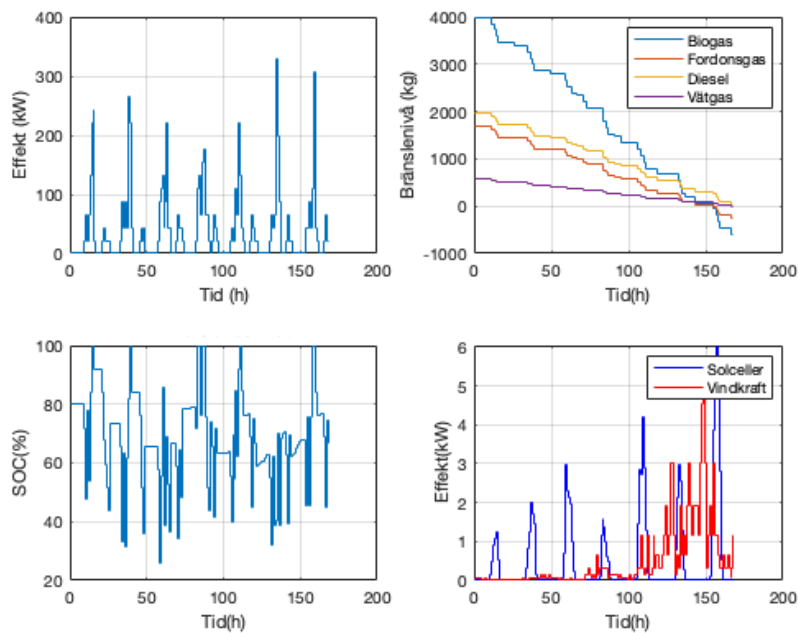
Figur 17: Simuleringsresulta för 10 laddplatser med möjligheten att ladda 5 med 22 kW

Möjligheten att ladda med 22kW syntes till viss del i figur 17. Jämförelsevis mot figur 11 i resultatet hade bränsleförbrukningen stigit någorlunda i detta systemet. Vidare i figur 18 ökades antalet laddplatser till 20 med möjligheten att ladda 10 bilar med 22kW.



Figur 18: Simuleringsresulta för 20 laddplatser med möjligheten att ladda 10 med 22 kW

Topparna på lastkurvan längst upp till vänster blev tunnare jämfört med figur 17. Eftersom systemet kunde ladda fler bilar samtidigt minskade också köbildningen i systemet. Detta syntes på lastkurvan längst upp till vänster som fick smalare toppar vilket innebar att färre bilar är begränsade av systemets maxkapacitet. Den ökade nominella effekten på 220 kW producerade en större del elektrisk energi och således ökade också bränslekonumtionen vilket syntes i figur 18.

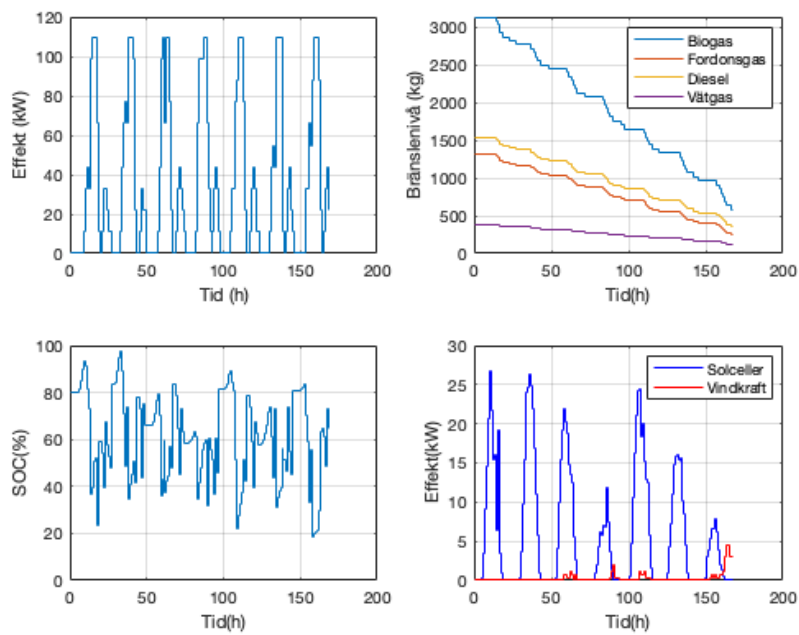


Figur 19: Simuleringsresulta för 30 laddplatser med möjligheten att ladda 15 med 22kW

Sista variationen i figur 19 hade 30 laddplatser och 15 laddplatser med möjlighet till 22kW laddning syntes en tydlig överdimensionering av generatorstorleken. Generatoren dimensionerades för 330 kW , från lastkurvan syntes att det är en gång under veckan som generatoren fick arbeta på maxeffekt. Modellen var uppbyggd av tidsintervall på timbasis, med en högre elektrisk effekt på generatoren tog laddningen större steg för varje tidssteg i simuleringen. Generatoren hann då ladda batteriet över rekommenderad *SOC* gräns eftersom återkopplingen inte begränsade generatoren snabbt nog.

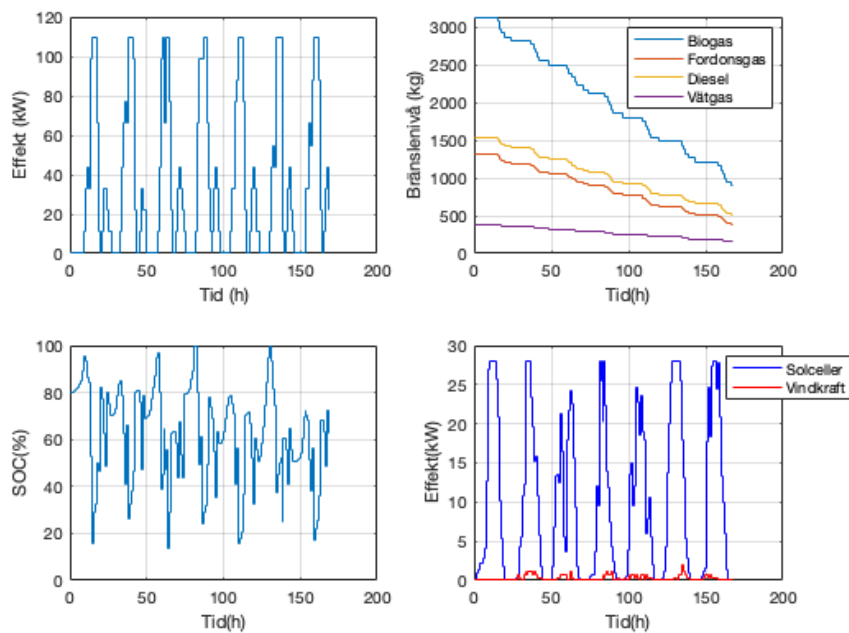
4.5.2 Förändrade väderförhållanden

I avsnittet presenterades Svetsarevägens parkering genom de fyra årstiderna för att se de dynamiska förändringarna som skedde i systemet beroende av vind- och solcellsproduktionen. Figur 20 presenterar systemets resultat från en vecka i april.



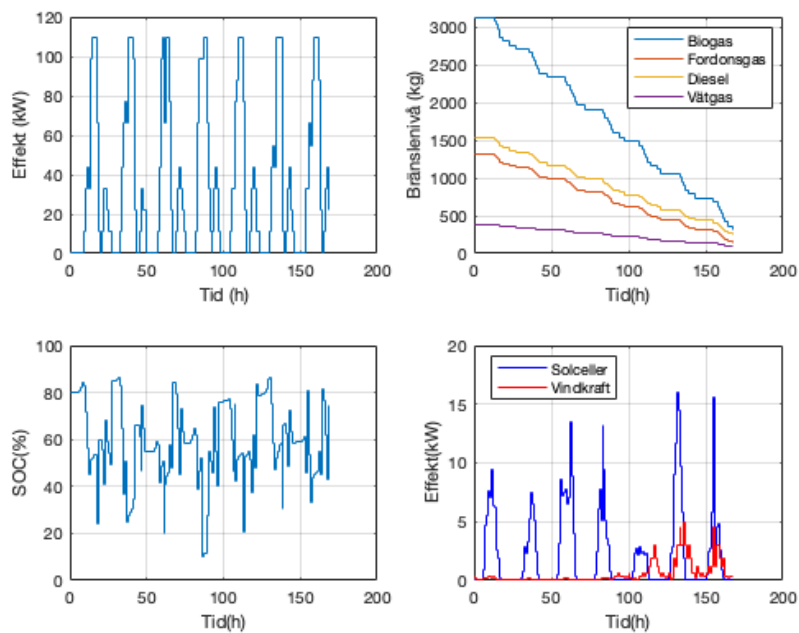
Figur 20: Simuleringsresulta för svetsarvägen april månad.

För veckan i april presenterad i figur 20, syntes direkt att bränsleförbrukningen minskade. Balansen mellan sol och vindelsproduktionen var inte jämt fördelad, det krävdes inte mycket strålning för att solcellerna skulle börja producera en signifikant andel elektrisk energi.



Figur 21: Simuleringsresulta för svetsarvägen juli månad.

För sommarmånaden juli var det tydligt att solcelspruduktionen var som högst. Vid jämförelse mellan april och juli månad observerades att inget riktigt skillnad på maxeffekten från solpanelerna. Dock var det tydlig att produktionen över sommarsimuleringen höll en konsekvent högre produktionsnivå. Detta syntes i sin tur även på generatorns bränsleförbrukning som hade en flackare kurva i figur 21 jämfört med tidigare månader.

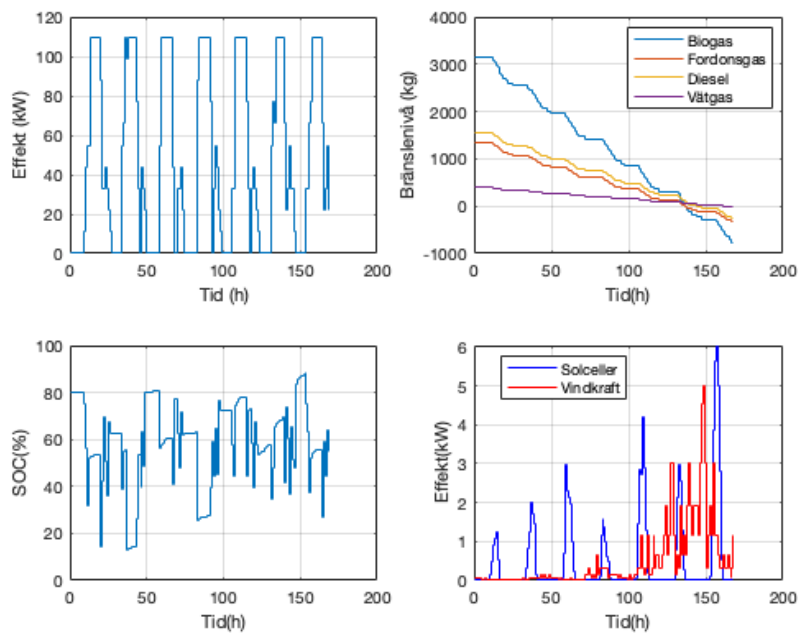


Figur 22: Simuleringsresulta för svetsarvägen Oktober månad.

I figur 22 syntes hur solelproduktionen började avta mot höst och vinterhalvåret. Samtidigt syntes en ökning av vindkraftsprududktionen vilket också var fallet då höst och vintermånaderna var blåsigare än vår och sommarmånaderna [31].

4.5.3 Förändrat antal bilar

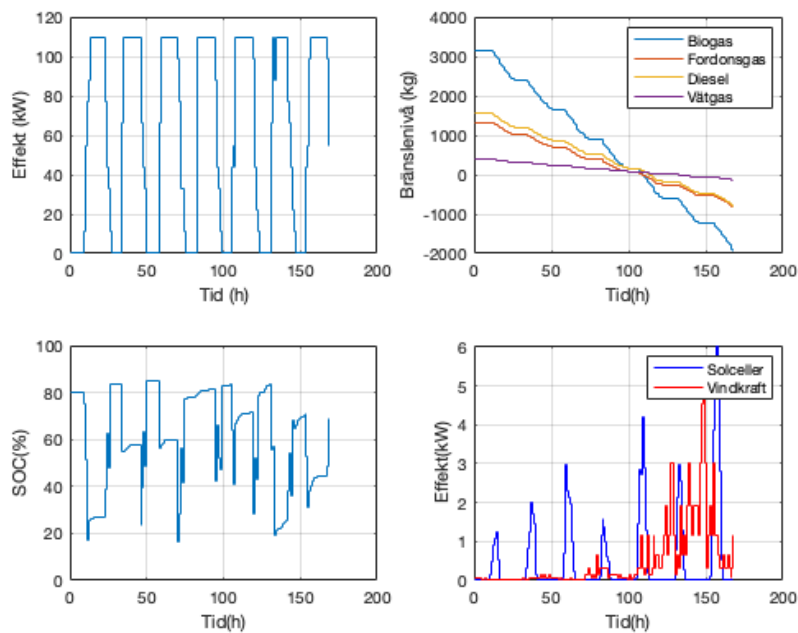
I sektionen följde två utfall då antalet bilar i systemet utökades till 45 respektive 60 stycken stationerade på parkeringen. Syftet med sektionen var att se hur systemet reagerade på en potentiell överbelastning på parkeringarna. I figur 23 presenterades resultatet från simulering med 45 bilar. Studien bortsåg från fysikaliska platsbegränsningar för parkeringen.



Figur 23: Simuleringsresulta för 45 bilar stationerade på parkeringen.

Vid analys av figur 23 syntes hur lastkurvan blev bredare och nästan smälte ihop med de mindre topparna. Det såg även ut som att batterilagrets upp- och urladdningsperioder varade över flera tidssteg. Olikt basfallet då batterilagrets tycktes byta mellan upp- och urladdning på timbasis.

I figur 24 presenterades fallet med med 60 bilar stationerade på parkeringen.



Figur 24: Simuleringsresulta för 60 bilar stationerade på parkeringen.

Trenden i figur 24 liknade den av figur 23. Lastkurvan över dagarna var nästan homogen, detta var fördelaktigt i för generatoren, med en stabil lastkuva kan generatoren arbeta under jämnare last. Hög belastning och jämnare arbetsförhållanden gjorde att generatoren kunde arbeta på en högre verkningsgrad. Vidare kunde problem uppstå i systemet för vissa specialfall. Beroende på verksamhetens krav kunde det höga effektbehovet och den låga laddeffekt skapa problem för fordonen att ladda färdigt i tid. För att lösa detta behövde således systemet skalas upp.

4.5.4 Krisberedskap enbart med generator

Följande analys tittade på bränsleförbrukningen i krisberedskapssystemet då bara generatoren arbetade för Svetsarevägen och Dunungevägen. I tabell 11 presenterades en jämförelse mellan bränsleförbrukningarna för parkeringarnas basfall och fall med bara en generator och bränslelager.

Tabell 11: Skillnader i bränsleförbrukning

Bränsle	Svetsarevägen basfall [kg]	Svetsarevägen endast generator [kg]	Dunungevägen basfall [kg]	Dunungevägen endast generator [kg]
Biogas	2995	3174	2282	2275
Fordonsgas	1255	1342	965	962
HVO	1397	1492	1068	1083
Vätgas	312	322	233	226

Analys av visade att bränsleförbrukningen nästan var den samma i jämförelsen mellan bara generatoren och hela systemet. Detta var fallet för båda parkeringarna i tabellen. Det gick

åt mer bränsle för Svetsarevägen när hela systemet var med jämfört med när bara generatören arbetade. Batterialgret var modellerat med transmissionsförluster således kostade energi vid batteriets upp och urladdning. Tillsammans med det faktum att solcellerna och vindkraftverket producerar en mindre del energi under vintern kunde dessa komponenter ses som överflödiga. Generatören klarade av att täcka lastkruvan bättre själv sett till bränsleförbrukningen.

4.6 Ekonomisk känslighetsanalys

Den ekonomiska aspekten av krisberedskapssystemet var av stor vikt. Vidare presenterades en jämförande analys mellan investeringskostnader för de olika systemen i Känslighetsanalysen och Resultatet.

Tabell 12 presenterade investeringskostnaderna för Svetsarevägen och Dunungevägen då bara generatören användes som aktiv komponent. I kalkylen ingick både bränslelager och den mängd bränsle som förbrukades över en veckas simulering.

Tabell 12: Skillnader i investeringskostnader

Bränsle	Svetsarevägen basfall [SEK]	Svetsarevägen endast generator [SEK]	Dunungevägen basfall [SEK]	Dunungevägen endast generator [SEK]
Biogas	3 847 867	1 705 517	2 995 738	1 355 738
Diesel	3 177 254	1 034 904	2 473 591	833 591
Vätgas	8 853 212	6 710 862	6 493 082	4 853 082

4.7 Intervjustudie

Utöver examensarbetets modellering av krisberedskapssystem har även en intervjustudie utförts. Intervjustudiens syfte var att analysera och kartlägga kommuner processer för krisberedskap, hur deras planer ser ut i dagsläget och vad som är planerat framöver. Studien används som ett komplement mot arbetets studie för att förankra arbetet till de faktiska beredskapsprocesser kommunerna har i dagsläget. Samtidigt tillhandahålls medverkande kommuner med exemplifierade underlag för hur ett beredskapssystem kan dimensioneras, vilket innefattar komponentstorlekar och investeringskostnader. Intervjustudien kommer också användas som underlag i Biodriv Östs projekt Fossilfritt 2030 som planerar för transportsektorns omställning från fossila bränslen till en klimatneutral transportsektor. Nedan presenteras anonyma svar på frågor från några av de kommuner som medverkat i studien.

Hur ser den dagliga omsättningen ut för bilarna och personalen. Är det alltid samma personer/skift/arbetslag som utgår från samma platser/parkeringar?

Strukturen i fordonsflottorna är för det mesta väldigt lika kommunerna sinsemellan. Flottorna är indelade i strategiska punkter eller parkeringar i kommunen. Fordonen i flottan rör sig sällan mellan olika parkeringar utan stannar ofta på den parkering och verksamhetsområde som fordonet är tilldelad. Något som kunde variera mellan kommunerna var typen av fordon och drivmedel. Kommun A som hade mycket landsvägskörning drevs på

etanol/bensin eller el. Kommun B som i dagsläget bara har biogas/bensin har även lagt en beställning på elbilar för att öka diversiteten i flottan. Kommun C flotta var den med störst diversitet med drivmedelstyperna biogas/bensin, el, etanol/bensin och diesel/HVO dock ska diesel och etanol fordonen ersättas i flottorna med ytterligare el och biogasfordon. Den geografiska positionen tycks ha en stor inverkan på vilka drivmedelstyper som implementeras i flotta. Kommun A förklarar att avståndet till en biogastankstation är för långt bort för att köra och tanka, såldes är gasfordon inte ett alternativ. För att fortfarande kunna köra på miljöbränsle men inte bara på el valdes etanol. Kommun C och Kommun B som har biogastankstation nära till hands kör således på gasfordon.

Vad har varit utmanande med implementeringen av elbilar? Hur svårt har det varit att introducera dem? Vad har varit lättare/svårare än ni trodde?

När frågan ställdes till Kommun A och C var svaren relativt lika. Båda verksamheterna tyckte att implementeringen av elbil i flottorna gick smidigt. Kommun A berättar att det var ovan i början men ovanan lade sig ganska fort när personalen lärt sig rutinerna för elbilen. Miljöansvarig på kommun C förklarar att de använde sig av testkampanjer i kommunens verksamheter för implementering av elbilen. Miljösamordnaren berättar att det fanns några förutfattade meningar i början av implementeringen då bilarna inte gick lika lång. Men i dagsläget finns inga sådana förutfattade meningar. Kommunen menar även att en elbil nästan köra en hel vecka utan att ladda med vissa körscheman.

Då det inte finns några preferenser på drivmedel finns det dock lite preferenser på bilmodell. För resorna ut på landsbygden var preferensen från Kommun C fordon med höge hjulhus för att klara tuffare terräng. Kommun A och B upplevde inga preferenser på bilmodell. Kommun B utrustar sina bilar med extra strålkastare och dubbdäck vid vinterväglag för att hantera det tuffare väglaget.

Har ni riktlinjer kring krisberedskap och vad är resursfördelningen?

De riktlinjer och lösningar kommunerna har som krisberedskap skiljer sig något kommunerna sinsemellan. Men något som var gemensamt för kommunerna var pandemin. Kommun B och C har sedan början av pandemin lagt en större andel resurser på lagring av förnödenheter inför eventuell kris. Detta innefattar resurser som livsmedel, filter, skyddsutrustning som munskydd samt andra förnödenheter som är viktiga i kris. Kommun C är i uppstart av krisberedskapsplaner för transporter. Miljösamordnaren belyser att transporterna tillhör ett komplexare system som berör hela samhällets energibehov. Således är det fler parametrar som måste stämma överens. I Kommun C är det standard för det kommunala bostadsbolaget att installera ett batterilager i samband med nya byggnadsprojekt. Detta ger ökad frekvensreglering till nätet och kan således hjälpa till vid en större elektrifiering av exempelvis transportsektorn. Det nämns även att kraftvärmeverk i staden skulle kunna köras i drift för att förse samhällsviktiga verksamheter med elektrisk energi och värme.

Kommun B har tillsammans med storköken i kommunen livsmedelslager samt krismatsedlar vilket ska underlätta tillagning och öka resurseffektiviteten. Vidare har kommunen även

evakueringsplaner på vart vårdhavande evakueras vid eventuell kris. Kommunens största vårdboende har reservkraft på plats och fler är på väg till de mindre vårdhemmen.

Har ni haft några fall i närtid? I sådant fall vad hände då och hur hanterades situationen?

Kommun A berättar om stormen Alfrid vintern år 2019. Hemtjänsten fick köra och hämta personer ute på landsbygden för temporär omplacering på vårdboende. Samordnaren berättar att mobilnätet i verksamhetsområdet var ur funktion och således fungerade inte kommunikationen mellan personal vilket innebar att de fick gissa sig fram eller fysiskt kommunicera med kollegor för att ta sig ut till behövande. Kommunikation är således en viktig komponent i krisberedskap som kanske inte är lika påtänkt som exempelvis energi och resursbrister.

Kommun B nämner flyktingvågen år 2015 då kommunen gick upp i stabsläge. Intervjuad samordnares uppgift var då att identifiera lokaler som kunde tillhandahålla temporärt boende till migranterna samt lösa logistiken med måltider och förnödenheter. Vilket gett kommunen en prövning i verklig situation.

5 Diskussion

5.1 Resultatdiskussion

Syftet med simuleringsmodellen var att dimensionera krisberedskapssystemet för att täcka den energiförbrukningen som genererats från laddning av flottans elfordon. Basfallen analyserade tre konfigurationer beroende av fordonsflottans storlek. Konfigurationen för dessa system varierade beroende på antalet bilar. Som visades i känslighetsanalysen, tabellen 11 och Värmlandsvägens parkering kunde lasten täckas med bara generatoren som komponent i systemet. Vid utnyttjande av beredskapssystemet till andra verksamheter var fler komponenter fördelaktigt för att öka diversiteten i systemets användningsområden. Komponenterna som batterilagret och generatoren hjälpte systemet att arbeta mer sparsamt. Batterilagrets storlek dimensionerades utefter två krav, kostnad och kapacitet. I kapitell 4.4 var batterier dyrt [5]. Det var således svårt att rättfärdiga en ekonomisk investering för ett stort batteri. Batteriet skulle även arbeta innanför en *SOC* på 20 % – 80 % således kunde kapaciteten på batteriet minimeras. Vid jämförelse av resultaten från *Svetsarevägen* och *Dunungevägen* skilde det bara 50 *kWh* i kapacitet med 250 *kWh* respektive 200 *kWh*. Detta var en relativt liten skillnaden i kapacitet mellan de två parkeringarna eftersom Svetsarevägen hade 10 extra bilar i fordonsflottan.

Den faktor som påverkade systemet i störst utsträckning var antalet laddplatser i kombination med den märkeffekten på laddarna. Som beskrivits ovan dimensionerades generatoren efter den maxeffekt som systemet efterfrågade. I Studien basfall antogs laddeffekten vara konsekvent 11 *kW*. Känslighetsanalysen 4.5 utforskade möjligheten till en laddningsstrategi där hälften av laddplatserna på parkeringarna hade möjlighet att ladda med 22 *kW* förutsatt begränsningen att maxeffekten inte översteg vad generatoren i basfallet var märkt för. Jämförelsen mellan Svetsarevägen i januari månad figur 11 och figur 17 i känslighetsanalysen syntes en marginell ökning av bränsleförbrukningen. Konsumtionen för basfallet låg på 2995 *kg* biogas och för fallet i känslighetsanalysen konsumerades ungefär på 3200 *kg* biogas. Bränsleförbrukningen ökade således med en ökande laddeffekt. Den ökade laddeffekten hade även en inverkan på lastkurvan som hade mer tid när krisberedskapssystemet inte var aktiv. Den ökade laddeffekten medförde en lägre laddtid vilket innebar att systemet försåg en större effekt på kortare tid. En nackdel med den ökade lastkurvan var att det krävde kraftfullare komponenter vilket också blev dyrare. Basfallen som producerade lägre effekt över längre tid ställde inte samma krav på komponentstorlekar. Sådan var också trenden i figurerna 18 och 19 eftersom fler laddplatser och högre laddeffekt innebar att bilarna kunde köa mindre och en större del av laddningen kunde sker samtidigt i stället för utspridd över flera timmar som i figur 11. Från samma figurer syns även en överdimensionering av generatoren då lastkurvan inte nådde maxeffekt i figur 19 eftersom generatoren dimensionerades efter systemets maxeffekt. Således är detta en viktig aspekt att se över vid dimensionering av krisberedskapssystemet. En hög generatoreffekt var bra om systemet krävde en snabbare laddning men risken fanns också att generatorns utnyttjandegrad sjunker då den sällan arbetade under maximal kapacitet.

I kapitel 4.5.3 undersöktes påverkan på förändringen av antalet bilar och hur lastkurvan påverkades med det system implementerat i basfallen. Analysen baserades på antagandet att verksamheter smalnar av eller stänger grenar för att strömlinjeforma systemen. Fallet som undersöktes i arbetet var då en parkering skulle hushöll fler bilar än vad systemet dimensionerades för. I figur 23 syntes att lastkurvan började sammanfogas med de mindre topparna i systemet. Systemet klarade sig nästan 6 dagar med 45 fordon i flottan. När flottan ytterligare utökades till 60 fordon hade lastkurvan formats till ett tjocka block vilket innebar att systemet arbetade på maxeffekt en längre tid i simuleringen, bränslet i systemet räckte då 4,5 dagar i denna konfiguration se figur 24.

Verksamheter som hemtjänsten arbetar ofta i skift, därför behöver fordonen var redo att köra inför varje skift. Det kan således bli problem om beredskapssystemet inte hinner ladda bilarna färdigt innan nästa planerade pass. Denna aspekt har inte modellerats i examensarbetet då den dagliga genomsnittliga körsträckan är modellerad till 110km/dag vilket kan ses ligga i överkant av vad bilarna egentligen kör se figur 7. Som visats i intervjustudien fanns det kommuner med exempel på fordon som nästan kan köra en vecka utan laddning. Samtidigt syns det även i figur 24 att systemet inte laddar hela tiden vilket innebär att beredskapen hann ladda färdigt på dygnbasis. Dock skulle detta bli problem i system med mindre laddeffekt och ett mer pressat körschema då utnyttjandet av fordonen är större än vad laddningen hunnit med. För simuleringarna i januari månad tillfördes vind- och solkraften ingen större mängd energi för att täcka behovet. Denna observation styrktes även då bränsleförbrukningen mellan systemen med bara generator och med basfallen nästan var den samma. Analys av tabell 11 sågs skillnader på bara några kilo i bränsleförbrukning mellan de två systemen. *Svetsarevägen* hade mindre förbrukning i basfallet medan *Dunungevägen* hade en större förbrukning i basfallet. Batterilagret i modellen hade transmissionsförluster, eftersom generatören behövde ladda batteriet för att det inte skulle sjunka under $SOC = 20\%$ gav detta upphov till en energiförlust. Tillsammans med basfallet då sol och vind inte ger någon större produktion blev det ett nollsummespel mellan transmissionsförlusterna och energiproduktionen från sol- och vindkraften. Således sågs bränsleförbrukningen i tabell 11 vara nästan identisk.

Vidare analys av graferna från vår, sommar, och höst i kapitel 4.5.2 syntes förändringar i solpanelerna och vindkraftsverkets produktion. Generatorns användning ersattes av produktionen från de intermittenta energikällorna och bränsleförbrukning minskade i takt med energiproduktionen se figurer 20, 21 och 22. Batteriet i beredskapssystemet lagrade den producerade energin och fungerade sedan som buffert för systemet vars uppgift var att täcker de lägre effektbehoven. Lagret användes även för bevaring av energi producerad från de intermittenta energikällorna för senare användning. Redan på vår och höstmånaderna syntes stora besparingar av bränsle till generatören.

5.2 Validering av frågeställningar

Vid dimensionering av beredskapssystemet fanns det många parametrar att ta hänsyn till när det kommer till syfte och användning som visats ovan. Det fanns många sätt som sy-

stemet i studien kunde konstrueras på, se kapitel 4.5. Med de avgränsningar som gjordes i studien var strategin att centrera beredskapssystemet utefter generatoren och dimensionera den för att kunna köra systemet självständigt. Vidare användes batteriet som ett lager för energiproduktionen från vind- och solkraft. Batteriets uppgift var även att jämna ut generatorns arbetsförhållande för att eliminera de tillfällen då generatoren behövde köras på låg eller minimal effekt. Vindkraftverket fanns bara installerat på *Svetsarevägen* då detta var parkeringen med störst plats och realistisk möjlighet för installation. Mängden solcellspaneler dimensionerades utefter ekonomiska faktorer. *Svetsarevägen* hade ungefär $1400m^2$ i takyta där solpanel kunde installeras. Bedömningen som gjordes var att investeringskostnaden var för stor för installation av solceller på hela takarean, således installerades paneler på en del av takytan orienterad i söderläge se tabell 2.

Simuleringsresultaten som visade beredskapssystemet produktion över olika månader i kapitel 4.5.2 visade hur sol- och vindkraftsproduktionen varierade över året. Produktionen av solcellerna för januari var liten i jämförelse med juli månad, omvända trend visades för vindkraftverket. Effekten från vindkraftverket var större under höst och vintermånaderna jämfört med vår och sommarmånaderna vilket också bekräftades mot SMHI som visade att detta var ett vanligt fenomen [31]. Vind och solenergin kompletterade varandra naturligt över året, det kunde således varit en strategi att skala upp vindkraftseffekten i samma storleksordning som soleffekten. Produktionen från de intermittenta energikällorna i systemet skulle således var mer konsekvent. Eftersom dessa komponenter också var väldigt oförutsägbar i dess energiproduktion blev lagringsförmågan i systemet en viktig komponent för att spara den producerade energin till senare bruk. Detta gällde speciellt i kris då beredskapssystemet var isolerat från nätet, utan lagring kunde inte de intermittent energikällornas användning styras.

Studien tittade på tre alternativ som bränslen till beredskapens generator. Utöver olika typer av motorer varierade också lagringen av specificerade bränslen. Fallet med dieselgeneratorn var sett till ekonomiska kostnader det billigaste, mycket tack vare bränslelagret som bara krävde en tank till förvaring. Således inga krav på komprimering som i de andra två fallen. Som diskuterats tidigare finns det möjlighet att verksamheter sammanfogas för att spara resurser i kris. *Svetsarevägen* har en verkstad, diverse arbetsfordon och lastbilar således skulle diesellagret kunna användas som drivmedel direkt i arbetsfordonen på parkeringen. Vidare består en stor del av fordonsflottan fortfarande av förbränningsmotorer som således också kan dra nytta av bränslelaget utöver användning i beredskapens generator.

Biogaslagret kostade mer än diesellagret eftersom kraven för CBG var större då gasen var flyktig i jämförelse med diesel som var i flytande form. Då kostnaden kunde överkommas för biogaslagret fanns där nytta utöver användning i biogasgenerator. I anslutning till *Dunungevägen* låg ett storkök som tillagade måltider till hemvården i Karlskoga. Med hjälp av biogas i lagret kunde bränslet användas i gasspisar för tillagning utan elektricitet. Vidare utgjorde gasfordon en del av Karlskogas fordonsflottan, användning av gasen direkt i fordonen var ett alternativ att utnyttja fordonsgasen.

Sista bränslealternativet i studien var vätgas vars lager var dyrast. Till skillnad från diesel

och fordonsgas användes bränslet inte i en förbränningsmotor utan i bränsleceller. Eftersom vätgasinfrastrukturen och dess användningsområde inte var lika utvecklat som de andra alternativen var det svårt att spekulera kring ytterligare användningsområden utöver användning i generatoren (bränslecellen) till krisberedskap. Med ökad andel vätgasfordon transportsektorn skulle användning av vätgasen direkt i fordon vara ett alternativ.

5.3 Ekonomisk jämförelse

Från analysen av investeringskalkylerna för de tre olika beredskapssystemen syntes relativt stora skillnader i investeringskostnader när det kom till bränslealternativen. Optimala investeringen varierade således beroende på systemets syfte. Då beredskapens syfte bara var användning under kris var en naturlig lösning att bara investera i en generator som komponent. Från detta var investeringskostnaden på *Svetsarevägen* 1 700 000 SEK för biogas, 1 000 000 SEK för dieselsystemet och 6 710 862 SEK för bränslecellen. *Dunungevägens* kostnader med bara generator uppgick till 1 355 738 SEK för biogas, 833 591 SEK för dieselgeneratoren och 4 853 082 SEK för bränslecellen.

Då syftet var att bara använda krisberedskapssystemet under kris var dieselsystemet billigast för båda parkeringarna. Som diskuterats finns där nyttor med ett större beredskapssystem vid användning utanför kris. Komponenter som vind- och solkraft tillförde en inkomst på 67 000 SEK/år då den genererade elen såldes mot nätet kunde en stor del av investeringskostnaderna för systemen betalas tillbaka se kapitel 4.4. Vidare kunde frekvensreglering mot nätet med hjälp av batterilagret vara en inkomstkälla för beredskapssystemet. Frekvensreglering berördes inte i studiens scopes således var det bara spekulationer på eventuella inkomstkällor. Funktionen är dock viktig då en ökad elkonsument kommer ställa krav på det framtida elnätet, beredskapssystemet kan således hjälpa till med dynamiken i det lokala nätet.

Andra viktiga aspekter att belysa från det ekonomiska perspektivet var bränslekostnader för systemen. Vätgasen var billigast sett till utnyttjad energi och dieseln var dyrast av de tre alternativen. Detta innebar att den mängd bränsle som investerades för att köra krisberedskapen en vecka kostade mindre för bränslecellerna se kapitel 4.4.1. Eftersom bränslecellen var effektivare jämfört med diesel och gas-Otto konverterade den mer utav bränslets energi till elektrisk energi.

Beredskapen med drift på biogas eller fordonsgas hade en fördel över de andra två alternativen då utnyttjandegraden var större med flera verksamheter som kunde använda gasen samtidigt hade Karlskoga har en lokal biogasproduktion var detta bränsle mer lätt tillgängligt i kris.

6 Slutsats

Beroende på beredskapssystemets syfte och funktion varierar strategin vid dimensionering av systemet. Studien visade att det är fullt möjligt att dimensionera systemet med enbart en generator som komponent. Det fanns däremot ingen direkt nytta med ett sådant system utanför krissituationer. Genom att utöka systemets komponenter med batterilagrar och förnybar elproduktion sågs besparingar i bränsleförbrukning på 500kg HVO och fordonsgas när modellen simulerades i juli månad. Basfallet simulerat över januari hade för låg produktion av vind- och solenergi. Tillsammans med komponenterna var skillnaden mellan att bara köra generatoren och basfallet nästan försumbar. Svetsarevägens system var ca 100kg snålare i förbrukningen av HVO och fordonsgas över en vecka se tabell 111. Dunungevägen med bara en generator var snålare jämfört med parkeringens basfall med 3kg fordonsgas se tabell 11.

Komponenter som det stationära batterilagret och de intermittenta energikällorna gav systemet större potential att utnyttjas utanför kris. Verksamheter i kommunen som storkök kunde exempelvis använda fordonsgas i matlagningssyfte eller konventionellt bränslelager till gasfordon. Ur investeringssynpunkt var fallen med diselgeneratoren lägst i kostnad eftersom kostnaden för bränslelagret var lägre i relation med resterande systemkomponenter, 3 850 000 SEK för Svetsarevägens basfall och 1 700 000 SEK för Svetsarevägen med endast generator, se tabell 7 och fordonsgas. Gassystemen var de systemen med störst diversitet och leveranssäkerhet sett till närliggande anläggning. Bortsett från investeringskostnaden var bränslekostnaderna under drift högre för HVO jämfört med fordonsgas och vätgas.

Batterilagret hjälpte generatoren med de mindre lasterna vilket gjorde att generatoren kunde köras jämnare och närmare märkeffekt vilket gav generatoren en högre verkningsgrad. Studien visade att kombination av solceller och vindkraft kompletterade varandra väl. Solcellerna producerar mer energi under vår och sommarmånaderna och vindkraftverket hade optimala produktionsförhållanden under höst och vintermånaderna se resultat och känslighetsanalys för Svetsarevägen 4, 4.5. Genom att skala upp sol- och vindkraften i samma storleksordning uppskattades att en mer konsekvent energiproduktion kunde erhållas från två komponenter som annars ses som oberäkneliga i sin produktion. I kombination med batteriet var detta ett starkt komplement till generatoren. Generators dimension valdes i denna studie att dimensioneras till samma storlek som systemets maxeffekt 110kW för Svetsarevägen för att inte löpa risken för underdimensionering mot effektbehovet då batteriet bara var märkt för 100kW. Vidare studier skulle kunna utforska ett avancerat styrsystem för dessa två komponenter för att effektivisera dess användning och inte behöva överdimensionerna i onödan.

Referenser

- [1] Sara Anderson m. fl. ”Jämförelse av distributionsalternativ för uppgraderad biogas”. 2019. URL: <https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f4732c0/1628415812731/FULLTEXT01.pdf>.
- [2] Danish Wind Industry Association. *The power coefficient*. 2003. URL: <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%5C%%2020web/en/tour/wres/cp.htm>. (accessed: 05.06.2023).
- [3] Paul Breeze. *Chapter 1 - An Introduction to Fuel Cells*. 2017. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081010396000017>.
- [4] Tianmei Chen m. fl. *Applications of Lithium-Ion Batteries in Grid-Scale Energy Storage Systems*. 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/s12209-020-00236-w>.
- [5] Power Circle. *Batterier i elnätet*. 2020. URL: <https://powercircle.org/batterilager.pdf>. (accessed: 18.05.2023).
- [6] Ronald M. Dell, Patrick T. Moseley och David A.J. Rand. *Chapter 8 - Hydrogen, Fuel Cells and Fuel Cell Vehicles*. 2014. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124046160000086>.
- [7] Elpriser24. *Historiska spotpriser på Nord Pool 2018 – 2022*. 2023. URL: <https://elpriser24.se/spotpris/>. (accessed: 22.05.2023).
- [8] Energimyndigheten. *Smart styrning av elanvändning*. 2023. URL: <https://www.energimyndigheten.se/496615/contentassets/6e9cf812401549158e5739fd259ce8e5/slutredovisning-av-deluppdrag-4.pdf>. (accessed: 05.06.2023).
- [9] Sara Hemming. *Pris på solcells batterier*. 2023. URL: <https://hemsol.se/solceller/solcells batteri/pris/>. (accessed: 18.05.2023).
- [10] HemSol. *Pris på solceller: Vad solpaneler kostar per kW, m2 kWh*. 2023. URL: <https://hemsol.se/solceller/pris/>. (accessed: 19.05.2023).
- [11] Jiuchun Jiang m. fl. ”Optimized Operating Range for Large-Format LiFePO₄/Graphite Batteries”. I: *Journal of The Electrochemical Society* 161 (dec. 2013), A336–A341. DOI: 10.1149/2.052403jes.
- [12] Energimarknadsinspektionen Karin Widegren. *Marknadsförutsättningar för elektriska batterilager – principiella utgångspunkter och möjligheter*. 2016. URL: <https://ei.se/download/18.d4c49f01764cbd606218b3a/1608307257126/PM-marknadsf%C3%B6rutrustning-f%C3%B6r-elektriska-batterilager.pdf>. (accessed: 24.02.2023).
- [13] Imran Ullah Khan m. fl. *Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilisation and storage*. 2017. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890417307471?casa_token=9i7LpQ-RRkMAAAAA:-xRCsaUy4biIHMM4jPylSKhUPmrkSz4g3GeHI4SfhHaG0txJnfQ_zxmsxvBtWhz5C1KUOKHGgkEL.

- [14] Amith Khandakar, Saad Bin och Saad Kashem. "Feasibility study of Horizontal-Axis Wind Turbine". I: *International Journal of Technology* 1 (aug. 2020), s. 2020.
- [15] bundesministerium für verbraucher-schutz ernährung und landwirtschaft. *Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung*. 2006. URL: https://www.big-east.eu/downloads/FNR_HR_Biogas.pdf.
- [16] Mikael Lantz. *The economic performance of combined heat and power from biogas produced from manure in Sweden – A comparison of different CHP technologies*. 2012.
- [17] Olle Levin. *Avkokskomprimering till CBG-lager som avkokshantering på LBG-tankstationer*. Accessed: 2023-03-24. 2019. URL: https://stud.epsilon.slu.se/14407/1/levin_o_190423.pdf.
- [18] Alireza Askarzadeh Mahdi Gharibi. *Size and power exchange optimization of a grid-connected diesel generator-photovoltaic-fuel cell hybrid energy system considering reliability, cost and renewability*. 2019. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319919329209?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=7c93f6c59cc82e00.
- [19] Tiago Marques. "Control and Operation of a Vertical Axis Wind Turbine". I: (2014). URL: https://www.iea.lth.se/publications/ms-theses/Full%5C%20document/5336_full_document.pdf.
- [20] MathWorks. *SimEvents*. 2013. URL: <https://se.mathworks.com/products/simevents.html>. (accessed: 03.04.2023).
- [21] J. Ordóñez m. fl. "Analysis of the photovoltaic solar energy capacity of residential rooftops in Andalusia (Spain)". I: (2010). URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211000002X?casa_token=imRqYWB3y3AAAAAA:T1SGJ8_aifMfhYUu75GvyWgvTy9-FIVrnA0MTXUCywaQ1T19zS1bz5GE8sWjjiqgynRKTPfAUJFGp#tbl5.
- [22] P-Lindberg. *Dieseltank, UNI-Tank*. 2023. URL: https://www.p-lindberg.se/produkt-url-bruger-ecom/dieseltank-uni-tank/varor/vvs-varme-och-ventilation/dieseltankar-och-vagnar?gad=1&gclid=CjwKCAjwg-GjBhBnEiwAMUvNW6qMw_8L5isLHmpncoVaL6V08sVNaG9eejYw1YzwLzAMFznJg-0jpxoCEL4QAvD_BwE&gclidsrc=aw.ds. (accessed: 01.06.2023).
- [23] Penthon. *Ett solcellsystem består av flera olika komponenter*. 2023. URL: <https://www.penthon.com/solceller/komponenter/>. (accessed: 22.05.2023).
- [24] OK-Q8. *Priser*. 2023. URL: <https://www.okq8.se/foretag/priser/#/>. (accessed: 22.05.2023).
- [25] Todd Ramsden. *An Evaluation of the Total Cost of Ownership of Fuel Cell Powered Material Handling Equipment*. 2013. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56408.pdf>.

- [26] Abdolrahim Rezaeiha, Hamid Montazeri och Bert Blocken. *Characterization of aerodynamic performance of vertical axis wind turbines: Impact of operational parameters*. 2018. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890418305193?via3Dihub>.
- [27] Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap. *Hemberedskap*. 2023. URL: <https://www.msb.se/sv/rad-till-privatpersoner/forbered-dig-for-kris/hemberedskap---preppa-for-en-vecka/>. (accessed:2023-04-25).
- [28] SMHI. *Globalstrålning timvärden*. 2023. URL: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=globalIrradians,stations=core>. (accessed:2023-04-12).
- [29] SMHI. *Lufttemperatur timvärden*. 2023. URL: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=airtemperatureInstant,stations=core>. (accessed:2023-04-12).
- [30] SMHI. *Vindriktning och vindhastighet timmvärde*. 2023. URL: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=wind,stations=core>. (accessed:2023-04-12).
- [31] SMHI. *Vind*. 2023. URL: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/vind/vindhastighet-under-aret-och-dygnet-1.170858>. (accessed: 25.05.2023).
- [32] Jonas Pettersson Statens Energimyndighet. *Marknadsöversikt för solcellsmoduler, växelriktare, infästningsanordningar och kompletta system*. 2019. URL: <https://sveasolar.se/sv-se/vilka-olika-typer-av-solceller-finns-det>. (accessed: 01.06.2023).
- [33] Steadypower. *Generac EODev GEH2 Hydrogen Fuel Cell Generator*. 2023. URL: <https://steadypower.com/product/generac-eodev-geh2-hydrogen-fuel-cell-generator/>. (accessed: 18.05.2023).
- [34] Chun-Lien Su och Chi-Hsiang Liao. "Ship electrical load analysis considering power generation efficiency". I: maj 2015, s. 1–11. DOI: 10.1109/ICPS.2015.7266439.
- [35] SveaSolar. *Olika typer av solceller*. 2023. URL: <https://sveasolar.se/sv-se/vilka-olika-typer-av-solceller-finns-det>. (accessed: 01.06.2023).
- [36] SveaSolar. *Vad kostar solceller?* 2023. URL: <https://sveasolar.se/sv-se/kostnad-och-bidrag>. (accessed: 19.05.2023).
- [37] Vätgas Sverige. *Hur mycket kostar det att producera vätgas?* 2023. URL: <https://vatgas.se/fakta/faq/>. (accessed: 22.05.2023).
- [38] Energikontor Syd. *Energilager (batteri)*. 2023. URL: <https://www.ekrs.se/batteri>. (accessed: 18.05.2023).
- [39] Rodney Than. *Battery Energy Storage System Model*. 2023. URL: <https://se.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/69512-battery-energy-storage-system-model>. (accessed:2023-04-12).

- [40] Trafikanaly. *Personbilar, nyregistreringar per drivmedel. Per månad, år 2006–2023*. 2023. URL: <https://www.trafa.se/vagtrafik/fordon/>. (accessed: 13.02.2023).
- [41] Uppsala Vatten. *Tanka biogas*. 2023. URL: <https://www.uppsalavatten.se/foretag/avfall-och-atervinning/tanka-biogas>. (accessed: 22.05.2023).
- [42] Aeolos Wind-turbine models. *Aeolos Aeolos-V 5kW*. 2023. URL: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/1853-aeolos-aeolos-v-5kw#powercurve>. (accessed:2023-04-18).

Publicering och arkivering

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

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

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

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