Kandidatexamen inom Teknik

Examensarbete, grundnivå, 15 hp

Lastflytt och frekvensreglering genom elbilsladdning i fastigheter

En analys av lönsamhet och tekniska förutsättningar för fastighetsbolaget Vasakronan

Andreas Chaba

Albert Hammarberg

Kungliga Tekniska Högskolan

Skolan för Industriell Teknik och Management

Stockholm

Juni 2024

Författare

Andreas Chaba och Albert Hammarberg

Industriell Ekonomi

Kungliga Tekniska Högskolan

Plats

Stockholm, Sverige

Examinator:

Per Lundqvist

Stockholm, Sverige

Kungliga Tekniska Högskolan

Handledare

Per Lundqvist och Jonas Anund Vogel

Stockholm, Sverige

Kungliga Tekniska Högskolan

TRITA-ITM-EX 2024:204

Stockholm, Sverige 2024
www.kth.se

Sammanfattning

Belastningen på Sveriges kraftnät blir allt större till följd av samhällets tillväxt, ökande elbehov och väderberoende elproduktion. I denna studie undersöks möjligheten för fastighetsbolaget Vasakronan att implementera lastflytt och frekvensreglering via laddstolpar för elbilar, med syfte att effektivisera energianvändningen och förbättra elnätets stabilitet. Genom en kombination av en intervju, litteraturstudier, datainsamling, dataanalys och en lönsamhetsstudie med känslighetsanalys undersöks och utvärderas de tekniska och de ekonomiska aspekterna av dessa åtgärder.

Resultaten indikerar att det är tekniskt möjligt och dessutom lönsamt att implementera lastflytt och frekvensreglering med hjälp av elbilar och laddstolpar på Vasakronan. Lönsamhetsstudien avslöjade att implementering av lastflytt kan minska laddningskostnaderna med upp till 7%, där besparingen direkt gynnar den som betalar för laddningen. För frekvensreglering krävs initiala investeringar för att stödtjänster till balansmarknaden ska kunna levereras, men en ekonomisk analys med nuvärdesmetoden resulterade i ett positivt nuvärde. Dessutom visade en kalkyl att internräntan för lösningen blir 49%, vilket är betydligt högre än företagets kalkylränta. Lönsamhetsstudien resulterade även i en beräknad återbetalningstid för frekvensreglering på 1 år och 9 månader, vilket i jämförelse med liknande projekt är en kort tid. Samtliga resultat av lönsamhetsstudien pekar alltså på att såväl lastflytt som investeringen i frekvensreglering är lönsamma.

Sammanfattningsvis visar denna studie att implementeringen av lastflytt och frekvensreglering med hjälp av elbilar och laddstolpar inte enbart är tekniskt möjlig, utan även ekonomiskt gynnsam för Vasakronan. Dessutom bidrar denna typ av initiativ till en mer hållbar och effektiv energianvändning samt ett stabilare elnät, således kan denna studie ge värdefulla insikter för såväl Vasakronan som övriga samhällsaktörer.

Abstract

The burden on Sweden's power grid is increasingly amplified due to societal growth, rising electricity demands, and weather-dependent electricity production. This study explores the possibility for the real estate company Vasakronan to implement load shifting and frequency regulation through electric vehicle (EV) charging stations, aimed at optimizing energy usage and enhancing grid stability. Through a combination of an interview, literature reviews, data collection, data analysis, and a profitability study with sensitivity analysis, the technical and economic aspects of these measures are examined and evaluated.

The results indicate that it is technically feasible and economically profitable for Vasakronan to implement load shifting and frequency regulation using EVs and charging stations. The profitability study revealed that implementing load shifting could reduce charging costs by up to 7%, with the savings directly benefiting the payer of the charging fees. Frequency regulation using charging stations requires initial investments to deliver ancillary services to the balance market, but an economic analysis using net present value resulted in a positive NPV. Additionally, calculations showed an internal rate of return for the investment at 49%, which is significantly higher than the company's discount rate. The profitability study also projected a payback period for frequency regulation of 1 year and 9 months, which is short compared to similar projects. All results from the profitability study thus point to both load shifting and investment in frequency regulation as profitable solutions.

In summary, this study demonstrates that the implementation of load shifting and frequency regulation via EVs and charging stations is not only technically possible but also economically advantageous for Vasakronan. Furthermore, such initiatives contribute to more sustainable and efficient energy use, as well as a more stable power grid. This study might therefore provide valuable insights for both Vasakronan and other societal actors.

Förord

Denna rapport är vårt kandidatexamensarbete som vi har genomfört under våren 2024. Syftet har varit att undersöka hur ett fastighetsbolag vid namnet Vasakronan kan implementera lastflytt och frekvensreglering med hjälp av elbilar och laddstolpar.

Arbetet med denna rapport har varit både utmanande och lärorikt. Vi har fått möjligheten att fördjupa våra kunskaper inom lastflytt, frekvensreglering, elnätet i stort och hur viktigt detta är för samhällsutvecklingen. Vi har vässat våra färdigheter i forskningsmetodik och akademiskt skrivande och genom detta arbete har vi även lärt oss vikten av kommunikation, planering och flexibilitet.

Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare, Per Lundqvist samt Jonas Anund Vogel för deras värdefulla vägledning och konstruktiva feedback under hela arbetets gång. Vi vill även tacka respondenten från Vasakronan som ställde upp för en intervju och bidrog med sin tid och kunskap. Utan deras insatser hade denna studie inte varit möjlig att genomföra.

Slutligen vill vi tacka våra familjer och vänner för deras stöd och förståelse under denna intensiva period.

Stockholm, juni 2024
Kungliga Tekniska Högskolan, Industriell Ekonomi
Andreas Chaba och Albert Hammarberg

Innehållsförteckning

1 Introduktion 1
2 Problemformulering och syfte 2
3 Metod 2
3.1 Intervju med Vasakronan 3
3.2 Litteraturundersökning 3
3.3 Dataanalys 3
3.4 Lönsamhetsstudie 4
4 Undersökning 6
4.1 Litteraturundersökning 6
4.1.1 Efterfrågan på el, kapacitetsbrist & höga elpriser 6
4.1.2 Frekvensreglering 7
4.1.2.1 FCR-N 8
4.1.2.2 FCR-D 8
4.1.2.3 FFR 8
4.1.2.4 aFRR & mFRR 9
4.1.2.5 Aktivering av resurser 11
4.1.2.6 Marknaden för frekvensreglering 12
4.1.3 Elbilens utveckling och framtidsutsikter för elbilsmarknaden 15
4.1.5 Efterfrågan på el och timpriser under dygnet 18
4.2 Intervjuresultat Vasakronan 21
5. Analys 23
5.1 Elbilarnas laddbehov 24
5.2 Lastflytt 24
5.3 Tillgänglig effekt, aktiveringstider, möjliga stödtjänster och budtimmar 27
5.4 Grundinvesteringar, intäktsströmmar och kostnadsbesparingar 29
6. Resultat 30
6.1 Lönsamhetsstudie 30
6.1.1 Monetära resultat från lastflytt och frekvensreglering 30
6.1.2 NPV (Nettonuvärdet) 32
6.1.3 IRR (Internräntemetoden) 32
6.1.4 Återbetalningstid 33
6.2 Känslighetsanalys 33
6.2.1 Stödtjänster till balansmarknaden 33
6.2.2 Grundinvestering 33
7. Diskussion 34
7.1 Förutsättningar för lastflytt & frekvensreglering 34
7.3 Lönsamhetsstudie 35
7.4 Hur ser framtiden ut? 38
7.5 Icke-monetära värden och deras roll 39
7.6 Övriga delar av fastighetsbranschen 39
8. Slutsats 40
Referenslista 43

Figurer och Tabeller

Tabell 1: Stödtjänster som kan levereras till balansmarknaden samt de krav som finns för respektive tjänst..... 10
Figur 1. Storleken på marknaden för olika stödtjänster..... 12
Figur 2: Diagram med grafer för genomsnittspriser för FCR-D Ned under sommar- (blå) och vinterhalvåret (orange)... 14
Figur 3: Diagram med grafer för genomsnittspriser för FCR-D Upp under sommar- (blå) och vinterhalvåret (orange)... 14
Figur 4: Diagram med grafer för genomsnittspriser för FCR-N under sommar- (blå) och vinterhalvåret (orange)..... 14
Figur 5: Utsläpp av växthusgaser för personbilar (blå staplar) jämfört med totala mängden utsläpp från inrikes transporter (grå linje)..... 16
Figur 6: Antalet nyregistrerade bilar per år och drivmedel..... 17
Figur 7: Genomsnittligt timpris 1996-2021 elområde Stockholm (Elområde 3)..... 18
Figur 8: Total elanvändning, 2022-2021, timfördelad..... 19
Tabell 2: Spotpriser juli 2023, februari 2023..... 20
Figur 9: Sverige indelat i fyra elområden..... 20
Tabell 3: Grundläggande data för elbilars förbrukning och förväntade laddbehov..... 24
Tabell 4: Tidsschema med beräknat antal bilar som kopplas in till laddning varje timme..... 25
Tabell 5: Exempel på beräknad förbrukning av laddeffekt..... 26
Figur 10: Graf för total laddningseffekt per timme med och utan lastflytt, på sommaren och på vintern..... 26
Figur 11: Laddningseffekt då FCR-D ned avropas och aktiveras under hela budtimmen..... 28
Tabell 6: Laddningsschema då FCR-D ned avropas och aktiveras under hela timmen..... 28
Tabell 7: Exempel på ekonomiskt utfall för en genomsnittlig dag..... 31
Tabell 8: Intäkter från frekvensreglering med FCR-D ned samt nettovinst för lastflytt med aktiverat frekvensregleringsbud..... 32
Tabell 9: Resultat känslighetsanalys..... 33

Nomenklatur

aFRR =automatisk frekvensåterställningsreserv
API = Application Programming Interface (Integrationsplattform som används till fastigheter)
EV = Electric Vehicle (Eldrivet fordon)
FCR-D= frekvenshållningsreserv störning
FCR-N= frekvenshållningsreserv normaldrift
FFR = snabb frekvensreserv, avhjälpande åtgärd
IRR = Internal rate of return (Internräntemetoden)
KPIF = Konsumentprisindex med fast ränta
kWh = Kilowattimme
mFRR = manuell frekvensåterställningsreserv
MW = Megawatt
NPV= Net Present Value (Nettonuvärde)
OCCP= kommunikationsprotokoll för laddstolpar (Open Charge Point Protocol)
SE1, SE2, SE3, SE4 = Förkortningar för Sveriges 4 olika elområden
V2G = Vehicle-to-grid

1 Introduktion

Det pågår idag en omfattande energiomställning i Sverige som syftar till att förbättra hållbarheten angående klimatpåverkan och samhällets infrastruktur. Bland annat har politiska mål om 100% förnybar elproduktion år 2040 fastställts. Detta innebär samtidigt en utmaning i och med att Sveriges elproduktion i framtiden kommer att vara mindre planerbar och allt mer väderberoende, då en ökad andel av elen kommer att produceras genom bland annat vind- och solkraft. Med en väderberoende elproduktion behöver elsystemet således effektiviseras och anpassas så att samhället alltid har en stabil tillgång till elektricitet, även om väderförhållanden inte är optimala. Dessutom innebär detta sannolikt ett ökat behov av reglering av elnätets användarsida, vilket kan behöva lösas med flexibilitetsresurser, frekvensreglering samt mer effektiv användning av befintlig kapacitet. Förutom detta behövs givetvis nya investeringar för att förstärka infrastrukturen för elförsörjning, exempelvis genom nya ledningar för att öka överföringskapaciteten.[1]

I praktiken kan dessa effektiviseringar leda till en jämnare belastning och lägre effekttoppar. Det medför att fler användare och producenter kan anslutas till elnätet utan att skapa behov av ökad elnätskapacitet.[2] Detta är en central faktor för att samhällsutvecklingen i Sverige ska kunna fortsätta på ett hållbart sätt. Utan tillgång till tillförlitlig elförsörjning uppstår en flaskhalseffekt som begränsar möjligheterna till utbyggnad av städer och industri. Vidare är de troliga konsekvenserna av detta att elpriserna i de områden med högst efterfrågan (SE3 och SE4) kommer att stiga ytterligare när överföringskapaciteten begränsar utbudet på elektricitet.[3] Resultatet av ett misslyckande med att effektivisera och anpassa elsystemet kan alltså medföra allvarliga hinder för utvecklingen av det svenska samhället. Riskerna med bristande elförsörjning och höga elpriser blir än mer tydligt om man ser till utvecklingen de senaste åren, där stigande elpriser under 2021–2022 drivit upp inflationen till 10% (KPIF) på sin höjd.[4, 5]

Ansvaret för problemet behöver inte nödvändigtvis endast ligga på den svenska staten eller de svenska förvaltningsmyndigheterna som är verksamma inom området. Dagens teknologi i händerna av innovativa företag inom den privata sektorn kan leverera lösningar och produkter som har möjlighet att underlätta denna utveckling och driva på energiomställningen. Dessa lösningar kan ge möjligheter till privatpersoner och företag som tidigare inte varit delaktiga i denna utveckling att bidra. Nyttjandet av dessa lösningar måste samtidigt vara ekonomiskt hållbart och lönsamt för att en verklig förändring ska kunna ske. Finns det inte tillräckliga ekonomiska incitament kommer utvecklingen att bromsas. Detta förhållande ger upphov till frågor såsom hur fastighetsbolag med laddstolpar och privatpersoner med elbilar kan motiveras till att bidra till att

---

[1] Energimarknadsinspektionen. Effekttariffer. 2023
https://ei.se/bransch/reglering-av-natverksamhet/reglering---elnatsverksamhet/effekttariffer
[2] Ibid.
[3] Tillväxtverket. *Höga elpriser kan få stor negativ påverkan på företagen*. 2023.
https://tillvaxtverket.se/tillvaxtverket/statistikochanalys/trenderochanalyser/trenderochanalyser/hogaelpriserkanfastornegativpaverkanpaforetagen.4835.html
[4] Sveriges Riksbank. *Fördjupning – Höga energipriser – hur kommer andra konsumentpriser att påverkas?* 2022.
https://www.riksbank.se/globalassets/media/rapporter/ppr/fordjupningar/svenska/2022/hoga-energipriser--hur-kommer-andra-konsumentpriser-att-paverkas-fordjupning-i-penningpolitisk-rapport-februari-2022.pdf
[5] Statistikmyndigheten. *Inflationstakten enligt KPI och KPIF*. 2024.
https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/priser-och-konsumtion/konsumentprisindex/konsumentprisindex-kpi/pong/tabell-och-diagram/konsumentprisindex-med-fast-ranta-kpif-och-kpif-xe/inflationstakten-enligt-kpi-och-kpif/

effektivisera elnätet, exempelvis genom att flytta lastkurvan i tid och därmed minska elnätets effekttoppar. Utöver detta är ett alternativ att använda elbilar och laddstolpar för att leverera stödtjänster till balansmarknaden, alltså frekvensreglering, vilket både kan stabilisera elnätet men även innebära utmaningar i sig.

2 Problemformulering och syfte

Sveriges elnät är som tidigare nämnt överbelastat i dagsläget, vilket begränsar samhällets möjligheter till tillväxt och utveckling. Samtidigt ökar andelen elbilar i den svenska fordonsflottan, vilket både kan öka effektbehovet, men även användas för att effektivisera och reglera elnätet. Detta görs genom att utnyttja elbilarna till lastflytt och frekvensreglering. Praktiskt innebär detta att den levererade effekten till elbilarna som laddas regleras i syfte att antingen balansera frekvensen i elnätet under en kortare tid, eller under en längre tid i syfte att minimera kostnader under perioder med hög belastning på elnätet. Reduceras exempelvis effekten under en längre tid kan denna sedan återupptas under en senare tidpunkt på dagen då både belastningen i elnätet och priserna är lägre.

Målet med denna rapport är att undersöka hur man kan använda dagens teknik för att balansera elnätsbelastningen genom att öka och minska laddningen av elbilar vid specifika tidpunkter på dygnet, samt att undersöka möjligheterna till frekvensreglering. Undersökningen genomförs med fokus på fastighetsbolaget Vasakronan som är ett av Sveriges största fastighetsbolag. Rapporten syftar därmed till att utreda potentiella lösningar som kopplar samman elbilsladdning och lastflytt samt frekvensreglering, med utgångspunkt i Vasakronans förutsättningar. De explicita frågeställningarna är enligt följande:

- Hur ska man planera elbilsladdningen så att elnätsbelastningen minskar men att nyttan för Vasakronan består?
- Vilka tekniska möjligheter finns det för implementering av lastflytt och frekvensreglering med hjälp av elbilsladdare i Vasakronans fastigheter?
- Vilka ekonomiska incitament finns det för Vasakronan att implementera lastflytt och frekvensreglering? Hur ska fastighetsbolaget få sina intäkter/kostnadsbesparingar?
- Vilka övriga incitament och begränsningar finns det kopplat till att implementera lastflytt och frekvensreglering genom elbilsladdning för Vasakronan? Goodwill, hållbarhet etc.?
- Hur kommer framtiden att se ut för dessa potentiella lösningar såsom lastflytt, frekvensreglering och andra alternativ? Kommer elbilarnas och laddstolparnas teknologiska utveckling bidra till dessa lösningar eller begränsa dem?

3 Metod

I denna del förklaras hur rapporten är skriven, vilken information som hämtats, hur den har hämtats samt de procedurer och tekniker som använts för att samla in och analysera data. Detta är en viktig del av rapporten och syftar till att ge underlag för att noggrant kunna följa med och återskapa studien om så önskas. Det är även viktigt med transparens i arbetet i syfte att öka trovärdigheten och tillförlitligheten i innehållet och resultaten. Metoderna som används finns därför beskrivna i detalj nedan, tillsammans med förklaringar av de antaganden som görs i rapporten. Tillsammans ger dessa en tydlig bild av hur arbetet har utförts och vilka antaganden som analysen grundar sig på.

3.1 Intervju med Vasakronan

Undersökningen inkluderade en intervju med en respondent från Vasakronan i syfte att klarlägga hur Vasakronan arbetar med elbilsladdning, lastflytt och frekvensreglering idag samt att få svar på oklarheter kring ämnet. Respondenten är chef för teknikutveckling på Vasakronan inom enheten Teknik och Fastighet, därmed hade personen god insikt i många av de tekniska aspekter som var av intresse. Intervjun syftade även till att undersöka Vasakronans inställning till olika lösningar kopplade till kraftsystemet och skapa en förståelse för vilken riktning företaget önskar att ta gällande hållbarhet och teknikutveckling. Intervjun genomfördes på plats i Vasakronans kontor i Stockholm och spelades in för att möjliggöra transkribering och analys.

Då det endast var en intervju som genomfördes i denna studie anpassades intervjuns upplägg så att vi skulle kunna få svar på våra frågor men även utreda eventuella nya funderingar som uppkom under intervjuns gång. Därav valde vi att tillämpa en semistrukturerad intervjuform, där vissa frågor och deras ordningsföljd bestämdes på förhand, medan det lämnades utrymme för följdfrågor och diskussion under själva mötet. Då vi under samtalet fick svar på vissa frågor uppkom ofta nya idéer och ämnen som vi ville få respondentens perspektiv på, vilket gav anledning till att ändra den initiala planen för intervjun. Resultatet av intervjun användes slutligen för att avgöra vilket fokus som den övriga undersökningen skulle ha, exempelvis gällande huruvida dubbelriktad laddning genom vehicle-to-grid-lösningar var aktuellt.

3.2 Litteraturundersökning

En litteraturundersökning genomfördes för att samla tillräckligt med data och bakgrundsinformation för att på ett effektivt och systematiskt sätt undersöka och analysera ämnet. Litteraturundersökningen spelade en viktig roll för att få en bra uppfattning kring nuläget och gav ett ytterligare djup till de behov och problem elnätet har idag. Vidare gav litteraturundersökningen ett systemperspektiv på Sveriges elnät, elpriser, frekvensreglering, kapacitetsbrist, elbilens utveckling, laddstolpar och hur priser varierar med tid och säsong. Det gav en bättre förståelse av hur dessa olika delar påverkar varandra och gav information kring vissa ämnen, såsom frekvensreglering och balansmarknaden för stödtjänster, som tidigare var huvudsakligen okända ämnen för oss. Många andra av samhällsproblemen som finns idag och som presenteras i denna rapport var sedan tidigare kända, men där spelade litteraturundersökningen ytterligare en viktig roll för att ge djup i frågorna. Mycket information krävde datahantering med metoder som presenteras under rubriken 3.3 Dataanalys. Detta gav upphov till viktiga underlag för att genomföra lönsamhetsstudien.

Informationsinhämtningen i litteraturundersökning gjordes huvudsakligen från följande typer av källor:

- Internetkällor - Hemsidor för Vasakronan, elleverantörer, diverse svenska förvaltningsmyndigheter och SCB:s statistikdatabas.
- Studier och tidigare examensarbeten - Detta har gjorts systematiskt genom sökningar på nyckelord i portalerna DiVA och Google Scholar. Sökningarna har gjorts via nyckelorden som listas nedan:
    - Nyckelord:
        - Fastighetsbolag balansmarknad
        - Frekvensreglering
        - Stödtjänster
        - Lastflytt
        - Svenska Kraftnät
        - Vasakronan

3.3 Dataanalys

I litteraturundersökningen samt under intervjun med Vasakronan samlades en mängd data in. Detta var allt ifrån ljudinspelade filer till tekniska faktorer och prisdata för el och stödtjänster under 2023. Denna data analyserades i takt med undersökningens gång, varefter bland annat lönsamhetsstudiens behov styrde hur data analyserades. Materialet från intervjun bestod av en ljudinspelning och anteckningar. I syfte att förenkla hanteringen av det inspelade materialet användes en AI-modell för transkribering, vilket resulterade i en komplett transkription på hela intervjun som sedan analyserades och sammanfattades.

De prisdata som använts för analyser och beräkningar i rapporten inkluderar timvisa elpriser för södra Mellansveriges elområde (SE3) för en månad på vintern (februari) samt en månad på sommaren (juli) 2023. Dessa månader har valts då de kan anses vara representativa för respektive säsong. Dock avsåg vi inledningsvis att använda elprisdata för januari 2023 för vintersäsongen, men då denna månad var väder- och prismässigt avvikande, valdes i stället februari till detta.[6] Dessutom är vissa av priserna angivna i valutan euro (€) som då behövde omvandlas till svenska kronor (SEK) för att användas i lönsamhetsstudien. Den valutakurs som har använts för att konvertera euro till SEK är 11.5 kr/EUR, vilket är årsgenomsnittet för 2023.[7] Orsaken till att elpriser för endast SE3 har använts i analysen är att Vasakronan i dagsläget har fastigheter i Stockholm, Uppsala, Göteborg och Malmö, alltså finns större delen av deras fastigheter i detta elområde.[8] De elpriser som åsyftas i detta fall är spotpriser för el, därmed inkluderas inga tillkommande avgifter såsom elnätsavgift. Dessa avgifter har exkluderats från beräkningarna och undersökningen till följd av att de generellt sett är oberoende av tiden, även om detta kan komma att förändras i framtiden.[9]

Data för elpriser, som är tagen från Vattenfalls hemsida, var till följd av dess begränsade storlek lätthanterlig och har därför bearbetats i Microsoft Excel. Utöver detta har timvisa priser för stödtjänsterna FCR-D Ned, FCR-D Upp och FCR-N under hela år 2023 inhämtats från webbsidan Mimer och sedan analyserats. Detta har gjorts i Python med hjälp av mjukvarubiblioteken Pandas och Matplotlib i syfte att enkelt kunna beräkna och framställa grafer för genomsnittspriser för de olika stödtjänsterna. Resultatet av detta går att se i figur 2–4 samt tabell 2.

3.4 Lönsamhetsstudie

För att utföra en lönsamhetsstudie har det beslutats att det ska utföras beräkningar enligt NPV-metoden (nuvärdesmetoden) samt internräntemetoden (IRR) tillsammans med återbetalningstiden för de grundinvesteringar som krävdes. NPV-metoden bedömer om investeringen är lönsam och internräntan

---

[6] Vattenfall. Elmarknaden just nu: Lägre elpriser i början av 2023. 2023. https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2023/elmarknaden-just-nu-lagre-elpriser-i-borjan-av-2023

[7] Sveriges Riksbank. Sök års- och månadsgenomsnitt valutakurser. 2024. https://www.riksbank.se/sv/statistik/rantor-och-valutakurser/sok-ars--och-manadsgenomsnitt-valutakurser/

[8] Vasakronan. Välkommen till Vasakronan. 2024. https://vasakronan.se/#:~:text=V%C3%A4lkommen%20till%20Vasakronan.&text=Vi%20erbjuder%20attraktiva%20lokaler%20i,%2C%20G%C3%B6teborg%2C%20Malm%C3%B6%20och%20Uppsala

[9] Kraftringen. Elnätsavgifter och villkor. 2024. https://www.kraftringen.se/privat/el/elnatsavgift/

används som ett verktyg för att bedöma hur stark lönsamheten är. Slutligen beräknas återbetalningstiden för de grundinvesteringar som behövs för att påbörja leveransen av stödtjänster. De kassaflöden som använts i dessa beräkningar är stödtjänsternas intäkter, där det antas det att alla FCR-bud som läggs också avropas. Hur dessa lönsamhetsmått beräknas och varför just dessa valdes förklaras nedan.

- NPV-metoden

  NPV-metoden är ett kraftfullt verktyg för finansiell analys och ger underlag för beslutsfattande eftersom det ger en grundlig och kvantitativ bedömning av investeringens lönsamhet. NPV-metoden tar hänsyn till hur pengar och dess värde förändras med tiden, detta görs genom att diskontera framtida kassaflöden till det värdet de har idag. Detta ger en bra helhetsbild av investeringens lönsamhet då framtida kassaflöden kan ha olika värden på grund av ränta och inflation. Är nettonuvärdet positivt kan en slutsats dras om att investeringen är lönsam. Beräkningar kring det första kassaflödet har gjorts och kassaflödet antas vara lika stort 5 år framåt i tiden. Detta ger upphov till en viss osäkerhet i beräkningarna, men de anses ändå vara tillräckliga för att kunna leda till slutsatser kring lönsamheten. Anledningen till valet av att använda samma kassaflöde 5 år framåt är osäkerheten kring framtidens elpriser och priser på stödtjänster. Kassaflödet påverkas av bägge faktorer och med tanke på Sveriges nuvarande energiprofil och utvecklingen till en fossilfri och allt mer väderberoende kraftproduktion så anses detta ha en stor påverkan på elpriser och priset för dessa stödtjänster. Detta skulle i sin tur påverka framtida kassaflöden. Därmed har ett och samma kassaflöde använts i beräkningarna, då det första kassaflödet har beräknats med hög säkerhet och precision med hjälp av insamlad data. Formeln för NPV-metoden presenteras nedan och har beräknats i Microsoft Excel.

$$NPV = \frac{Kassaflöde_1}{(1+r)} + \frac{Kassaflöde_2}{(1+r)^2} + \frac{Kassaflöde_3}{(1+r)^3} + \frac{Kassaflöde_4}{(1+r)^4} + \frac{Kassaflöde_5}{(1+r)^5} - \text{Grundinvestering}$$

Där "r" är diskonteringsräntan, hämtad från Vasakronans senaste årsredovisning

- Internräntemetoden (IRR)

  Internräntemetoden eller IRR är ännu ett kraftigt verktyg för att utföra en finansiell analys vilket ger möjlighet till ett bättre beslutsfattande. Internräntan är den ränta som skulle få en NPV-beräkning att bli noll. Alltså visar IRR vilken diskonteringsränta som behövs för att investeringen varken är lönsam eller inte. Att beräkna internräntan är ett effektivt verktyg, speciellt när det beräknas tillsammans med NPV-metoden. Den visar styrkan hos lönsamheten som fås fram av NPV-metoden. En styrka internräntan har är att formeln saknar behovet av en diskonteringsränta, även om internräntan normalt sett jämförs med denna i syfte att avgöra ifall lönsamhetskraven uppfylls. Således stärker internräntan beslutsfattandet tillsammans med NPV-metoden, särskilt när flera investeringar behöver jämföras med varandra. Överstiger internräntan Vasakronans kapitalkostnad kan investeringen antas vara lönsam. Formeln för internräntan presenteras nedan och beräknades i Microsoft Excel

$$0 = \frac{Kassaflöde_1}{(1+IRR)} + \frac{Kassaflöde_2}{(1+IRR)^2} + \frac{Kassaflöde_3}{(1+IRR)^3} + \frac{Kassaflöde_4}{(1+IRR)^4} + \frac{Kassaflöde_5}{(1+IRR)^5} - \text{Grundinvestering}$$

Där IRR är internräntan som beräknas.

- Återbetalningstid

  Återbetalningstiden är ännu ett viktigt verktyg för att bedöma en investering. Den berättar hur snabbt investeringen betalar av sig själv och kan ge indikationer på risknivån samt kapitalbindningen i investeringen. Ju lägre återbetalningstid, desto snabbare minskar risken för förluster. Återbetalningstid är ett enkelt och effektivt verktyg för investeringskalkyl, särskilt när det används tillsammans med andra verktyg såsom NPV-metoden och IRR.

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{\text{Grundinvestering}}{\text{Årlig intäkt}} \text{ (år)}$$

- Känslighetsanalys

  Förutom ovan nämnda finansiella verktyg utfördes även en känslighetsanalys, något som också är en viktig del av finansiell analys och beslutsfattande. En viktig del av känslighetsanalysen är att identifiera viktiga variabler, i detta fall är det grundinvesteringen samt priser för stödtjänster som har störst påverkan på resultatet av investeringen. Om investeringens NPV är positivt och att IRR är större än kapitalkostnaden är det som tidigare nämnt tecken på att investeringen är lönsam. Dock kan detta snabbt förändras om de kritiska variablerna förändras till det sämre. Känslighetsanalysen är således ett effektivt medel för att svara på "Vad händer om…"-frågor som ställs vid investeringsbeslut och för att öka förberedelserna för olika framtida utfall. I denna rapport behandlar känslighetsanalysen följande frågor:
    - Hur hög måste grundinvesteringen vara för att NPV ska vara 0?
    - Vad händer om priset för FCR-D ned ökar/minskar med 15% respektive 30%

4 Undersökning

4.1 Litteraturundersökning

4.1.1 Efterfrågan på el, kapacitetsbrist & höga elpriser

Idag råder det hög efterfrågan på elektricitet i Sverige. Detta beror på att det just nu pågår en omfattande elektrifiering av samhället genom bland annat elektrifiering av industrier och transportsektorn, vilket görs för att bemöta dagens klimatutmaningar. Företag söker sig även till Sverige för att etablera nya elintensiva verksamheter i syfte att dessa verksamheter ska kunna drivas med fossilfri elektricitet. Även detta ger upphov till en ökad efterfrågan på elektricitet. Sammantaget innebär detta en hög belastning och höga krav på Sveriges elnät, vilket är en av grundorsakerna till den rådande kapacitetsbristen i nätet. Kapacitetsbristen uppkommer då det finns potential att producera tillräckligt mycket el för att bemöta den rådande efterfrågan, men att elektriciteten inte kan levereras från producent till slutanvändare på grund av att elnäten är underdimensionerade. Med andra ord är det "för trångt" i elnätet vid just den tidpunkten.[10] En välkänd och problematisk sådan flaskhals inom det svenska transmissionsnätet finns mellan norra och södra Sverige, där

[10] Vattenfall. Kapacitet och flexibilitet i elnätet. 2024. https://www.vattenfalleldistribution.se/om-elnatet/kapacitet/

Södra Sverige står för den större delen av Sveriges elförbrukning samtidigt som merparten av billig elproduktion återfinns i landets norra delar.[11] Kapacitetsbristen i elnätet resulterar i att elpriserna drivs upp, men kan också leda till att el transmitteras till olika priser i olika delar av landet. Vilket elområde som får billigast elektricitet beror på vilken sida av flaskhalsen de producerande kraftverken befinner sig på.[12] Detta innebär i praktiken ofta att elpriserna är som högst i de södra elprisområdena (SE3 och SE4), där även efterfrågan är som högst.[13]

Som vi tidigare nämnt har elpriset under hösten 2021 och delar av 2022 varit ovanligt högt i Sverige, något som inte endast beror på transmissionsnätets flaskhalsar. De två andra anledningarna är att Sverige ingår i den fria europeiska elmarknaden samt höga priser på fossila bränslen, främst naturgas som används för att producera elektricitet i andra länder. Elhandeln mellan länder gör att elektricitet kan handlas och flödar fritt över gränserna, något som gör att europeiska länder hjälper varandra att transmittera elektricitet till sina länder till rimliga priser. Dock har övriga europeiska länders stora beroende av det dyra fossila bränslet drivit upp efterfrågan på svensk el, och därmed även svenska elpriser.[14]

4.1.2 Frekvensreglering

För att sveriges elnät och elöverföringsystemet ska fungera måste nätets frekvens alltid hållas inom snäva gränser. Elnätet i Sverige och det nordiska kraftsystemet i stort balanseras mot en frekvens på 50 Hz. En grundläggande förutsättning för elförsörjning är att produktion och förbrukning alltid måste vara i balans, annars påverkas frekvensen, vilket kan medföra skada på elektrisk utrustning och risk för strömavbrott. Arbetet för att utveckla frekvensstabiliteten sker gemensamt för hela det nordiska kraftsystemet genom samarbeten med aktörer i branschen och med de andra nordiska systemansvariga för överföringssystemet. Frekvensstabilitet handlar om kraftsystemets förmåga att upprätthålla den frekvensen stabilt på 50 Hz, vilket huvudsakligen påverkas av tre faktorer. Dessa är kraftsystemets egenskaper, tillgängliga stabiliserande resurser samt storleken på den obalans som uppkommer vid störningen. Händelser som kan få elsystemet att hamna ur balans och förlora denna frekvens kan exempelvis vara fel och bortkopplingar av produktion eller förbrukning, eller den naturliga och slumpmässiga variationen som förekommer i produktion och förbrukning.[15]

Kraftsystemets tålighet gällande olika former av störningar bestäms huvudsakligen av mängden rotationsenergi i kraftverkens generatorer. Många kraftverk i Sverige producerar el med så kallade synkrongeneratorer som roterar i samma frekvens som elnätet. Detta innebär att generatorerna har rotationsenergi, vilket medför att om det sker en större störning i elnätet och frekvensen minskar så kommer denna rotationsenergi att utvinnas för att producera mer el och stabilisera frekvensen. Majoriteten av rotationsenergin i det nordiska elnätet finns lagrat i dessa synkronmotorer. Däremot har mängden rotationsenergi i kraftsystemet präglats av en minskande trend de senaste åren, vilket ökar sårbarheten i

---

[11] Svenska Kraftnät. Elområden. 2023
https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/elomraden/
[12] Svenska Kraftnät. Export och import av el. 2022.
https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/export-och-import-av-el/
[13] Statistikmyndigheten, Statistikdatabasen. Elproduktion och elanvändning efter område. Månad 2021M01-2024M02. 2024. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0108__EN0108A/ElEO/
[14]Naturskyddsföreningen. Hur sätts elpriset och varför går det upp?. 2022.
https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/hur-satts-elpriset-och-varfor-ar-det-hogt/
[15] Svenska Kraftnät. Frekvensstabilitet. 2024.
https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-systemansvaret/kraftsystemstabilitet/frekvensstabilitet/

elnätet. Bevarandet av kraftsystemets motståndskraft mot störningar är därför beroende av frekvensreglering.[16]

Frekvensreglering innebär en typ av stödtjänst för elnätet som sker via stabiliserande resurser. Dessa är de automatiska funktioner och stödsystem som ändrar produktion och förbrukning utifrån de förändringar som sker i kraftnätets frekvens. Dessa resurser mäter frekvensen antingen lokalt, eller så får de en extern signal och får i uppgift att agera på avvikelser från den normala frekvensen 50 Hz. Idag finns det sex stabiliserande resurser, dessa är: [17]

- Frekvenshållningsreserv för normaldrift (FCR-N)
- Frekvenshållningsreserv för störning (FCR-D)
- Snabb frekvensreserv (FFR)
- Nödeffekt från likströmsförbindelser (EPC)
- Automatisk förbrukningsfrånkoppling (AFK)
- Effekt från generatorer med begränsar frekvenskänslighetsläge (LFSM)

Vissa av dessa stabiliserande resurser berörs av specifika krav, bland annat är elnäten i södra Sverige skyldiga att ha utrustning för AFK. Däremot är det endast de resurser som handlas på de så kallade balansmarknaderna som är aktuella för aktörer som vill utnyttja sin förbrukning till frekvensreglering. Dessa utgörs av frekvenshållningreserverna (FCR), den snabba frekvensreserven (FFR) samt frekvensåterställningsreserverna (FRR).[18] Dessa förklaras i detalj under delarna 4.1.2.1–4.1.2.4, kravspecifikation för leverantörer av respektive reserv finns i tabell 1.

4.1.2.1 FCR-N

FCR-N står för frekvenshållningsreserv normaldrift och syftar till att automatiskt stabilisera frekvensen vid mindre avvikelser. FCR-N är en symmetrisk produkt som avser både upp- och nedreglering och aktiveras vid avvikelser i intervallet 49.90–50.10 Hz.[19]

4.1.2.2 FCR-D

FCR-D står för frekvenshållningsreserv störning, där det finns två olika sorter som sköter olika typer av avvikelser. Dessa reserver aktiveras automatiskt, där "FCR-D upp" avser uppreglering och aktiveras inom frekvensintervallet 49.50–49.90 Hz och "FCR-D ned" avser nedreglering och aktiveras inom frekvensintervallet 50.10–50.50 Hz.[20,21]

---

[16] Nilsson, Zetterlind. En analys av rotationsenergi från SMR:er. 2023.
https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/d6c50dfa-2f35-4daf-aa09-1f53907473ae/content
[17] Svenska Kraftnät. Frekvensstabilitet. 2024.
https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-systemansvaret/kraftsystemstabilitet/frekvensstabilitet/
[18] Svenska Kraftnät. Stödtjänster och avhjälpande åtgärder. 2023.
https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-systemansvaret/verktyg-for-systemdrift/stodtjanster-och-avhjalpande-atgarder/
[19] Svenska Kraftnät. Frekvenshållningsreserv normaldrift (FCR-N). 2024.
https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/fcr-n/
[20] Svenska Kraftnät. Frekvenshållningsreserv störning nedreglering (FCR-D ned). 2024
https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/fcr-d-ned/
[21] Svenska Kraftnät. Frekvenshållningsreserv störning uppreglering (FCR-D upp). 2024.
https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/fcr-d-upp/

4.1.2.3 FFR

FFR är en snabb frekvensreserv och är en så kallad avhjälpande åtgärd. Syftet med dessa snabba frekvensreserver är att skapa de rätta förutsättningarna för att hantera de inledningsvis snabba och djupa (transienta) frekvensförändringarna. Dessa förändringar kan uppstå vid fel i det nordiska kraftsystemet och då systemet lider av låga nivåer av rotationsenergi.[22]

4.1.2.4 aFRR & mFRR

Det finns två frekvensåterställningsreserver, aFRR och mFRR, som står för automatisk frekvensåterställningsreserv respektive manuell frekvensåterställningsreserv. Den automatiska frekvensåterställningsreserven är en stödtjänst som återställer frekvensen till 50 Hz. Detta görs genom en kontrollsignal som skickas när frekvensen avviker från 50 Hz. Den manuella frekvensåterställningsreserven är en stödtjänst som avlastar de automatiska stödtjänsterna och återställer frekvensen till 50 Hz. Detta görs manuellt efter begäran från Svenska Kraftnät.[23, 24]

[22] Svenska Kraftnät. Snabb frekvensreserv (FFR). 2023. https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/ffr/
[23] Svenska Kraftnät. Manuell frekvensåterställningsreserv (mFRR). 2024. https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/mfrr/
[24] Svenska Kraftnät. Automatisk frekvensåterställningsreserv (aFRR). 2024. https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/afrr/

Tabell 1: Stödtjänster som kan levereras till balansmarknaden samt de krav som finns för respektive tjänst.[25]

Avhjälpande åtgärd	**Frekvenshållningsreserver**			**Frekvensåterställningsreserver**	
FFR	**FCR-D upp**	**FCR-D ned**	**FCR-N**	**aFRR**	**mFRR**
Snabb frekvensreserv	Frekvenshållning-sreserv	Frekvenshållnings-reserv	Frekvenshållnin-gsreserv	Automatisk Frekvensåterst-ällningsreserv	Manuell Frekvensåterställn-ingsreserv
	-Störning uppreglering	-Störning nedreglering	-Normaldrift		
Uppreglering	Uppreglering	Nedreglering	Symmetrisk upp- och nedreglering	Upp- och/eller nedreglering	Upp- och/eller nedreglering
Minsta budstorlek	**Minsta budstorlek**	**Minsta budstorlek**	**Minsta budstorlek**	**Minsta budstorlek**	**Minsta budstorlek**
0.1 MW	0.1 MW	0.1 MW	0.1 MW	1 MW	Kapacitetsmarknad 1 MW
					Energiaktiveringsm arknad: 5 MW
Aktivering	**Aktivering**	**Aktivering**	**Aktivering**	**Aktivering**	**Aktivering**
Automatisk vid frekvensförändringar vid låg nivå av rotationsenergi	Automatisk linjär aktivering inom frekvensintervallet 49.90 - 49.50 Hz	Automatisk linjär aktivering inom frekvensintervallet 50.10-50.50 Hz	Automatisk linjär aktivering inom frekvensintervalle t 49.90-50.10 Hz	Automatiskt vid frekvensavvikel se från 50.00 Hz	Manuellt på begäran av Svenska Kraftnät
Volymkrav för Sverige	**Volymkrav för Sverige**	**Volymkrav för Sverige**	**Volymkrav för Sverige**	**Volymkrav för Sverige**	**Volymkrav för Sverige**
Upp till ca 100 MW	Upp till 567 MW	Upp till 547 MW	235 MW	Upp till 111 MW	Kapacitetsmarknad : Upp till 300 MW
					Energiaktiveringsm arknad: Inga volymkrav
Uthållighet	**Uthållighet**	**Uthållighet**	**Uthållighet**	**Uthållighet**	**Uthållighet**
Uthållighet: 30 sek alternativ 5 sek	Minst 20 minuter	Minst 20 Minuter	1h	1h	1h
Repeterbarhet: Redo för aktivering inom 15 minuter					

[25] Svenska Kraftnät. Översiktlig kravbild för reserver. 2024. https://www.svk.se/siteassets/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/oversiktlig-kravbild-for-reserver-maj-2024.pdf

4.1.2.5 Aktivering av resurser

Beroende på störningens storlek aktiveras olika stödtjänster. Vid mindre störningar, eller störningar som är lika med det dimensionerande felet, aktiveras frekvenshållningsreserverna och i vissa fall även den snabba frekvensreserven samt nödeffekt från likströmsförbindelser. Sedan kan frekvensen återställas manuellt till samma nivå som innan störningen inträffade med hjälp av frekvensåterställningsreserver. Vid en större störning som är större än det dimensionerande felet aktiveras allt mer kraftfulla stödtjänster. Dessa innefattar bland annat effekt från generatorer med begränsat frekvenskänslighetsläge. Om frekvensen faller från 50 Hz till under 48.8 Hz aktiveras automatisk förbrukningsfrånkoppling som successivt kopplar bort förbrukning. Hur mycket som kopplas bort beror på frekvensavvikelsen. Syftet med att ta mer drastiska åtgärder som förbrukningsfrånkoppling är att på ett kontrollerat sätt rädda kraftsystemet från total kollaps.[26]

Storlekarna på frekvensavvikelser skiljer sig, vissa avvikelser är större än andra, vilket beror på vad som orsakat avvikelsen. Mindre obalanser karaktäriseras av de konstanta variationerna i produktion respektive förbrukning. Detta samarbete mellan produktion och förbrukning ger upphov till konstanta små obalanser som balanseras med de stabiliserande resurserna. En större variation mellan produktion och förbrukning leder till en större frekvensavvikelse där ytterligare stödtjänster behövs för att återigen balansera nätet. Större obalanser uppkommer vid plötsliga händelser som har större effekt på nätet. Detta kan vara en plötslig bortkoppling av överföring, produktion eller förbrukning på grund av tekniska fel. Detta kräver i sin tur allt mer allvarliga stödtjänster, där de stabiliserande reserverna dimensioneras efter den största obalansen. Det innebär den obalansen som uppkommer vid bortkoppling av den största enskilda produktionsanläggningen, förbränningsanläggningen eller överföringslänken som är uppkopplad till systemet. Detta kallas det dimensionerande felet eller N-1-kriteriet.[27]

De olika stödtjänsterna inom frekvensreglering har alltså betydliga skillnader i såväl syfte som funktion och kravspecifikation. I tabell 1 förklaras de flesta av dessa skillnader, däremot ingår inte kraven för aktiveringstid i denna tabell. Aktiveringstiden innebär det tidskrav inom vilket resursen som levererar stödtjänsten ska vara kapabel att reglera effekten, det vill säga bidra med den frekvensreglering som det avropade budet specificerar. Aktiveringstiden skiljer sig mellan de olika stödtjänsterna, där den snabba frekvensreserven (FFR) har mycket kort aktiveringstid (tre alternativ mellan 0.7–1.3 sekunder för 100%), medan FRR-tjänsterna har mycket längre tidskrav (100% inom 5 respektive 15 minuter för aFRR och mFRR).[28] Dessa stora skillnader härstammar från de olika behov som stödtjänsterna möter, då FFR bidrar till att med kort varsel stabilisera frekvensen under kortare tidsperioder, samtidigt som FRR ska ha kapacitet att återställa frekvensen till normalläget med längre uthållighetstider. Kraven på aktiveringstid för FCR skiljer sig från de övriga stödtjänsterna genom att dessa i stället beskrivs av diverse ekvationer i ett separat dokument. I detta tydliggörs att kravet för FCR-D är 86% aktivering inom 7.5 sekunder.[29] Däremot finns det i dagsläget tvetydig

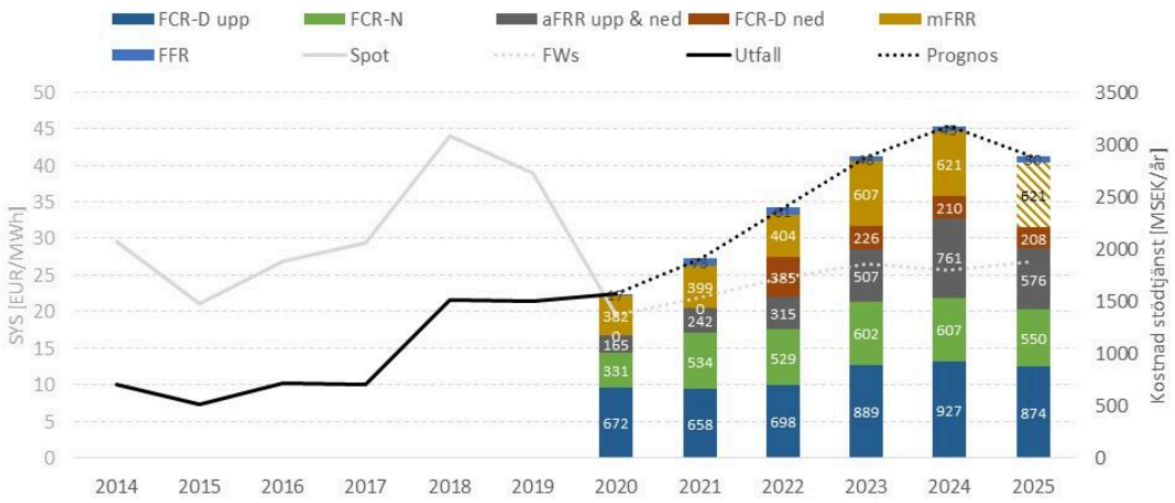
---

[26] Svenska Kraftnät. Frekvensstabilitet. 2024.
https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-systemansvaret/kraftsystemstabilitet/frekvensstabilitet/
[27] Ibid.
[28] Svenska Kraftnät. Översiktlig kravbild för reserver. 2024
https://www.svk.se/siteassets/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/oversiktlig-kravbild-for-reserver-maj-2024.pdf
[29] European Network of Transmission System Operators for Electricity (entsoe). Technical Requirements for Frequency Containment Reserve Provision in the Nordic Synchronous Area. 2023.
https://www.svk.se/siteassets/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/fcr/fcr-technical-requirements-may-23.pdf

information på Svenska Kraftnäts webbsida gällande vilken aktiveringstid som gäller för FCR-N, men tidigare krav har inneburit längre aktiveringstid än för FCR-D.[30, 31, 32]

4.1.2.6 Marknaden för frekvensreglering

Förändringen av Sveriges kraftsystem till en alltmer väderberoende elproduktion och en mindre andel planerbar elproduktion medför utmaningar för att upprätthålla en god balans mellan produktion och förbrukning i elsystemet. Detta har i sin tur förändrat behovet av stödtjänster, något som visas på marknaden för stödtjänster, en marknad som Svenska Kraftnät ansvarar för att säkerställa. Det finns goda skäl för företag att bli leverantörer av stödtjänster och ta del av denna marknad, om de har förmågan till det. Det kan hjälpa företag ekonomiskt, då stödtjänster kan vara en källa till intäkter med en låg insats eller kostnad. Dessutom kan företag då få möjlighet att bidra till energiomställningen. Om antalet leverantörer av stödtjänster ökar, så ökar då också förutsättningarna för Sverige att fortsätta bygga ut väderberoende och förnybar elproduktion. Stödtjänster kan exempelvis tillhandahållas av produktionsanläggningar eller anläggningar som kan anpassa sin elförbrukning. I Vasakronans fall kan företaget bli leverantör för stödtjänster genom att anpassa elförbrukningen i deras fastigheter.[33, 34]



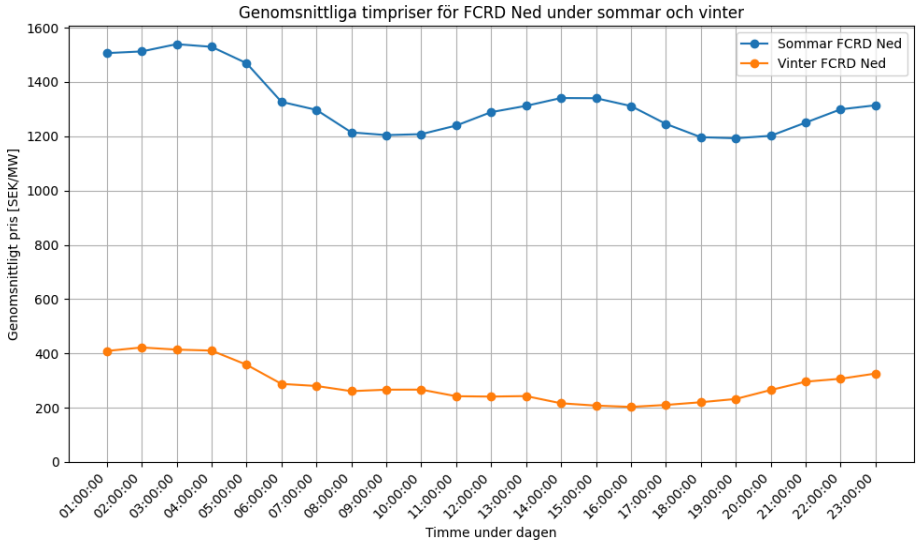
Figur 1. Storleken på marknaden för olika stödtjänster.[35]

[30] Svenska Kraftnät. Om olika reserver. 2024.
https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/
[31] Svenska Kraftnät. Frekvenshållningsreserv normaldrift (FCR-N). 2024.
https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/fcr-n/
[32] Halberg, C & Wållberg, I. Tekniska och ekonomiska möjligheter för fastighetsbolag att ansluta till Svenska Kraftnäts balansmarknad, En lönsamhetsstudie för fastighetsbolag att leverera stödtjänster till kraftsystemet. Examensarbete, Uppsala Universitet. 2022. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1710858/FULLTEXT01.pdf
[33] Svenska Kraftnät. Marknaden för stödtjänster till kraftsystemet växer kraftigt. 2021.
https://www.svk.se/press-och-nyheter/press/marknaden-for-stodtjanster-till-kraftsystemet-vaxer-kraftigt---3292104/
[34] Svenska Kraftnät. Balansmarknaden. 2022.
https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/balansmarknaden/
[35] Svenska Kraftnät. Marknaden för stödtjänster till kraftsystemet växer kraftigt. 2021.
https://www.svk.se/press-och-nyheter/press/marknaden-for-stodtjanster-till-kraftsystemet-vaxer-kraftigt---3292104/

Vilken stödtjänst som handlas bestämmer i sin tur vilken marknad den handlas på och vilken tidpunkt upphandlingen sker. Reserverna som består utav FCR-N, FCR-D upp samt FCR-D ned upphandlas under två upphandlingar som kompletterar varandra. Detta görs en dag innan drift och betecknas (D-1), där majoriteten av FCR-reserverna upphandlas under den första upphandlingen. Dessa reserver, tillsammans med aFRR som också upphandlas D-1, upphandlas på en kapacitetsmarknad.[36] Handeln på marknaderna för FCR-N och FCR-D ändrades dessutom till marginalprissättning i februari 2024.[37]

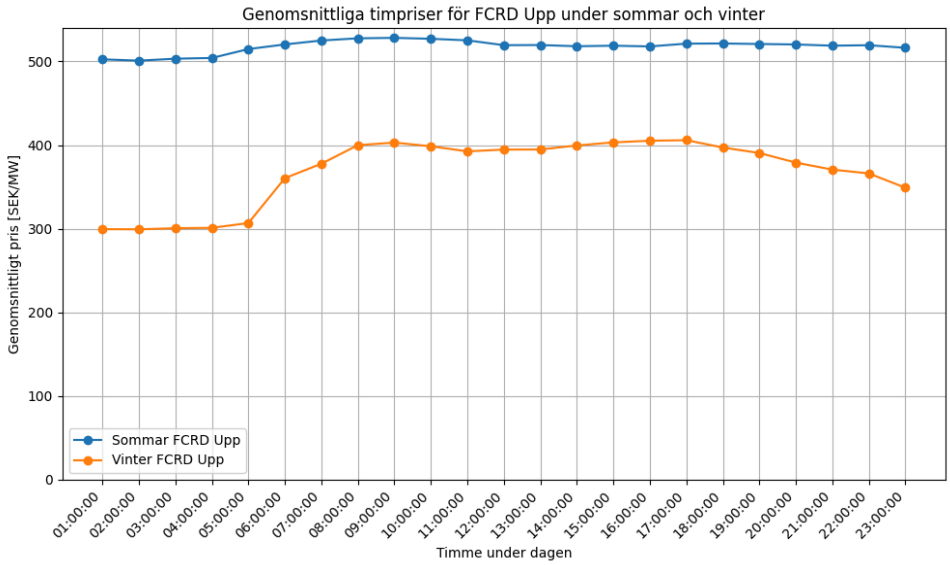
Upphandlingen för mFRR skiljer sig något från upphandlingen för resterande stödtjänster. Den sker både på kapacitetsmarknaden och energiaktiveringsmarknaden. Kapacitetsmarknaden för mFRR upphandlas D-1 medan energibud för mFRR avropas under drifttimmen där det finns ett behov, då behöver budet lämnas in senast 45 minuter innan drifttimmen. Har ett bud skett på kapacitetsmarknaden så innebär detta ett åtagande och att det förväntas att det lämnas ett bud på energiaktiveringsmarknaden. Den återstående reserven, FFR, upphandlas på årsbasis, där avrop sker två gånger i veckan (måndag och fredag).[38]

Priserna för respektive stödtjänst varierar i stor utsträckning, delvis beroende på tid och årstid, men även mellan de olika stödtjänsterna i sig. Genomsnittliga priser varje timme på dygnet för FCR-D ned och FCR-D upp visas i figur 2 och figur 3 nedan, samt för FCR-N i figur 4. Dessa priser är beräknade utifrån prisdata för år 2023 och är vidare indelade i de två säsongerna "Sommar" och "Vinter", vilka representerar varsitt halvår. Sommarhalvåret har i detta fall räknats som perioden mellan 2023-04-15 till 2023-10-15, medan vinterhalvåret utgörs av början och slutet av året, specifikt perioderna 2023-01-01 till 2023-04-14 samt 2023-10-16 till 2023-12-31. Timpriserna motsvarar medelvärdet för alla priser under säsongen för respektive timme. Graferna i figur 2–4 visar således en approximation av hur en genomsnittsdag kan se ut prismässigt under de två olika säsongerna.

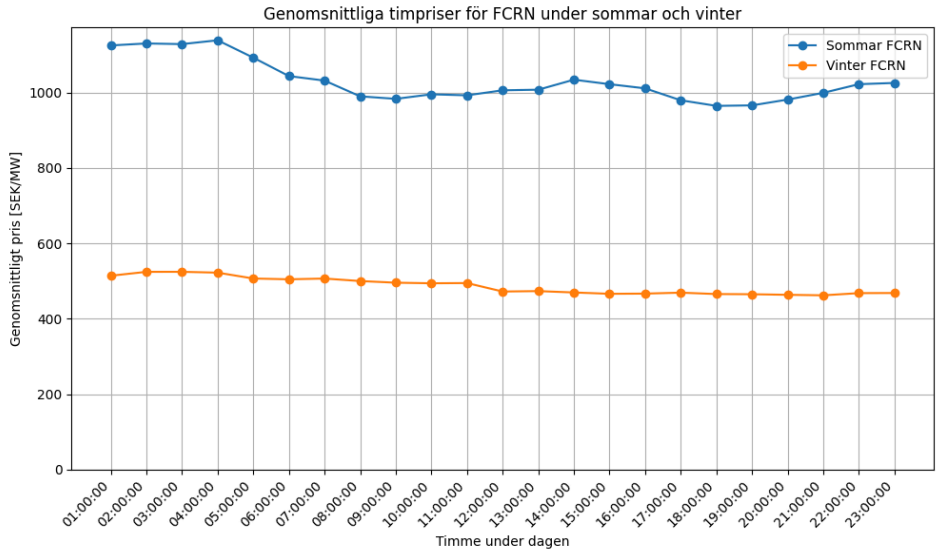


[36] Svenska Kraftnät. Handel och prissättning. 2024. https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/handel-prissattning/
[37] Halberg, C & Wållberg, I. Tekniska och ekonomiska möjligheter för fastighetsbolag att ansluta till Svenska Kraftnäts balansmarknad, En lönsamhetsstudie för fastighetsbolag att leverera stödtjänster till kraftsystemet. Examensarbete, Uppsala Universitet. 2022. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1710858/FULLTEXT01.pdf
[38] Svenska Kraftnät. Handel och prissättning. 2024. https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/handel-prissattning/

Figur 2: Diagram med grafer för genomsnittspriser för FCR-D Ned under sommar- (blå) och vinterhalvåret (orange).[39]



Figur 3: Diagram med grafer för genomsnittspriser för FCR-D Upp under sommar- (blå) och vinterhalvåret (orange).[40]



Figur 4: Diagram med grafer för genomsnittspriser för FCR-N under sommar- (blå) och vinterhalvåret (orange).[41]

I figurerna 2–4 framkommer det att det finns tydliga skillnader i priset mellan såväl sommar- och vinterhalvåret för samtliga FCR-tjänster. Genomgående för alla tre alternativ är att genomsnittspriserna är betydligt lägre under vinter för alla timmar på dygnet. Vidare tydliggörs att det finns tidstrender i priset som varierar under dagens lopp. För FCR-D Ned innebär det att priset är som högst under tidig morgon (från

[39] Mimer. Statistik – FCR. 2024. https://mimer.svk.se/Primaryregulation/HistoryIndex2023
[40] Ibid.
[41] Ibid.

midnatt till ca 06:00), varefter priset minskar. Statistiken skiljer sig här ytterligare emellan sommar- och vintersäsongen då priset för FCR-D Ned har en topp mitt på dagen på sommaren, medan vintersäsongen saknar denna trend. Denna trend återfinns även för priskurvan för FCR-N under sommaren, medan grafen för FCR-D Upp avviker i detta avseende. Stödtjänsten FCR-D Upp har, bortsett från att skillnaderna mellan säsongerna är generellt mindre, en pristrend som är som högst mitt på dagen, samt större varians under vinterhalvåret. Dessa skillnader och pristrenders utformning beror i hög grad på stödtjänstens syfte och funktion, exempelvis är det tydligt i figur 2 att priset för FCR-D ned är som lägst när effektförbrukningen i figur 8 och elpriset i figur 7 är som högst. Detta har sannolikt sin orsak i att under dessa högbelastningstimmar finns det mindre behov av att nedreglera frekvensen. En tolkning av figur 2–4 är i detta fall att priset för nedreglering i viss mån följer en motsatt trend än uppregleringspriset.

4.1.3 Elbilens utveckling och framtidsutsikter för elbilsmarknaden

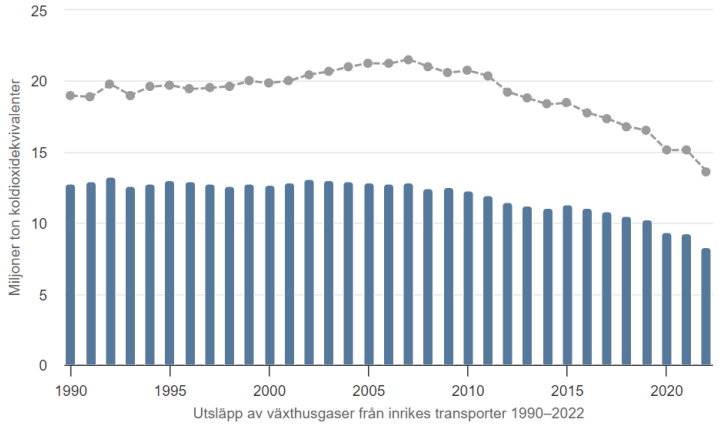
Elbilar kan idag ses som de nya och trendiga fordonen på våra vägar, även om den första bilen någonsin var en elbil som togs fram för över 200 år sedan under 1800-talet. Under sekelskiftet 1800 till 1900 var elbilen framgångsrik, men den möttes snart av hård konkurrens från bilar med förbränningsmotorer. Ett par år senare, 1911 kom en ny och konkurrenskraftig uppfinning till förbränningsmotorn, nämligen en elektrisk startare. Detta, tillsammans med att elbilen på den tiden hade kort räckvidd och dyra batterier, resulterade i att elbilen fick en marginaliserad existens. Senare i tid, vid mitten 1990-talet och tidigt in på 2000-talet började alltfler aktörer, såsom Toyota, Nissan och Chevrolet, att utveckla nya elbilar. Nästa aktör på marknaden omformade hela den elektriska fordonsindustrin, den aktören var Tesla Motors.[42]

Elbilar utgör idag en snabbt växande marknad och ses bland annat som en nyckel i skiftet till fossilfri vägtransport.[43] Antalet sålda eldrivna fordon översteg 10 miljoner år 2022, vilket motsvarar ca 14% av den totala bilförsäljningen. Tillväxten förväntas fortsätta även i framtiden, med uppskattningar på att elbilsförsäljningens andel kommer att öka till 38% år 2030 och 60% år 2035.[44] I Sverige har denna utveckling redan hunnit långt, då elbilar utgjorde 32% av alla nyregistrerade bilar år 2022.[45] En trolig orsak till denna trend och elbilarnas ökande popularitet de senaste åren är den tekniska utvecklingen av elbilsbatterier, vilket har medfört att prestandan förbättrats samt att priserna halverats.[46] Elbilarnas funktionalitet och nyttjandepotential har således kraftigt förbättrats under en förhållandevis kort period.

Det finns en rad fördelar med att köpa och köra en elbil. Bland annat accelererar de snabbare, de är tystare och har en högre verkningsgrad. Elektricitet som drivmedel kan idag vara billigare, vilket betyder att elbilen kan vara billigare att köra. Något som också är billigare är elbilens underhåll och servicekostnad då de har cirka 30% färre rörliga delar än vad en fossildriven bil har. En stor fördel som inte har med plånboken eller upplevelsen att göra är elbilens påverkan på klimatet. De har inga avgasutsläpp vid körning och har åtminstone i Sverige mindre utsläpp över bilens livscykel, även om man räknar med utsläppen kopplade till

[42] Vattenfall. Elbilens historia och utveckling. 2022. https://energyplaza.vattenfall.se/blogg/elbilens-historia-och-utveckling
[43] International Energy Agency. Electric Vehicles. 2023. https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles
[44] Bain & Company. Electric Vehicles. 2024. https://www.bain.com/insights/topics/electric-vehicles/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw26KxBhBDEiwAu6KXtzdoAS-YMtfTB03bVuhfMiSDjrnCc5VycKY1tKFtUHNGFcZP26asTBoCd1IQAvD_BwE
[45] Statistikmyndigheten. Tredubbling av elbilar på två år. 2023. https://www.scb.se/hitta-statistik/redaktionellt/tredubbling-av-elbilar-pa-tva-ar2/
[46] Vattenfall. Elbilens historia och utveckling. 2022. https://energyplaza.vattenfall.se/blogg/elbilens-historia-och-utveckling

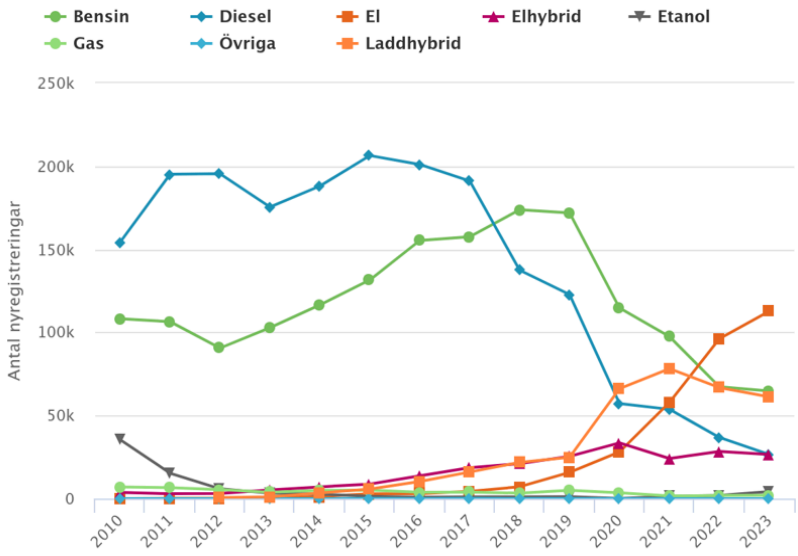
bilens produktion.[47] Ökar mängden elbilar på våra vägar kan detta ha verkliga och positiva effekter på utsläppen av växthusgaser, där personbilar står för en större del, se figur 5 nedan. Denna positiva inverkan på klimatet kan leda till subventioner vid köp av elbilar, vilket tillsammans med de övriga fördelarna kan få efterfrågan på elbilar att öka. Detta kan emellertid leda till en ökad grad av elbilar i Sveriges fordonsflotta och en större potential att nyttja de lösningar som denna rapport avser att undersöka.



Figur 5: Utsläpp av växthusgaser för personbilar (blå staplar) jämfört med totala mängden utsläpp från inrikes transporter (grå linje).[48]

Alla dessa fördelar med elbilar kommer, tillsammans med effekten av att ett antal stora aktörer såsom Volvo och Volkswagen lovar att skifta till ett helt elektrifierat utbud 2030 respektive 2033, leda till att antalet elbilar på våra vägar ökar.[49, 50] Figur 6 nedan visar att antalet nyregistrerade elbilar och laddhybrider ökar redan idag och har ökat sedan ett par år tillbaka jämfört med bilar som drivs av fossila drivmedel. Elbilens fördelar och den elektrifierade fordonsmarknadens utveckling säkerställer således att mängden elbilar kommer att öka ännu mer i framtiden. Så länge de ekonomiska incitamenten finns, kommer Sverige kunna dra nytta av denna ökning av elbilar för att effektivisera elnätet genom lastbalansering och sänkningar av effekttoppar.

[47] Bilbolaget. Fakta om elbilar 2024: Många fördelar och få nackdelar. 2024.
https://bilbolaget.nu/artiklar/fordelar-med-elbilar/
[48]Naturvårdsverket. Inrikes transporter, utsläpp av växthusgaser. 2023.
https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/
[49] Volvo. Volvo Cars ska vara helt elektriskt 2030. 2021
https://www.media.volvocars.com/se/sv-se/media/pressreleases/277409/volvo-cars-ska-vara-helt-elektriskt-senast-2030
[50] Reuters, Victoria Waldersee. Volkswagen brand will only produce electric cars in Europe from 2033-branch chief. 2023
https://www.reuters.com/business/autos-transportation/volkswagen-brand-will-be-electric-only-carmaker-europe-2033-brand-chief-2022-10-26/



Figur 6: Antalet nyregistrerade bilar per år och drivmedel.[51]

4.1.4 Laddstolpen

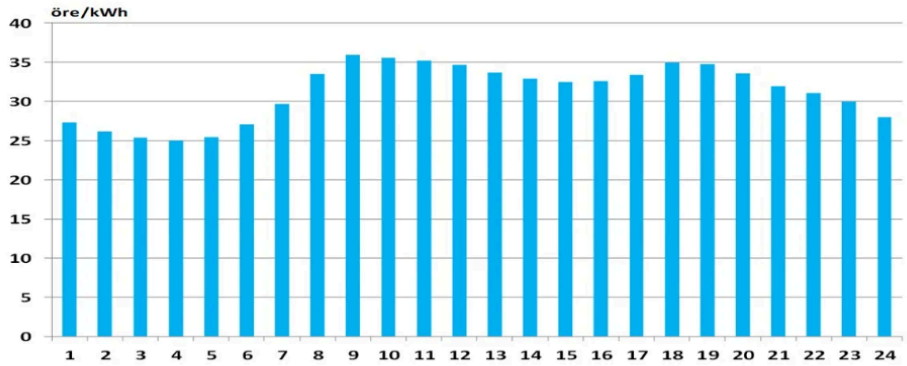
En laddstolpe är en anordning som överför elektricitet till eldrivna fordon genom att ladda deras batterier. De flesta laddstolparna har idag en maxeffekt på ett par tiotals kilowatt. Laddstolpar är nödvändiga för att elbilar ska kunna användas på ett praktiskt och smidigt sätt. Laddning med laddstolpe förutsätter dock att bilägaren har möjlighet att parkera bilen under en längre period för att laddningen ska kunna ske. Vanligtvis sker detta under natten, då bilägare kan ladda via antingen privata eller via publika laddstolpar. Det är dock även vanligt att laddstolpar installeras på många arbetsplatser, vilket möjliggör för de anställda att ladda under arbetstid.

De publika och icke-publika laddstolpar som finns i laddstationer utgör Sveriges laddinfrastruktur. Sverige har idag över 4 717 laddstationer och drygt 34 529 laddningspunkter för elbilar. Med den ökande trenden för elbilar behöver i sin tur också laddinfrastrukturen vara välfungerande och ständigt utvecklas för att bemöta den ökande efterfrågan. Icke-publika laddstationer innefattar laddstationer som är placerade vid bostäder eller arbetsplatser och används framförallt av boende eller anställda. Däremot är publika laddstationer tillgängliga för alla att använda och återfinns exempelvis vid landsvägar, parkeringshus eller köpcentrum. Att ha publika laddstationer är av yttersta vikt för att nå en hållbar laddinfrastruktur, en högre andel laddfordon, skapa förtroende för dessa laddfordon, samt att främja god rörlighet. Dessa laddstolpar kan ha två typer av laddeffekter: normalladdning och snabbladdning. Normalladdning innebär en laddeffekt på mindre än 22 kW, medan snabbladdning innebär en laddeffekt på över 22 kW.[52]

[51] Trafikanalys. Gör ditt eget statistikurval, fordon på väg. 2024.
https://www.trafa.se/vagtrafik/fordon/?cw=1&q=t10026|ar|nyregunder|drivmedel~barchart:line,,0,0,0,1
[52] Energimyndigheten. Laddinfrastruktur i Sverige. 2024
https://www.energimyndigheten.se/klimat/transporter/laddinfrastruktur/laddinfrastruktur-i-sverige/?_t_id=zkt-Pee9yAOMNwukve2SiQ%3d%3d&_t_uuid=bKG5ngbaQyCV5gLa6Ko6_g&_t_q=laddinfrastruktur&_t_tags=language%3asv%2candquerymatch&_t_hit.id=Energimyndigheten_Content_Pages_SubStartPage/__df576767-cc34-48ee-b472-f0d77b57ab63_sv&_t_hit.pos=2

4.1.5 Efterfrågan på el och timpriser under dygnet

Priset på el styrs av tillgång och efterfrågan, något som varierar under dygnet. En hög efterfrågan på elektricitet, alltså att elförbrukningen är hög, leder till ett högre elpris, samtidigt som en lägre efterfrågan och en lägre elförbrukning leder till ett lägre elpris. Generellt är priset högt och förbrukningen stor på morgonen, då många gör sig i ordning för dagen, och runt middagstid då alla kommer hem igen. Elen är ofta billigare under sena kvällar och nätter då elförbrukningen inom såväl industri, arbetsplatser och hushåll, är mindre. Många av dessa industrier och arbetsplatser är emellertid stängda under helgen, vilket leder till ett billigare elpris och en lägre förbrukning.[53] Vidare om hur förbrukning och elpris varierar under dygnets alla timmar kan ses i figurerna 7 och 8.



Figur 7: Genomsnittligt timpris 1996-2021 elområde Stockholm (Elområde 3).[54]

Det finns andra faktorer utöver de nämnda ovan som kan ha en stor inverkan på elpriset. I Sverige påverkas elpriset av vattentillgången i den nordiska vattenkraften, kärnkraftsproduktionen samt väderförhållanden såsom temperatur och vind. Som tidigare nämnt är Sverige också ett land som både exporterar och importerar el från andra länder i Europa. Därmed påverkas också elpriserna av omkringliggande länder såsom Tyskland och Danmark. Till följd av att dessa länders energimix har annorlunda källor fås även en inverkan på elpriset i Sverige av världskonjunkturen samt globala priser på fossila bränslen. Elhandeln med andra länder får även olika effekt på de olika elområdena, där SE3 och SE4 får ett starkare beroende av priset i övriga Europa till följd av deras geografiska läge, vilket kan ses i figur 9. Detta innebär att de sydligare delarna av landet får elpriser som korrelerar starkare med priset på bland annat olja och gas, vilket är upphovet till de extrema elpriser som uppnåddes år 2022, med uppemot 4 kr/kWh i SE4.[55, 56]

[53] Vattenfall. När är elen billigast på dygnet?. 2022
https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/nar-ar-elen-billigast/
[54] Energiföretagen. Statistik visar minskad och flyttad elanvändning i Sverige.2022
https://www.energiforetagen.se/pressrum/nyheter/2022/november/statistik-visar-minskad-och-flyttad-elanvandning-i-sverige/
[55] Vattenfall. När är elen billigast på dygnet?. 2022.
https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/nar-ar-elen-billigast/
[56] Energiföretagen. Energiföretagen förklarar: Elområden och elpriset. 2023
https://www.energiforetagen.se/pressrum/nyheter/2022/augusti/energiforetagen-forklarar-elomraden-och-elpriset/

Figur 8: Total elanvändning, 2022-2021, timfördelad.[57]

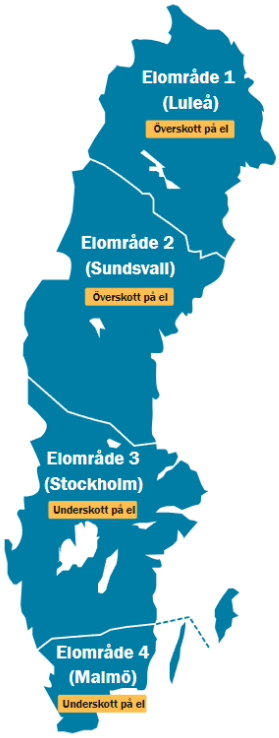
Dessa mönster i förbrukningen och de andra faktorer som påverkar utbudet av el ger sedan grunden till de auktioner som sker på den nordiska elbörsen Nord Pool. I Sverige sätts elpriset varje timme, beroende på vilket utbud av el som finns, vilken efterfrågan som finns och hur mycket överföringskapacitet som finns tillgängligt. Säljare och köpare av el möts på börsen i en rad auktioner, där elpriset för varje timme bestäms för det kommande dygnet.[58]

För att genomföra en lönsamhetsanalys behövdes historiska elpriser. Som tidigare nämnt påverkas elpriset av en rad olika faktorer, bland annat temperatur. Därav togs medelvärdet av varje timme mellan klockan 07:00 på morgonen till och med 17:00 på eftermiddagen för en månad under sommaren respektive en månad under vintern i fjol. I tabellen ser vi en skillnad i pris mellan dessa två årstider och priserna anses vara tillräckligt representativa för att utföra en lönsamhetsanalys för lastflytt respektive frekvensreglering. Dessa värden är givna av energiföretaget Vattenfall. Notera att alla timmar på dygnet inte ingår i tabellen. Detta är avsiktligt då lönsamhetsanalysen avser att undersöka lastflytt och frekvensreglering under normala arbetstider, vilket anses vara mellan 07:00-17:00.

[57] Ibid.
[58] Svenska Kraftnät. Hur sätts elpriset och vad är ett priskryss?.2023
https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-systemansvaret/verktyg-for-systemdrift/forbrukningsfrankoppling/sa-har-funkar-frankoppling-om-elen-inte-racker-till/hur-satts-elpriset-och-vad-ar-ett-priskryss/

Tabell 2: Spotpriser juli 2023, februari 2023.[59]

Timme	Spotpriser Sommar Juli 2023 SE3 (Öre/kWh)	Spotpriser Vinter Februari 2023 SE3 (Öre/kWh)
07:00	43.20	99.96
08:00	45.22	114.03
09:00	42.55	109.52
10:00	39.36	101.38
11:00	36.09	94.45
12:00	32.87	89.19
13:00	29.43	85.34
14:00	28.16	82.03
15:00	31.11	86.36
16:00	36.00	97.14
17:00	42.11	111.32



Figur 9: Sverige indelat i fyra elområden.[60]

[59] Vattenfall. Elavtal med timpris. 2024. https://www.vattenfall.se/elavtal/elpriser/timpris/
[60] Energimarknadsinspektionen. Elområden. 2021. https://ei.se/konsument/el/elmarknaden/elomrade

4.2 Intervjuresultat Vasakronan

Intervjun med Vasakronan genomfördes tillsammans med deras chef för teknikutveckling och syftade till att erhålla en djupare förståelse för fastighetsbranschen. Respondenten berättade om Vasakronans inställning gentemot frekvensreglering genom stödtjänster och lastflytt, om Vasakronans laddinfrastruktur idag och eventuella framtidslösningar för elnätet såsom V2G (vehicle-to-grid). Intervjuns resultat och informationen som erhölls sammanställs nedan.

Det sker ingen storskalig lastflytt eller frekvensreglering med hjälp av laddstolpar på Vasakronan idag. Vasakronans fastigheter används inte heller för frekvensreglering i dagsläget, bland annat är detta på grund av byggnaderna är så pass energieffektiva att det blir svårt att frigöra effekt till frekvensreglering. Även om Vasakronan idag inte aktivt levererar stödtjänster med hjälp av laddstolpar så undersöker de numera möjligheterna kring det. Respondenten tog upp att det idag bedöms finnas begränsningar till följd av att tidskraven för frekvensreglering blir svåra att uppnå med den nuvarande kommunikationskedjan för styrsignaler. Vasakronans styrsystem för fastigheten måste kommunicera med laddstolpen som sedan behöver kommunicera med bilen innan laddningseffekten kan ändras. Tiden denna kommunikation tar behöver fastställas för att kunna avgöra vilka stödtjänster som kan levereras. Respondenten förklarade att lösningen på problemet med långa kommunikationstider inte enbart beror på systemet Proptech OS (API som Vasakronan använder), men även på bilarnas teknik och system.

Frekvensreglering sker idag på Vasakronan genom Magasin X, vilket är en batterianläggning i Uppsala på 200 kWh som köptes av företaget år 2022. Denna anläggning används idag för att leverera till Svenska Kraftnäts balansmarknad genom FCR-D upp/ned året om samt med FFR under sommaren. Praktiskt fungerar detta genom att batterierna är laddade till hälften av sin totala kapacitet, varefter Vasakronan är beredda på att antingen ladda upp eller ladda ur batteriet och leverera ström till elnätet beroende på rådande frekvensavvikelse. Batteriet är automatiserat och styrs enligt ett tidsschema med de tider då Vasakronan är beredda att leverera stödtjänster. Detta innebär en nästan omedelbar responstid när frekvensen skiftar från 50 Hz, vilket möjliggör leverans av stödtjänsten FFR med dess korta aktiveringstid. Vidare mäts batteriets livslängd i laddningscykler och till följd av att batteriet inte fullt laddas upp eller ur fås ett mindre slitage. Investeringskostnaden för anläggningen var enligt respondenten ungefär 1.2–1.3 miljoner kronor och intäkterna första året resulterade i ungefär 400 000 kr. Det innebär en återbetalningstid på cirka 3 år och Vasakronan anser därför att batterianläggningen har varit en ekonomiskt bra investering. Vidare hanteras all form av marknadskontroll och budläggning kopplat till frekvensreglering idag av Entelios, som är Vasakronans marknadsaggregator för stödtjänster.

Idag fokuserar Vasakronan inte på V2G (vehicle-to-grid) som potentiell lösning. Respondenten nämner komplikationer med dubbelriktad laddning på flera fronter. Delvis finns det idag väldigt få bilar som klarar av detta. Sedan lyfte respondenten även att bilens batteri slits, vilket bilägarna kommer kräva någon typ av kompensation för. Dessutom har Vasakronan inga laddstolpar som klarar av dubbelriktad laddning idag. Det finns även en del juridiska frågor som måste lösas för att kunna skapa en fungerande affärsmodell. Respondenten bedömer att det kommer att vara svårt för fastighetsägare att få någon lönsamhet genom vehicle-to-grid-lösningar i den närmaste framtiden. Även om det finns aktörer som testar detta i liten skala, väntar Vasakronan för att se hur saken utvecklas. Ifall denna lösning skulle vara på plats idag anser respondenten att vehicle-to-grid främst skulle kunna användas för att hålla frekvensen i elnätet, det vill säga frekvensreglering i stället för att lastbalansera. Detta då lösningen innebär mycket effekt men lite energi, vilket

gör att bilägaren får en liten cykling på batteriet, mindre slitage och en begränsad påverkan på bilägarens användarupplevelse.

Intervjun med Vasakronan resulterade dessutom i följande insikter:

- Vasakronan har EP-spot som laddoperatör idag. De flesta laddstolpar som installeras har antingen 7.4 kW eller 11 kW effekt per laddpunkt, med två laddpunkter per laddstolpe.
- Batterihälsan blir mycket bättre om man laddar långsamt än snabbt. Detta ses, tillsammans med bristande användning vid försök med snabbladdare tidigare, som en anledning till att Vasakronan inte installerar laddstolpar med högre effekt än 11 kW idag.
- Vissa kunder (elbilsägare) har önskemål om att få tillgång till laddning med högre effekt (11 kW eller mer), detta ses av respondenten som ett hinder för att installera laddare med lägre effekt än 7.4 kW.
- Vasakronan använder sig av en integrationsplattform vid namnet ProptechOS som styr fastigheternas system för ventilation, värme och elbilsladdning med mera.
- Antalet laddpunkter per fastighet varierar, fastigheter med laddstolpar har vanligtvis ca 40-50 laddpunkter. Som mest finns cirka 100 laddpunkter i en och samma fastighet.
- De har idag möjlighet att se exakt hur mycket effekt som förbrukas av elbilsladdarna, vilket hanteras av en portal som visar data i realtid.
- Många andra fastighetsbolag visar också intresse för frekvensreglering. Bland annat har hög efterfrågan på batterianläggningar såsom Magasin X i Uppsala idag orsakat stigande priser för batterier. Skulle Vasakronan köpa en liknande anläggning idag skulle priset sannolikt vara dubbelt så högt som för två år sedan.
- Tidigare försök att delta i projekt inom flexibilitetsmarknader (bl.a. sthlmflex) har inneburit problematiska processer och bristande lönsamhet. Förtroendet för flexibilitetsmarknader som framtida lösning för fastighetsbranschen är därför lågt hos Vasakronan.
- Möjligheten till effektreglering till elbilsladdningen är begränsad, då konsekvensen av att stänga av laddningsströmmen helt är att elbilsägarna får notiser i sina mobiler och därför kontaktar Vasakronan. Effektregleringen bör därför ske genom att minska strömmen till en lägre nivå, snarare än att stänga av den helt.

Utöver frågor inom ämnena frekvensreglering och lastflytt ställdes under intervjun ett antal frågor gällande hur Vasakronan ser på hållbarhet och vad deras roll i energiomställningen är. Respondenten angav svar på dessa frågor som tydligt belyser att hållbarhet är en prioriterad fråga för Vasakronan. Deras perspektiv på detta är att samhället idag nöter hårt på klimatet och att Vasakronan vill vara med och bidra till klimatomställningen. Det medför bland annat att det är centralt för företaget att kunna bidra i omställningen från fossil- till eldrivna bilar. Vasakronans perspektiv är att detta ger värde till företaget i och med att dessa frågor är viktiga för deras kunder. Specifikt nämner respondenten gällande elbilsladdning att "Det hjälper till att göra det enklare för våra kunder att gå över till ett fossilfritt alternativ", alltså ses kundernas behov av laddstolpar som en drivkraft i utvecklingen. Detta gäller även företagets fastigheter överlag, då fastigheternas värde enligt respondenten beror på att de har ett behagligt klimat som människor kan leva och arbeta i.

Respondenten lyfte även att det finns ett egenvärde i att arbeta hållbart och att det i sig är lönsamt. Synen på hållbarhet är att det är en samhällsfråga och att kunderna vill hyra lokaler som har en liten klimatpåverkan. Vasakronan arbetar alltså aktivt med hållbarhet, bland annat genom energieffektivisering. Därför har de effektiviserat bort nästan två tredjedelar av deras energibehov. I dagsläget fokuserar Vasakronan även mycket på byggverksamheten, då det är under byggnadsfasen som Vasakronans fastigheter fortfarande ger större

utsläpp. Respondenten anser att Vasakronan har en viktig roll i bygg- och fastighetsbranschen då det är en traditionell och trögrörlig bransch som har svårt att förändra sättet de driver sina verksamheter på. Det är därför viktigt att hitta bättre och effektivare sätt att bygga på, genom en högre grad av återbruk och cirkularitet för att minska klimatpåverkan. Därför är det prioriterat för Vasakronan att vara flitiga beställare genom att driva på hållbarhetsarbetet och därmed påverka leverantörerna till att ställa om till mer hållbara metoder.

Slutligen förklarar respondenten att Vasakronan skiljer sig från andra fastighetsbolag genom att de vid ett tidigt skede implementerade ett brett perspektiv och anammade en helhetssyn på hur de kan hantera hållbarhetsfrågor. Vasakronan har därför metodiskt utvecklat sitt hållbarhetsarbete nedifrån och upp, vilket har medfört att även om andra aktörer hunnit längre inom vissa områden så saknar de Vasakronans breda kompetens, något respondenten anser vara en styrka.

5. Analys

Analysen avser att undersöka hur lastflytt respektive frekvensreglering skulle kunna implementeras och vad detta skulle innebära för Vasakronan såväl praktiskt som i ekonomiska termer. Förutom intervjun med Vasakronan har ytterligare information hämtats för att kunna utföra beräkningarna. Analysen har genomförts som ett case vid en påhittad fastighet hos Vasakronan med 100 laddpunkter, vilket anses vara en rimlig mängd med tanke på att de redan har en fastighet med samma mängd laddpunkter. Caset syftar till att undersöka hur elbilar kan användas för lastflytt samt frekvensreglering genom dessa 100 laddpunkter när bilarna parkeras där under en arbetsdag. Bilarna antas ägas av personer som arbetar i fastigheten. När bilarna anländer till fastigheten på morgonen och kopplas in kommer de sannolikt stå kvar där tills de anställda lämnar på kvällen. I intervjun med Vasakronan tydliggjordes att vissa kunder efterfrågar laddningseffekter över 7.4 kW då de kan behöva lämna tidigare under dagen. Samtidigt innebär de korta laddningstiderna för 11 kilowattsladdare (ca 27 minuter vid 5 kWh laddbehov) att möjligheten till lastflytt begränsas. Därför har enbart 7.4 kilowattsladdare inkluderats i lönsamhetsanalysen för lastflytt och frekvensreglering. På så sätt kan Vasakronan implementera lastflytt och frekvensreglering med 7.4 kilowattsladdare, men även tillgodose kundernas önskemål om tillgång till högre laddningseffekt genom opåverkade 11 kilowattsladdare. Detta innebär att analysen av fastigheten inte kommer kunna utnyttja samtliga 100 laddpunkter till effektreglering för att vara representativ för Vasakronans fastigheter i övrigt. Fördelningen av 11 kilowattsladdare respektive 7.4 kilowattsladdare varierar beroende på fastighet, men i följande analys har det antagits ett 30:70-förhållande, det vill säga att fastigheten har 30 laddare om 11 kW och 70 laddare om 7.4 kW, vilket kan anses rimligt med hänsyn till fördelningen i andra fastigheter.[61, 62, 63]

[61] Chargefinder. Vasakronan Kista Entré. 2024.
https://chargefinder.com/se/ladda-elbil-kista-vasakronan-kista-entre/dw6n6
[62] Chargefinder. Vasakronan Garnisonen Utomhus. 2024.
https://chargefinder.com/se/ladda-elbil-stockholm-vasakronan-garnisonen-utomhus/7w9x8p;
[63] Chargefinder. Vasakronan Garnisonen (P-hus). 2024.
https://chargefinder.com/se/ladda-elbil-stockholm-vasakronan-garnisonen-p-hus/gdwkj#:~:text=Laddare%20f%C3%B6r%20elbil%20i%20Stockholm,Denna%20laddare%20h%C3%B6r%20till%20Vasakronan

5.1 Elbilarnas laddbehov

I syfte att analysera möjligheterna till lastflytt och frekvensreglering med Vasakronans elbilsladdare behöver elbilarnas laddningsbehov samt effektförbrukningen i laddstolparna klarläggas. Varje morgon när anställda eller gäster anländer till Vasakronans fastigheter parkeras elbilarna och kopplas in i respektive laddpunkt. Beroende på vilken körsträcka som elbilsägarna pendlar till jobbet varje dag samt vilket fordon de har kommer laddningsbehovet för varje person att skilja sig. Förutom detta skiljer sig också förbrukningen hos elbilarna beroende på temperaturen utomhus. Detta kan innebära en del komplikationer när timvisa effektbehov och därigenom möjligheten till lastflytt och frekvensreglering beräknas. I analysen har därför grundläggande information om elbilar och pendlingsvanor hämtats, varefter följande beräkningar är gjorda baserat på antaganden som dragits utifrån dessa källor. Därmed har data kring elbilars genomsnittliga förbrukning på sommaren respektive vintern hämtats, då förbrukningen på vintern är högre när temperaturen är lägre. Information kring genomsnittlig pendlingssträcka till jobbet har också tagits fram. Bilarna antas vara fulladdade under natten och den förbrukning som sker under pendlingssträckan till fastigheten antas vara det laddbehovet som finns när bilarna väl anländer till fastigheten. Dessa data presenteras i tabell 3.

Tabell 3: *Grundläggande data för elbilars förbrukning och förväntade laddbehov.*[64, 65, 66]

Genomsnittlig pendlingssträcka	21 km	
Årstid	Sommar	Vinter
Genomsnittlig förbrukning	0.195 kWh/km	0.279 kWh/km
Genomsnittligt laddbehov	4.095 kWh	5.85 kWh
Tid till full laddning [7.4 kW]	33 min	47 min

5.2 Lastflytt

För att kunna planera lastflytt behöver den tillförda laddningseffekten för varje timme fastställas. Då data kring laddningen inte kunnat erhållas i undersökningen görs detta approximativt utifrån tidigare antaganden om laddbehov för genomsnittsbilen samt ett schema för när bilarna anländer till fastigheten. Detta schema för hur många elbilar som anländer vid respektive tidpunkt är framtaget utifrån genomsnittliga arbetstider samt data för trafikflöden på vägar i Stockholm under 2023. Vanliga arbetstider för kontorsarbetare är 08:00/09:00–16:00/17:00, även om ökad flexibilitet i arbetet och möjligheten till distansarbete har medfört

[64] Trafikanalys. Förvärvsarbetande och deras arbetsresor. 2020. https://www.trafa.se/globalassets/pm/2020/pm-2020_6-forvarvsarbetande-och-deras-arbetsresor.pdf
[65] Union of Concerned Scientists. Driving Cleaner: Electric Cars and Pickups Beat Gasoline on Lifetime Global Warming Emissions.. 2022. https://www.ucsusa.org/sites/default/files/2022-09/driving-cleaner-report.pdf
[66] Garberson, A; Hough, B. Winter & Cold Weather EV Range 10,000+ Cars. *Recurrent*. 2024. https://www.recurrentauto.com/research/winter-ev-range-loss

förändringar för arbetstiderna de senaste åren.[67, 68] Detta överensstämmer väl med de genomsnittliga trafikflöden per timme på Stockholms vägar, där rusningstiderna på morgonen är koncentrerade kring 07:00–09:00. Trafikflöden i övriga storstäder där Vasakronan har sina fastigheter har samma tidfördelning som trafikflödet i Stockholm, som därför antas vara representativt.[69] Resultatet för de beräknade antal bilar som bör anlända varje timme till fastigheten finns angivet i tabell 4, där totalen uppgår till att 70 elbilar kommer att laddas med 7.4 kilowattsladdare under dagen (100 laddade bilar totalt). Det bör dock nämnas att detta ankomstschema för elbilar enbart är en uppskattning, då verkliga utfall sannolikt beror på såväl fastighetstyp, geografisk plats samt på kunden som hyr fastigheten.

Tabell 4: Tidsschema med beräknat antal bilar som kopplas in till laddning varje timme.

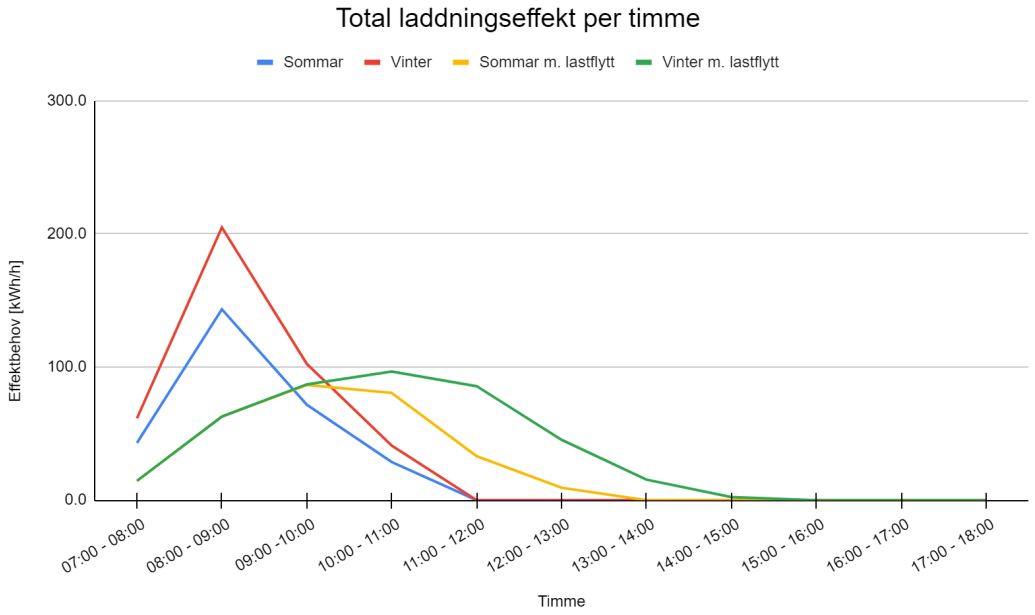
Tid	Andel anländande bilar	Motsvarande förväntat antal bilar
07-08	15%	10.5
08-09	50%	35.0
09-10	25%	17.5
10-11	10%	7.0

Beroende på när bilarna anländer till fastigheten kommer lastkurvorna se annorlunda ut och detta kommer i sin tur även påverka hur väl lasten kommer att kunna flyttas. I fallet där det inte sker någon lastflytt kommer bilarna att laddas med 7.4 kW, och som tidigare påvisats i tabell 3 kommer dessa bilar att laddas klart inom en timme. Möjligheten till lastflytt har analyserats genom att anta att strömmen till de befintliga laddstolparna sänks från 32 ampere till 6 ampere, då detta är en vanlig standard för lägsta tillåtna laddningsström.[70] Detta leder då till att laddstolparna levererar en effekt på 1.38 kW i stället för 7.4 kW. Effekten detta har på lastkurvan är att effekttopparna blir lägre och att laddningen förskjuts i tiden, vilket innebär att bilar även laddas vid senare tidpunkter på dagen. Det har fastställts tidigare i rapporten att samhällets efterfrågan på elektricitet är särskilt hög på morgonen och lägre under lunchtid. Genom att flytta Vasakronans effektbehov och ladda bilarna vid flera timmar på dagen kommer belastningen på elnätet att minska, samtidigt som det kommer att erhållas en kostnadsbesparing då bilarna laddas med billigare elektricitet. Hur lastkurvorna skiftar presenteras i figur 10 nedan, där kan det observeras hur lasten flyttas från morgonen till lunchtid och även in på eftermiddagen.

[67] Costa, G. Introductions to Problems of Shift Work. I: I. Iskra-Golec et al. (eds.), Social and Family Issues in Shift Work and Non Standard Working Hours, s. 19–35. Springer, Basel. 2016.
[68] Oyster. Working hours and overtime rules around the world. 2023. https://www.oysterhr.com/library/average-working-hours-by-country
[69] TomTom Traffic Index. Stockholm traffic report. 2024. https://www.tomtom.com/traffic-index/stockholm-traffic/
[70] Tesla. Strömhantering för Wall Connector. 2024. https://www.tesla.com/sv_se/support/charging/wall-connector/power-management

Tabell 5: Exempel på beräknad förbrukning av laddeffekt.

Timme	Ingen lastflytt		Med lastflytt	
Tid	Laddeffekt sommar (kWh/h)	Laddeffekt vinter (kWh/h)	Laddeffekt sommar (kWh/h)	Laddeffekt vinter (kWh/h)
07-08	43.0	61.4	14.5	14.5
08-09	143.3	204.8	62.8	62.8
09-10	71.7	102.4	86.5	86.9
10-11	28.7	41.0	80.5	96.6
11-12	0.0	0.0	33.0	85.6
12-13	0.0	0.0	9.3	45.4
13-14	0.0	0.0	0.0	15.4
14-15	0.0	0.0	0.0	2.3
15-16	0.0	0.0	0.0	0.0
16-17	0.0	0.0	0.0	0.0
17-18	0.0	0.0	0.0	0.0
Total:	286.7	409.5	286.7	409.5



Figur 10: Graf för total laddningseffekt per timme med och utan lastflytt, på sommaren och på vintern.

5.3 Tillgänglig effekt, aktiveringstider, möjliga stödtjänster och budtimmar

I undersökningen tydliggjordes att det finns flertalet krav kopplat till de olika stödtjänsterna. Följden av detta blir att urvalet av möjliga stödtjänster som Vasakronan kan leverera genom elbilsladdning begränsas. Bland annat innebär de särskilt korta aktiveringstiderna för FFR, tillsammans med problemen med kommunikationstider som nämndes i intervjuundersökningen, att det inte finns förmåga att leverera denna stödtjänst. Vidare finns det särskilt höga krav på budstorlek för mFRR och aFRR, vilket kan bli svåra att uppnå även med en aggregator. Dessutom har bägge dessa återställningsreserver krav på 1 timmes uthållighetstid, vilket kan innebära problem med att säkerställa laddningsbehoven och försvåra lastflytten. Denna långa uthållighetstid delas även av FCR-N, som dessutom innebär symmetrisk upp- och nedreglering, något som kan bli svårt att åstadkomma med elbilsladdning utan möjlighet till V2G. Därför är FCR-D den stödtjänst som är bäst lämpad för frekvensreglering med laddstolpar hos Vasakronans fastigheter.

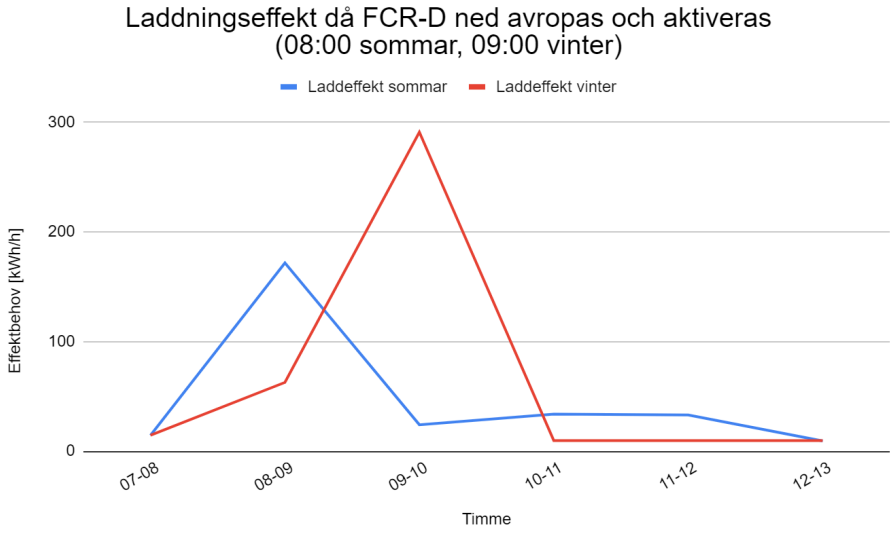
Genom att implementera lastflytt och sänka laddstolparnas effekt från 7.36 kW med 32 ampere till 1.38 kW med 6 ampere frigörs laddningskapacitet som sedan kan användas för att leverera stödtjänster. Genom att sänka effekten för att flytta lasten i tiden skapas potential att öka effektförbrukningen för att leverera stödtjänster till balansmarknaden. Som tidigare fastställt är FCR-D ned den bästa möjliga stödtjänsten som kan levereras och den aktiveras vid intervallet 50.10–50.50 Hz och har ett uthållighetskrav på minst 20 minuter och en minsta budstorlek på 0.1 MW enligt tabell 1. Den tillgängliga effekten beräknas därmed genom att ta differensen mellan förbrukningen som erhålls då bilarna laddas med 7.4 kW gentemot den förbrukningen som erhålls då bilarna laddas med 1.38 kW. Alltså kan den effekten som sparas vid lastflytt i sin tur användas till att lägga ett bud FCR-D ned. Genom att studera lastkurvorna erhålls timmarna där Vasakronan kan lägga ett bud på dessa stödtjänster. För att kunna leverera dessa stödtjänster måste förbrukningen öka, vilket innebär att det måste finnas bilar som laddas då stödtjänsten behövs. Alltså kan bud endast läggas vid de timmar då laddstolparna är aktiva.

I denna analys antas att samtliga bud som läggs blir avropade, vilket medför att Vasakronan erhåller kapacitetsersättning för sina bud. Ett exempel på hur ett laddschema kan se ut då FCR-D ned avropas och även aktiveras finns i tabell 6. I exemplet aktiveras stödtjänsten 08:00 på sommaren och 09:00 på vintern, vilket är de tider enligt laddningsschemat som differensen mellan maximal och planerad laddning med lastflytt är som störst. Den effekt som är tillgänglig för att lägga bud på FCR-D ned är därmed 109.0 kW klockan 08:00-09:00 på sommaren och 204.3 kW klockan 09:00-10:00 på vintern. Tabellen nedan visar alltså hur laddningsschemat för respektive säsong ser ut ifall denna kapacitet budas in på kapacitetsmarknaden och blir aktiverat för hela budtimmen. Det är värt att notera att det endast är mycket sällan som kapaciteten aktiveras under hela den avropade timmen, oftast sker ingen aktivering alls eller endast under en del av tiden.[71] Observera även att effekten i det fall att buden aktiveras ökar så pass mycket att många av bilarna hinner att bli fulladdade under timmen då stödtjänsten aktiveras. När detta sker kommer möjligheten till lastflytt under dagen försämras, vilket medför minskade kostnadsbesparingar. Däremot är sannolikheten att ett avropat nedregleringsbud aktiveras så liten att det får en obetydlig påverkan på det faktiska ekonomiska utfallet. Detta beror på att den andel av tiden som frekvensen i elnätet ligger ovanför nivån 51.1 Hz är ca 1%, och i de fall att det inträffar aktiveras oftast enbart en mindre andel av den avropade kapaciteten.[72] Detta resulterar i att

[71] Svenska Kraftnät. Räkneexempel: Nedreglering för en produktionsanläggning, FCR-D ned och mFRR ned. 2024. https://www.svk.se/siteassets/aktorsportalen/bidra-med-reserver/fcr-d-ned-och-mfrr-ned-rakneexempel.pdf

[72] Abran, E. Andersson, E. Intäktsanalys av vindkraft som reglerresurs, Med och utan batterilager. Examensarbete, Uppsala Universitet. 2023. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1779068/FULLTEXT01.pdf

snittaktiveringen av FCR-D är mycket låg, bland annat har snittaktiveringen under år 2017 och 2018 beräknats vara ca 0.05%.[73] Effekten på lönsamheten i denna lösning blir därmed försumbar.



Figur 11: Laddningseffekt då FCR-D ned avropas och aktiveras under hela budtimmen.

Tabell 6: Laddningsschema då FCR-D ned avropas och aktiveras under hela timmen.

Exempel på laddschema när FCR-D ned avropas & aktiveras (08-09 Sommar, 09-10 Vinter)		
Tid	Laddeffekt sommar (kWh/h)	Laddeffekt vinter (kWh/h)
07-08	14.5	14.5
08-09	171.8	62.8
09-10	24.2	291.3
10-11	33.8	9.7
11-12	33.0	9.7
12-13	9.3	9.7
13-14	0.0	9.7
14-15	0.0	2.3
15-16	0.0	0.0
16-17	0.0	0.0
17-18	0.0	0.0
Total:	286.7	409.5

[73] Lindgren, A. Ekonomisk kartläggning av teknologier som potentiellt skulle kunna leverera reserverna FCR och aFRR. Examensarbete, Uppsala Universitet. 2019. https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1336864/FULLTEXT01.pdf

5.4 Grundinvesteringar, intäktsströmmar och kostnadsbesparingar

Resultatet av undersökningen är att Vasakronan idag har de tekniska förutsättningarna för att implementera lastflytt utan några grundinvesteringar. Enligt respondenten från Vasakronan används redan integrationsplattformen Proptech OS för att bland annat styra elbilsladdning i deras fastigheter, därmed görs bedömningen att inget ytterligare system behövs för att initiera lastflytt. De laddstolpar som Vasakronan huvudsakligen har och installerar idag är från leverantören EP-spot och samtliga modeller är kompatibla med kommunikationsprotokollet OCPP (Open Charge Point Protocol). Detta innebär att styrning och eventuell lastflytt och frekvensreglering är möjligt genom detta protokoll. Att implementera lastflytt innebär dock inte att det uppstår en intäktsström, utan resultatet blir en kostnadsminskning. Kostnadsbesparingar erhålls som tidigare nämnt genom att flytta lasten och ladda elbilarna vid flera tidpunkter. Dessa tidpunkter har enligt erhållna historisk data billigare elpriser och därmed minskar utgifterna för energi till elbilsladdning.

Intäkterna i detta fall erhålls i stället av budgivning på stödtjänster såsom FCR-D ned. Enligt en tidigare förklaring ger lastflytt och minskningen av levererad effekt av laddstolparna möjligheten att ta del av stödtjänsten FCR-D ned genom att öka effekten till en högre nivå. Budgivning av FCR-D ned sker för varje timme och om denna stödtjänst avropas erhålls en intäkt beroende på hur många MW elektricitet som avropats, huruvida budet sedan aktiveras ger ingen påverkan på intäkterna. Därmed ger deltagandet i balansmarknaden genom leverans av nedregleringskapacitet upphov till en intäktsström. Detta kräver dock att utrustning för frekvensreglering finns installerat i fastigheten. På grund av tidskraven för FCR-D bör bland annat frekvensmätning ske lokalt i respektive fastighet snarare än hos en central marknadsaggregator, annars riskerar fördröjningar till följd av långa kommunikationstider att uppstå. Vidare ställs högre krav på IT-säkerhet på aktörer som bidrar med FCR genom central styrning, vilket ytterligare stärker argumenten för lokal styrning.[74]

I dagsläget finns inte tekniken som krävs för lokal styrning, som bland annat består av frekvensreläer, på plats i Vasakronans fastigheter. Därmed uppstår en grundinvesteringskostnad för att installera nödvändig teknik i fastigheten. En tidigare fallstudie på en av Vasakronans fastigheter resulterade i en uppskattad grundinvestering på 120 000 kronor per fastighet. Detta var dock för att bland annat installera effektmätare kopplade till ventilationsaggregat. En anpassad lösning för att enbart leverera frekvensreglering med hjälp av elbilsladdare frångår därmed dessa behov och kostnader. Följden blir att grundinvesteringskostnaden för att kunna möjliggöra leverans av FCR-D ned från en av Vasakronans fastigheter uppskattas vara 60 000 kr. Beståndsdelarna i denna kostnad utgörs huvudsakligen av installation av frekvensreläer och annan utrustning som behövs för att mäta frekvensfluktuationer. Med detta får Vasakronan redskapen för att mäta frekvensen på ett effektivt sätt lokalt i fastigheten. Ökar frekvensen kan således stödtjänsten aktiveras och förbrukad effekt i respektive laddpunkt som används ökar från 1.38 kW till 7.4 kW.[75]

---

[74] Svenska Kraftnät. Frekvenshållningreserv normaldrift (FCR-N). 2024. https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/fcr-n/#:~:text=Centralt%20och%20lokalt%20styrd%20FCR,funktion%20r%C3%A4knas%20som%20lokalt%20styrd

[75] Halberg, C & Wållberg, I. Tekniska och ekonomiska möjligheter för fastighetsbolag att ansluta till Svenska Kraftnäts balansmarknad, En lönsamhetsstudie för fastighetsbolag att leverera stödtjänster till kraftsystemet. Examensarbete, Uppsala Universitet. 2022. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1710858/FULLTEXT01.pdf

6. Resultat

I denna del av rapporten presenteras effekterna av lastflytt samt frekvensreglering genom stödtjänster i form av monetära resultat. Detta görs genom att utföra en lönsamhetsstudie samt en känslighetsanalys för att studera hur lönsamheten förändras vid fluktuationer av olika priser såsom elpriset eller priset för stödtjänsten FCR-D ned. De värden som används i beräkningarna finns angivna tidigare, dessa är elpriser i tabell 2, priser för stödtjänsten FCR-D ned i figur 2, laddscheman med respektive utan lastflytt i tabell 5 och till slut laddschemat då FCR-D avropas och aktiveras i tabell 6**.** Dessa siffror har bearbetats och använts i beräkningar vars resultat presenteras nedan.

6.1 Lönsamhetsstudie

6.1.1 Monetära resultat från lastflytt och frekvensreglering

De monetära resultaten som presenteras nedan är beräknade med hänsyn till kostnaderna för att ladda elbilar både med och utan lastflytt. Dessa beräkningar har genomförts genom att för både sommaren och vintern multiplicera effektbehovet (tabell 5) tillsammans med elpriset för respektive timme (tabell 2). I tabell 2 kan det observeras att det är billigare att implementera lastflytt och fördela ut laddningen av bilarna på flera timmar, alltså innebär lösningen med lastflytt sannolikt kostnadsbesparingar. Detta möjliggörs eftersom effektbehovet fördelas över flera timmar vilket minskar förbrukningen under topplasttimmarna, medan förbrukningen under timmar med lägre efterfrågan och därmed lägre elpriser ökar. Alltså finns det en tydlig ekonomisk fördel i form av kostnadsbesparingar av att implementera lastflytt för elbilsladdarna. Införs lastflytt med de värden som använts i exempelfastigheten fås en kostnadsbesparing för el på 7 kr per dag, motsvarande 5.6%, på sommaren och 33 kr per dag eller 7.3% på vintern, vilket ger en total kostnadsminskning på ca 7 300 kr (7.0%) över hela året. Se tabell 7 nedan för detaljerade resultat under en genomsnittlig dag.

Tabell 7: Exempel på ekonomiskt utfall för en genomsnittlig dag

Timme	Ingen lastflytt		Med lastflytt	
Tid	Kostnad sommar (kr)	Kostnad vinter (kr)	Kostnad sommar (kr)	Kostnad vinter (kr)
07-08	19	61	6.3	14.5
08-09	65	233	28.4	71.6
09-10	30	112	36.8	95.2
10-11	11	42	31.7	97.9
11-12	0	0	11.9	80.8
12-13	0	0	3.1	40.5
13-14	0	0	0.0	13.2
14-15	0	0	0.0	1.9
15-16	0	0	0.0	0.0
16-17	0	0	0.0	0.0
17-18	0	0	0.0	0.0
Total:	125	449	118	416

Vidare har resultatet av att implementera frekvensreglering genom FCR-D ned beräknats, vilket finns angivet i form av intäkter i kronor per dag i tabell 8. I beräkningarna för FCR-D ned avropas bud mellan klockan 08:00–09:00 på sommaren och klockan 09:00–10:00 på vintern. Intäkterna beräknades genom att ta priserna för stödtjänsten FCR-D ned för dessa timmar på sommaren respektive vintern (figur 2) och sedan multiplicera dessa med den kapacitet som kunde levereras under timmarna. Detta var 109.0 kW klockan 08:00–09:00 på sommaren och 204.3 kW klockan 09:00–10:00 på vintern. Intäkterna användes sedan i beräkningarna för att beräkna nettovinsten för en dag. Detta gjordes genom att ta kostnaden för att ladda bilarna under dagen utan budaktivering (tabell 7) och subtrahera denna med kostnaden för laddning med aktiverat bud (tabell 2 multiplicerat med tabell 6), vilket blev negativt då det innebär en kostnadsökning. Sedan adderades stödtjänstens intäkter (priser i figur 2 multiplicerat med 109 kW respektive 204.3 kW) för att få nettovinsten vid aktivering. Detta antas ske så pass sällan att det inte fås någon märkbar inverkan på den totala lönsamheten, men är trots det relevant då aktivering av ett bud ger upphov till ökade elkostnader. De beräknade intäkterna för en dag uppgår till 132 kr/dag för sommaren och 55 kr/dag på vintern, vilket motsvarar årliga intäkter på cirka 34 200 kr. Dessa beräknade värden finns i tabell 8 nedan.

Tabell 8: Intäkter från frekvensreglering med FCR-D ned samt nettovinst för lastflytt med aktiverat frekvensregleringsbud.

Årstid	Sommar	Vinter
Intäkt frekvensreglering (kr/dag)	132	55
Nettovinst Lastflytt & aktivering av frekvensreglering (kr/dag)	128	27
Årliga intäkter FCR-D ned (kr/år)	34 200	

6.1.2 NPV (Nettonuvärdet)

Beräkning av nettonuvärdet av att implementera frekvensreglering sker med NPV-formeln som angivits i metoddelen. Grundinvesteringen har i analysen fastställts till 60 000 kr, medan de årliga intäkterna från frekvensreglering beräknas vara cirka 34 200 kr. I detta fall antas de årliga intäkterna vara densamma för hela den ekonomiska livslängden, det vill säga att priserna för FCR-D ned är exakt densamma för alla följande år som under 2023. Vidare antas att investeringens ekonomiska livslängd är 5 år, alltså fås årliga intäkter under 5 års tid varefter slutvärdet antas vara lika med noll kr. Detta antagande innebär att den teknik och installation som möjliggjort frekvensreglering och givit upphov till grundinvesteringskostnaden är fullt avskriven efter 5 år och att ingen mer frekvensreglering kan ske. Att all teknik i form av frekvensreläer och dylikt enbart har en livslängd om 5 år kan ses som orealistiskt, men att anta en längre ekonomisk livslängd är däremot bristfälligt då balansmarknaden och priser för stödtjänster kan komma att förändras avsevärt med tanke på den snabbt föränderliga energiprofilen Sverige har. En allt mer fossilfri och väderberoende produktion anses vara kärnan till hur balansmarknaden förändras, vilket försvårar en längre prisprognos. Notera figur 1 tidigare i rapporten för att se hur balansmarknaden förändrats på senare år och hur prognosen ser ut för 2025. Resultatet av beräkningarna blir att investeringens nettonuvärde uppgår till cirka 82 600 kr. Detta bör inte tolkas som det exakta värdet av investeringen, delvis då det har beräknats på en exempelfastighet och delvis på grund av de tidigare nämnda osäkerheterna. Däremot bör det anmärkas att det beräknade nettonuvärdet med god marginal är positivt, vilket tyder på att investeringen är lönsam.

$$NPV = \frac{34\,232}{1.064} + \frac{34\,232}{1.064^2} + \frac{34\,232}{1.064^3} + \frac{34\,232}{1.064^4} + \frac{34\,232}{1.064^5} - 60\,000 \approx 82\,600 \quad (\mathrm{kr})$$

6.1.3 IRR (Internräntemetoden)

Beräkningen av IRR (Internräntan) sker enligt formeln som angivits i metoddelen. För att beräkna internräntan matades kassaflöden tillsammans med grundinvesteringen in i Microsoft Excel. I Excel används en färdig formel för IRR där grundinvesteringen ses som ett negativt kassaflöde, därav blir det totalt 6 kassaflöden. Resultatet blev att internräntan för investeringen är 49%, vilket då är den diskonteringsränta som krävs för att nettonnuvärdet av att implementera frekvensreglering genom FCR-D ned ska bli noll. Det är värt att notera att internräntan i detta fall är högre än kalkylräntan som Vasakronan tillämpar för kassaflöden (6.4%), alltså tyder det på att investeringen är lönsam.

6.1.4 Återbetalningstid

Återbetalningstiden för att implementera frekvensreglering med FCR-D ned beräknades också, vilket har gjorts enligt beräkningsformeln från metodavsnittet. Återbetalningstiden beräknas genom att dividera grundinvesteringen med de årliga intäkterna, vilket ger en uppskattning av hur lång tid som krävs innan hela investeringskostnaden har fåtts tillbaka i intäkter. Detta gav följande resultat:

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{60\,000}{34\,232} \approx 1.8 \text{ år eller 1 år och 9 månader}$$

6.2 Känslighetsanalys

I känslighetsanalysen beräknades de årliga intäkterna, återbetalningstiden, nettonuvärdet samt internräntan då priset för stödtjänsten FCR-D ned ökade/minskade med 15% respektive 30%. Resultatet kan ses i tabell 9 nedan. Förutom detta beräknades även hur hög grundinvesteringen kan vara innan nettonuvärdet blir noll utan någon förändring i priset för stödtjänsten FCR-D ned.

6.2.1 Stödtjänster till balansmarknaden

Tabell 9: Resultat känslighetsanalys

Förändring	Årliga intäkter (kr)	Återbetalningstid (år)	Nettonuvärde (kr)	IRR (%)
30%	44 500	1 år 4 månader	125 000	69
15%	39 200	1 år 6 månader	103 000	59
0%	34 200	1 år 9 månader	82 600	49
-15%	28 900	2 år 1 månad	60 700	39
-30%	24 000	2 år 6 månader	39 900	29

6.2.2 Grundinvestering

Grundinvesteringen på 60 000 kr som används i lönsamhetsstudien är baserad på slutsatser i en tidigare fallstudie för en av Vasakronans fastigheter.[76] Dock finns det risk för att investeringskostnaden varierar beroende på fastighetstyp och specifika faktorer såsom elservisen i fastigheten. Dessutom är det svårt att kunna fastställa de generella behoven av tekniska installationer och förberedelser som krävs för att FCR-D ned ska kunna levereras med laddstolparna i en fastighet. Därmed är det av intresse att undersöka hur lönsamheten i investeringen ser ut ifall grundinvesteringen skulle överstiga 60 000 kr. En känslighetsanalys bör i detta fall kunna användas för att fastställa hur mycket den initiala investeringskostnaden får uppgå till utan att lönsamheten förloras. Resultatet av att undersöka detta blir att nettonuvärdet blir noll när grundinvesteringen uppgår till strax över 142 600 kr. Därmed är detta den högsta tillåtna investeringskostnaden för att investeringen fortfarande ska kunna anses vara lönsam. Detta är ännu ett gott tecken som visar att investeringen är lönsam då det kräver en rejäl ökning i grundinvesteringen för att investeringen inte ska vara lönsam.

[76] Ibid., s. 22.

7. Diskussion

Vår uppfattning av Vasakronan är att de idag är aktiva i hållbarhetsarbetet och att arbeta med den typ av frågor som behandlas i undersökningen inte är något nytt för dem. De känner till de problem som präglar elnätet idag såsom kapacitetsbrist och höga elpriser och de anser även att elnätet är en viktig byggsten för att kunna fortsätta utveckla det svenska samhället genom utbyggnaden av fastigheter och industri. Deras uppfattning är att detta är ett prioriterat område och att alla inblandade aktörer måste samarbeta och tillsammans göra sin del för att föra utvecklingen framåt. Vasakronan har detta som kärna i sitt perspektiv på hållbarhetsarbete, vilket belyser företagets drivkraft att effektivisera sina fastigheter, leverera stödtjänster till balansmarknaden och att, i den mån det går, påverka sina leverantörer för att få dem att också öka sitt hållbarhetsarbete. Resultatet av intervjustudien visar även att de aktivt undersöker nya potentiella lösningar för att förbättra elnätet idag. Två av dessa potentiella lösningar är lastflytt och frekvensreglering genom laddning av elbilar, vilket har varit huvudämnet i undersökningen. I diskussionen framöver eftersträvar vi att avgöra rimligheten i dessa lösningar samt att reflektera kring undersökningens metod, resultat och de felkällor som kan finnas.

7.1 Förutsättningar för lastflytt & frekvensreglering

Vasakronan har idag god potential till lastflytt och frekvensreglering, även om detta inte hittills har implementerats storskaligt genom laddstolpar. Upprättandet av Magasin X i Uppsala och samarbetet med marknadsaggregatorn Entelios har givit Vasakronan möjligheten att aktivt ingå i balansmarknaden och leverera stödtjänster. Det anser vi att det har givit Vasakronan tillräcklig erfarenhet för att lyckas med en implementering av frekvensreglering även genom elbilsladdning, om det skulle vara av intresse. Till följd av deras tidigare hållbarhetsarbete har de även tillräckligt med kunskap för att kunna identifiera aktuella samhällsproblem och de affärsmöjligheter som dessa skapar. Detta inkluderar de problem som elnätet drabbas av idag, såsom kapacitetsbrist, effekttoppar och frekvensavvikelser. Alltså ser vi inte att det finns några hinder kopplat till kompetens eller resurser inom Vasakronan för denna typ av lösningar.

Angående de tekniska förutsättningarna för lastflytt och frekvensreglering har det fastställts att många är på plats redan idag. Vasakronan har laddstolpar utspridda i många av deras fastigheter och den teknik och programvara som krävs för att styra lastflytten och frekvensregleringen finns tillgängligt. Bland annat har de integrationsplattformen Proptech OS där de kan se laddningseffekten i realtid, vilket innebär noggrann effektmätning. De har även Entelios som marknadsaggregator som sköter det som krävs för att ingå i balansmarknaden för frekvensreglering. Aggregatorn kan därmed även avlasta hanteringen av frekvensreglering genom laddstolpar. Därmed finns tekniken, laddstolparna och det administrativa stödet för att implementera dessa lösningar, vilket bidrar till att sänka de nödvändiga åtgärdernas ekonomiska krav. Den ofrånkomliga investeringen vi har identifierat för att implementera dessa lösningar är grundinvesteringen för att kunna mäta frekvensen, vilket behövs för att leverera stödtjänster.

Utöver att mycket av den teknik som krävs finns på plats idag, är hållbarhet en viktig prioritering för Vasakronan, vilket ger ytterligare incitament att finansiera tekniken. Laddstolparna som installeras är idag huvudsakligen 7.4 kW- och 11 kW-laddare. Analysen behandlade 7.4 kW-laddare då 11 kW-laddare är för snabba för att någon betydande form av lastflytt ska kunna fås med det beräknade effektbehovet. Vilka laddstolpar som kan nyttjas för lastflytt och frekvensreglering beror alltså på effektbehovet för elbilsladdning i Vasakronans fastigheter. I analysen antar vi att elbilarna endast kräver den effekt som förbrukas under en

pendlingsresa till jobbet och antas vara fulladdade vid starten av pendlingsresan. Det kan innebära en felkälla då detta inte nödvändigtvis behöver vara fallet i verkligheten. Risken för fel i analysen hade därmed kunnat minimeras genom att använda data för laddningseffekt i Vasakronans fastigheter, något som dock inte var möjligt i denna undersökning. Beroende på det effektbehovet som identifieras kan potentiellt även laddstolpar med 11 kW effekt användas. Det bör dock nämnas att en långsammare laddning medför bättre batterihälsa, vilket ger skäl att använda 7.4 kW-laddare så mycket som möjligt för att inte slita på batterierna i elbilarna.

De lösningar som undersöks i denna rapport bygger på att det finns elbilar som laddas vid fastighetens laddstolpar. Ifall Vasakronan ska implementera frekvensreglering och lastflytt måste de alltså anpassa sig till antalet besökare och anställda med elbilar som väljer att ladda fordonet i deras fastigheter. Om användandet idag är tillräckligt kan de givetvis införa dessa lösningar, men om så inte är fallet är det dock inte nödvändigtvis ett löfte om att möjligheten aldrig kommer att finnas. Vi har tidigare lyft att dagens trend för elbilsmarknaden visar på tillväxt i Sverige då andelen elbilar av det totala antalet nyregistrerade bilar ökar, samtidigt som stora aktörer som Volvo eller Volkswagen ger löften om ett elektrifierat utbud i framtiden. Vi ser alltså att elbilar kommer att utgöra en större andel av utbudet på fordonsmarknaden framöver, samt att elbilar idag redan kan anses vara tillräckligt utvecklade för att kunna passa in i konsumenters liv.

Batteritekniken för att ge en längre räckvidd finns också, samtidigt som det finns många andra fördelar med elbilar, av vilka ett antal listats i undersökningen. För konsumenterna återstår alltså endast de ekonomiska incitamenten till att köpa en elbil, vilket är en nödvändighet för marknadens tillväxt. Lastflytt och frekvensreglering kan utgöra sådana ekonomiska incitament. Om dessa lösningar implementeras kommer det bidra till att elnätet effektiviseras, att effekttopparna minskar, samtidigt som kapacitetsbristerna blir mindre. Som tidigare nämnt kan detta leda till lägre elpriser, vilket ytterligare stärker de ekonomiska incitamenten. Alltså kan detta skapa någon form av positiv återkopplingsslinga. Ifall elbilarna ökar så ökar också potentialen till att implementera lastflytt och frekvensreglering med laddstolpar. Om förekomsten av dessa två ökar kan elnätet i stort även effektiviseras, vilket kan sänka elpriset. Skulle elpriset i sådana fall sänkas stärks de ekonomiska incitamenten till att köpa elbilar, vilket i sin tur slutligen kommer att öka antalet elbilar i Sverige. Faktum är att hela bilmarknaden numera skiftar till ett alltmer elektrifierat utbud och konsumenter som vill ha nya bilar kommer i framtiden inte ha mycket annat till val än att köpa en elbil. Samtidigt kan denna ökning av elbilar ställa ytterligare krav på elnätets effektivisering, vilket kommer öka behovet av dessa lösningar. Alltså anser vi att de lösningar som undersöks i denna rapport bör vara föremål för frågor såsom när de ska implementeras, snarare än om de ska implementeras.

7.3 Lönsamhetsstudie

Lönsamhetsstudien genomfördes genom att tillämpa tre olika metoder för investeringskalkyl på resultaten av att implementera lastflytt och frekvensreglering. Dessa resultat fastställdes genom att uppskatta förväntad förbrukning för en hypotetisk fastighet och sedan undersöka vad det medför för kostnader och möjligheter att bidra med frekvensreglering. Investeringens lönsamhet analyserades med NPV-metoden, internräntemetoden och återbetalningsmetoden. Att utnyttja flera metoder till investeringskalkyl medför att det kan uppstå motsägelsefulla resultat. Exempelvis kan den ena av NPV-metoden och internräntemetoden resultera i att investeringen beräknas vara lönsam, medan den andra tyder på motsatsen. Detta behöver inte nödvändigtvis betyda att metoderna har hanterats felaktigt eller att andra felkällor har en påverkan. De olika kalkylmetoderna tjänar till viss grad olika syften och beror på de antaganden som görs. Därmed är resultatet

från lönsamhetsstudien inte fullständigt ofelbart, utan behöver tolkas och analyseras för att säkra slutsatser ska kunna dras.

Beräkningen för att implementera frekvensreglering genom FCR-D ned resulterade i ett nettonuvärde på 82 600 kr. Som tidigare nämnt tyder faktumet att nettonuvärdet är positivt på att investeringen är lönsam, då innebörden är att summan av samtliga kostnader och intäkter, diskonterade till nuvärde, är större än noll. Alltså kan resultatet likställas med att få 82 600 kr i handen idag. Dock finns det flertalet potentiella felkällor i beräkningarna, bland annat till följd av att intäkterna är uträknade från uppskattade laddbehov. Resultatet bör därför inte tas som en säker garanti för att 82 600 kr är det exakta nuvärdet av åtgärden, men då det är så pass högt skulle det krävas särskilt stora fel i analysen för att negativa nuvärden ska fås. Denna slutsats stärks även av resultatet av känslighetsanalysen, där nettonuvärdet var positivt även för det sämsta scenariot vi tagit fram, med 30-procentiga minskningar av de årliga intäkterna. Samtidigt beräknades i känslighetsanalysen även vilken grundinvestering som skulle krävas för att nettonuvärdet skulle bli noll. Resultatet av detta var en initial investeringskostnad om cirka 143 000 kr, vilket motsvarar mer än dubbelt så mycket som vår uppskattning av grundinvesteringen. Även detta kan tolkas som att lönsamheten i frekvensreglering är robust, men det är samtidigt inte omöjligt att ett sådant scenario inträffar. Vår uppskattning av investeringskostnaden är baserad på en tidigare fallstudie och bygger på antagandet att det inte finns stora personalkostnader kopplade till implementeringen av frekvensreglering. I verkligheten finns det en rad osäkerheter kopplat till att införa ny teknik och nya affärskoncept i verksamheten, sannolikheten för att det finns dolda kostnader är således hög. Dessutom kan grundinvesteringen påverkas av vilken fastighet som ska påbörja frekvensreglering, därmed kan ytterligare kostnader tillkomma.

Internräntemetoden visar, som tidigare nämnt, huruvida investeringens lönsamhet över- eller understiger företagets fastställda lönsamhetskrav. Alltså är det svårt att tolka den beräknade internräntan utan någon form av referensram. I vår analys tillämpades Vasakronans kalkylränta för kassaflöden som sådan referensram. Utfallet blev att internräntan vida översteg kalkylräntan på 6.4% i såväl originalscenariot som i känslighetsanalysen. Vi ser därför att det inte råder någon tvekan om att detta bör tolkas som ett positivt resultat, alltså att det verkar finnas god lönsamhet i lösningen med frekvensreglering. Vidare är differensen mellan internräntan för investeringen och Vasakronans kalkylränta tillräckligt stor att det finns utrymme för höjda avkastningskrav. Kalkylräntan är på många företag fastställd utifrån kapitalkostnader, det vill säga räntor och investerares avkastningskrav. De senaste åren har präglats av ekonomisk turbulens, med höjda räntor och inflation. Detta kan ses som en potentiell anledning till att kalkylräntan höjs, vilket skulle kunna förändra bedömningen av lönsamheten i investeringen. Däremot har även det värsta scenariot i känslighetsanalysen en IRR som är mer än 20 procentenheter högre än kalkylräntan. Att kalkylräntan på Vasakronan skulle höjas till en sådan nivå anser vi vara orimligt.

Den tredje och sista analysmetoden som används i lönsamhetsstudien är återbetalningsmetoden, även kallad payback-metoden. Resultatet av denna kalkyl blev att återbetalningstiden beräknades till 1.8 år, med ett spann på 1.3–2.5 år i känslighetsanalysen. Detta säger i sig inte särskilt mycket, även om det handlar om förhållandevis korta tidsperioder. Återbetalningstiden behöver vanligtvis jämföras med återbetalningstiden för andra investeringsobjekt för att slutsatser ska kunna dras. I detta fall kan vi jämföra det med Vasakronans investering i Magasin X som hade en återbetalningstid på cirka 3 år, vilket var mycket bra enligt intervjurespondenten. Det som är centralt i resultatet för lönsamhetsstudien är dock inte vad de olika kalkylmetoderna får för resultat var för sig, utan vilka slutsatser som kan dras när de jämförs och vägs samman. När vi gör detta kan man tydligt se att en investering i att implementera frekvensreglering är ett

lönsamt alternativ enligt samtliga tre investeringskalkyler. Alltså finns det goda skäl att införa en lösning med frekvensreglering.

Ytterligare en del av lönsamhetsstudien som bör diskuteras är den kostnadsmässiga analysen, det vill säga de kostnadsbesparingar som fås av att implementera lastflytt. I vår undersökning har vi framkommit till att det inte krävs någon grundinvestering för att implementera lastflytt med laddstationer, därmed innebär detta att det inte krävs någon investeringskalkyl kopplat till lastflytt. Vi har inte heller inkluderat lastflytt i känslighetsanalysen, vilket kan verka märkligt men motiveras av att den procentuella kostnadsbesparingen inte påverkas av prisökningar. Ifall spotpriser på elektricitet förändras kommer detta enbart att medföra att kostnadsbesparingens storlek ökar i samma proportion som laddningskostnaderna i helhet. Vi ser till följd av avsaknaden av grundinvestering för lastflytt att denna lösning är lönsam och ekonomiskt gynnsam för Vasakronan. Däremot är det värt att påpeka även här att det kan finnas dolda kostnader kopplat till införandet av lastflytt som inte inkluderats i analysen, men ändå kan påverka lönsamheten av idéen. Dessutom kan det potentiellt gå att erhålla högre lönsamhet, till exempel om effekten av att lastflytten avskaffas blir att fler bud kan läggas på FCR-D ned, eller möjligtvis på andra stödtjänster.

En fråga återstår att besvaras och det är vem som faktiskt får ta del av kostnadsbesparingarna som fås av lastflytt. Det är klart att Vasakronan tilldelas intäkterna för leveransen av stödtjänster, men den som drar nytta av kostnadsbesparingen genom lastflytt är den part som betalar laddningskostnaden. Detta kan skilja sig från fastighet till fastighet och beror ofta på vilken typ av kund som fastigheten inhyser. Har fastigheten som syfte att erbjuda kontorsyta till Vasakronans anställda kan det vara möjligt att Vasakronan erbjuder förmåner i form av gratis laddning. Om så är fallet är det Vasakronan som står för laddningskostnaderna och som därför får ta del av kostnadsbesparingarna som uppkommer. Ifall dessa förmåner inte finns är det Vasakronans anställda och besökare som i stället drar nytta av minskade kostnader. Ett tredje fall kan vara att Vasakronan hyr ut kontorsytorna i fastigheten och att det då är hyresinnehavaren som betalar för laddningen av elbilarna. Då får antingen hyresgästen eller dennes anställda ta del av hela kostnadsbesparingen, vilket innebär att Vasakronan gör en tjänst för sina hyresgäster genom möjligheten till billigare elbilsladdning. Slutligen beror detta också på om laddstolparna är publika eller icke-publika, det vill säga om de kan användas av utomstående privatpersoner som besöker fastigheten. Det finns alltså en mångfald av upplägg för vem som betalar för laddningen och som därigenom skulle dra nytta av lastflytt. I slutändan blir det den aktören som betalar för laddningen som erhåller kostnadsbesparingen med denna lösning. Oavsett vilket som är fallet finns det incitament för Vasakronan att implementera lastflytt, antingen ekonomiskt eller genom icke-monetära fördelar. De sistnämnda av dessa incitament behandlas mer ingående senare i diskussionen.

Sammantaget har lönsamhetsstudien genomförts för att tjäna som exempel på vad de praktiska implikationerna av att implementera lastflytt och frekvensreglering med hjälp av laddstolpar kan innebära. De resultat som har fåtts visar tydligt på att det mycket väl kan finnas god lönsamhet i denna typ av lösningar. Samtidigt bör man ha i åtanke att denna analys grundar sig på ett flertal antaganden och approximeringar, vilket kan medföra följdfel i resultaten. Att analysen är skapad utifrån en icke-existerande fastighet medför även att de slutsatser som kan dras begränsas. Däremot är samtliga antaganden förankrade i statistik och diverse källor, vilket stärker trovärdigheten i resultaten. Exempelfastigheten som har använts i studien är vidare utformad utifrån Vasakronans nuvarande fastighetsportfölj, med liknande antal laddstolpar och övriga tekniska förutsättningar. Visserligen har vi i analysen valt att räkna med 100 laddpunkter i fastigheten, vilket är i den övre delen av spannet för de verkliga fastigheterna. Detta kan dock antas vara rimligt ifall man utgår ifrån den historiska utvecklingen för antal laddstolpar och elbilsförsäljning och att dessa kommer att fortsätta

öka i framtiden. Således kan analysen ses som representativ för vad som är möjligt för en framtida genomsnittsfastighet med elbilsladdare.

7.4 Hur ser framtiden ut?

Batteritekniken och elbilens utveckling är anledningen till att elbilar har ersatt fossildrivna bilar som det nya och moderna fordonet idag, även om den första bilen någonsin var eldriven. Det är denna batteriteknik som gjort elbilen användbar då de har längre räckvidd och en mängd andra fördelar nuförtiden, vilket gör dem populära hos konsumenter. Elbilen ersätter successivt den klassiska fossildrivna bilen och utvecklingen lär inte stanna upp inom den närmsta framtiden. Som tidigare nämnt lovar även större bilförsäljare ett elektrifierat utbud i framtiden och de måste fortsätta utvecklingen för att säkerställa sina marknadsandelar. Detta kan ställa till med problem för lösningarna som presenteras i denna rapport då de bygger på att det finns ett effektbehov hos bilarna och att bilarna laddas med Vasakronans laddstolpar. Fortsätter batteritekniken att förbättras kan detta resultera i att elbilarna förbrukar mindre effekt per mil och att förbrukningen inte är lika temperaturberoende så som den är idag. Förbrukar elbilen lika mycket både på vintern som på sommaren och dessutom mindre överlag kan energibehovet minska. Om laddningsbehovet minskar kan detta påverka lastflytten då mängden effekt som kan flyttas minskar. Alltså kan de ekonomiska incitamenten till att implementera lastflytt försvinna då en kostnadsbesparing kan vara svår att erhålla. När det kommer till frekvensreglering kan detta minskande effektbehov resultera i att leveransen av stödtjänsten FCR-D ned inte längre är aktuellt. Effektbehovets minskning kan vidare resultera i att laddningseffekten i sin tur inte kan öka lika mycket för att reglera ner frekvensen vid avvikelser. Då kan även de ekonomiska incitamenten till frekvensreglering försvinna då intäkterna skulle minska. Sammanfattningsvis kan denna utveckling leda till att enskilda elbilar blir mindre beroende av laddstolpar och laddning, även om antalet ökar. Det finns redan idag elbilar som nästan ersatt behovet av en laddstolpe. Ett exempel är en bil vid namnet Lightyear 0 som har 5 m^2 solceller installerade, vilket resulterar i 1100 mil i räckvidd per år räknat utifrån att bilen befinner sig i södra Spanien.[77] Denna bil reducerar behovet av laddstolpar, och fortsätter denna utveckling kan det bli allt svårare att implementera lösningarna som behandlas i denna rapport.

Elbilens utveckling och den förbättrade batteritekniken kan dock leda till andra typer av lösningar för att förbättra elnätet. Elbilarnas utveckling kan därmed delvis vara en nackdel för lösningarna presenterade i rapporten, men samtidigt vara en stor fördel för andra lösningar. Tidigare nämndes det hur respondenten från Vasakronan anser att V2G och dubbelriktad laddning idag inte är aktuellt för företaget, något som kan komma att ändras i framtiden. Utvecklas elbilarna så att de klarar av dubbelriktad laddning, tillsammans med ökad kapacitet och mindre förbrukning i batterierna, kan dessa bilar användas till lösningar inom just V2G. Då skulle bilarna kunna användas som batterier för att leverera effekt till elnätet under tidpunkter med hög efterfrågan. Alltså sänks då effekttopparna genom att effekt levereras till elnätet i stället för att lasten flyttas till andra tidpunkter på dagen. Därmed kan V2G potentiellt ersätta lösningen som presenteras i denna rapport i framtiden, men detta återstår att se. De kommande åren kommer Sveriges kraftproduktion sannolikt bestå av en allt större andel väderberoende produktion, vilket innebär en viss osäkerhet i elförsörjningen. Där kan V2G också vara en lämplig lösning för att säkerställa att utbudet alltid finns för att bemöta den rådande efterfrågan på elektricitet. Sedan kan då andra stödtjänster också levereras, exempelvis FCR-D upp. Det är inte enbart batteritekniken och elbilens utveckling som sätter stopp för detta idag, till exempel nämnde respondenten från Vasakronan att affärsmodeller måste tas fram och att en del juridiska frågor måste lösas för

[77] Lightyear. Paving the way for clean mobility. 2024. https://lightyear.one/lightyear-0/

att detta skulle implementeras. Detsamma gäller för flertalet andra lösningar för att avlasta kraftsystemet, såsom flexibilitetsmarknader. Även denna lösning, som syftar till att avlasta lokala flaskhalsar i elnätet genom kapacitetsresurser, beskrivs av respondenten som inaktuell för Vasakronan i dagsläget. Alltså ligger dessa alternativ en bra bit in i framtiden, men detta kan komma att ändras. Nyckeln till dessa lösningar ligger huvudsakligen i utformandet av bättre affärsmodeller samt teknisk innovation för elbilarna och kraftsystemet.

7.5 Icke-monetära värden och deras roll

Att frekvensreglering och lastflytt antingen resulterar i kostnadsbesparingar eller intäkter för Vasakronan är ett fundamentalt krav för dessa lösningar och deras implementering under en längre tid, alltså måste de kunna anses vara lönsamma. Men dessa lösningar är mångfacetterade och bidrar även till att leverera icke-monetära värden. Dessa är minst lika viktiga som de monetära resultaten och kan utgöra en bidragande faktor till Vasakronans konkurrenskraft, företagskultur, deras måluppfyllande och roll i samhället. Vasakronan lägger redan idag ett stort fokus på hållbarhetsarbetet. Enligt respondenten är detta mycket viktigt för dem eftersom de då också möter deras kunders önskemål. Deras kunder vill exempelvis hyra lokaler som har en liten klimatpåverkan, samtidigt som Vasakronan också vill hjälpa kunderna att övergå till fossilfria alternativ genom installation av laddstolpar. Vasakronan säkerställer alltså att prioritera deras bidragande till klimatomställningen och respondenten ser detta som en viktig samhällsfråga. Genom att energieffektivisera byggnaderna och installera laddstolpar arbetar Vasakronan hållbart, och inkluderar man kundernas önskemål finns det ett egenvärde i det. Samtidigt ställer Vasakronan krav på bygg -och fastighetsbranschen på att de ska bygga fastigheterna genom hållbara metoder och med en högre grad av cirkularitet. Vasakronans hållbarhetsarbete, hur de implementerar kunders önskemål samt hur de ställer krav på sina leverantörer och samarbetspartners ger företaget möjlighet att transformera hela värdekedjan till att bli mer hållbar. Detta kan i sin tur dra till sig fler kunder eller aktörer som vill samarbeta med Vasakronan. De har därmed möjligheten att förbättra sitt varumärke och få bättre goodwill genom hållbarhetsarbetet, vilket förklarar varför detta är ett prioriterat område.

Enligt vår uppfattning har Vasakronan tagit en ledande roll i hållbarhetsarbetet inom den svenska fastighetsbranschen och skiljer sig därmed från andra fastighetsbolag. Det är just detta som de icke-monetära konsekvenserna av lastflytt och frekvensreglering ger Vasakronan. Effekten av att implementera lösningarna kan inte enkelt kvantifieras, vilket även gäller för andra delar av det ovan nämnda hållbarhetsarbetet. Men detta är trots allt viktigt för hur Vasakronan uppfattas i samhället, och genom att implementera lösningarna kan de säkra sin roll som hållbar ledare i fastighetsbranschen.

7.6 Övriga delar av fastighetsbranschen

Lastflytt och frekvensreglering är lösningar som inte nödvändigtvis bara passar in på Vasakronan. På grund av dagens ökande trend för elbilsmarknaden bör andra företag, om de inte redan gör det, också installera laddstolpar. Om det finns tillräckligt många bilar som ställer sig vid dessa laddstolpar kan andra fastighetsbolag också ta del av dessa lösningar och stärka sitt egna hållbarhetsarbete. Enligt respondenten finns det skillnader mellan hur Vasakronan och andra fastighetsbolag har anammat hållbarhetsarbetet. Respondenten har förklarat att Vasakronan var tidiga med att inse att hållbarhet kan vara lönsamt samtidigt som det är bra att ha brett perspektiv kring detta. Därför har de systematiskt utvecklat hållbarhetsarbetet nedifrån och upp och inser det viktiga i att driva på utvecklingen. Andra företag kan därför ligga efter i de tekniska, ekonomiska och kunskapsmässiga aspekterna som krävs för att implementera frekvensreglering och

lastflytt. Som tidigare nämnt ingår Vasakronan redan i balansmarknaden och levererar stödtjänster, samtidigt som de idag har de tekniska förutsättningar som krävs för att lyckas med detta. Alltså är Vasakronan idag redan i framkant när det kommer till att implementera denna typ av affärsidéer. Andra företag inom branschen kan visserligen ha bättre kompetens inom vissa specifika områden, men dessa företag saknar enligt respondenten den bredd i hållbarhetsarbetet som Vasakronan har. Detta innebär att Vasakronans styrka, jämfört med övriga fastighetsbolag, potentiellt inte ligger i att vara främst i ledet för teknisk innovation, utan snarare ligger i deras förmåga att anamma nya lösningar på bred front.

8. Slutsats

I denna rapport har vi undersökt möjligheterna kring hur ett fastighetsbolag vid namnet Vasakronan kan implementera lastflytt och frekvensreglering och därmed effektivisera elnätet samt öka sin hållbarhet. Genom en kombination av en intervju, en litteraturstudie, datainhämtning och dataanalys samt en lönsamhetsstudie med känslighetsanalys har vi analyserat hur lastflytt och frekvensreglering skulle kunna implementeras praktiskt på Vasakronan idag. Vi har även undersökt och analyserat vad detta skulle innebära för möjliga konsekvenser i såväl monetära som icke-monetära termer. Våra fynd belyser att det idag kan vara lönsamt och är tekniskt möjligt för Vasakronan att implementera dessa två lösningar. Dessutom har resultaten bidragit till att erhålla en djupare förståelse för hur befintlig teknik kan användas till nya lösningar och fortsätta utvecklingen av samhället genom att effektivisera kraftsystemet. I delen problemformulering och syfte presenterades ett antal frågeställningar som vi hade för avsikt att besvara i rapporten. Dessa svar, tillsammans med de viktigaste slutsatserna som arbetet har resulterat i, presenteras nedan.

Undersökningen syftade bland annat till att fastställa vilka tekniska möjligheter det fanns för implementering och lastflytt med hjälp av elbilsladdare på Vasakronan idag. I nuläget ligger Vasakronan i framkant när det gäller teknik och automatisering av sina fastigheter. Vi drar därför slutsatsen att de tekniska förutsättningarna som krävs för lastflytt finns installerade i Vasakronans fastigheter redan idag i form av allt ifrån laddstolpar till diverse integrationsplattformar. Att implementera lastflytt är därför fullt möjligt enligt vår bedömning, och det arbete som skulle krävas för detta antas vara överkomligt. Däremot gäller detta inte fullt ut för frekvensreglering, vilket är den andra lösningen som har analyserats i rapporten. Implementeringen av frekvensreglering med hjälp av laddstolpar bedöms kräva en grundinvestering baserat på undersökningens resultat. Detta beror huvudsakligen på elservisen i respektive fastighet och består i att säkerställa att den tekniska utrustningen för att mäta elnätsfrekvensen finns på plats.

Att planera elbilsladdningen så att lastflytt kan uppnås kräver en del arbete och analys av laddningskurvan. En av de huvudsakliga problemen som uppkommer kopplat till detta är hur man implementerar lastflytt utan att varken Vasakronan eller de elbilsägare som nyttjar deras laddstolpar blir missnöjda. Bland annat handlar detta om att säkerställa att elbilsägarna får tillgång till tillräckligt hög laddeffekt så att bilarna hinner laddas fullt. Fastighetsägarens bästa alternativ är däremot ofta den lösning där lasten fördelas över fler timmar, vilket i många fall kan bli raka motsatsen till elbilsägarnas önskemål. Slutsatsen som dras kopplat till denna fråga är att elbilsladdningen måste planeras noggrant efter den rådande elnätsbelastningen för att få en framgångsrik lastflytt, samtidigt som en kompromiss görs genom att enbart inkludera elbilsladdare med 7.4 kW. Utifrån analysen dras slutsatsen att laddningseffekten bör minska på morgonen så att laddningen pågår under längre tid på dagen. Lönsamhetsstudien visade i detta fall även att det är låg sannolikhet att laddningen tar längre än ett par enstaka timmar, något som begränsar problemet med kundernas önskemål. Problemet mitigeras ytterligare av att effekten i 11 kilowattsladdare lämnas oförändrad, vilket kan ses som en “gyllene medelväg” i

saken. Här består nyttan för Vasakronan, eller de andra aktörer som står för kostnaden, i att genom förskjuten laddning kunna ladda elbilarna till ett billigare pris. Därmed uppnås även en underlättande effekt för kraftnätets problem med effekttoppar.

En av frågeställningarna som behandlas i rapporten är vilka ekonomiska incitament som finns för Vasakronan att implementera lastflytt och frekvensreglering, samt hur de eventuella intäkterna och kostnadsbesparingarna ska fås. Angående detta kan inledningsvis en slutsats dras att de ekonomiska incitamenten till lastflytt är i form av kostnadsbesparingar för den som betalar för elbilarnas laddning. Vi kan inte dra en säker slutsats om specifikt vilken aktör som får kostnadsbesparingen, då det helt enkelt varierar beroende på vem som befinner sig i fastigheten och hur upplägget kring elbilsladdningen ser ut på plats. De ekonomiska incitamenten för implementering av frekvensreglering är däremot i form av löpande intäkter till Vasakronan. I detta fall är vår slutsats att frekvensreglering kan vara möjligt under förmiddagar då många bilar antas laddas via fastighetens laddstolpar. I vår studie analyseras hur effektbehovet kan användas för att leverera FCR-D ned genom att laddningseffekten till elbilarna ökar från den låga grundnivån då lastflytt sker till maximal effekt. Aktivering av frekvensregleringsbuden avbryter dock lastflytten, men resultatet i form av nettovinst blir trots detta positivt. Beträffande detta drar vi slutsatsen att aktiveringen får en försumbar inverkan till följd av en låg snittaktivering. Kontentan är därmed att intäkterna från frekvensreglering är tillräckligt stora för att investeringen ska kunna anses vara lönsam, vilket bekräftas av investeringskalkylerna i lönsamhetsstudien. Vidare har även lastflytt påvisats vara ett lönsamt alternativ, utan behov av grundinvestering. Ifall dessa två alternativ jämförs är dock den årliga intäkten från frekvensreglering markant mycket större än kostnadsbesparingen från lastflytt.

Vidare har frågeställningen huruvida det finns andra incitament, utöver ekonomiska, kopplade till lastflytt och frekvensreglering undersökts, där slutsatsen blir att dessa incitament finns och har en viktig betydelse. Vasakronan har möjlighet att förbättra sitt redan goda rykte, sitt varumärke och fastställa sin position som en ledande aktör i fastighetsbranschen. Detta görs genom att på ett effektivt sätt fortsätta arbeta hållbart och utveckla nya metoder för att bidra till samhällsutvecklingen, något som kan likställas med implementering av lastflytt och frekvensreglering. Vi drar slutsatsen att detta kommer att förstärka relationen med Vasakronans befintliga kunder, attrahera nya kunder och även påverka deras leverantörer samt värdekedjan de befinner sig i till ökad hållbarhet. Dessa insikter är av stor vikt för hela fastighetsbranschen och samhället i stort eftersom det innebär utveckling av nya lösningar med befintlig teknik. Vi drar slutsatsen att dessa lösningar även är till stor vikt i effektiviseringen av elnätet och de problem som finns kopplat till detta idag, nämligen höga effekttoppar, höga elpriser och flaskhalsar i form av kapacitetsbrist.

Slutligen besvarar vi frågan om hur framtiden kan se ut för lastflytt och frekvensreglering, hur andra lösningar kan tänkas implementeras och vad elbilens utveckling kan ha för påverkan i denna process. Vår slutsats är att det kommer att finnas ett stort behov av lastflytt i framtiden. Det finns redan idag en tydlig kostnadsbesparing med lastflytt och så kommer det sannolikt även att vara i framtiden. Detta beror på marknadens utveckling samt hur väl elbilar och deras batterier utvecklas. Vi ser en tydlig ökning av nyregistrerade elbilar och denna trend kommer sannolikt att kvarstå även i framtiden. Ett ökat antal elbilar leder till ett ökat effektbehov överlag, även om effektivare fordon kommer minska effektbehovet för varje enskild bil. Förbättras bilbatterierna kan detta leda till en mindre förbrukning när de väl färdas. Med en mindre förbrukning kommer det att finnas mindre last att flytta per enskild bil, även om effektbehovet är större ur ett systemperspektiv. Alltså drar vi slutsatsen att lastflytt sannolikt kommer att behövas även en längre tid framöver, men att elbilarnas effektivitet kan vara en begränsning i den lösning som presenteras i denna rapport. Dock kan

utvecklingen av vehicle-to-grid få en betydande roll för framtidens elbilar. Lastflytt kan beroende på denna utveckling komma att innebära att tillföra effekt till elnätet i stället för att minska förbrukningen. Principen i att flytta last och minska effekttoppar kan alltså komma att bero till större del av V2G-lösningar i framtiden.

Vi drar även slutsatsen att det finns en växande marknad för frekvensreglering i Sverige idag. Med tanke på den ökande andelen väderberoende produktion är det en trend som kan antas fortsätta de kommande åren. Det är av yttersta vikt att säkerställa att frekvensen i elnätet hålls vid 50 Hz, samtidigt som den nuvarande energiomställningen kan leda till en större osäkerhet och instabilitet. Gällande detta anser vi att frekvensreglering är en nödvändig och samhällsviktig lösning, vare sig det är genom lösningar såsom Magasin X i Uppsala eller genom dubbelriktad laddning med elbilar. Ifall de tekniska, affärsmässiga och juridiska problemen kopplade till V2G löses i framtiden kan detta, tillsammans med mer utvecklade elbilar, innebära praktiska affärslösningar som liknar Magasin X. Sammantaget ser vi god lönsamhet för frekvensreglering idag och enligt vår ståndpunkt finns det inte någon anledning till att hysa annorlunda framtidsutsikter.

Denna undersökning kan påbyggas och utvecklas genom framtida arbeten och vi ser gärna fler studier om hur V2G kan göras aktuellt och mer storskaligt applicerbart genom en djupare analys. I vår rapport har vi inte undersökt detta i någon vidare mening då intervjurespondenten på Vasakronan ställde sig tveksam till dagens möjligheter. I nuläget finns inte den teknik som krävs för att utnyttja V2G för att leverera lastflytt och frekvensreglering på Vasakronan och sådana möjligheter är sällsynta i samhället. Ett framtida arbete kan därmed bearbeta fordonstillverkarnas tekniska arbete kring dubbelriktad laddning och hur man kan underlätta för lösningar där V2G används för lastflytt och frekvensreglering. Idag finns det både affärsmässiga och juridiska frågor kring V2G så ett arbete kring detta är därmed lika aktuellt. På samma sätt har det konstaterats att det finns många frågor kvar att lösa kring införandet av flexibilitetsmarknader såsom sthlmflex. Utmaningarna kopplat till detta ligger huvudsakligen i bristen på erfarenhet och fungerande affärslösningar, även inom detta område behövs alltså mer forskning. Slutligen kan vi påpeka att vår studie endast innehöll en intervju med fastighetsbolaget Vasakronan, i syfte att utveckla den analys som gjorts kan förslagsvis även de övriga aktörerna i värdekedjan intervjuas. Dessa skulle i så fall kunna vara marknadsaggregatorer, elbilstillverkare, installatörer av laddstolpar och utrustning för frekvensreglering eller Svenska Kraftnät.

Referenslista

Abran, E. Andersson, E. *Intäktsanalys av vindkraft som reglerresurs, Med och utan batterilager.* Examensarbete, Uppsala Universitet. 2023. Tillgänglig via: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1779068/FULLTEXT01.pdf

Bain & Company. *Electric Vehicles.* 2024. Hämtad 2024-04-22. Tillgänglig via: https://www.bain.com/insights/topics/electric-vehicles/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw26KxBhBDEiwAu6KXtzdoAS-YMtfTB03bVuhfMiSDjrnCc5VycKY1tKFtUHNGFcZP26asTBoCd1IQAvD_BwE

Bilbolaget. *Fakta om elbilar 2024: Många fördelar och få nackdelar.* 2024. Hämtad 2024-03-25. Tillgänglig via: https://bilbolaget.nu/artiklar/fordelar-med-elbilar/

Chargefinder. *Vasakronan Kista Entré.* 2016. Hämtad 2024-05-28. Tillgänglig via: https://chargefinder.com/se/ladda-elbil-kista-vasakronan-kista-entre/dw6n6.

Chargefinder. *Vasakronan Garnisonen Utomhus.* 2016. Hämtad 2024-05-28. Tillgänglig via: https://chargefinder.com/se/ladda-elbil-stockholm-vasakronan-garnisonen-utomhus/7w9x8p.

Chargefinder. *Vasakronan Garnisonen (P-hus).* 2016. Hämtad 2024-05-28. Tillgänglig via: https://chargefinder.com/se/ladda-elbil-stockholm-vasakronan-garnisonen-p-hus/gdwkj#:~:text=Laddare%20f%C3%B6r%20elbil%20i%20Stockholm,Denna%20laddare%20h%C3%B6r%20till%20Vasakronan.

Costa, G. Introductions to Problems of Shift Work. I: I. Iskra-Golec et al. (eds.), Social and Family Issues in Shift Workand Non Standard Working Hours, s. 19–35. Springer, Basel, DOI 10.1007/978-3-319-42286-2_2. 2016.

Energimarknadsinspektionen. *Effekttariffer.* 2023. Hämtad 2024-03-25. Tillgänglig via: https://ei.se/bransch/reglering-av-natverksamhet/reglering---elnatsverksamhet/effekttariffer

Energimarknadsinspektionen. *Elområden.* 2021. Hämtad 2024-04-24. Tillgänglig via: https://ei.se/konsument/el/elmarknaden/elomrade

Energiföretagen. *Energiföretagen förklarar: Elområden och elpriset.* 2023. Hämtad 2024-04-22. Tillgänglig via: https://www.energiforetagen.se/pressrum/nyheter/2022/augusti/energiforetagen-forklarar-elomraden-och-elpriset/

Energiföretagen. *Statistik visar minskad och flyttad elanvändning i Sverige.* 2022. Hämtad 2024-04-24. Tillgänglig via: https://www.energiforetagen.se/pressrum/nyheter/2022/november/statistik-visar-minskad-och-flyttad-elanvandning-i-sverige/

Energimyndigheten. *Laddinfrastruktur i Sverige.* 2024. Hämtad 2024-03-26. Tillgänglig via: https://www.energimyndigheten.se/klimat/transporter/laddinfrastruktur/laddinfrastruktur-i-sverige/?_t_id=zkt-Pee9yAOMNwukve2SiQ%3d%3d&_t_uuid=bKG5ngbaQyCV5gLa6Ko6_g&_t_q=laddinfrastruktur&_t_tags=language%3asv%2candquerymatch&_t_hit.id=Energimyndigheten_Content_Pages_SubStartPage/_df576767-cc34-48ee-b472-f0d77b57ab63_sv&_t_hit.pos=2

European Network of Transmission System Operators for Electricity (entsoe). Technical Requirements for Frequency Containment Reserve Provision in the Nordic Synchronous Area. 2023. Hämtad 2024-03-26. Tillgänglig via:

https://www.svk.se/siteassets/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/fcr/fcr-technical-requirements-may-23.pdf

Garberson, A; Hough, B. *Winter & Cold Weather EV Range 10,000+ Cars. Recurrent*. 2024. Hämtad 2024-05-18. Tillgänglig via: https://www.recurrentauto.com/research/winter-ev-range-loss

Halberg, C & Wållberg, I. *Tekniska och ekonomiska möjligheter för fastighetsbolag att ansluta till Svenska Kraftnäts balansmarknad, En lönsamhetsstudie för fastighetsbolag att leverera stödtjänster till kraftsystemet.* Examensarbete, Uppsala Universitet. 2022. Tillgänglig via: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1710858/FULLTEXT01.pdf

International Energy Agency. *Electric Vehicles*. 2023. Hämtad 2024-04-22. Tillgänglig via: https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles

Kraftringen. *Elnätsavgifter och villkor.* 2024. Hämtad 2024-05-27. Tillgänglig via: https://www.kraftringen.se/privat/el/elnatsavgift/

Lightyear. *Paving the way for clean mobility.* 2024. Hämtad 2024-05-31. Tillgänglig via: https://lightyear.one/lightyear-0/

Lindgren, A. *Ekonomisk kartläggning av teknologier som potentiellt skulle kunna leverera reserverna FCR och aFRR. Examensarbete*, Uppsala Universitet. 2019. Tillgänglig via: https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1336864/FULLTEXT01.pdf

Mimer. *Statistik – FCR.* 2024. Hämtad 2024-05-20. Tillgänglig via: https://mimer.svk.se/Primaryregulation/HistoryIndex2023

Naturvårdsverket. *Inrikes transporter, utsläpp av växthusgaser.* 2023. Hämtad 2024-03-25. Tillgänglig via: https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/

Naturskyddsföreningen. *Hur sätts elpriset och varför går det upp?*. 2022. Hämtad 2024-03-24. Tillgänglig via: https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/hur-satts-elpriset-och-varfor-ar-det-hogt/

Oyster. *Working hours and overtime rules around the world.* 2023. Hämtad 2024-04-24. Tillgänglig via: https://www.oysterhr.com/library/average-working-hours-by-country

Reuters, Victoria Waldersee. *Volkswagen brand will only produce electric cars in Europe from 2033-branch chief.* 2023. Hämtad 2024-03-25. Tillgänglig via: https://www.reuters.com/business/autos-transportation/volkswagen-brand-will-be-electric-only-carmaker-europe-2033-brand-chief-2022-10-26/

S. Nilsson, A Zetterlind. *En analys av rotationsenergi från SMR:er* (Examensarbete, Chalmers Tekniska Högskola, 4-6). 2023. Hämtad 2024-04-25. Tillgänglig via: https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/d6c50dfa-2f35-4daf-aa09-1f53907473ae/content

Statistikmyndigheten. *Inflationstakten enligt KPI och KPIF.* 2024. Hämtad 2024-04-23. Tillgänglig via: https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/priser-och-konsumtion/konsumentprisindex/konsumentprisindex-kpi/pong/tabell-och-diagram/konsumentprisindex-med-fast-ranta-kpif-och-kpif-xe/inflationstakten-enligt-kpi-och-kpif/

Statistikmyndigheten. *Tredubbling av elbilar på två år*. 2023. Hämtad 2024-04-22. Tillgänglig via: https://www.scb.se/hitta-statistik/redaktionellt/tredubbling-av-elbilar-pa-tva-ar2/

Statistikmyndigheten, Statistikdatabasen. *Elproduktion och elanvändning efter område. Månad 2021M01-2024M02*. 2024. Hämtad 2024-04-22. Tillgänglig via: https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0108__EN0108A/ElEO/

Svenska Kraftnät. *Automatisk frekvensåterställningsreserv (aFRR)*. 2024. Hämtad 2024-04-22. Tillgänglig via: https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/afrr/

Svenska Kraftnät. *Balansmarknaden*. 2022. Hämtad 2024-04-27. Tillgänglig via: https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/balansmarknaden/

Svenska Kraftnät. *Elområden*. 2023. Hämtad 2024-03-23. Tillgänglig via: https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/elomraden/

Svenska Kraftnät. *Export och import av el*. 2022. Hämtad 2024-03-24. Tillgänglig via: https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/export-och-import-av-el/

Svenska Kraftnät. *Frekvenshållningsreserv normaldrift (FCR-N)*. 2024. Hämtad 2024-05-31. Tillgänglig via: https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/fcr-n/

Svenska Kraftnät. *Frekvenshållningsreserv störning nedreglering (FCR-D ned)*. 2024. Hämtad 2024-04-26. Tillgänglig via: https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/fcr-d-ned/

Svenska Kraftnät. *Frekvenshållningsreserv störning uppreglering (FCR-D upp)*. 2024. Hämtad 2024-04-26. Tillgänglig via: https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/fcr-d-upp

Svenska Kraftnät. *Frekvensstabilitet*. 2024. Hämtad 2024-04-24. Tillgänglig via: https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-systemansvaret/kraftsystemstabilitet/frekvensstabilitet/ /

Svenska Kraftnät. *Handel och prissättning*. 2024. Hämtad 2024-04-27. Tillgänglig via: https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/handel-prissattning/

Svenska Kraftnät. *Hur sätts elpriset och vad är ett priskryss?*. 2023. Hämtad 2024-04-24. Tillgänglig via: https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-systemansvaret/verktyg-for-systemdrift/forbrukningsfrankopplingsa-har-funkar-frankoppling-om-elen-inte-racker-till/hur-satts-elpriset-och-vad-ar-ett-priskryss/

Svenska Kraftnät. *Manuell frekvensåterställningsreserv (mFRR)*. 2024. Hämtad 2024-04-24. Tillgänglig via: https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/mfrr/

Svenska Kraftnät. *Marknaden för stödtjänster till kraftsystemet växer kraftigt*. 2021. Hämtad 2024-04-27. Tillgänglig via: https://www.svk.se/press-och-nyheter/press/marknaden-for-stodtjanster-till-kraftsystemet-vaxer-kraftigt---3292104/

Svenska Kraftnät. *Om olika reserver*. 2024. Hämtad 2024-05-31. Tillgänglig via: https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/

Svenska Kraftnät. *Räkneexempel: Nedreglering för en produktionsanläggning, FCR-D ned och mFRR ned.* 2024. Tillgänglig via:
https://www.svk.se/siteassets/aktorsportalen/bidra-med-reserver/fcr-d-ned-och-mfrr-ned-rakneexempel.pdf

Svenska Kraftnät. *Snabb frekvensreserv (FFR).* 2023. Hämtad 2024-04-26. Tillgänglig via:
https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/ffr/

Svenska Kraftnät. *Stödtjänster och avhjälpande åtgärder.* 2023. Hämtad 2024-04-22. Tillgänglig via:
https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-systemansvaret/verktyg-for-systemdrift/stodtjanster-och-avhjalpande-atgarder/

Svenska Kraftnät. *Översiktlig kravbild för reserver.* 2024. Hämtad 2024-04-28. Tillgänglig via:
https://www.svk.se/siteassets/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/oversiktlig-kravbild-for-reserver-maj-2024.pdf

Sveriges Riksbank. *Fördjupning – Höga energipriser – hur kommer andra konsumentpriser att påverkas?* 2022. Hämtad 2024-04-23. Tillgänglig via:
https://www.riksbank.se/globalassets/media/rapporter/ppr/fordjupningar/svenska/2022/hoga-energipriser--hur-kommer-andra-konsumentpriser-att-paverkas-fordjupning-i-penningpolitisk-rapport-februari-2022.pdf

Sveriges Riksbank. *Sök års- och månadsgenomsnitt valutakurser.* 2024. Hämtad 2024-05-29. Tillgänglig via:
https://www.riksbank.se/sv/statistik/rantor-och-valutakurser/sok-ars--och-manadsgenomsnitt-valutakurser/

Tesla. *Strömhantering för Wall Connector.* 2024. Hämtad 2024-05-30. Tillgänglig via:
https://www.tesla.com/sv_se/support/charging/wall-connector/power-management

Tillväxtverket. *Höga elpriser kan få stor negativ påverkan på företagen*. 2023. Hämtad 2024-04-23. Tillgänglig via:
https://tillvaxtverket.se/tillvaxtverket/statistikochanalys/trenderochanalyser/trenderochanalyser/hogaelpriserkanfastornegativpaverkanpaforetagen.4835.html

TomTom Traffic Index. *Stockholm traffic report.* 2024. Hämtad 2024-05-17. Tillgänglig via:
https://www.tomtom.com/traffic-index/stockholm-traffic/

Trafikanalys. *Förvärvsarbetande och deras arbetsresor.* 2020. Hämtad 2024-05-18. Tillgänglig via:
https://www.trafa.se/globalassets/pm/2020/pm-2020_6-forvarvsarbetande-och-deras-arbetsresor.pdf

Trafikanalys. *Gör ditt eget statistikurval, fordon på väg.* Hämtad 2024-03-25. Tillgänglig via:
https://www.trafa.se/vagtrafik/fordon/?cw=1&q=t10026|ar|nyregunder|drivmedel~barchart:line,,0,0,0,1

Union of Concerned Scientists. Driving Cleaner: *Electric Cars and Pickups Beat Gasoline on Lifetime Global Warming Emissions*. 2022. Hämtad 2024-05-18. Tillgänglig via:
https://www.ucsusa.org/sites/default/files/2022-09/driving-cleaner-report.pdf

Vattenfall. *Kapacitet och flexibilitet i elnätet*. 2024. Hämtad 2024-03-23. Tillgänglig via:
https://www.vattenfalleldistribution.se/om-elnatet/kapacitet/

Vattenfall. *När är elen billigast på dygnet?*. 2022. Hämtad 2024-04-24. Tillgänglig via:
https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/nar-ar-elen-billigast/

Vattenfall. *Elavtal med timpris*. Hämtad 2024-05-22. Tillgänglig via:

https://www.vattenfall.se/elavtal/elpriser/timpris/

Vattenfall. *Elbilens historia och utveckling*. 2022. Hämtad 2024-03-25. Tillgänglig via: https://energyplaza.vattenfall.se/blogg/elbilens-historia-och-utveckling

Vattenfall. *Elmarknaden just nu: Lägre elpriser i början av 2023*. 2023. Hämtad 2024-05-29. Tillgänglig via: https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2023/elmarknaden-just-nu-lagre-elpriser-i-borjan-av-2023

Vasakronan. *Välkommen till Vasakronan*. 2024. Hämtad 2024-05-29. Tillgänglig via: https://vasakronan.se/#:~:text=V%C3%A4lkommen%20till%20Vasakronan.&text=Vi%20erbjuder%20attraktiva%20lokaler%20i,%2C%20G%C3%B6teborg%2C%20Malm%C3%B6%20och%20Uppsala

Volvo. *Volvo Cars ska vara helt elektriskt 2030*. 2021. Hämtad 2024-03-25. Tillgänglig via: https://www.media.volvocars.com/se/sv-se/media/pressreleases/277409/volvo-cars-ska-vara-helt-elektriskt-senast-2030