



CHALMERS



Modellering och styrning av laddinfrastruktur för elfordon i nätet

Analys av laddningsmetoder i framtidens elnät

Examensarbete inom högskoleprogrammet Elektroteknik

Simon Jonasson
Ludwig Rimsby

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2026
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE 2026

Modellering och styrning av laddinfrastruktur för elfordon i nätet

Analys av laddningsmetoder i framtidens elnät

Simon Jonasson
Ludwig Rimsby



CHALMERS

Institutionen för Elektroteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2026

Modellering och styrning av laddinfrastruktur för elfordon i nätet
Analys av laddningsmetoder i framtidens elnät
Simon Jonasson & Ludwig Rimsby

© Simon Jonasson & Ludwig Rimsby, 2026.

Handledare: Thomas Hammarström, Elektroteknik
Examinator: Thomas Hammarström, Elektroteknik

Examensarbete 2026
Institutionen för Elektroteknik
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Bild som illustrerar laddinfrastruktur och laddningsmetoder för elfordon i ett område. (Skapad av ChatGPT, 2026)

Skriven i L^AT_EX
Göteborg 2026

Modellering och styrning av laddinfrastruktur för elfordon i nätet
Analys av laddningsmetoder i framtidens elnät
Simon Jonasson & Ludwig Rimsby
Institutionen för Elektroteknik
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Klimatförändringar och växthuseffekten är idag en stor drivande faktor i teknikens utveckling. Det skapas ständigt nya trender, regler och lagar med fokus på att försöka så småningom få ett fossilfritt samhälle. En av de största bidragande orsakerna till problemet är fordonsindustrin. Under det senaste decenniet så har en stor förändring börjat ta form, där el och hybridfordon har blivit allt mer populärt. Allt pekar på att elfordon är det som ska ersätta de konventionella fordonen över tid. Denna omställning innebär nya utmaningar för samhället, där elnätet hamnar i fokus. Utvecklingen kräver en noggrann analys av hur elnätets kapacitet hanterar elförbrukningen idag samt vad som kommer krävas i framtiden. För att underlätta för elnätet krävs det att effekttoppar som kan uppstå minimeras då efterfrågan är som högst. Olika laddningsmetoder för elfordon är ett exempel på en metod som gör just detta.

I denna studie undersöks olika laddningsmetoder och hur de samspelar för att minska effekttoppar och kostnad per hushåll. Verklig data för hushållsprofiler och elprisprofiler har inhämtats från Göteborgs Energi. En modell har skapats i Matlab för att kunna simulera olika fall och ta lärdom om laddningsmetodernas egenskaper. Till sammans ger laddningsprofilerna och hushållsprofilerna ett resultat som visar hur det ser ut idag, samt hur det kan komma att se ut i framtiden.

Resultatet visar att de enskilda laddningsmetoderna simulerade var för sig, har generellt sett en negativ påverkan på elnätets effekttoppar. Men när metoderna delas upp och kombineras så finns det vissa fall som sänker både medeleffekt och effekttoppar i nätet. Trots att teorin visar att det finns konstellationer som är bra så diskuteras även dess relevans och möjlighet att fungera i verkligheten. Att skapa en fördelning av hur och när människor laddar sina bilar riskerar att påverka tillgängligheten, vilket är en viktig del i dagens samhälle.

Förord

Detta projekt är ett examensarbete som har utförts på Chalmers Tekniska Högskola hos institutionen för Elektroteknik. Examensarbetet motsvarar 15 högskolepoäng och har genomförts under en 20 veckors period. Arbetet är baserat på litteraturstudier samt relevant data från Göteborg Energi.

Vi vill därför rikta ett stort tack till Göteborg Energi, som har fungerat som ett bollplank vid funderingar och tillhandahållit information som arbetet grundar sig i. Deras engagemang och hjälp har varit en stor faktor till att arbetet varit möjligt att utföra.

Slutligen vill vi även rikta ett stort tack till vår handledare och examinator Thomas Hammarström på institutionen som har svarat på eventuella frågor som har dykt upp under arbetets gång.

Simon Jonasson och Ludwig Rimsby, Göteborg, Maj, 2026

Akronymer

Nedan följer en lista över akronymer som har använts i denna studie, listade i alfabetsisk ordning:

AC	Växelström
BEV	Battery Electric Vehicle
DC	Likström
FOC	Fältorienterad styrning
PMSM	Parmanentmagnet-synkronmotor
SoC	State of Charge
V2G	Vehicle-to-Grid

Innehåll

Akronymer	viii
Figurer	xiii
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Mål	2
1.4 Avgränsningar	2
2 Teknisk bakgrund	3
2.1 Laddinfrastruktur	3
2.1.1 Elbilen	3
2.1.1.1 Batteriet	3
2.1.1.2 Elmotorn	4
2.1.2 Elbilsladdare/Laddningsstation	4
2.1.3 Elkraftsanläggning	5
2.1.3.1 Generering	5
2.1.3.2 Transmissionssystem	5
2.1.3.3 Regionnät	6
2.1.3.4 Lokalnät	6
2.2 Teknisk Data	6
2.2.1 Hushållsprofiler	6
2.2.2 Elpriser	7
2.3 Laddningsmetoder	8
2.3.1 Okontrollerad laddning	9
2.3.2 Smart laddning	9
2.3.2.1 Schemalagd	9
2.3.2.2 Pris-baserad	9
2.3.2.3 Effekt-balansering	10
2.3.2.4 Vehicle-to-Grid	10
2.4 Program	11
2.4.1 Matlab	11
2.4.2 Lucidchart	11
3 Metod och Genomförande	12
3.1 Arbetssätt	12

3.2	Teoretisk referensram	12
3.3	Geografisk planering	13
3.4	Parametrar och dess begränsningar	13
3.4.1	Hushållsprofil	14
3.4.2	Elprisprofil	14
3.4.3	Elbilen	14
3.4.4	Laddaren	15
3.5	Modellskapande	15
3.5.1	Inställningar	16
3.5.2	Funktioner	17
3.5.3	Utdata	18
3.6	Simulering	19
4	Resultat	21
4.1	Årstidens påverkan	21
4.1.1	Sommar	21
4.1.2	Höst	22
4.1.3	Vinter	23
4.2	Individuella laddningsmetoder	24
4.2.1	Okontrollerad Laddning	25
4.2.2	Schemalagd Laddning	27
4.2.3	Pris-Baserad Laddning	28
4.2.4	Effekt-Balansering	29
4.2.5	Vehicle-to-Grid	30
4.3	Kombinerade laddningsmetoder	32
4.3.1	Dagens fördelning	32
4.3.2	Jämnt fördelat	33
4.3.3	Lastfaktor	34
4.3.4	Kostnad mot effekttoppar	35
4.3.5	Värsta fallet	37
5	Diskussion och Slutsats	39
5.1	Individuella laddningsmetoder	39
5.1.1	Utfall	39
5.1.2	Jämförelse	40
5.1.3	Insikter	41
5.2	Kombinerade laddningsmetoder	42
5.2.1	Utfall	42
5.2.2	Förnyade insikter	44
5.3	Modellens realism	45
5.3.1	Hushållsprofilen	45
5.3.2	Elpriserna	46
5.3.3	Ytterligare faktorer	47
5.4	Utvecklingsområden	47
5.5	Framtidens utmaningar & hållbar utveckling	48
5.6	Egna tankar om projektet	49

Litteraturförteckning	51
A Appendix 1	I

Figurer

3.1	Gantt-schema för arbetets tidsplan	12
3.2	Blockdiagram för modellens uppbyggnad	16
4.1	Hushållsprofil på sommaren	21
4.2	Elprisprofil på sommaren	22
4.3	Hushållsprofil på hösten	22
4.4	Elprisprofil på hösten	23
4.5	Hushållsprofil på vintern	23
4.6	Elprisprofil på vintern	24
4.7	Okontrollerad Laddning: Steg 1	25
4.8	Okontrollerad Laddning: Steg 2	25
4.9	Okontrollerad Laddning: Steg 3	26
4.10	Okontrollerad Laddning: Steg 4	26
4.11	Schemalagd Laddning: Steg 1	27
4.12	Schemalagd Laddning: Steg 2	27
4.13	Pris-Baserad Laddning: Steg 1	28
4.14	Pris-Baserad Laddning: Steg 2	28
4.15	Pris-Baserad Laddning: Steg 3	29
4.16	Effekt-Balansering: Steg 1	29
4.17	Effekt-Balansering: Steg 2	30
4.18	Vehicle-to-Grid: Steg 1	30
4.19	Vehicle-to-Grid: Steg 2	31
4.20	Vehicle-to-Grid: Steg 3	31
4.21	Vehicle-to-Grid: Steg 4	32
4.22	Vehicle-to-Grid: Steg 5	32
4.23	Dagens fördelning	33
4.24	Jämn fördelning mellan alla laddningsmetoder	33
4.25	Jämn fördelning utan V2G	34
4.26	Högsta möjliga lastfaktor	34
4.27	Lägsta möjliga lastfaktor	35
4.28	Kostnad mot effekttoppar: Spridning för 200 simuleringar	36
4.29	Kostnad mot effekttoppar: Bästa lösningen	36
4.30	Kostnad mot effekttoppar: Sämsta lösningen	37
4.31	Värsta fallet	38

1

Inledning

1.1 Bakgrund

I dagens samhälle är klimatförändringar ett av de största hoten mot planeten som vi lever på. När man pratar om klimatförändringar handlar den stora diskussionen om påverkan av de utsläpp/gaser som uppstår från förbränningen av fossila bränslen. EU har satt upp starka riktlinjer där målet är att mängden utsläpp av växthusgaser ska minska med 55% fram till 2030, jämfört med hur det var 1990 [1]. En av de större drivande sektorerna till den ökande siffran av utsläpp är transportsektorn. 2025 stod alla fordon (Bil, Båt, Tåg, Flyg) för ungefär 16.2% av världens totala koldioxidutsläpp [2]. Därför har det under de senaste åren lagts mycket uppmärksamhet på att skapa nya fordon vars utsläpp är mycket lägre än deras föregångare.

En av de främsta bidragen till detta är elbilen. Som går att avläsa från namnet, är en bil vars drivande kraft kommer från en motor som drivs av elektricitet. I Sverige har den procentuella andelen av elbilar som sålts gått från runt 0% vid 2010 till över 35% 2025 [3]. Anledningen till den markanta ökningen är främst på grund av klimatmålen, men även genom de tekniska framsteg som har gjort det möjligt att skapa bättre elbilar med längre räckvidd än förut.

Att byta ut den konventionella bilen bidrar till att vi närmar oss klimatmålen, men det skapar också nya utmaningar. En fullständig elektrifiering av våra fordon kommer att vara utmanande för våra elnät. Utöver att all el som behövs måste produceras, krävs det också att elnätet har en förmåga att kunna leverera den mängd el som efterfrågas. Att utveckla elnätet skulle innebära en stor kostnad och mängder av resurser. Detta har gjort att alternativa lösningar har börjat undersökas och laddningsindustrin har fått mer uppmärksamhet. Olika laddningsmetoder och kombinationer har blivit ett populärt samtalsämne på grund av deras potentiella förmåga att balansera hushållens efterfrågan på elektricitet.

Denna omvandling inom fordonssektorn kommer att skapa nya utmaningar och därav kräva att nya smarta lösningar undersöks för att ha möjlighet att möta klimatmålen. Det är därför ett ytterst viktigt dilemma som måste tas på allvar för att den framtida utvecklingen ska kunna fungera.

1.2 Syfte

Projektet strävar till att undersöka det svenska elnätets belastningspåverkan vid laddning av elbilar, under olika omständigheter. Studien fokuserar särskilt på olika laddningsmetoder, vilket inkluderar modellering av ett särskilt villaområde och optimering av nätets belastning med hänsyn till effekt och kostnad. Undersökningen simuleras ur ett möjligt framtida perspektiv där alla bilar inom det valda området har ersatts med eldrivna bilar.

1.3 Mål

Målet med denna studie är att undersöka elnätets förmåga idag, samt hur väl det hanterar en fullständig omställning till elfordon baserat på dagens elnätskapacitet. Modelleringar och simuleringar ska undersöka olika laddningsstrategier för att se om det går att minska effekttoppar och få en jämnare total belastning.

1.4 Avgränsningar

För att undersökningen ska gå att genomföra inom en rimlig tidsram, har vissa avgränsningar implementerats. Projektet kommer inte att bestå av flera olika bilmodeller, vilket är en viktig parameter att ta hänsyn till gällande batteristorlek och förbrukning. Istället kommer en genomsnittlig bilmodell simuleras, baserad på dagens olika modeller utifrån främst dess batteristorlek. Även ytterligare faktorer som väg och miljöförhållanden för elbilarna exkluderas, samt slitage och batteriernas åldrande.

Simuleringarna genomförs och jämförs med belastningsdata för ett utvalt villaområde i Göteborg. I denna undersökning har belastningsdata för tre olika dygn valts ut. Simuleringar och slutsatser kommer att baseras på nätets belastning dessa dagar, samt hur elpriset har förändrats under dagarna. Det utvalda villaområdet kommer inte att namnges i denna studie. Detta beror på att det gäller sekretess för den data som kommer att presenteras från Göteborgs Energi. Nödvändiga parametrar, såsom ungefärlig storlek och områdets hushållsprofiler, kommer att delges för att studien ska bli enkel att följa. Resultatet kommer också vara baserat på korrekt data för att få en så exakt undersökning som möjligt.

2

Teknisk bakgrund

Detta kapitel presenterar information som ligger till grund för förståelsen av projektets struktur och uppbyggnad.

2.1 Laddinfrastruktur

Här presenteras relevant fakta om de teknologiska delar som är grunden till all laddinfrastruktur.

2.1.1 Elbilen

Traditionella elbilar benämns inom tekniken ofta som BEV (Battery Electric Vehicle). Precis som namnet indikerar, så är drivlinan helt elektrifierad och får sin energi från ett laddningsbart batteri, samt drivs av en elektrisk motor[4]. All energi kommer ifrån elektriciteten som är lagrad i batteriet, som i sin tur laddas direkt från elnätet.

2.1.1.1 Batteriet

Batteriet är en central och mycket viktig komponent för alla elektriska fordon. Fordonets räckvidd och prestanda är direkta konsekvenser av batteriets storlek och konstruktion. Till skillnad från ett enkelt batteri, så är batterierna i elbilar komplexa enheter som kräver omsorgsfull hantering för att optimera effekt och livslängd. Batteriets storlek beskrivs i kWh, men nivån för den elektriska laddningen i batteriet benämns istället ofta som State of Charge (SoC) och är en procentuell nivå som beskriver den kvarvarande laddningen[5].

Majoriteten av dagens BEV:s använder litiumjon-batterier på grund av deras kombination av hög energitäthet, effektdensitet, livslängd och minskad kostnad [6]. Det finns olika varianter av litiumjonbatterier där den största skillnaden är deras kemiska sammansättning av battericeller. Ett batteri består av många sammansatta battericeller, ofta flera hundra, som är kopplade i seriemoduler för att uppnå den höga spänningen och kraften som behövs [7]. Utöver battericeller har alla bilbatterier ett så kallat BMS (Battery Management System). Detta är ett skyddssystem som övervakar temperatur, spänning och ström i varje cell eller modul. Systemet ser också till att laddningen sprids mellan cellerna och förhindrar över- och urladdning [7].

Battericellerna består huvudsakligen av 4 olika komponenter: anod, katod, separator och elektrolyt. Under uppladdning av batteriet så omvandlas elenergi till kemisk energi, detta genom att litium joner rör sig från katod till anod, där de sedan lagras. När bilen kör, dvs batteriet laddas ur, så blir det en omvänd process där litiumjoner tar sig tillbaka till katoden för att kunna leverera elektrisk energi till motorn [7].

De vanligaste och mest sålda elbilarna i Sverige under 2025 var Volvo EX40, Volkswagen ID.7 samt Tesla Model Y[8]. Batterienergin i dessa modeller är relativt lika, i fallande ordning: 70, 90 och 64 kWh[9].

2.1.1.2 Elmotorn

Elbilarnas konstruktion utvecklats mycket genom åren där olika typer av motorer har utforskats för att bättre kunna möta konsumenternas krav och behov. Vid tiden då elbilarna först slog igenom var det vanligt förekommande med induktionsmaskiner (asynkronmaskiner) som huvudmotor. På senare tid har det blivit vanligare med permanentmagnet-synkronmotorer (PMSM), bland annat på grund av deras höga verkningsgrad.

PMSM använder sig av permanentmagneter på den roterande delen av motorn (rotor) för att generera ett magnetfält. Magnetfältet samverkar sedan med statorlindningen för att producera mekanisk rotation. Magneterna är gjorda av material med hög magnetisk styrka, ofta neodym-järn-bor eller samarium-kobolt. Statorn är den delen i motorn som är stationär och består av poler inlindade i lindningar. Dessa lindningar är främst gjorda av koppar och förses med växelström för att skapa ett magnetfält som samverkar med rotorn [10].

Det magnetiska fältet behöver synkroniseras med rotorns position för att det skall bli en effektiv och smidig drift. Vanligtvis görs detta med hjälp av en teknik som kallas fältorienterad styrning (FOC) eller vektorstyrning. Denna teknik justerar fasen och amplituden för stator strömmen, för att anpassa den till rotorns position[10].

2.1.2 Elbilsladdare/Laddningsstation

En elbilsladdare, som går att höra vid namnet, har som syfte att på ett säkert och kontrollerat sätt överföra energi till fordonen så att deras batteri laddas upp. Hur detta fungerar går att dela upp i två olika laddningstyper; Likström (DC) och växelström (AC) [11].

För AC-laddaren levereras nätets växelström till bilen, där det inuti finns en omvandlare som gör om AC till DC då bilen är endast kapabel att laddas upp med likström. Sedan går strömmen genom en buck-omvandlare där ström och spänning minskas för att matcha den nivån som batteriet behöver. Dessa behöver oftast vara kompakta och lättvikliga för att det inte ska påverka resten av fordonet, vilket gör att dem brukar vara kapabla till så kallade "normalladdningar", vilket är effekter mellan 2-12 kW.

Vid det andra fallet, för DC-laddaren, sker hela omvandlingsprocessen vid laddningsstationen istället. Detta möjliggör att omvandlaren kan innehålla större och mer avancerad kraftelektronik, vilket innebär att fordonen kan laddas med mycket högre effekt om det är möjligt. De vanligaste laddningsnivåerna för DC-laddaren i dagens samhälle är att antingen använda normalladdning, som ligger mellan 2-12 kW, eller snabbladdning som klarar av runt 50 kW. Dock finns det även de som går ett steg längre och använder super-/ultra snabbladdning när de laddar sitt fordon. Dessa kan ligga på nivåer runt 250 kW, men det är inte lika vanligt, då det är både mycket dyrare och många av dagens bilar inte är kapabla att hantera sådana effekter.

2.1.3 Elkraftsanläggning

En elkraftanläggning består av kraftledningar, generatorer, förbrukningsanläggningar, transformatorer och ställverk som tillsammans bildar ett system. Syftet med elkraftanläggningarna är att omvandla en energikälla (exempelvis vattenkraft) till elektricitet och transportera den till en plats den behövs på. Elkraftsystemet delas ofta in i 4 olika delar: generering, transmissionssystem, regionnät och lokalnät.

2.1.3.1 Generering

Den första delen i ett elkraftsystem är där elen produceras. Produktionen sker i olika kraftverk, där olika principer och tekniker används för att producera elektricitet. De vanligaste metoderna för elproduktion i Sverige är vattenkraft, kärnkraft, vindkraft och kraftvärme. Den förstnämnde metoden (vattenkraft) är den största förnybara elproducenten som vi har idag. Enkelt förklarat, så fungerar vattenkraft på grund av vattenflöden och fallhöjder, där rörelseenergi omvandlas till el med hjälp av turbiner. Ungefär 30 procent av elproduktionen kommer från kärnkraft (ett normalår efter år 2020)[12]. Funktionsprincipen bakom kärnkraft är att värmen som utstrålas vid kärnklyvning används för att skapa ångor som i sin tur driver turbiner, där el genereras. Vindkraftverken använder sina rotorblad och generatorer för att omvandla vind till el. Slutligen i kraftvärmeverk använder man energi som frigörs vid förbränning av olika material (ofta biobränsle som utgörs av rester från skogen som grenar och stubbar) för att producera värme och el[13]. Utöver de 4 största elproducenterna vi har i Sverige idag, finns även solkraft som är den snabbast växande. Här används solceller som fångar upp solens strålar vilket kan generera likström som sedan omvandlas till växelström. Trots solkraftens relativt lilla andel av vår totala energi generering (1 procent) så ökade produktionen med hela 40 procent 2021, tack vare att många husägare monterar solceller på sina tak.

2.1.3.2 Transmissionssystem

Transmissionsnätet är grunden för hela Sveriges elnät. Det består av cirka 16 000 km kraftledningar, dryg 175 transformatorer och kopplingsstationer, samt växel- och likströmsförbindelser med utlandet[14]. Transmissionsnätet fungerar som en förbindelse mellan elproducenterna, där elen produceras i olika kraftverk runt om i landet och de regionala distributionsnäten. Om man jämför elnätet med ett enda stort

vägsystem, så skulle transmissionsnätet vara motorvägar med tanke på deras långa transportsträckor och höga spänning. Antingen 400 eller 220 kilovolt (kV) används i dessa ledningar för att minska strömförlust.

2.1.3.3 Regionnät

Regionnäten fungerar som en förbindelse mellan transmissionsnäten och lokalnäten. Dessa ledningar använder vanligtvis en spänning på 130 kV. Stora elanvändare som industrier, sjukhus, datacenter och infrastruktur är ofta anslutna direkt till regionnätet för att kunna nyttja en högre spänning. Regionnäten tar alltså vid där transmissionsnäten slutar och det är dessa som brukar transportera in el i alla våra städer. Förutom att transportera transmissionsnätets elektricitet så brukar även fler elproducenter anslutas direkt till regionnätet. Exempel på dessa är vindkraftparker, solparker och kraftvärmeverk.

2.1.3.4 Lokalnät

Den sista delen av transporten omhändertas av de lokala näten. De allra flesta elförbrukarna, såsom hushåll och företag, är anslutna direkt hit. Det är geografiskt avgränsade nät som ofta har en spänning på 40 kV eller lägre [15]. Den sista transformatorstationen som elen passerar sänker spänningen till dess slutliga nivå på 230 V, som finns i våra vägguttag.

Även mycket små elproducenter kan vara anslutna till lokalnätet ifall de vill sälja sin överskottsenergi. Idag handlar det främst om de som har egna solceller på taket och som vissa dagar kan generera mer el än vad som används. I framtiden är det möjligt att små elproducenter blir vanligare då solceller blir effektivare och nya metoder, som exempelvis Vehicle To Grid (V2G), är under utveckling.

2.2 Teknisk Data

För att kunna beskriva elnätet och analysera dess påverkan på hushåll, används diverse profiler som redogör data som mäter storheten av särskilda tidsbaserade parametrar. De två främsta som används är först en profil som analyserar den använda effekten för ett hushåll under en given tidsperiod, vilket kallas för hushållsprofiler. Den andra undersöker istället kostnaden för elen vid specifika tidpunkter under ett givet tidsintervall, vilket kallas för elprisprofiler.

2.2.1 Hushållsprofiler

Hushållsprofiler är vad som beskriver hur användningen av effekt i hushållet varierar under en tidsperiod, vilket därför ofta används för att analysera och rapportera kring energisystem. Denna profil är traditionellt sett en tvådimensionell graf som i x-led representeras av tid mätt i timmar (h), och i y-led av den använda effekten mätt i kilowatt (kW). För att enklare kunna avgöra hur mycket energi som används,

integreras grafen per timme, vilket ger en energianvändning uttryckt i kilowattimmar (kWh).

Denna kurva som beskriver energianvändningen kallas oftast för lastkurva, där flera andra vanliga begrepp som beskriver hushållet kan avläsas. Det första är baslasten vilket är den minsta nivån som uppstår under ett dygn för hushållet. Detta motsvarar oftast när bara dygnet-runt apparater som t.ex. kylskåp och frysar används och sker generellt sett under natten. Motsatsen till detta är topplast, vilket är den största energianvändningen som sker under ett dygn för ett hushåll.

Den sista, men kanske viktigaste begreppet för hushållsprofiler är lastfaktor. Detta beskriver hur jämnt fördelad energianvändningen är över en viss tidsperiod och beräknas som kvoten av medeleffekten över maxeffekten [19]. Lastfaktorn är därav ett värde mellan 0-1 (kan dock inte vara 0) där ett högt värde indikerar att skillnaden mellan maxeffekt och medeleffekten är låg. Är lastfaktorn istället låg betyder det att maxeffekten är mycket större än medeleffekten vilket innebär att det finns effekttoppar i hushållet. Detta undviks helst då effekttoppar innebär högre belastning på elnätet vilket resulterar i högre kostnader för hushållet.

Generellt sett ser hushållsprofiler liknande ut för de flesta hushåll, där det oftast finns två tydliga toppar under dagen; på morgonen och eftermiddagen. Detta är kopplat till när människor är mest aktiva i sina hushåll, där morgonen visar hur personer gör sig redo för jobb/skola och eftermiddagen är när dem kommer hem från sitt arbete. Men det går även att hitta variationer mellan helger och veckodagar, där helger oftast har en högre medeleffekt men lägre effekttoppar då fler är konstant hemma i hushållet. Den tydligaste påverkan på hushållsprofiler är skillnaden mellan olika årstider. Vid kallare temperaturer behöver hushållets värmesystem vara aktivt mycket oftare, vilket ökar energianvändningen mer än majoriteten av andra apparater. Hur mycket effekt dessa värmesystem behöver kan dock variera från hushåll till hushåll baserat på faktorer som; vilken typ av värmesystem, storlek på hushåll och hur väl isolerat det är.

2.2.2 Elpriser

Elpriser är oftast det människor fokuserar mest på när det kommer till hushållets energianvändning, och har därför blivit en central term. Priset mäts i öre/kWh (ibland i kr/kWh vid särskilt högt pris) och förklaras som kostnaden för att elektriciteten ska gå från producent till konsument [20]. Trots att elpriset varierar över tid påverkas det inte bara av tidsbaserade variabler, utan främst av andra tekniska faktorer och politiska lagar.

För det första bestäms elpriset i Sverige, och i många andra europeiska länder, med en gemensam elmarknad där elen produceras och säljs på en delad elbörs. Detta görs genom en så kallad "dagen-före-marknad" där både konsumenter och producenter lämnar bud för elpriset för varje enskild timme under det kommande dygnet [21]. Därefter bestäms priset genom att efterfrågan och utbud jämförs och matchas, där

det dyraste produktionsslaget som behövs för att matcha efterfrågan, bestämmer priset för alla aktörer. Exempelvis har förnybara källor som vindkraft och solkraft mycket lägre rörliga kostnader vilket bidrar till att kostnaderna minskar för det totala elpriset. Men när dessa inte är tillräckliga och andra källor som fossila bränslen behöver användas, så stiger priset snabbt.

Elpriset är dock inte samma i hela Sverige då landet är uppdelat i 4 så kallade elområden. I dessa är priset olika då varje enskilt område har en egen dagen-förmärknad. Anledningen till detta är att tillgång och efterfrågan skiljer sig i områdena där det t.ex. i södra Sverige är hög efterfrågan men låg tillgång, och tvärtom i norra Sverige. Detta gör att prisen som bestäms i varje område kan skilja sig mycket beroende på dess förhållande till hur energi tillverkas/används.

Det är också variationer längs både dygnet och året, vilket baseras på hur efterfrågan är vid en given tidpunkt. Detta följer kurvan bland hushållsprofiler mycket väl generellt sett och gör att elprisprofilen får ett liknande beteende. Priset toppar på morgonen och eftermiddagen när det är större aktivitet och användning av diverse apparater. Medan det är lägre under natten och mitt på dagen när färre människor är hemma. Årstiden har även här en stor påverkan då användningen av mer värmesystem gör att elpriset ökar markant längs dagen jämfört med när de inte är i bruk.

Eftersom en allt större del av elen kommer från väderberoende producenter, innebär det att produktionen blir svårare att planera. Det finns idag inget sätt att lagra el i större utsträckning, vilket gör att eventuellt överskott måste användas på något sätt. Ibland kan utbudet på el vara större än efterfrågan, vilket kan leda till att negativa elpriser framkommer. I sådana situationer kan ett alternativ vara att stoppa produktionen, men det är vanligtvis ännu kostsammare än att sälja elen till ett negativt pris. För konsumenten innebär det dock inte att vi får negativa elfakturer, eftersom många har fasta elavtal. Men även de med rörliga elavtal påverkas av andra avgifter, såsom momsavgifter för handel med el och elbolagens påslag [22].

2.3 Laddningsmetoder

Som tidigare nämnts är alla elbilar bestående av batterier som får sin givande kraft, elektricitet, från diverse elbilsladdare. Trots att detta kan verka som ett simpelt tillvägagångssätt, har hur och när en bil laddas en större påverkan än vad som initialt kan tros. Det är inte själva bilen som det främst handlar om, då alla metoder i slutändan leder till att bilen laddas upp tills nästa körtillfälle. Utan laddningsmetoder handlar mestadels om hur elnätet påverkas baserat på hur många elbilar som laddas i kombination.

Alltså, den avgörande faktorn kommer främst i form av tiden på dygnet som laddningen sker. Anledningen är att tider på dygnet som morgonen och eftermiddagen generellt sett är när hushållen använder störst effekt. Därav kommer metoder som innebär laddning samtidigt under dessa tillfällen att leda till större effekttoppar. För

att enklare kategorisera olika laddningsmetoder brukar de först och främst delas upp mellan det som kallas för ”okontrollerad laddning” och ”smart laddning”

2.3.1 Okontrollerad laddning

Okontrollerad laddning är vad som beskrivs oftast som en metodlös laddningstyp. Dessa är laddningsstationer vars enda uppgift är att ge ström till elbilen när dess ägare bestämmer. Dessa laddare har inte någon ytterligare funktion än att ladda bilen och kan till exempel inte övervaka eller kontrollera själva laddningen [16]. Dem är inte heller uppkopplade till något större system, utan styrs endast direkt från hushållet. Trots detta är denna laddningsmetod överlägset den vanligaste som förekommer i dagens samhälle. Anledningen till detta har framförallt att göra med att priset är mycket lägre för ”dumma” än för smarta laddare. För dem flesta människor idag är inte lika intresserade av de ytterligare funktioner som smarta laddare kan erbjuda, utan för dem räcker det att kunna sätta bilen på laddning direkt när dem kommer hem. De ekonomiska skillnaderna mellan laddarna gör att majoriteten laddar med denna laddningstyp.

2.3.2 Smart laddning

Till skillnad från den okontrollerade”, så består smart laddning av alla laddare som är kapabla till att kontrollera, övervaka och rapportera kring laddningen till ägaren eller en större operatör via ett gemensamt nätverk [16]. På grund av detta så kallas dem även ofta för nätverksladdare, då de generellt sett är integrerade till internet via SIM, Wi-Fi eller direkt installerade i en nätverksstation.

Det interna som urskiljer sig för smarta laddare är att de innehåller särskild mjukvara och hårdvara som möjliggör unika funktioner som vanliga laddare inte kan använda. Dessa funktioner är vad som har gjort att olika laddningsmetoder har uppstått, som då kan ge användaren mer kontroll över hur de vill att sin bil ska laddas.

2.3.2.1 Schemalagd

Den första och vanligaste funktionen för smarta laddare är att användaren kan schemalägga sin laddning. Detta innebär att personen kan koppla in bilen till laddningsstation och sedan sätta en starttid när själva laddningen faktiskt ska ske. Denna laddning ställs traditionellt sätt in så att bilen börjar ladda under natten någonstans mellan klockan 00:00 till 06:00. Anledningen till detta är både för att mindre apparater används vilket gör att effektpåverkan blir mindre för hushållet. Men även för att priset brukar generellt sett vara betydligt lägre under detta intervall.

2.3.2.2 Pris-baserad

Men för användare som bara fokuserar på att ladda sin bil så billigt som möjligt, kan de ställa in att de vill göra en pris-baserad laddning. Jämfört med den schemalagda metoden, så är det mestadels nätet som sköter hur och när laddningen sker. Det

fungerar genom att användaren kopplar in bilen och väljer ett intervall när den är okej med att bilen laddas upp. Därefter undersöker den smarta laddaren, baserat på tidigare data, när elen troligtvis kommer att ha lägst pris inom det valda intervallet. Sedan utförs laddningen på det billigaste stället som hittats.

2.3.2.3 Effekt-balansering

Nästa laddningsmetod som kallas för effekt-balansering, liknar den pris-baserade metoden kring hur den arbetar. Även här kopplar användaren in sin bil och generellt sett bestämmer ett intervall när de vill att sin bil ska laddas någon gång under dagen. Därefter undersöker laddaren istället tidigare data på hur effekten är under dagen, liksom hur den undersöker elpriset. Baserat på detta försöker den hitta den lägsta effekten (baserat på äldre data) under det givna intervallet och därefter laddar upp bilen. Anledningen till att använda sig av denna laddningsmetod är främst för att minska effekttoppar i ett hushåll genom att balansera effektanvändningen längs dagen, därav namnet.

2.3.2.4 Vehicle-to-Grid

Den sista laddningsmetoden, som ännu inte existerar i stor skala, är vad många kallar framtidens laddningsteknik. Detta är vehicle-to-grid, som kan förklaras som en dubbelriktad laddning. Liksom effekt-balansering är huvudsyftet med metoden att ladda bilen när den använda effekten är lägre för att kunna minska effekttoppar i systemet. Men skillnaden är att den smarta laddaren nu innehåller teknik som gör det möjligt att också skicka tillbaka effekt till nätet, vilket gör denna metod ännu effektivare för att balansera elnätet. Anledningen till varför detta fungerar är att bilar generellt sett står stilla 80-90% av tiden. Laddningsmetoden omvandlar bilen till ett stort portabelt batteri som kan fungera som en reservkraft för att kunna stabilisera elnätet när den inte används [17].

I alla andra laddare fungerar det som sagt genom att den omvandlar nätets elektricitet från AC till DC som sedan justeras för att matcha den ström/spänningsnivå som krävs för den specifika bilen. Denna process är fortfarande liknande genom att det sker med hjälp av en växelriktare. Växelströmmen går fortfarande först genom ett filter där störningar jämnas ut. Sedan sker omvandlingen från AC till DC genom en likriktare där den resulterande likströmmen justeras till lämplig nivå genom en DC/DC omvandlare.

Den stora skillnaden blir när bilen ska skicka tillbaka effekt till nätet vilket sker i motsatt ordning mot tidigare. Bilens batteri levererar nu likström till DC/DC omvandlaren där spänningsnivån sänks för att det ska kunna vidarearbetas [18]. Därför är det istället en buck/boost omvandlare i en V2G laddare jämfört med en buck omvandlare som det brukar vara, då den måste kunna både öka och minska spänningen. Därefter skickas den sänkta DC-nivån till växelriktaren som nu arbetar i omvänd ordning från DC till AC. Denna process måste vara mycket noggrann då det är särskilt viktigt att den resulterande växelströmmen matchar elnätets frekvens, fas och spänning. Skillnader i dessa egenskaper kan både skapa störning och skador

på utrustning.

Men även ytterligare komponenter är inkluderade i laddaren som utvecklar dess kommunikation- och styrsystem mellan laddaren och nätet. V2G laddaren är kapabel till att kommunicera mellan externa system och bilens batteri på ett sätt där den avgör hur och när bilen ska laddas baserat på faktorer som: Hur mycket batteri det finns, när den är tillgänglig och när det är tekniskt och ekonomiskt lämplig att nätet får tillförd effekt [18]. Denna process sker automatiserat genom protokoll där användaren fortfarande kan påverka minimum-nivån på batteriet i bilen.

2.4 Program

Här redovisas och förklaras de program som har använts under projektets gång.

2.4.1 Matlab

Matlab är en plattform för programmerings- och numeriska beräkningar av tekniska och vetenskapliga tillämpningar. Exempel på vanliga tillämpningar är dataanalys, signal/bild behandling, styrsystem, trådlös kommunikation och robotteknik. Matlab inkluderar delar som programmeringsspråk, högspecialiserade bibliotek, interaktiva appar för att automatiskt kunna generera inbäddad kod[23].

2.4.2 Lucidchart

LucidChart är en plattform vars syfte är att förstå och optimera olika system och processer. De erbjuder olika verktyg och tjänster som kan användas för att skapa intelligenta diagram för att förklara komplexitet och samordna insikter[24]. Diagrammen kan skapas tillsammans i realtid vilket underlättar för arbeten som utförs i grupper.

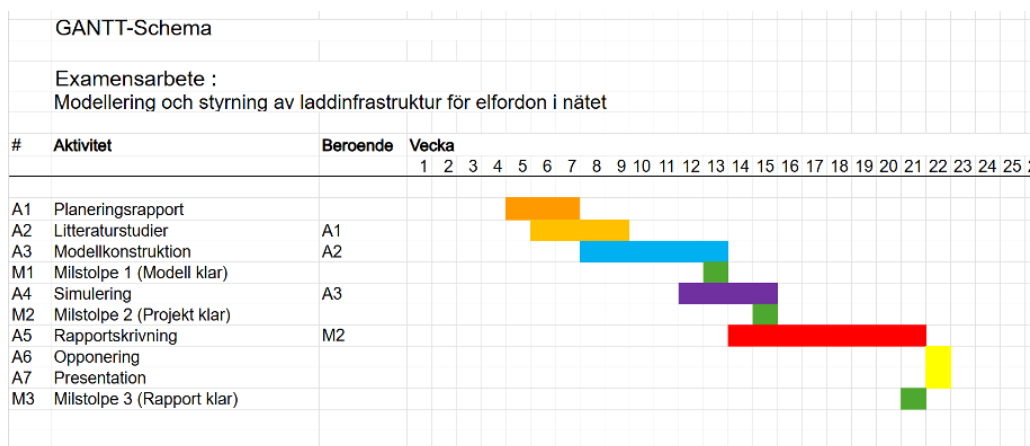
3

Metod och Genomförande

Det här kapitlet innehåller arbetets upplägg och dess tillvägagångssätt.

3.1 Arbetssätt

Det första momentet för detta arbete bestod av att skapa en planeringsrapport. Planeringsrapporten fungerar som en övergripande karta över det kommande arbetet och besvarar frågor som vad som ska undersökas, när det ska vara klart, samt hur det ska genomföras. Här presenterades även de initiala avgränsningarna och en detaljerad tidsplan. Tidsplanen skapades i programmet Microsoft Excel i form av ett så kallat Gantt-schema.



Figur 3.1: Gantt-schema för arbetets tidsplan

I samband med att planeringsrapporten gjordes, så togs även beslutet att modellen skulle skapas i programmet Matlab. Detta främst på grund av att utbildningen erbjuder tillgång till programmet vilket har lett till tidigare erfarenheter. Därefter valdes det att planera modellen i LucidChart eftersom det ger en tydlig överblick hur något ser ut och skapar bättre förståelse. Den konstruerade modellen i LucidChart presenteras i kapitel 3.5.

3.2 Teoretisk referensram

För att inleda arbetet genomfördes en litteraturstudie vars fokus var att skapa en teoretisk grund där nödvändiga kunskaper kunde identifieras. Detta gav en bra

förståelse då viktiga begrepp, metoder och teorier introducerades som gjorde det möjligt att skapa en planering kring arbetets tillvägagångssätt. Denna information har primärt tagits från vetenskapliga artiklar och tekniska rapporter, då dessa texter generellt sett har en högre trovärdighet eftersom de är uppbyggda på tidigare forskning och fakta från experter inom diverse områden. När detta har varit otillräckligt, har andra källor använts, som rapporter från myndigheter eller information från relevanta webbplatser.

Under litteraturstudien lades det extra fokus på att hitta aktuella källor som har publicerats inom de närmsta åren. Detta var särskilt viktigt då laddinfrastruktur är under konstant utveckling, vilket innebär att utdaterad information kan leda till irrelevanta resultat där det blir svårare att dra slutsatser kring arbetet. För att ytterligare säkerställa den utvalda informationens trovärdighet, har olika källor inom samma område jämförts, där liknande slutsatser har ansetts som mer tillförlitlig och därav blivit inkluderad i arbetsprocessen.

3.3 Geografisk planering

Våra lokalnät är uppdelade och placerade på olika ställen. Som tidigare nämnts finns det både stora och små elanvändare, vilket gör att belastningen för de olika nätstationerna varierar. Detta innebär att området i sig självt är viktigt att analysera för att kunna skilja på elbilens belastning från allt annat. Därför har belastningsdata för ett villaområde i Göteborg valts ut. Fördelen med att analysera ett villaområde är att kundanläggningarnas elförbrukning är relativt lika, och därför finns det sällan någon enskild kund som påverkar områdets effekt markant jämfört med andra.

För att studien ska bli trovärdig så har belastningsdata inhämtats för det valda området från 2025 och 2024. Göteborg energi har tagit fram och delat med sig av nätstationernas maximala skenbara effekt och antalet kundanläggningar inom varje nätstation. De har även delat med sig av den aktiva medeleffekten för utvalda veckor, fördelat under 4 olika årstider. Denna data har varit viktig för att modellen som har skapats skall kunna simulera verkliga scenarion, samt för att kunna se nätstationernas maximala kapacitet.

3.4 Parametrar och dess begränsningar

Efter litteraturstudien identifierades huvudsakliga parametrar som behövde inkluderas för möjliggöra att modellen kunde skapas. En del parametrar har beräknats fram i form av ett genomsnitt och en del sannolika antaganden har behövts för att skapa en modell. I denna del presenteras dessa parametrar och vilket tillvägagångssätt som utnyttjats.

3.4.1 Hushållsprofil

Den belastningsdata som Göteborgs Energi delat med sig av är utspridd under 2024 samt 2025. Det handlar om en vecka i januari 2024, en vecka i augusti 2025 och en vecka i oktober 2025. Belastningsdata för en vecka under våren 2025 har valts bort från denna studie eftersom belastningen är väldigt lik den från hösten. Valen är baserade på hur klimatet har varit under de senaste 2 åren. Vintern 2024 hade några riktigt kalla veckor, vilket ger en bra bild av hur belastningen kan se ut i ett mer extremt fall. Det samma gäller den valda veckan på sommaren 2025, som var väldigt varm och torr. De mest extrema fallen är väldigt bra att använda eftersom de visar belastningen i de mest känsliga förhållandena. Dessa fall är vad som avgör nätets gränser, då om nätstationerna klarar av att leverera den efterfrågade effekten för de extrema fallen, så innebär det att alla fall där i mellan också kommer att fungera.

De utvalda vecko-husprofilerna har sedan studerats noggrant för att kunna delas upp i dygn. En simpel Matlab-modell har använts för att möjliggöra detta. Initialt laddas en bild upp på den tvådimensionella grafen över en specifik vecka i programmet. Sedan plottas grafen på nytt med samma utseende, där ett rutnät har lagts på för att enklare kunna läsa av grafen timme för timme. I nästa steg klickar användaren med musen i x-led för att rama in önskad tidsperiod (exempelvis en specifik dag). Programmet är sedan konstruerat så att avståndet mellan de två valda punkterna delas upp i 24 lika stora delar. För varje timme under det valda dygnet kontrolleras sedan grafens y-värde (aktiv medeleffekt), som till slut skrivs ut i en vektor. Dessa vektorer är vad som skapar de slutliga hushållsprofilerna, och det är de som används i huvudmodellen.

3.4.2 Elprisprofil

En av laddningsmetoderna som ska undersökas är pris-baserad laddning. Precis som nämnt i den tekniska bakgrunden innebär det att laddningen sker den tiden på dygnet då elen är som billigast. För att detta ska vara möjligt krävs det att historiska elpriser finns tillgängliga för modellen. På Göteborgs Energis hemsida är det möjligt att se hur elpriset har varit historiskt sett i det elområde som undersöks (elområde 3)[25]. De exakta elpriset längs dagen för de tre dagar som studeras går därav att hitta på Göteborgs Energis egna hemsida. Elpriserna på hemsidan presenteras i "kvartspris" vilket innebär den faktiska kostnaden i öre/kWh för varje kvart under det valda dygnet. Alla dessa priser för undersökningens tre utvalda dygn har därför inhämtats och placerats i tre separata vektorer. Dessa vektorer kan sedan användas i modellen för att se vid vilka tillfällen som den pris-baserade laddningen kommer att ske.

3.4.3 Elbilen

Idag finns det många olika elbilar som varierar stort när det kommer till pris, batteristorlek och räckvidd. Det är svårt att veta exakt vilka bilar som finns i området och vilka som kommer att finnas i framtiden. Därför har en genomsnittsbil skapats som är främst baserad på batteriets storlek. I den tekniska bakgrunden nämndes de

tre mest sålda elbilarna i Sverige under 2025. Dessa tre modeller har använts för att räkna ut ett genomsnitt för vilken batterienergi som passar undersökningen bäst. Resultatet är då att den genomsnittliga elbilen har ett batteri på 75 kWh

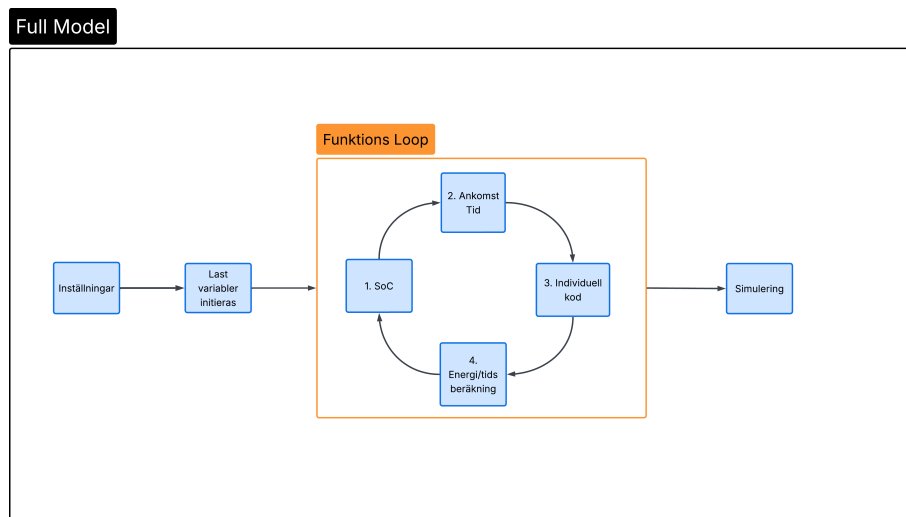
En annan viktig sak att ta hänsyn till är hur många bilar det finns i det valda området. Enligt statistikdatabas Göteborgs Stad[26] så fanns det 1431 bilar i trafik år 2025. Viktigt att notera är att i denna statistik så ingår leasingbilar men inte förmånsbilar.

3.4.4 Laddaren

Eftersom det finns olika typer av elbilsladdare som har annorlunda effekter, är det viktigt att ta hänsyn till det vid modellering. Därav har tre stycken olika laddningsmodeller skapats, på olika effektnivåer. Den första så kallade normalladdaren har en maxeffekt på 12 kW. Denna laddartyp motsvarar den laddare som de flesta elbilsägare har installerad i det egna hushållet. Utöver normalladdaren så har även 2 kraftigare modeller skapats. Dessa har en max effekt på 50 respektive 250 kW. Idag hittas den så kallade "snabbladdaren" och "supersnabbladdaren" oftast på publika laddstationer som exempelvis tankstationer. I undersökningen är det rimligt att anta att normalladdaren används främst i hushållen idag. De övriga laddarmodellerna är relevanta att studera i ett framtida scenario, där elnätet har utvecklats och elbilarna har fått en större dominans i samhället.

3.5 Modellskapande

För att skapa modellen behövdes både simulationens gränser och dess tidsupplösning först definieras. För att detta skulle kunna ske effektivt, valdes det att simulationen ska pågå under ett dygn då det ansågs att detta är tillräckligt för att avgöra huruvida de olika laddningsmetoderna påverkar nätet. Detta görs varje minut med en tidsvektor på 1440 punkter som representerar alla minuter på ett dygn från 00:00 till 23:59. Detta ger en representativ fördelning längs hela dagen då en förhöjd upplösning, till exempel varje sekund, inte hade gett någon större fördelning utan främst bara förlängt simulationstider. Med gränserna skapade kan modellens huvudsakliga segment delas upp i dess inställningar, upprepande funktioner och simuleringsverktyg enligt följande struktur:



Figur 3.2: Blockdiagram för modellens uppbyggnad

3.5.1 Inställningar

Modellen är skapad så att allt en användare behöver för att köra simuleringen är samlat på samma ställe. Detta sker i det som kallas för "Settings", där allt följande som förklaras redovisas under Bilaga A. Det börjar med att diverse variabler och parametrar definieras och som sedan manuellt kan ändras på. Först skapas själva områdets parametrar där mängden hus primärt ställs in. Sedan bestäms antalet bilar i området, där båda variabler under denna undersökningen är den inhämtade statistiken ur det valda området. Det går sedan att även bestämma mängden av dessa bilar som ska behöva ladda på en dag då rimligtvis alla bilar inte används. Detta görs genom att multiplicera antalet elbilar med en faktor som motsvarar de bilar som faktiskt ska laddas under det simulerade dygnet. Exempelvis 0.5, motsvarar att hälften av alla bilar ska ladda under ett dygn, vilket är den valda inställningen för detta projekt.

Därefter definieras själva hushållsprofilen för hushållen baserat på den vektor som skapades av riktig data. Vektorn delas på antalet kundläggningar från den nätstation som informationen kommer ifrån vilket ger ett genomsnittlig bild på hur profilen ser ut för ett enskilt hushåll. Därefter interpoleras vektorn vilket gör att data går från att vara enskilda effektvärden under varje timme, till att bli en kurva där alla tider på dygnet går att avläsa. Till sist går detta genom en funktion som gör att varje hushåll får en slumpmässig effekt-variation, vilket skapar en mer realistisk bild då inga riktiga hushåll har exakt samma effektanvändning. Alla hushållsprofiler adderas sen ihop vilket skapar den totala effektprofilen för hela området.

Elprisprofilen görs på liknande sätt där vektorn interpoleras för att kunna representera elpriset för varje tidpunkt på dygnet istället för varje timme. Efter detta är profilen klar då den varken behöver multipliceras eller varieras. Utöver det går det sedan att enkelt justera profilen för både elpris och hushållet med variabeln "Season". På engelska döps variabeln till den önskade årstiden, vilket sedan automatiskt

justerar båda profilerna till att matcha vad de var vid dem riktiga tidpunkterna.

Avslutningsvis definieras variabler för både elbilen och laddningsmetoderna vilket sker under sektion "EV Settings". Den genomsnittliga bilens batteristorlek på 75 kWh och dess slutgiltiga mål på 100% SoC bestäms först. Laddarens karaktär kan sedan ställas in likt profilerna, där variabeln "Charger" döps mellan "Normal", "Fast" och "Superfast", vilket ändrar dess effekt till att motsvara dess karaktär. Till sist bestäms fördelning mellan de olika laddningsmetoderna genom att en faktor mellan 0 - 1 multipliceras med det totala antalet bilar. Detta representerar den procentuella fördelning som användaren vill ha mellan metoderna där varje laddningsmetod anger ett visst antal bilar som dem ska simulera. Därför ska dessa faktorer summerat vara lika med 1, då det symboliserar att alla bilar i området har blivit tilldelad en av de 5 laddningsmetoderna.

Det finns dock en ytterligare version till detta där fördelningen mellan laddningsmetoderna blir slumpmässigt fördelade mellan varje försök. Istället för att manuellt skriva in själva fördelningen så skrivs variabeln "Scenario" till en siffra större än 1. Denna variabel bestämmer antalet simuleringar som ska köra samtidigt och används generellt sett under denna undersökning när flera hundratals simuleringar ska köras på en och samma gång. Som sagt så blir fördelningen slumpmässig under dessa automatiserade simuleringar då syftet är att snabbare kunna undersöka påverkan av olika fördelningar och används när det letas efter en fördelning som uppfyller en sökt kriterium.

3.5.2 Funktioner

Till att börja med startar alla laddningsmetoder på ett liknande sett, där en lastvariabel initieras och nollställs som kommer innehålla den använda effekten från varje enskild laddningsmetod. Därefter startar en loop som är lika lång som mängden bilar inom laddningsmetoden där en bil i taget simuleras där dess använda effekt senare placeras på en lämplig plats längs dygnet. För alla metoder börjar det med en att en funktion vid namn "getRandomSOC" kallas, vilket ger varje enskild bil en slumpmässig men normalfördelad SoC mellan 10-50%. Detta innebär att de vanligaste fallen kommer vara att elbilarna har en laddnings-procent runt 30%, men att det kommer fortfarande finnas en variation mellan olika bilar vilket skapar en mer realistisk bild på området.

Därefter använder sig alla laddningsmetoder, förutom den schemalagda, av en funktion vid namn "cdf", vilket är en förkortning för "cumulative distribution function". Funktionen skapar en viktad fördelning för sannolikheten för en person att komma hem till sitt hushåll. Detta skapar en realistisk ankomstmodell där människor har exempelvis en stor sannolikhet att komma hem mellan klockan 16:00-22:00, medan väldigt få kommer till sitt hushåll någon gång under natten och morgonen.

Till sist, när en bil har fått både sin start-SoC och sin ankomsttid, så sker den individuella koden för varje laddningsmetod som gör den unik och funktionsduglig enligt

verkligheten. Den första, okontrollerad laddning, börjar därför att ladda bilen direkt efter att den har kommit hem, medan den pris-baserade och effekt-balanseringen jämför elprisprofilen respektive hushållsprofilen inom ett fem timmar-intervall, för att hitta den mest effektiva laddnings-startpunkten. V2G liknar effektbalansering genom att den också jämför hushållsprofilen för att se när den ska laddas, bara att den också är kapabel att skicka tillbaka energi från elbilen när lasten på nätet är särskilt hög. Den sista laddningsmetoden, schemalagd, använder som sagt inte "cdf" för sin laddning. Anledningen är att dess individuella kod löser laddnings-startpunkten själv mellan klockan 00:00-06:00, eftersom hela laddningsmetoden bygger på att den ska ladda under natten.

När varje individuell kod har bestämt laddnings-startpunkten, sker samma steg för alla laddningsmetoder som avgör hur lång tid och hur effektanvändningen är för varje enskild bil. Den använda effekten är direkt kopplad till laddarens effektvärde och är därför lika som den laddartyp som var inställd. Tiden bestäms därefter genom följande ekvationer:

$$E_{Needed} = E_{Battery} \cdot (SoC_{Target} - SoC_{Start}) \quad (3.1)$$

$$t_{Charge} = \frac{E_{Needed}}{P_{Charger}} \quad (3.2)$$

Efter att en enskild loop är klar fortsätter processen om igen tills alla bilar inom alla laddningsmetoder har simulerats och placerats längs dygnet. Avslutningsvis adderas alla last-variabler från varje laddningsmetod ihop, inklusive lasten för alla hushåll, vilket skapar en total last för hela det simulerade området.

3.5.3 Utdata

När simuleringen är klar ska koden inledningsvis visa diverse statistik i kommandofönstret. Den ska förklara exempelvis antalet bilar som ingår inom varje laddningsmetod och den högsta lasteffekten som metoderna uppnår. Även förklara vad medel, maximum och minimum effekten är för både ett enskilt hushåll, men också för hela området ihop. Den räknar dessutom ut en kostnad baserat på den använda elprisprofilen för både det totala området, men också för den enskilda kostnaden som elbilarna lägger till.

Detta avslutas i att fem olika figurer presenteras som visar resultaten kring hela simuleringen. Första figuren ska visa två grafer som inkluderar den enskilda hushållsprofilen och profilen för hela området innan effekten från laddningsmetoder har lagts till. Nästa demonstrerar den valda elprisprofilen vilket därefter följs av en graf som visar fördelningen av SoC av alla bilar som har simulerats. Till sist kommer det totala resultatet som visar den totala effekten för hela området där både hushållens och laddningsmetodernas last är inkluderat. Detta följs av en figur som istället delar upp alla laster vilket möjliggör att enklare jämföra metoderna.

3.6 Simulering

För att resultatet ska presenteras på ett så tydligt sätt som möjligt, kommer undersökningarna delas in i olika sektioner och fall. Först kommer hushållsprofilerna för de olika årstiderna redovisas, tillsammans med deras tillhörande elprisprofil. Därefter presenteras resultatet av samtliga individuella laddningsmetoder tillsammans med den totala lasten som produceras. Viktigt att notera är att i varje simulering kommer maxeffekten vara direkt avgörande för om simuleringen fortsätter eller inte. Området som undersöks har en maxeffekt på 6 MW, vilket innebär att denna gräns inte får överskridas. För varje laddningsmetod börjar simuleringen med antalet elbilar valt till 25% och årstid höst. I nästa steg ökas mängden elbilar till 100% och därefter ändras årstiden till vinter. Ifall maxeffekten fortfarande efter de tre inledande simuleringarna är under 6 MW, så avslutas den med att testa de två kraftigare laddarna. Allt detta kommer stegvis att se ut på följande sett:

- Steg 1: 25% elbilar, normalladdare, hösten
- Steg 2: 100% elbilar, normalladdare, hösten
- Steg 3: 100% elbilar, normalladdare, vintern
- Steg 4: 100% elbilar, snabbaddare, vintern
- Steg 5: 100% elbilar, supersnabb-laddare, vintern

Efter att alla individuella laddningsmetoder har testats går undersökningen in i ett nytt skede där de kommer att kombineras. I det här avsnittet testas olika kombinationer för att se hur de kompletterar varandra. Den första kombinationen kommer att vara en uppskattning på hur dagens fördelning ser ut. Därefter så kommer en undersökning göras med jämnt fördelade laddningsmetoder. Hädanefter kommer den automatiserade simuleringen användas (flera hundratals simuleringar med slumpmässig fördelning) där det till och börja med kommer undersökas vilken kombination som får jämnast/ojämnast last fördelat över dygnet, alltså undersöka dess lastfaktor. Därefter undersöks ett stort antal olika fördelade laddningsmetoder för att se deras relationer mellan kostnad och effekttoppar där den bästa lösningen kommer redovisas. Slutligen kommer simuleringar göras för ett så kallat "värsta fall" där inställningarna är satta enligt steg 5, där det kommer undersökas ifall det finns en fördelning mellan laddningsmetoderna som möjliggör att nätets effektgräns inte överskrids.

I majoriteten av dessa kombinerade simuleringar (Alla förutom värsta fallet) kommer testen att utföras med en fördelning enligt steg 2, alltså 100% elbilar, normalladdare och årstiden vald till höst. Anledningen till detta är att det är själva beteendet på laddningsmetoden som undersöks i framtidsscenarioet, därav räcker det att en mer minimal inställning används. Laddningsfunktionen V2G kommer också att användas sparsamt i dessa test. Exakt hur V2G kommer att fungera är idag okänt och därför kommer tekniken endast undersökas i den jämna fördelningen tillsammans med övriga laddningsmetoder. För lastfaktor och relationen mellan kostnad och effekttoppar, kommer 2000 simuleringar genomföras där fördelningen mellan laddningsmetoderna blir slumpmässigt fördelade mellan varje försök. För att det ska bli någon form av

varians mellan laddningsmetoderna, har en undre och övre gräns på den procentuella fördelningen satts till 1% respektive 80%, vilket gör att varje enskild metod alltid har någon viss påverkan.

4

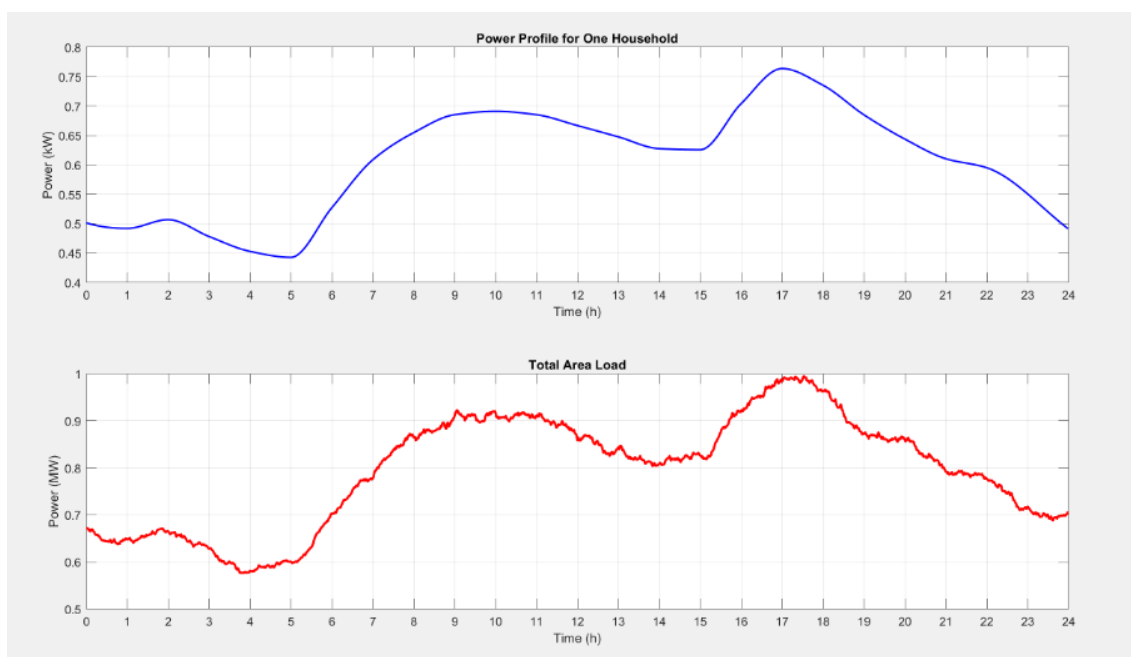
Resultat

Det här kapitlet redovisar resultaten från gjorda simuleringar inom de olika områden som presenterades i förra kapitlet.

4.1 Årstidens påverkan

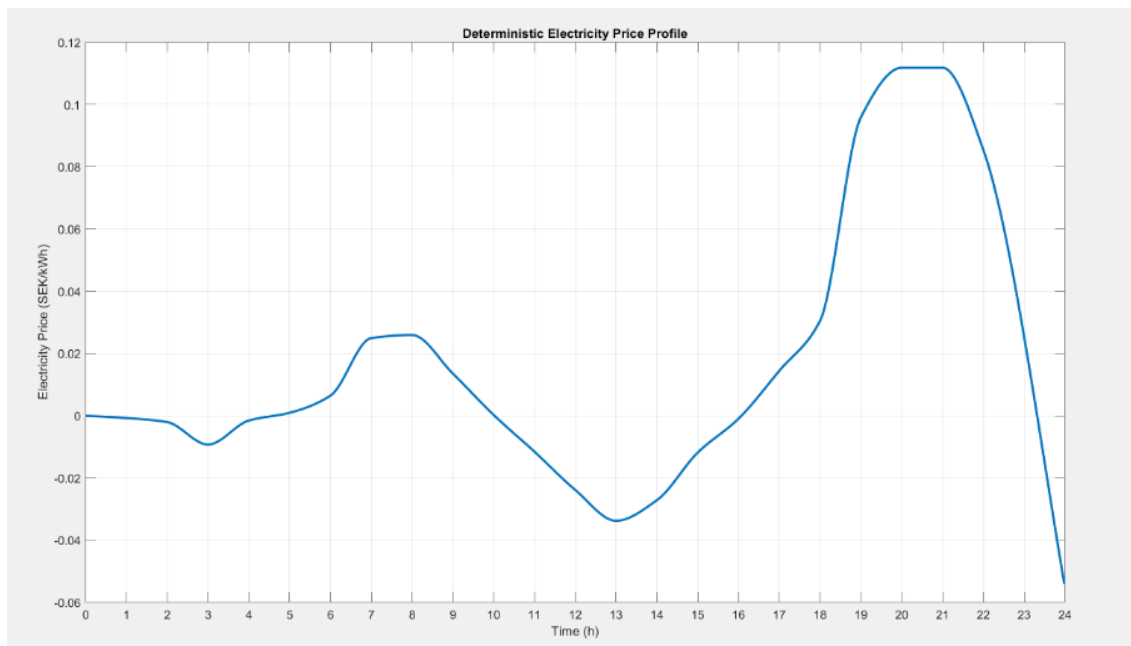
Denna del redovisar data från hushållsprofilen och elprisprofilen för varje årstid.

4.1.1 Sommar



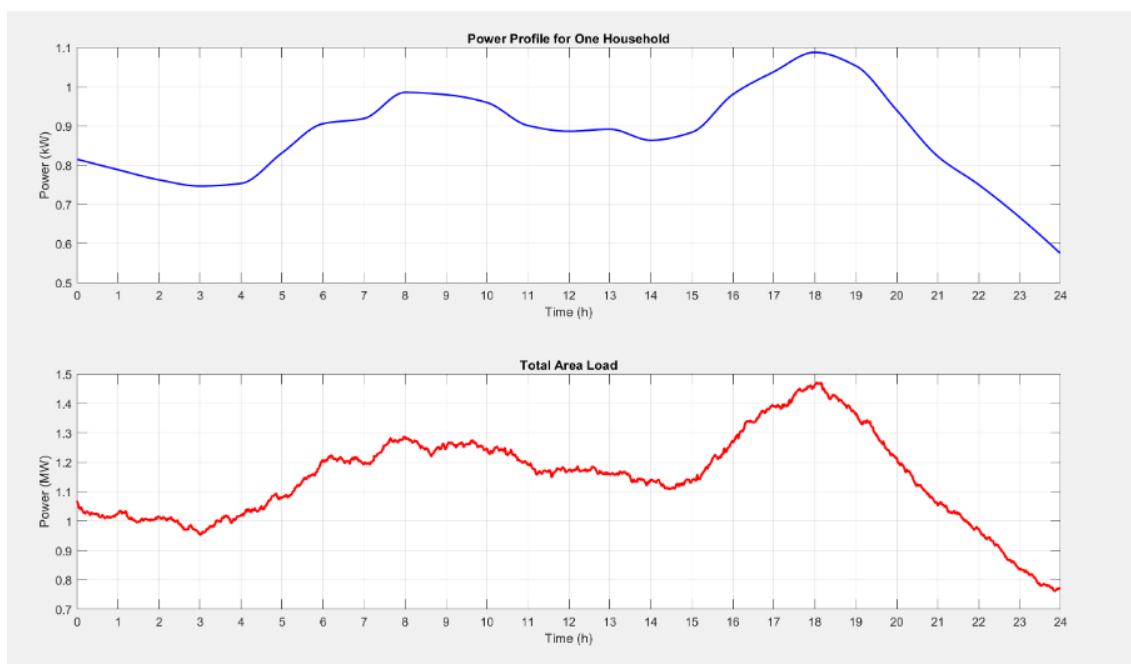
Figur 4.1: Hushållsprofil på sommaren

4. Resultat



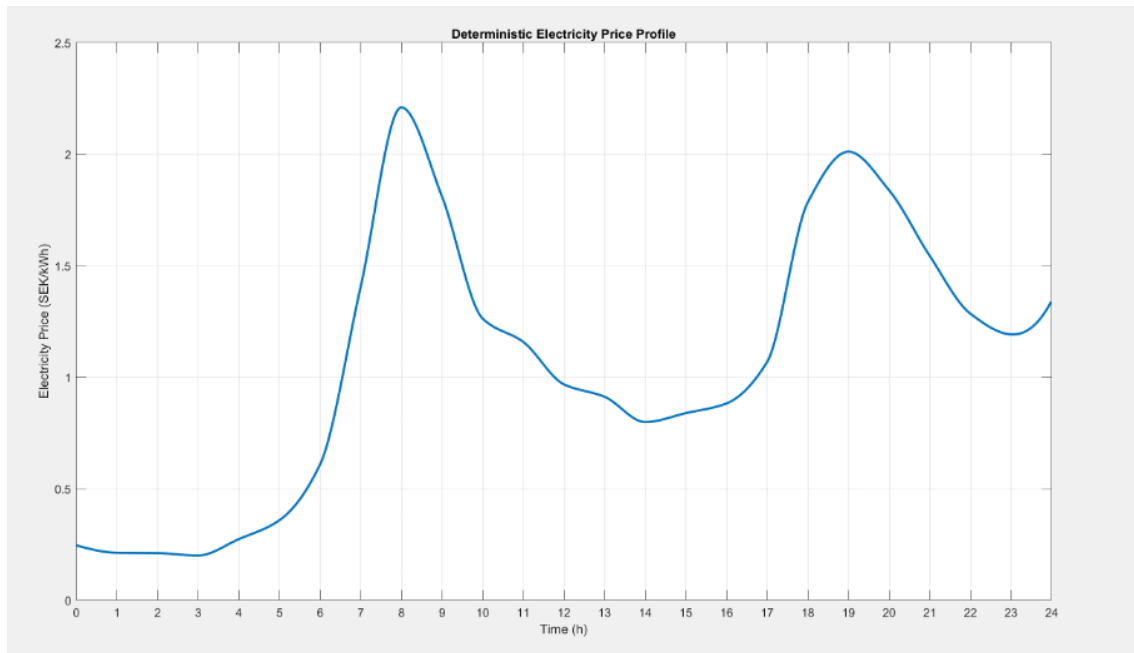
Figur 4.2: Elprisprofil på sommaren

4.1.2 Höst



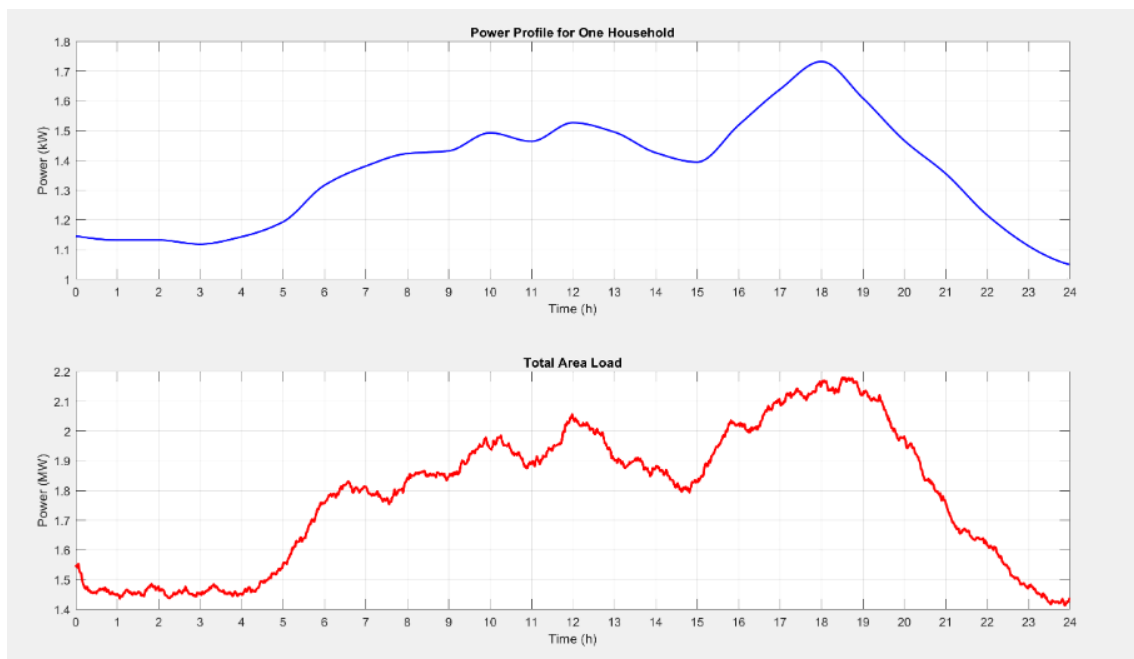
Figur 4.3: Hushållsprofil på hösten

4. Resultat

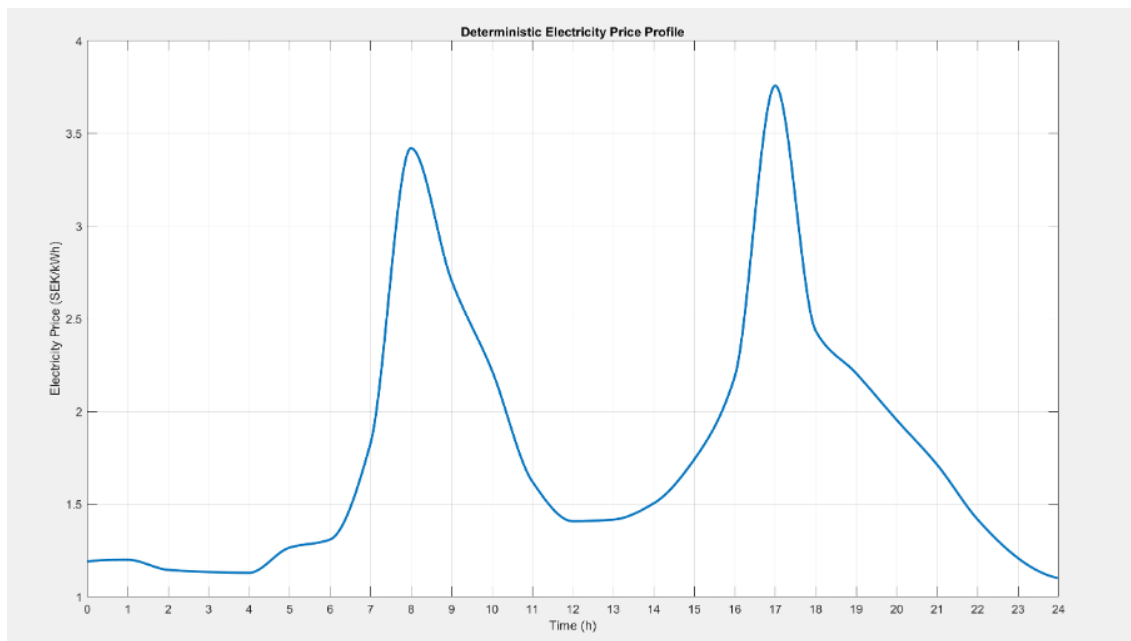


Figur 4.4: Elprisprofil på hösten

4.1.3 Vinter



Figur 4.5: Hushållsprofil på vintern



Figur 4.6: Elprisprofil på vintern

4.2 Individuella laddningsmetoder

I denna sektionen testat varje laddningsmetod individuellt för att tydligt kunna analysera dess påverkan. Här testas metoden stegvis enligt metoden som demonstrerades i kapitel 3.6, där inställningar ändras/ökas tills att gränsen för nätet på 6 MW är passerad.

4.2.1 Okontrollerad Laddning

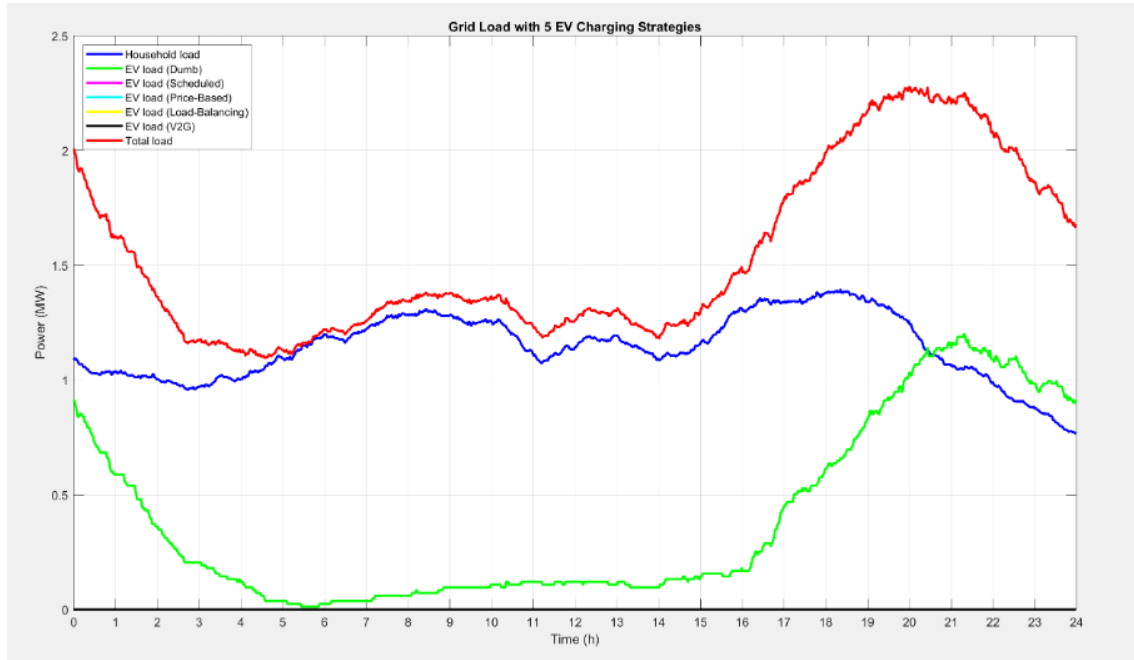


Figure 4.7: Okontrollerad Laddning: Steg 1

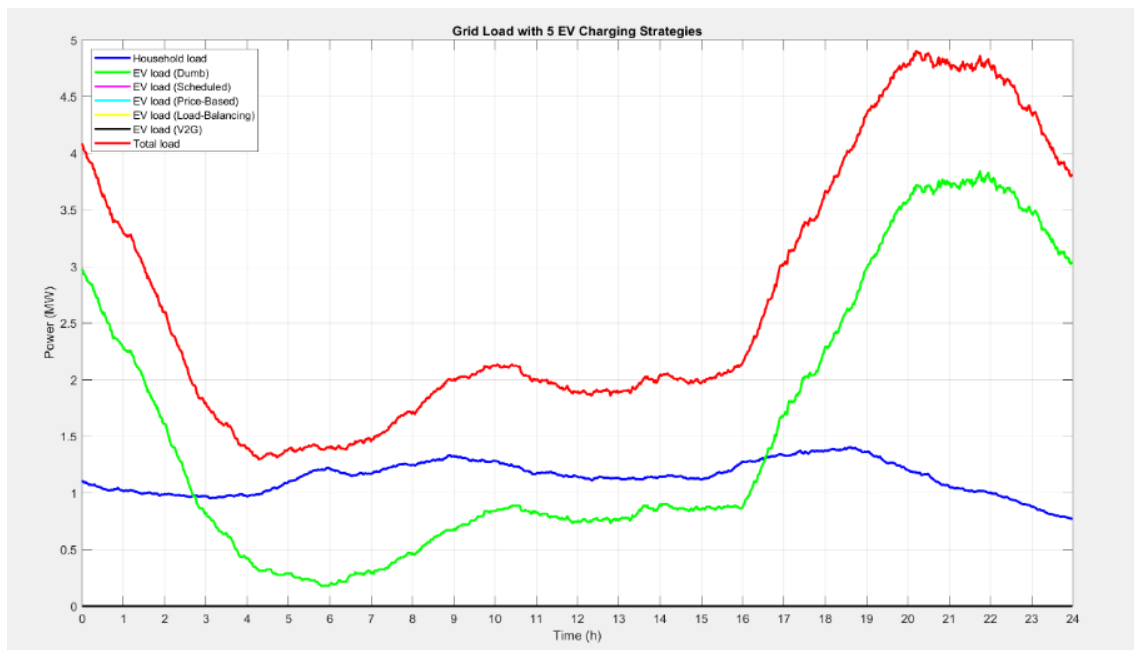


Figure 4.8: Okontrollerad Laddning: Steg 2

4. Resultat

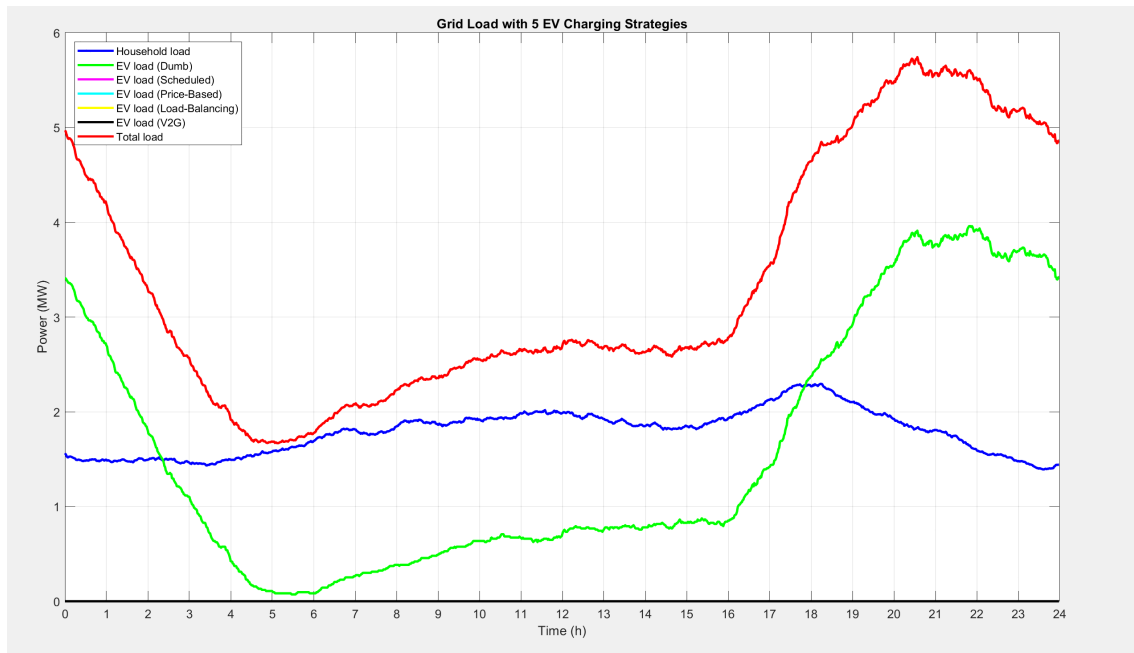


Figure 4.9: Okontrollerad Laddning: Steg 3

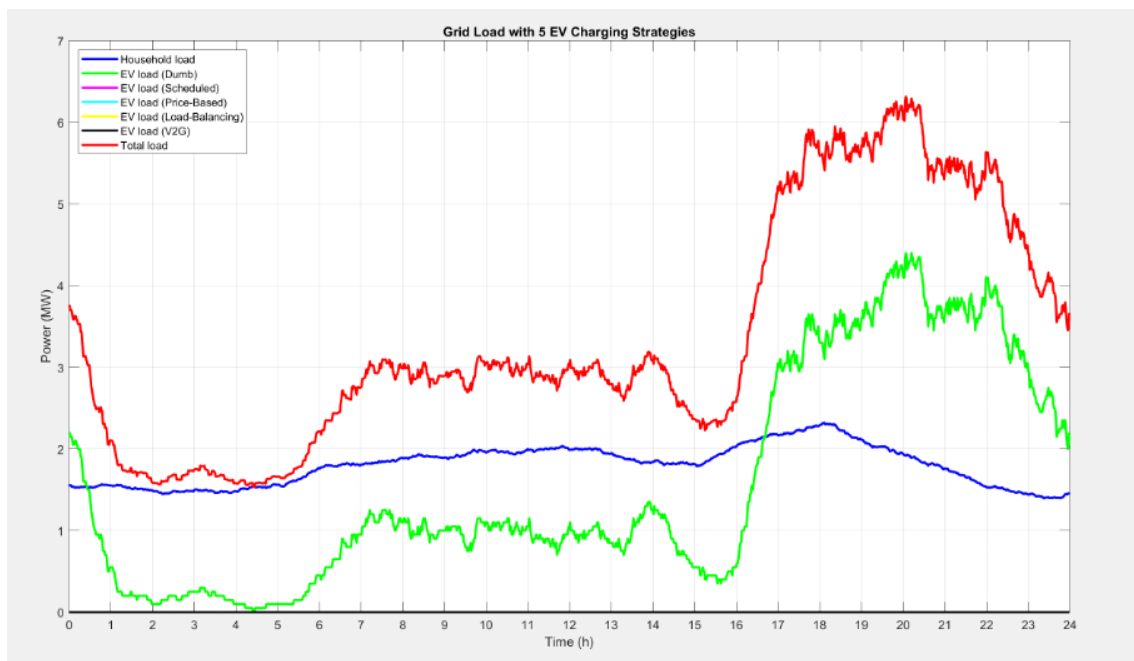


Figure 4.10: Okontrollerad Laddning: Steg 4

4.2.2 Schemalagd Laddning

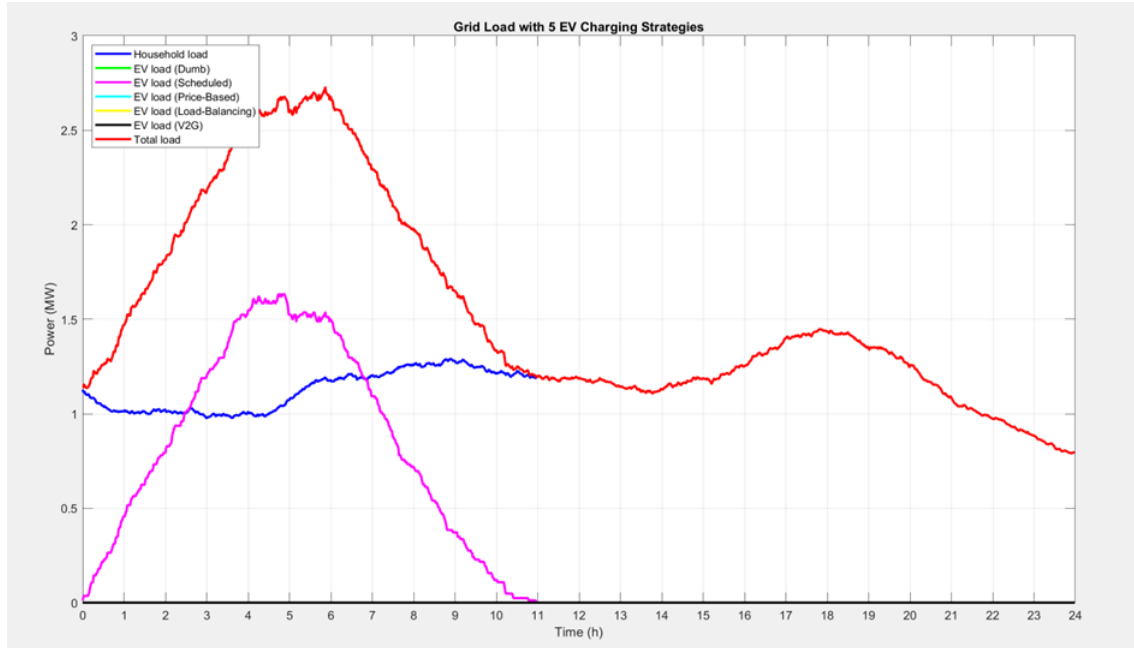


Figure 4.11: Schemalagd Laddning: Steg 1

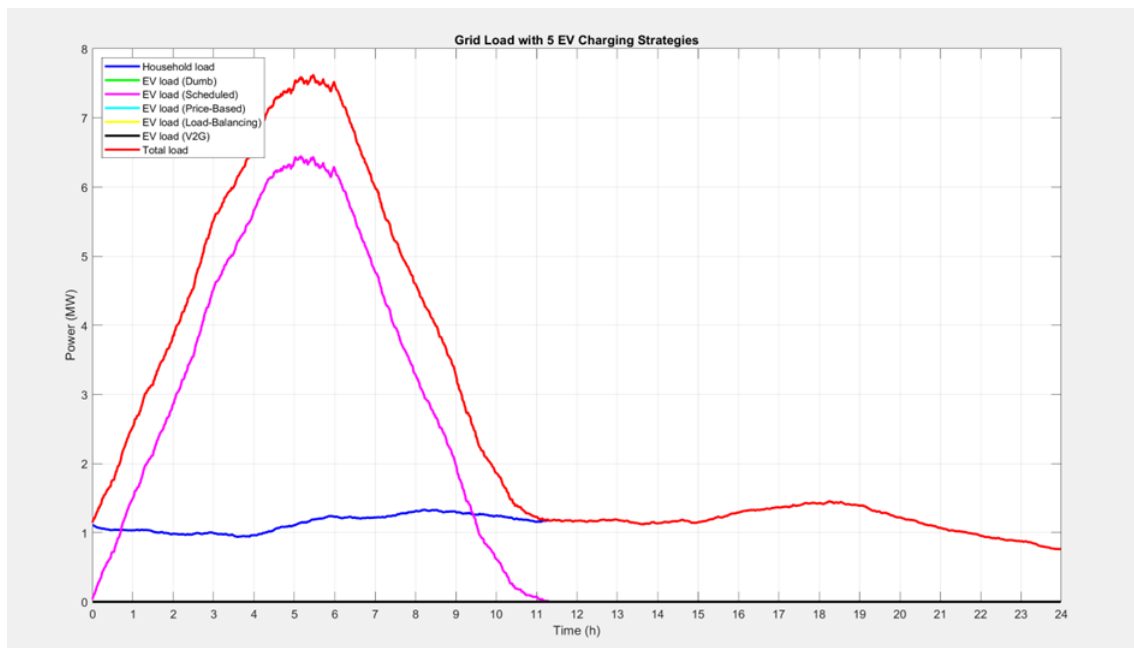


Figure 4.12: Schemalagd Laddning: Steg 2

4.2.3 Pris-Baserad Laddning

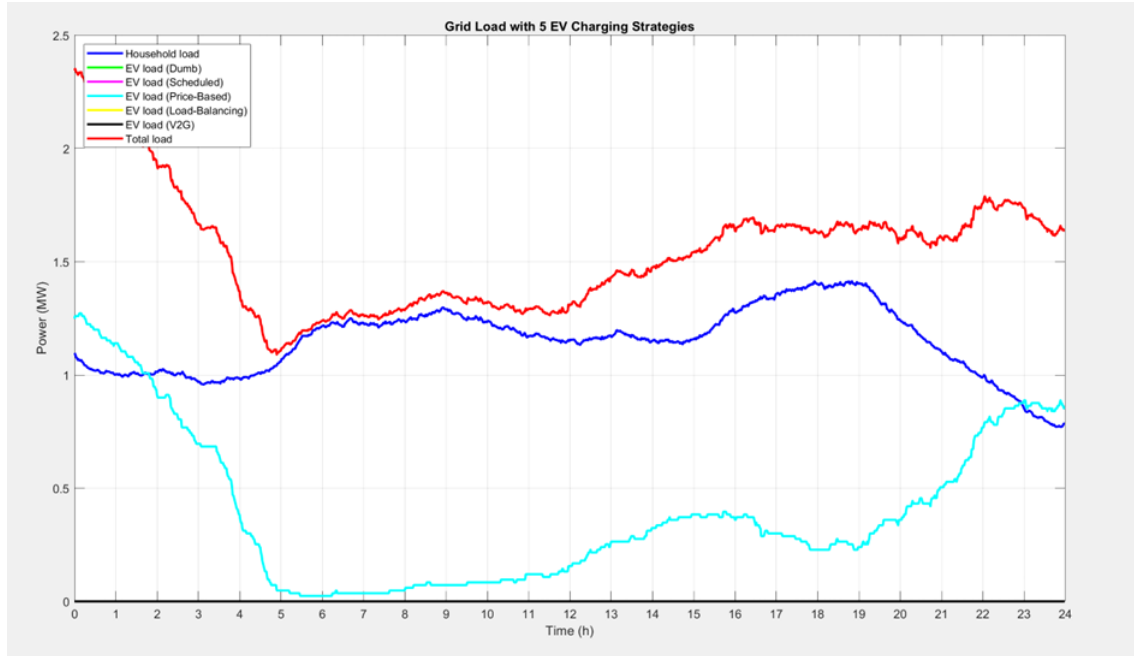


Figure 4.13: Pris-Baserad Laddning: Steg 1

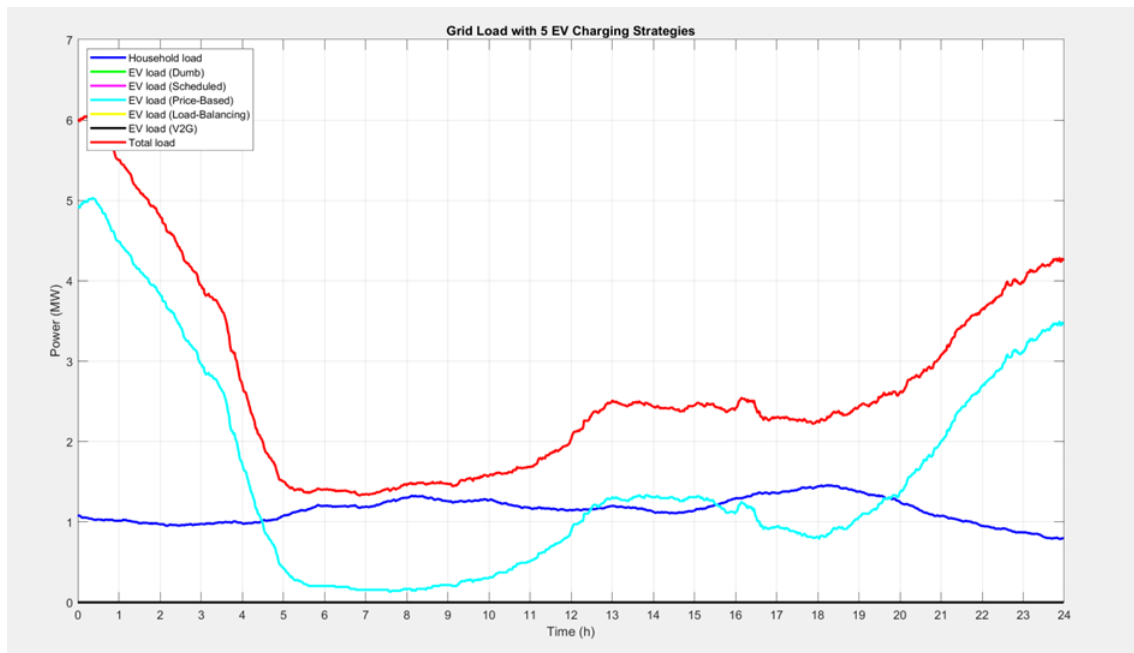


Figure 4.14: Pris-Baserad Laddning: Steg 2

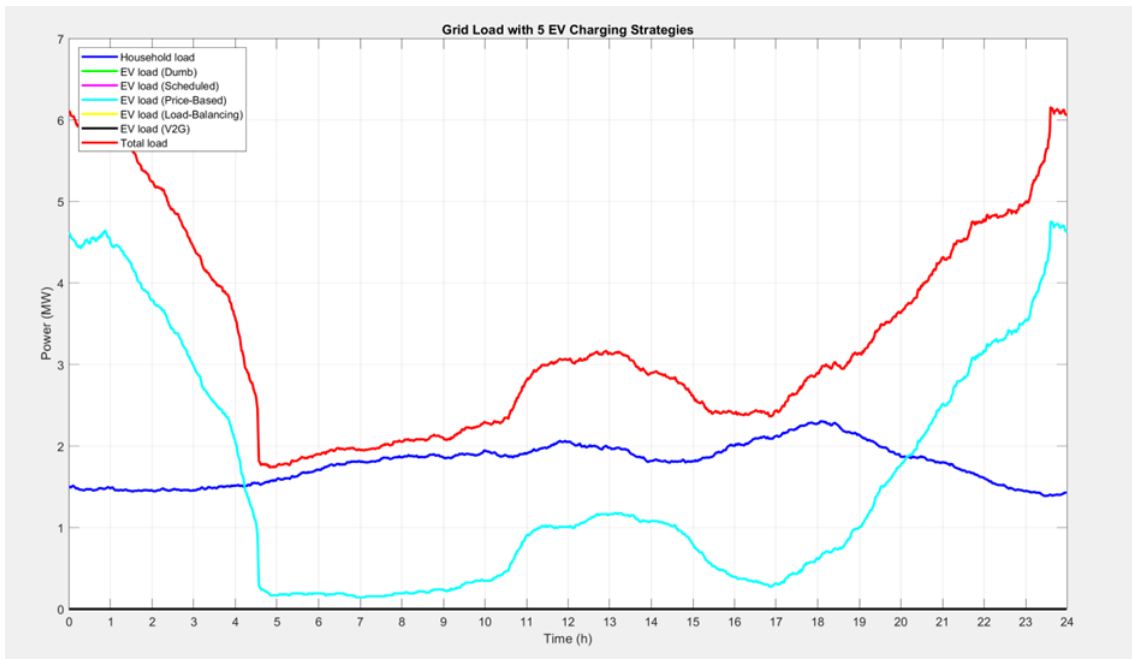


Figure 4.15: Pris-Baserad Laddning: Steg 3

4.2.4 Effekt-Balansering

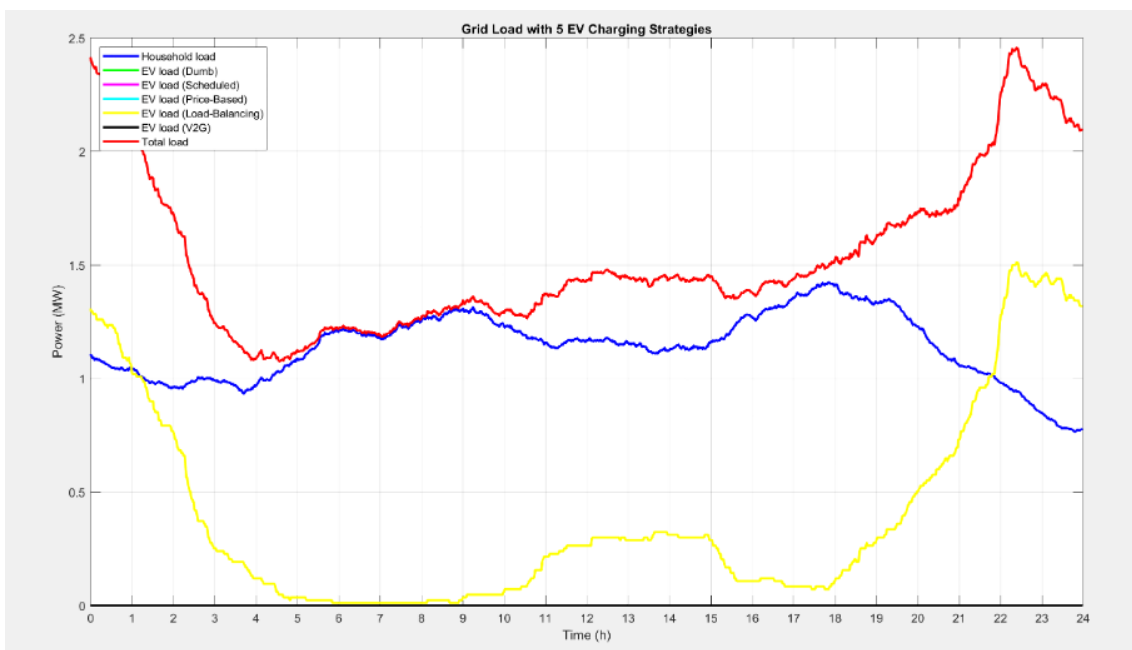


Figure 4.16: Effekt-Balansering: Steg 1

4. Resultat

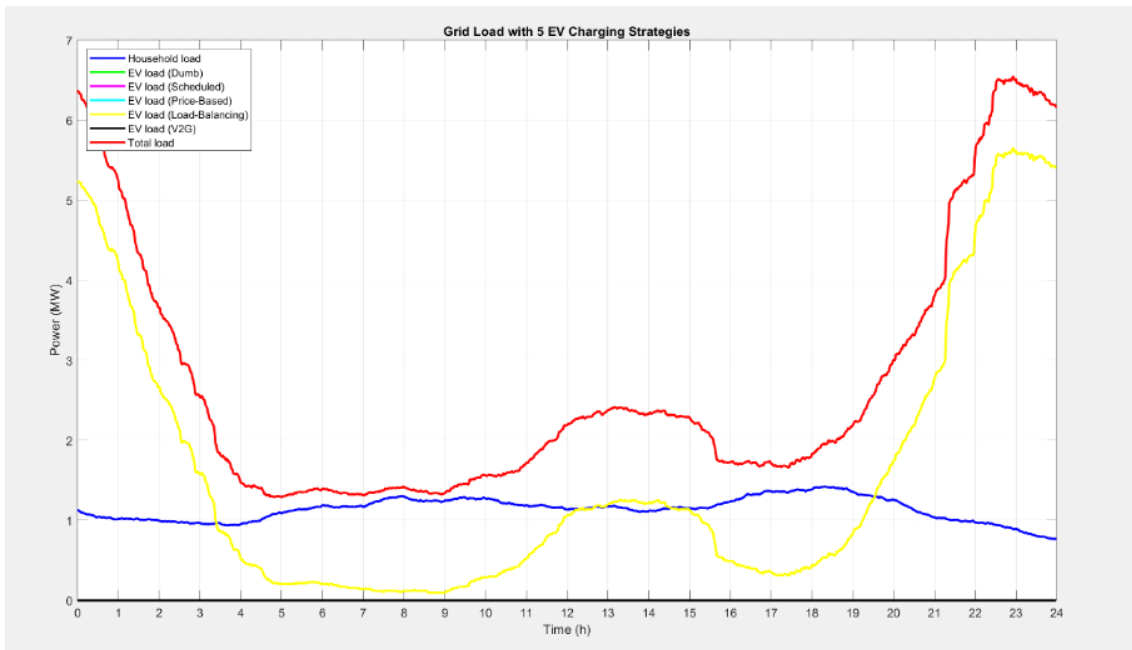


Figure 4.17: Effekt-Balansering: Steg 2

4.2.5 Vehicle-to-Grid

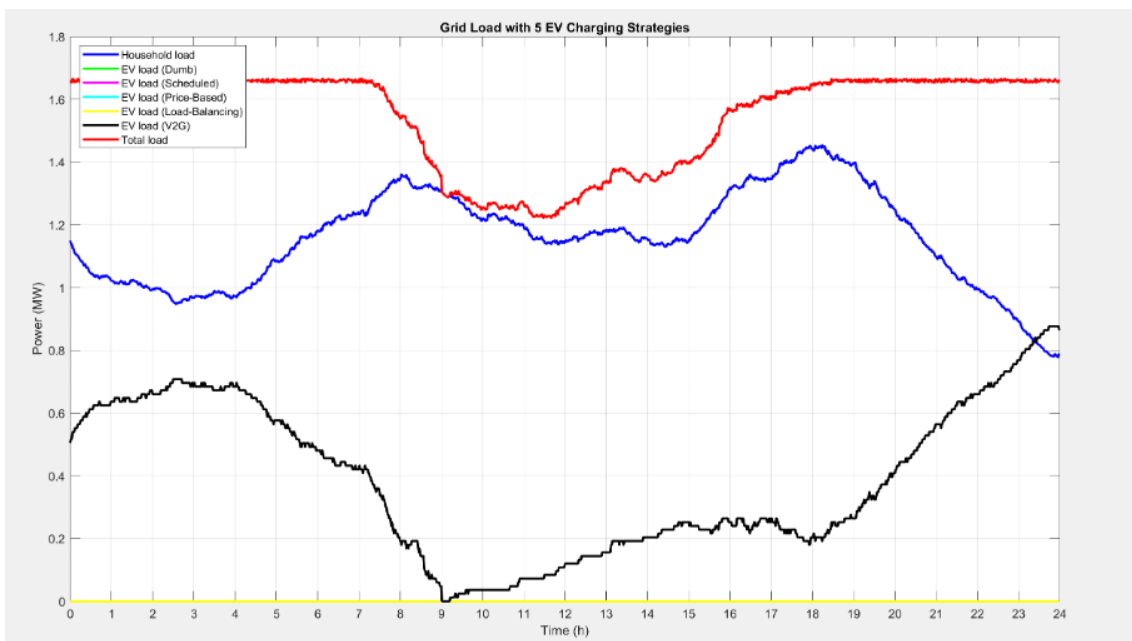


Figure 4.18: Vehicle-to-Grid: Steg 1

4. Resultat

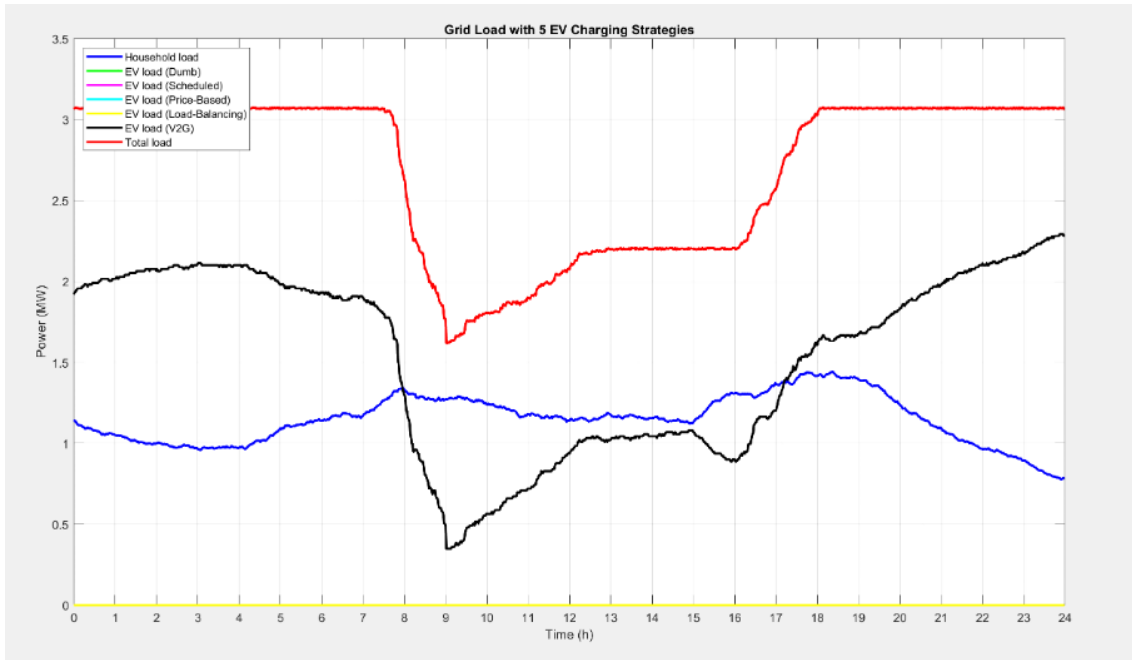


Figure 4.19: Vehicle-to-Grid: Steg 2

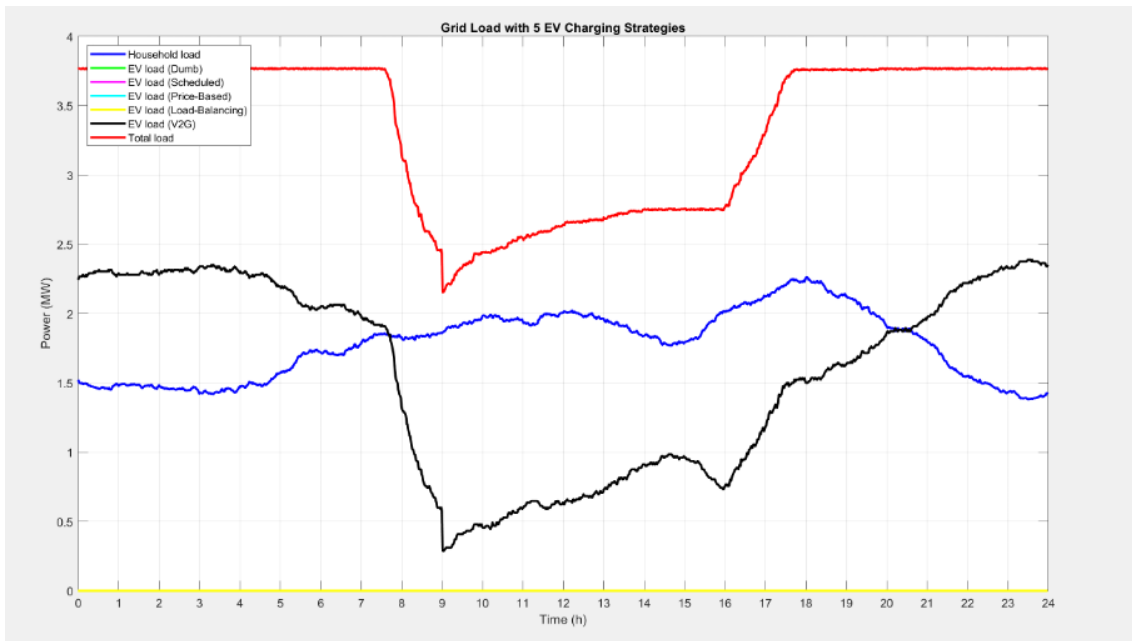


Figure 4.20: Vehicle-to-Grid: Steg 3

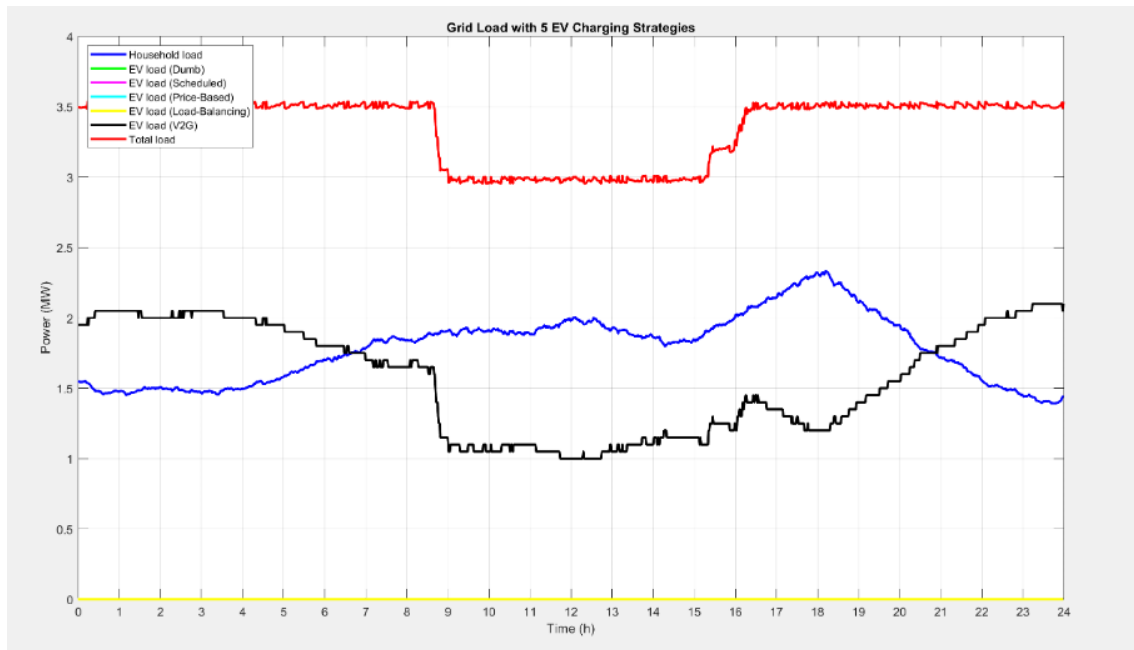


Figure 4.21: Vehicle-to-Grid: Steg 4



Figure 4.22: Vehicle-to-Grid: Steg 5

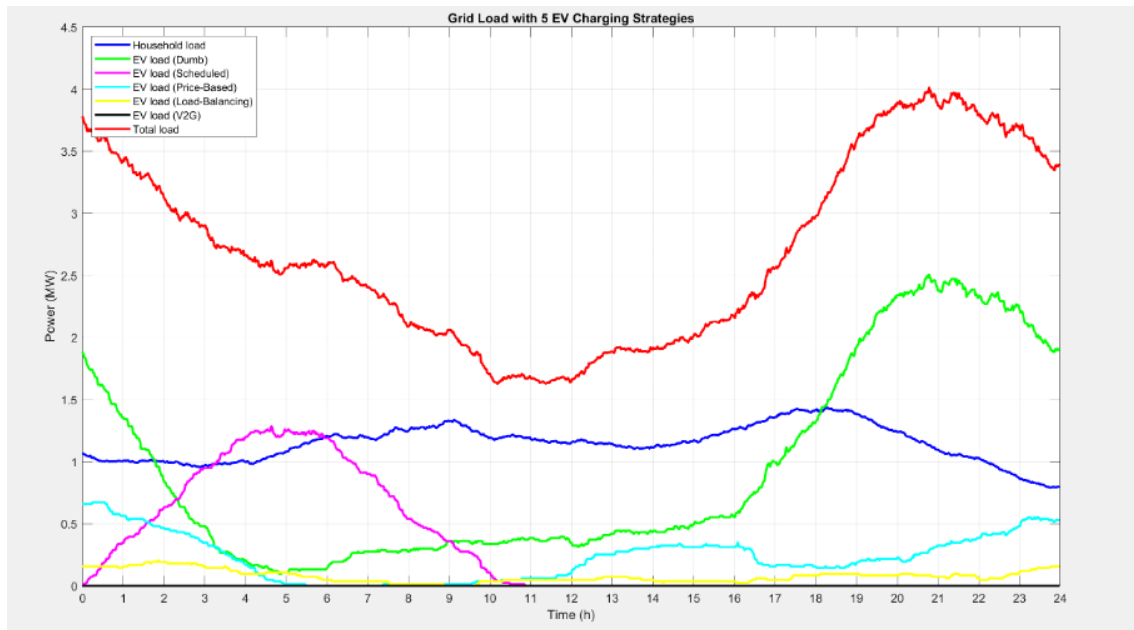
4.3 Kombinerade laddningsmetoder

4.3.1 Dagens fördelning

Detta representerar ett förslag på den nutida fördelningen av laddningsmetoder i Sverige. Här såg fördelning bland laddningsmetoderna ut på följande sätt: 60%

4. Resultat

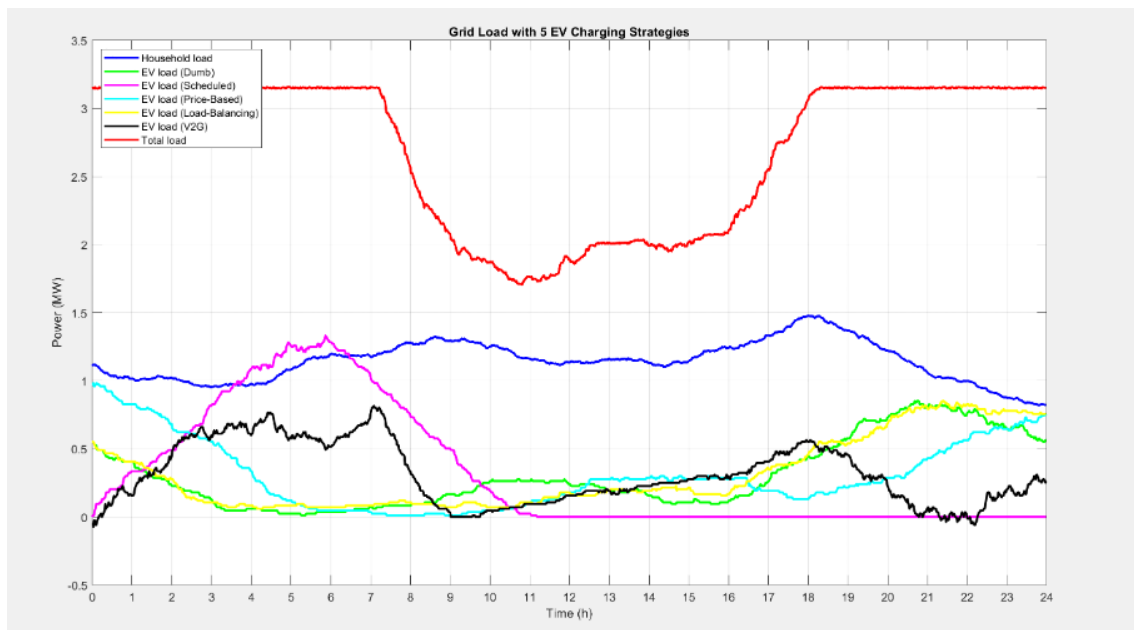
okontrollerad laddning, 20% schemalagd laddning, 15% pris-baserad laddning och 5% effekt-balansering.



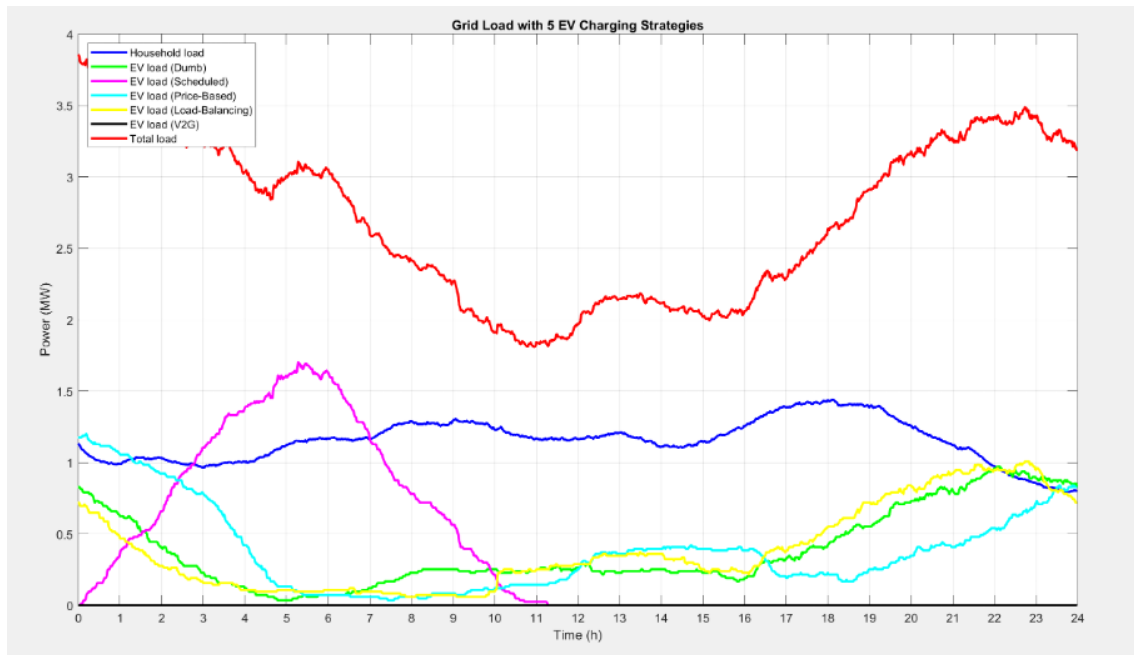
Figur 4.23: Dagens fördelning

4.3.2 Jämmt fördelat

Här redovisas alla metoder tillsammans när dem har samma mängd fordon i användning. Först visas resultatet med en fördelning på 20% på alla laddningsmetoder och därefter en fördelning med 25% när Vehicle-to-Grid har blivit exkluderat.



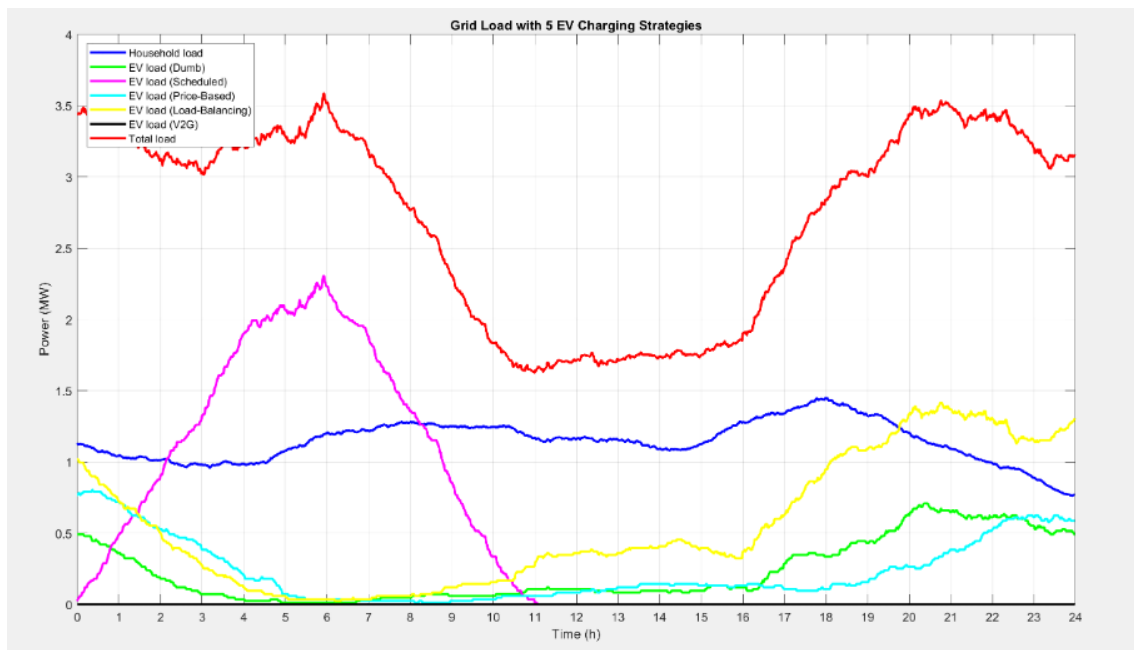
Figur 4.24: Jämn fördelning mellan alla laddningsmetoder



Figur 4.25: Jämn fördelning utan V2G

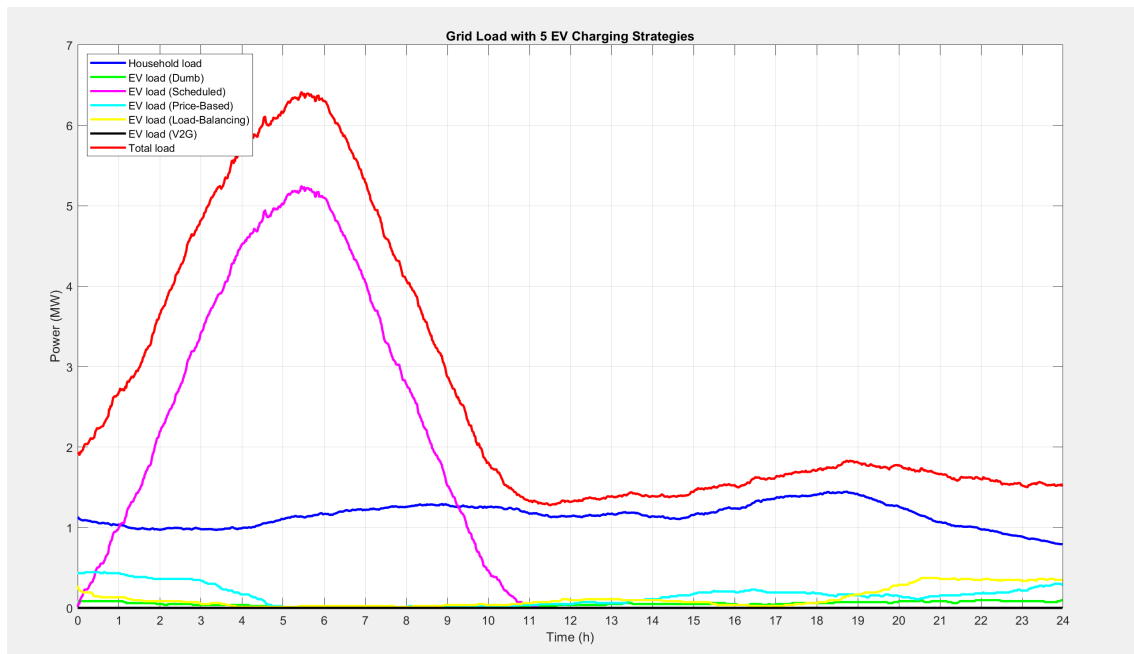
4.3.3 Lastfaktor

I denna del undersöks lastfaktor där den bästa och värsta möjliga kombinationen redovisas. Det högsta uppnådda värdet var 0.76 vilket skedde under denna uppdelning: 14.6% okontrollerad laddning, 35.5% schemalagd laddning, 15.1% pris-baserad laddning och 34.8% effekt-balansering.



Figur 4.26: Högsta möjliga lastfaktor

Medan det lägsta som uppkom under simuleringarna var 0.42 vilket skedde med följande fördelning: 3.1% okontrollerad laddning, 80% schemalagd laddning, 9.5% pris-baserad laddning och 7.4% effekt-balansering.

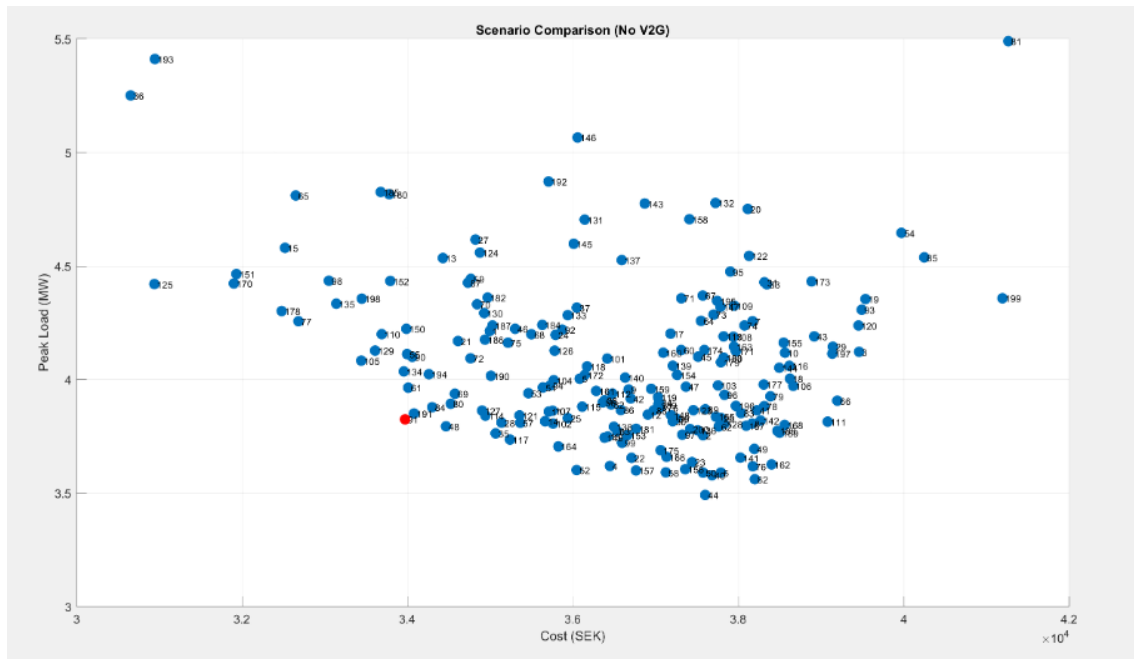


Figur 4.27: Lägsta möjliga lastfaktor

4.3.4 Kostnad mot effekttoppar

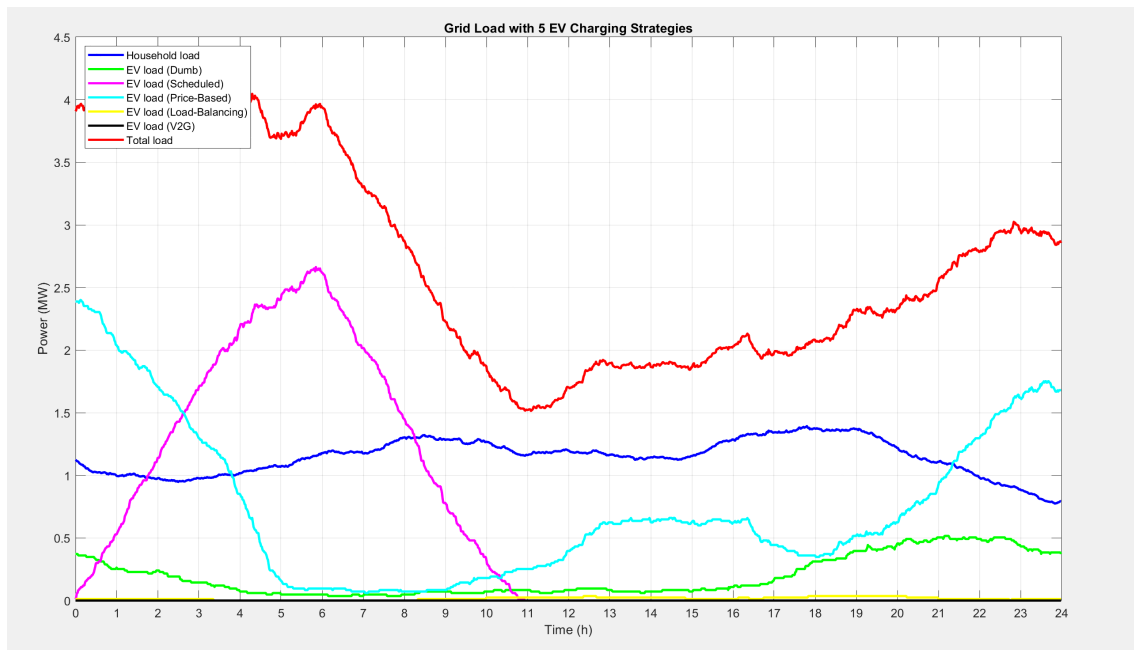
I detta kapitel presenteras först ett exempel på hur relationen mellan kostnad och effekttoppar för 200 slumpade fördelningar kan se ut när den automatiserade simuleringen används. Ett exempel på ett sådant spridningsdiagram presenteras nedan där det bästa respektive sämsta resultatet kunde hittas. Dessa fördelningar har sedan separat simulerats för att kunna demonstrera hur laddningsmetoderna faktiskt ser ut.

4. Resultat



Figur 4.28: Kostnad mot effekttoppar: Spridning för 200 simuleringar

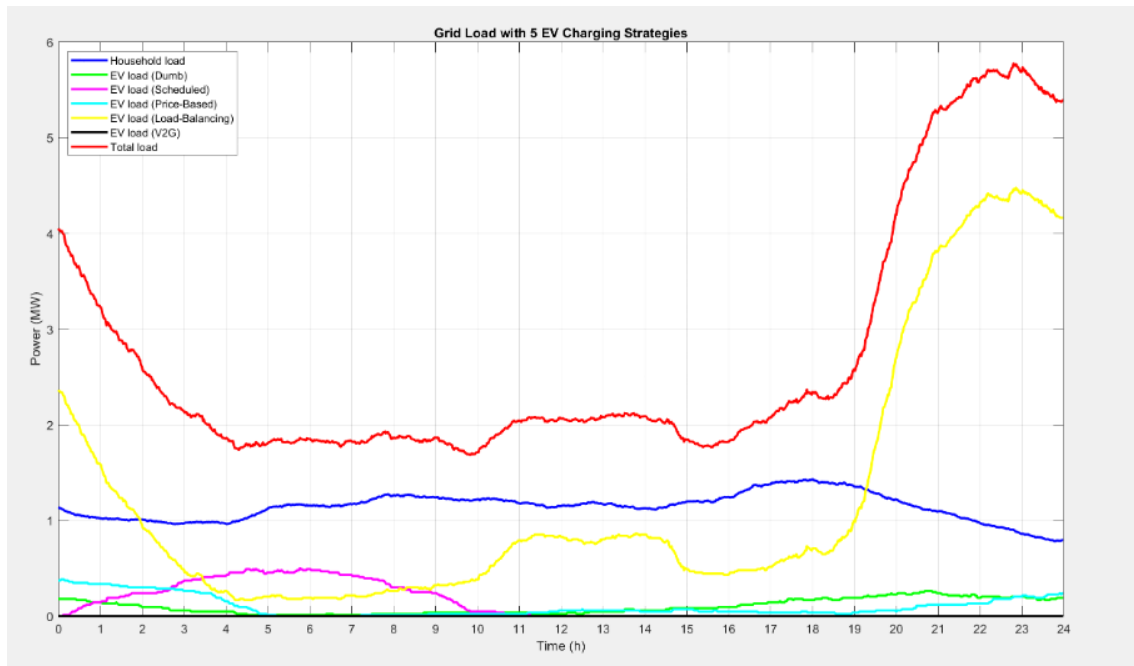
Den mest fördelaktiga fördelningen som hittades är markerad i röd färg i ??, vilket var en lösning som resulterade i en kostnad på 32307 SEK och en max effekt på 4.08 MW. Detta gjordes med följande fördelning på laddningsmetoderna: 12.2% okontrollerad laddning, 40.2% schemalagd laddning, 46.6% pris-baserad laddning och 1.0% effekt-balansering.



Figur 4.29: Kostnad mot effekttoppar: Bästa lösningen

Tvärtom ledde den värsta lösningen till en kostnad på 41016 SEK och en maxeffekt

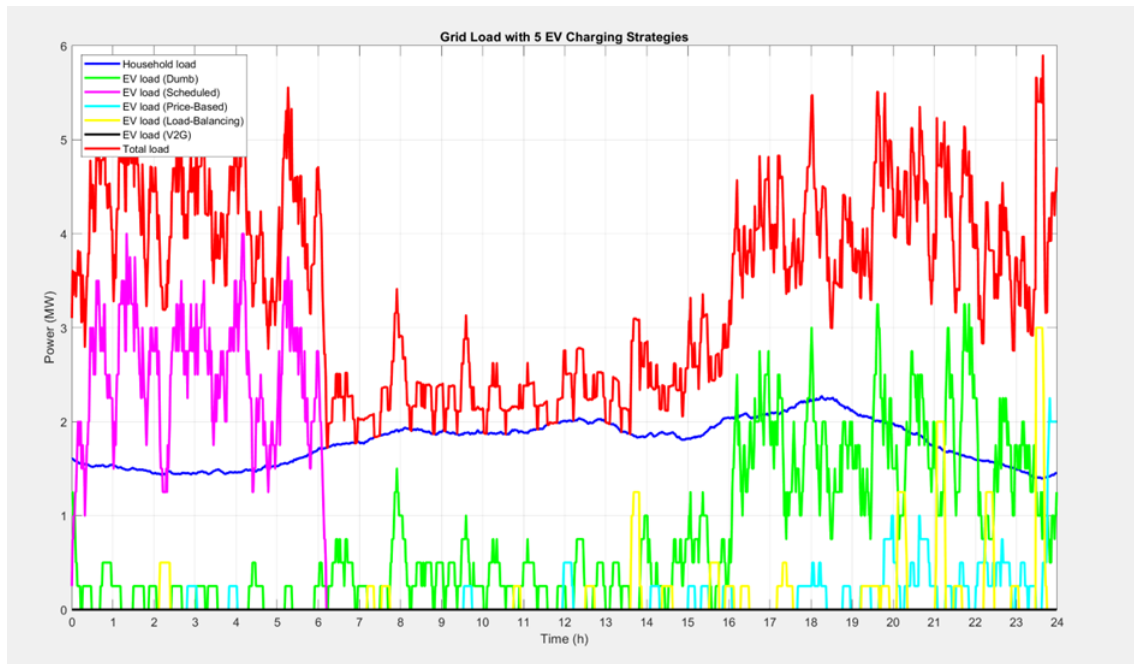
på 5.76 MW. Detta skedde med följande uppdelning: 6.1% okontrollerad laddning, 7.5% schemalagd laddning, 6.4% pris-baserad laddning och 80% effekt-balansering.



Figur 4.30: Kostnad mot effekttoppar: Sämsta lösningen

4.3.5 Värsta fallet

I denna del redovisas resultat från när inställningarna är satta enligt steg 5: 100% elbilar, supersnabbladdare, vintern. Här gjordes över 7000 simuleringar innan en fördelning mellan laddningsmetoderna hittades där den maximala använda effekten inte överskred nätets effektgräns. Detta resulterade i en maximal effekt på 5.9 MW och gjordes med följande fördelning: 47.5% okontrollerad laddning, 38.3% schemalagd laddning, 6.8% pris-baserad laddning och 7.4% effekt-balansering.



Figur 4.31: Värsta fallet

5

Diskussion och Slutsats

5.1 Individuella laddningsmetoder

5.1.1 Utfall

Efter dem individuella testerna för varje laddningsmetod, går det att tydliggöra varje enskild metods beteende och dess gränser baserat på vilka inställningar som går att ha tills att nätets 6 MW gräns är nådd. Genom att första analysera okontrollerad laddning (Figur 4.7), kan man tydligt se att dess kurva följer den förväntade ankomst tiden som i modellen. Väldigt få kommer hem på morgonen vilket gör att den lägsta effekt-användningen för metoden alltid hittas runt klockan 05:00-06:00. Effekten ökar sedan längs dagen där den högsta effekttoppen för metoden hittas generellt sett runt klockan 20:00. När inställningarna ändras går det att se att nätets gräns undviks långt in testet där det är först i Figur 4.10, alltså steg 4: 100% elbilar, snabbladdare på vintern, som nätet totala effekt precis passerar dess gräns.

För nästa metod, schemalagd-laddning, är den använda effekten mycket centrerad, där all effektanvändning sker mellan klockan 00:00 - 10:00. Mönstret är pyramidliknande, där effektanvändningen oftast stiger linjärt över tiden där dess effekttopp generellt sett alltid sker runt klockan 05:00, som sedan linjärt minskar med liknande takt. På grund av att metoden har kortare tidsram, korsas nätets effektgräns redan vid steg 2 i Figur 4.12, där till och med den enskilda effekten från metoden är större än den tillåtna gränsen på 6 MW.

Därefter undersöktes pris-baserad laddning där elprisprofilens påverkan tydligt gick att se. Genom att jämföra resultaten från metoden och den korrekta elprisprofilen baserat på rätt årstid, tydliggörs metodens funktionalitet där effektanvändningen alltid motsvarar elens kostnad. Därav sker effekttoppen nästan alltid runt klockan 00:00, då det motsvarar när elpriset var som lägst. Tvärtom är användningen som lägst på morgonen mellan klockan 05:00 och 10:00, samt på eftermiddagen runt 17:00 då elpriset är generellt som högst vid dessa tider. Utöver detta klarade metoden inte längre än steg 2 (Figur 4.14), där effektgränsen redan då hade precis passerats. Trots detta undersöktes steg 3 (Figur 4.15) då detta ändrade årstiden vilket visade ett mycket intressant resultat.

Generellt sett brukar steg 3 (höst till vinter) bara skapa en plan ökning i använd effekt då det är oftast bara hushållsprofilen som ändras/ökas, där själva laddningsmetoden är oförändrad. Men i detta fall när årstiden ändras, justeras även elprispro-

filen, vilket skapar andra tidpunkter när optimal laddning ska ske. Trots den ökade lasten från hushållen, visar resultatet att den högsta effekttoppen har blivit oförändrad, då den maximala effekttoppen fortfarande sker runt 00:00 och är precis över 6 MW. Detta demonstrerar elpris-profilens påverkan, då den jämnare fördelningen på vinter-profilen, sprider ut laddningen mer och därav gör att toppen blir lägre.

Sedan undersöktes den effekt-balanserade laddningen, vilket visar hur hushållsprofilen påverkar laddningsmetoden. Genom att jämföra den totala lasten och metodens effektanvändning, kan man se att dessa är lite grann varandras motsatser. Effekttoppen sker generellt sett under natten mellan 22:00 och 01:00 då detta är när hushållslasten är som lägst, samt att detta tidsspann alltid möjliggör att bilen är fulladdad tills nästa dag. Medan den är som lägst på morgonen mellan 05:00 till 10:00 och på eftermiddagen runt 17:00, då hushållens användning är som högst vid dessa tidpunkter.

Slutligen gjordes simulering med V2G där dess möjlighet till effekt-utjämning demonstreras. Här går det att se att effekttopparna blir eliminerade och istället så skapas en jämn högsta nivå längs majoriteten av dagen. Detta fungerar så länge det finns tillräckligt många bilar kapabla till att ladda och skicka tillbaka till nätet. Därav när många bilar är borta, som det är mellan tiderna 08:00-17:00, så blir den totala effekt-användningen mycket lägre, men fortfarande utjämnat på en viss nivå.

I simulationen för denna laddningsmetod går det även att se en tydlig effekt på olika typer av laddare då det är den första som klarar av alla 5 steg utan att passera nätets effekt-gräns. Genom att jämföra först normalladdaren med snabbbladdaren, går det att avgöra att snabbbladdaren skapar en bättre lastfaktor då medeleffekten är samma men att maxeffekten har sänkts. Dock vid nästa steg, när supersnabbbladdaren införs, har det istället blivit sämre igen då de snabba förändringarna i använd effekt skapar ojämnheter för den totala effekt-användningen. Denna antyder på att det finns ett optimal effektvärde någonstans runt snabbbladdaren där V2G fungerar som bäst.

5.1.2 Jämförelse

Efter analys av alla laddningsmetoder går det tydligt att se att nätet påverkas på olika sätt, då den maximala effekten kan skilja sig drastiskt, men även att tiderna när dessa sker är mycket annorlunda. Men genom att först fokusera på den maximala effekten går det att klart avgöra att den schemalagda är den som skapar högst toppar och därav är sämst på just detta. Tvärtom är V2G den bästa då den skapar överlägset dem lägsta effekttopparna för det totala nätet. Detta kommer dock inte som någon överraskning då som förklarat, är schemalagd laddning den som klumpar ihop laddningar mest av alla metoder och därav kommer det nästan alltid vara då flest laddar samtidigt. Medan V2G är den laddningsmetod som ska vara den "optimala" strategin för ett framtida samhälle eftersom hela metoden går ut på att minska maximal effekt i nätet.

Av denna anledning blir vehicle-to-grid nästan alltid den bästa laddningsmetoden, oberoende av vilka parametrar och kategorier man undersöker. Det är på grund av detta som V2G inte jämförs mot dem andra laddningsmetoderna på samma sätt då slutsatsen oftast annars blir densamma. Därför lades mer fokus på dem andra laddningsmetoderna, vilket är anledningen till att V2G exkluderades i majoriteten av de kombinerade laddningsmetoderna. Men det är ändå viktigt att ha i åtanke att V2G är den metod som har störst potential i framtida samhällen, då dessa exempel på hur tekniken kan fungera, fortfarande effektivt demonstrerar dess användningsområde.

Men om man istället fokuserar på tidpunkterna och det generella beteendet när effekt-användningen sker, hittas ett intressant mönster mellan två av metoderna. Detta är mellan den pris-baserade och effekt-balansering då det kräver minimal analys för att avgöra att deras påverkan på nätet är nästintill identiska. Deras effekt-användning sker runt samma tidpunkter och är till och med på ungefär samma nivåer. Jämfört med okontrollerad laddning kan man även här avgöra att dem är inte överdrivet långt ifrån varandra. Skillnaden här är att den okontrollerade laddningen har en lite jämnare fördelning längs dagen medan effekt-användningen för dem två andra metoderna är mer centrerade runt specifika tidpunkter. Slutligen är den schemalagda laddningen den som är mest olik dem andra då den arbetar inom en tidsram som dem andra sällan gör.

Avslutningsvis, men kanske det mest intressanta, så kan man jämföra hur många steg varje metod klarade av tills dess att nätets effekt gräns på 6 MW blivit passerad. Här visade det sig att bara okontrollerad laddning var kapabel till att gå längre än steg 2 (Om V2G exkluderas) då dem andra tre metoder fallerar redan när mängden elbilar ökas till 100%. Medan okontrollerad laddning klarade som sagts sig till steg 4, vilket representerar att denna laddningsmetod är den som sprider ut laddning mest av alla.

5.1.3 Insikter

Utifrån allt detta, vilka slutsatser går att dra baserat på när laddningsmetoder används för sig själv? Till att börja med går det att diskutera korrelationen mellan prisbaserad laddning och effekt-balansering och vad det är som gör att de har liknande beteende. Anledningen till detta är inte svårare att förklara än att elpriset och effektanvändning i ett område är direkt relaterade. Som förklarats tidigare beror priset flera olika faktorer, men en av de främsta är effekt-konsumtionen vid en given tidpunkt. Därav när effekt-användningen låg, resulterar det generellt sett i ett lägre elpris. I modellen när både den pris-baserade och effekt-balanserade "väger" olika tidpunkter för att avgöra optimala tider för laddningen, så blir resultaten därav en liknade laddningstider för båda metoderna.

En annan slutsats som tydliggörs utav testen är att ingen enskild laddningsmetod (förutom V2G) är kapabel till att 100% bara använda sig av en kraftfullare laddare än den normala. Till att börja kan detta diskuteras hur realistiskt det faktiskt är

att alla använder sig samma typ av laddare, vilket svaret är simpelt; det är det inte. Även om framtidens samhälle kommer med stor sannolikhet gå mot kraftigare och kraftigare laddare kommer det alltid finnas någon form fördelning mellan olika laddartyper bland människor. Trots detta säger resultatet fortfarande en del om vad dagens nät är kapabla till. Om modellens laddningstyp istället ses som en medeleffekt för alla laddare som används inom en given tidpunkt, kan detta representera gränsen när elnätet infrastruktur är otillräcklig. Därav redovisar detta resultat att när medeleffekten på alla laddare i ett område är lika eller högre än effektnivån för snabbbladdaren (50 kW), så fungerar det inte att alla personer använder sig av samma laddningsmetod.

Baserat på de individuella resultatet, går det då att avgöra vilken laddningsmetod som är den bästa för att minimera påverkan på elnätet? Trots att det går att se tydliga trender på hur dem olika fungerar, så ger dessa resultat en missvisande bild på hur de faktiskt fungerar i ett riktigt område. Ska man dra en slutsats bara baserat på detta, så skulle man komma fram till att okontrollerad laddning är den bästa av de fyra nutida laddningsmetoderna eftersom det är den som klarar av flest steg och därav minimerar effekttoppar bäst. Medan den schemalagda verkar vara den klart sämsta baserat på detta tankesätt. Men utan någon större undersökningen vet dem flesta att detta inte är fallet, då i ett riktigt system så finns det en viss fördelning mellan olika strategier. Dessa skapar en bättre bild på hur bra laddningsmetoderna är då det blir tydligare att hitta individuella styrkor respektive svagheter när dem kombineras.

5.2 Kombinerade laddningsmetoder

5.2.1 Utfall

Till att börja med undersöktes ett förslag på hur dagens fördelning bland laddningsmetoder ser ut. Viktigt att notera är att detta bara är en välgrundad gissning på hur det troligtvis ser ut baserat på den i princip icke-existerande forskningen som finns idag kring hur Sveriges fördelning bland laddningsmetoder är. Därför kommer inga större slutsatser kring laddningsmetoderna dras utifrån detta, utan det finns med för att skapa en förståelse för hur laddningsmetoderna interagerar med varandra i ett hypotetiskt samhälle i dagens Sverige.

När man då analyserar detta kan man se att okontrollerad laddning har störst påverkan på den totala effekten användningen. Men detta är inte så förvånansvärt då den har överlägset störst användning jämfört med de andra. Därefter går att avgöra att när okontrollerad laddning har som lägst användning, vid klockan 5, så balanserar detta ut sig genom att den schemalagda laddningsmetoden istället har störst användning vid denna tidpunkt. Trots att den schemalagda bara har en fördelning på 20% så påverkar dess effekt tydligt den totala lasten. Slutligen går det att avgöra att den pris-baserade och effektbalanseringen båda har mindre inverkan på det totala nätets last när denna fördelning används.

De olika laddningsmetodernas påverkan syns därefter tydligare när de alla blir jämnt fördelade med varandra. Här blir slutsatserna från de individuella laddningsmetoderna ännu tydligare där det klart går att se att den schemalagda är den som skapar högst enskild maximal effekt. Dock sker det vid samma tillfälle som när de andra metoderna har nästan ingen användning alls. Därefter har de andra 3 nutida laddningsmetoderna ett liknande beteende där den prisbaserade har lite högre på natten (klockan 00:00-05:00), effekt-balanseringen på kvällen (klockan 20:00-23:59) och okontrollerad laddning har en jämnare användning under mitt på dagen (klockan 10:00-16:00). Slutligen kan man se hur vehicle-to-grid skulle kunna se ut i ett sådant i Figur 4.24, där metoden, trots dess relativt låga användning, är kapabel till att jämna ut nätet längs början och slutet på dagen.

Men när laddningsmetoderna kombineras i en högre utsträckning går det att undersöka vilka metoder som skapar både den bästa respektive den sämsta lastfaktorn. Genom att först fokusera på den bästa, gick det snabbt att se en tydlig trend till hur man eliminerar effekttoppar mest effektivt. I alla de bästa fallen var det aldrig en enskild metod som hade över 50% användning utan generellt sett var det en hyfsat jämnt utspridning. Dock var det nästan alltid så att de bästa innehöll en majoritet (över 30% oftast) av den schemalagda och att det sedan oftast var en av de andra tre nutida laddningsmetoderna som också hade en liknande stor fördelning. Detta redovisades i det bästa fallet för steg 2 inställningarna (Figur 4.26), där det var schemalagd och effektbalansering som landade runt 35%, medan andra två resterande delade på ungefär 15% var.

Tvärtom, när den sämsta lastfaktorn undersöktes i Figur 4.27, visade även här resultatet tecken på tydliga mönster. I princip alla de sämsta fallen innehöll en metod som låg på den maximala gränsen som tilläts i simuleringen (80%). Det visade sig ännu en gång att extremfallet hittades när det var den schemalagda som var majoritet, dock var denna majoritet markant högre den här gången. Därefter delade de resterande tre metoderna på de övriga 20% av bilarna som skulle laddas.

För nästa del, kostnad mot effekttoppar, skapades som demonstrerat ett spridningsdiagram i Figur 4.28, med kostnad och maximal effekt i varsitt led där alla simuleringar som gjordes kunde placeras. I de bästa fallen hade både den schemalagda och pris-baserade en hög användning, båda oftast över 35%. Tvärtom i många av de sämre fördelningarna var de oftast okontrollerad laddning och effekt-balanseringen som var i överlägsen majoritet (nära 80%). Detta redovisas i den sämsta fördelningen där effekt-balanseringen ligger precis vid den övre gränsen på 80%, medan resten är relativt jämnt fördelat.

Slutligen under det värsta fallet som visas i Figur 4.31, med de maximala inställningarna, var nätet faktiskt kapabel till att hålla sig inom dess effektgräns när en perfekt fördelning mellan laddningsmetoderna ställdes in. Det är dock viktigt att poängtera att detta inte alltid fungerar, även om samma fördelning är inställd under upprepade försök. Detta har att göra med de olika slumpmässiga variationerna som gör varje enskild simulering unik. Därav under vissa försök kan maxeffekten vara

precis över 6 MW, medan det ibland blir liknande till det resultat som redovisas. Det som blev den optimala lösningen visade sig vara en majoritet till okontrollerad laddning med 47.5%, medan schemalagd laddning låg tätt bakom med 38.3% användning.

5.2.2 Förnyade insikter

Efter alla resultat, både de individuella och kombinerade, vad är det för slutsatser som kan dras kring de olika laddningsmetoderna och elnätet? Till att börja med visar de kombinerade resultaten att en majoritet till en enskild laddningsmetod nästan aldrig fungerar särskilt bra. Detta demonstreras som sagt i alla de sämsta fallen där fördelningen alltid innehåller en större mängd av en ensam metod. Detta bevisar varför det inte gick att dra några större slutsatser genom det initiala testen, utan att dem istället får agera som en inblick ur varje individuell metod fungerar.

Däremot det som visas vara en bra lösning i de flesta fallen är när det är en jämnare fördelning mellan de olika metoderna. När lastfaktor, kostnad mot effekttoppar och värsta fallet undersöktes, visade det främsta fallen att en enskild metod sällan hade en högre användning än 50%. Anledningen till detta beror på att en jämnare fördelning gör att effektanvändningen inte klumpas ihop vid vissa tider lika mycket, vilket i nästan alla fall leder till en bättre lösning för elnätet då toppar minskar.

Så baserat på alla resultat, går det nu att dra en slutsats kring vilken laddningsmetod som är generellt den bästa för att minska påverkan på elnätet? Svaret är ja, där den schemalagda laddningen demonstreras vara en viktig del i alla de bättre fallen. Trots att dess effektanvändning är mycket centrerad runt en viss tidpunkt, därav enskilt skapar den högsta effekttoppen, så brukar de bästa lösningarna innehålla någonstans runt 40% av denna laddningsmetod. Anledningen till varför den fungerar så bra är just för att den opererar inom en annan tidsram än vad de andra metoderna gör. Både de andra tre nutida laddningsmetoderna, men också hushållen har generellt sett sin lägsta effektanvändning någonstans runt 00:00 till 10:00. Detta gör att den schemalagda laddningsmetoden balanserar ut nätet på ett sätt som de andra metoderna helt enkelt inte klarar av.

Men detta innebär inte att det bästa för elnätet är att alla börjar att använda sig av schemalagd-laddning. För som tidigare demonstrerat med lastfaktorn, är även den sämsta lösningen när väldigt många använder sig av just denna laddningsmetod. Det är därav fortfarande viktigt att det finns någon balans i systemen där en någorlunda jämn fördelning existerar. Hur möjligt detta är i ett verkligt samhälle är svårt att avgöra, men kommer troligtvis att vara på gränsen till omöjligt. Om en dominant laddningsmetod pekas ut som bäst, kommer det troligtvis automatiskt leda till att en majoritet använder sig av denna. Problemet med detta är att det finns en gräns där en laddningsmetod går till att ha för hög användning, vilket istället leder till sämre resultat, än bättre.

Baserat på allt detta, hur väl klarar dagens elnät då av en framtid med 100% elfordon? Svaret är att just nu är det teoretiskt möjligt, men i praktiken kommer det fortfarande krävas en större utveckling kring teknologin. Som demonstrerat i den sista simuleringen, är det hypotetiskt möjligt för elnätet att klara av de mest extrema fallet vilket är en intressant slutsats i sig själv. Men det krävde en perfekt fördelning bland laddningsmetoderna vilket som diskuterats, varierade från simulering till simulering. Därav skulle detta i verkligheten helt enkelt vara omöjligt att klara av baserat på nuvarande gränser. Dock så ska det tilläggas att detta fall testades med supersnabb-laddaren, vilket också är ett totalt orealistiskt scenario där varenda människa har en sådan typ av elbilsladdare. Men även i ett mindre extremt fall, som med snabb-laddaren, så kräver det en relativt väl balanserad fördelning vilket i praktiken också kan bli svårt att genomföra. Därav blir slutsatsen kring elnätet att i kontrollerade miljöer kan elnätet redan nu klara av det mesta, men att det fortfarande kommer behöva vidareutvecklas för att garantera att en framtid med en större elförbrukning är möjlig.

5.3 Modellens realism

5.3.1 Hushållsprofilen

Det finns en del viktiga aspekter att ta hänsyn till när det kommer till hushållsprofilerna. Bland annat så är det relevant att fundera på vad som faktiskt ingår i den belastningsdata som undersökningen baseras på. Det vore rimligt att anta att de el och hybridfordon som finns i området redan till viss del formar dessa profiler. Det skulle i så fall innebära att i de simuleringar som görs med 100% elbilar, faktiskt simulerar fler bilar än vad som finns i området. Om fallet är så innebär det att effekten som presenteras i resultatet är några procent för hög för varje simulering. Den exakta storleken på denna felmarginal är svår att uppskatta eftersom det idag inte finns någon bra statistik på exakt vilka bilar som finns i området. På de elbilar som finns kan man göra samma antagande som tidigare när det kommer till den genomsnittliga batterienergin. Däremot är det svårare att uppskatta hybridbilarnas påverkan med tanke på dess struktur. Hybridernas energiförbrukning skiljer sig stort eftersom det finns ett bredare spann på olika typer av modeller.

Förutom att simuleringen kan påverkas av dagens existerande elfordon så finns det även andra faktorer som kan påverka resultatet. Speciellt när det kommer till de fall som skall representera en framtid med 100% elbilar. De finns idag två väldigt tydliga trender som kan vara intressanta att studera med tanke på dess direkta påverkan på elnätets belastningsdata. Den första intressanta faktorn är att det totala antalet bilar i samhället ökar för varje år. Det är alltså fler nya bilar som vägregistreras än tas ur bruk, mycket på grund av fordonsindustrins populära andrahandsmarknad. Tar man hänsyn till detta skulle det kunna vara så att simuleringens bilöverskott inte är så fel trots allt. Viktigt att notera är att detta antagande är baserat på att marknaden för begagnade bilar fortsätter på samma sätt för elbilar som konventionella bilar. Det kommer krävas en stor fortsatt utveckling av batterierna eftersom de idag påverkas extremt mycket av laddningscykler. En annan tydlig trend som

redan nu kan vara bra att ha i åtanke är den ökade mängden solceller på hushållen. Tidigare är det nämnt att solkraft är den störst växande energiproducenten och allt pekar på att det kommer att fortsätta vara så. Det skulle innebära att fler hushåll kommer kunna få en jämnare energiförbrukning eftersom man exempelvis kommer kunna ladda sina bilar med egenproducerad el.

5.3.2 Elpriserna

Eftersom elpriserna styrs av en marknad, är det svårt att förutspå hur kostnaden över ett dygn kommer att se ut. Det går alltid att titta på hushållsprofilerna historiskt sätt när det kommer till den vardagliga förbrukningen. Eftersom priserna styrs av efterfråga, så finns det alltid vissa tidpunkter på dygnet som kommer att driva upp priset. Det går också att ta hänsyn till årstidernas påverkan, då priset generellt sett följer väder och klimat. Dagar då det är sol och blåst är optimalt eftersom energiproducenter som sol- och vindkraft fungerar som bäst. Det går alltså att få en uppfattning om hur vissa faktorer kommer påverka priset, men det finns även andra delar som är svårare att förutspå.

Ett exempel på hur elmarknaden skulle kunna påverkas oförutsägbart är ifall en stor producent får ett oplanerat fel. Ifall en kärnkraftanläggning eller en stor vattenkraftanläggning skulle sluta fungera, så påverkas utbudet. Ett annat exempel är eventuella störningar i elnätet. Om en viktig överföringsledning går sönder eller ett fel uppstår på en transformatorstation så kan det innebära att elleveransen stryps till ett visst område. Utbudet påverkas också av geopolitiska händelser eftersom elnätet är sammansatt med flera länder i Europa. Vanligtvis innebär sammansättningen att elpriserna får en mer stabil kurs då mindre störningar och oförutsägbara händelser inte får en lika stor påverkan. Detta eftersom den stora utbredningen ger elnätet fler elproducenter. Men i vissa fall gör det också nätet mer sårbart då extrema brister och större avbrott kan påverka ett mycket större område. Exempelvis påverkas konsumenterna i Sverige med dyrare elpriser ifall ett annat land i Europa får brist på både el och gas.

Det är alltså svårt att helt kunna förutspå hur elpriserna kommer att variera under ett dygn i framtiden. Simuleringarna i denna studie är gjorda på en elprisprofil där kostnaden för varje timme redan är känd. Detta gör att exempelvis den prisbaserade laddningsmetoden går att optimera på ett sätt som skulle vara mycket svårare i verkligheten. Att kunna styra vilka tidpunkter bilarna skall ladda med facit i hand gör att resultatet blir lite mer av ett ideal än realistiskt. I verkligheten så skulle man istället behöva gissa sig fram när det är mer prisvärt att ladda sin bil, baserat på historia och framtida händelser. Detta kommer förmodligen leda till att effekttopparna kommer spridas ut något och inte vara lika precisa som i resultatet av denna studie.

5.3.3 Ytterligare faktorer

I nuläget så finns det en viss problematik när det kommer till elbilsägarnas beteende. Modellen utgår från att varje gång bilen kommer hem efter att ha använts en gång under dagen så är den tillgänglig för att laddas. Detta kan vara missvisade eftersom det sällan är så det ser ut för alla. En del personer använder sin bil flera gånger under dagen och modellen tar heller inte hänsyn till någon skillnad för helg eller vardag. Det blir också vanligare att folk laddar sina bilar utanför sitt hushåll exempelvis på jobbet eller på vägen hem. Körmönster och tillgänglighet är alltså väldigt viktigt men samtidigt extremt svårt att ta hänsyn till. Ett försök till att jämma ut alla tillfälligheter är att alla simuleringar som har gjorts är baserade på att endast hälften av alla bilar i området laddas under ett dygn.

En annan intressant del som är svår att analysera är batterimodellen för bilarna. För denna studie så valdes det att göra simuleringar på ett batteri som motsvarar en genomsnittsstorlek. Däremot så finns det flera andra faktorer som påverkar bilens batterienergi och laddningens SoC. Modellen antar idag att bilar har en konstant laddningseffekt och en linjär SoC. I verkligheten så varierar laddningseffekten och avtar ofta exempelvis när bilen börjar få en hög laddningsnivå. Bilens batteri påverkas mycket av temperaturer och laddningscykler, vilket modellen inte tar hänsyn till. För varje gång batteriet laddas upp och laddas ur så påverkas det av slitage, vilket gör att förmågan att hålla en viss mängd energi försämras med tiden.

5.4 Utvecklingsområden

Det finns vissa delar i modellens struktur som går att utveckla för att få ett mer realistiskt och exakt resultat. En del som redan diskuterats är elprisprofilerna för de olika årstiderna. Med tanke på att priserna är marknadsreglerade och aldrig ser likadan ut, finns det förbättringspotential. Laddningsmetoderna styrs just nu med vad man kan kalla "perfekt information" vilket kan ge en fel bild av hur verkligheten ser ut. För att resultatet ska bli mer realistiskt så skulle denna del kunna utvecklas lite grann så att priset varierar för varje simulation. Precis som i verkligheten, går det inte att förutspå exakt hur det skall se ut, men det hade det inte behövt göra i simuleringen heller. En lösning skulle kunna vara att man implementerar en del i modellen som ändrar priset slumpartat något, så att laddningsmetoderna inte blir lika perfekt placerade. Detta skulle ge ett mer verklighetsbaserat resultat.

För att få en mer realistisk studie så hade vissa antaganden behövts minimeras eller åtminstone kontrolleras på djupare sätt. Det gäller framförallt fördelningen kring dagens el- och förbränningsbilar, som i studien uppskattats till 25% elbilar. Även valet av laddartyp hade kunnat undersökas mer noggrant eftersom samhället idag består av olika typer. Det hittades aldrig någon bra källa på hur fördelningen ser ut hos hushållen mellan normalladdare och snabbladdare. Ett förslag på hur man hade kunnat gå till väga för att få en bättre uppfattning skulle vara att göra en fältstudie i området.

Något som hade varit intressant att implementera i modellen hade varit oförutsägbara händelser. Det skulle kunna vara att ett fel uppstår i en transformator som kräver ett tillfälligt underhåll eller att en storm river ner en elledning. Det finns många realistiska scenarion som är intressanta att studera. Ett tillfälligt avbrott riskerar att sänka nätets belastningsgräns men också höja elpriset. I ett samhälle där elbilar är mer dominanta än idag skulle det bli en mycket större påverkan vid elavbrott. Risken är att vi inte kommer kunna använda våra fordon på samma sätt, vilket är intressant med tanke på att vi idag är så beroende av dem.

5.5 Framtidens utmaningar & hållbar utveckling

Det är mycket intressant att fundera på hur framtiden kommer att se ut inom detta område. Men klart är det att det finns vissa delar som kommer behöva utvecklas ifall vårt beteende fortsätter som idag. Denna studie visar att ett tydligt problem uppstår vid flera tillfällen när en fullständig omvandling sker till 100% elbilar. Vid flera tillfällen så överskrider efterfrågans effekttoppar den gräns som nätet kan leverera. För att inte detta skall ske så krävs det att elnätet utvecklas och att transformatorerna kan leverera en högre skenbar effekt alternativt att det finns fler nätstationer. Tekniken fortsätter att utvecklas i snabb takt, elbilarna får större och kraftfullare batterier och elbilsladdarna blir starkare. Det krävs att elnätet utvecklas i samma takt för att allt ska kunna fungera.

Studien visar också att beteenden hos elkonsumenterna har stor betydelse för hur medeleffekt och effekttoppar utspelar sig. Hur människor väljer att ladda sina bilar är direkt avgörande för om nätets kapacitet räcker till. Precis som resultatet visar, är det när olika laddningsstrategier kombineras vi lyckas hålla effekttopparna under dagens kritiska gräns. Om detta ska vara en framtida lösning för att balansera elnätet till skillnad från att utveckla nätets kapacitet står vi inför ännu en omfattande utmaning. Exakt hur fördelningen mellan olika laddningsmetoder ska gå till är idag svårt att tänka sig. Detta skulle kräva att någon bestämmer hur och när människor ska ladda sina bilar och vem det ska vara är mycket intressant. Samhället idag grundar sig i en stor frihet där individerna har irrationella beteenden. Risken med att tvingas bete sig på ett visst sätt kommer troligtvis skapa missnöje och irritation. Detta är vad som skulle kunna ske ifall någon tvingas att ladda sin bil på ett förutbestämt sätt.

Det är även intressant att studera laddningsmetoden V2G, som kan vara en viktig del av framtiden. Med denna metod så innebär det att elbilarna inte bara fungerar som en belastning för nätet, utan fungerar även som understöd vid behov. När effekttopparna är som högst under dygnet, exempelvis när hushållsbelastning och elbilsbelastning sammanfaller, så kan denna metod se till att topparna inte blir lika höga. Det finns dock en del frågetecken kring denna metod som är värda att belysa. En av de största problemen med V2G är det batterislitage som riskerar att uppstå från alla laddningscykler. Ännu fler laddningscykler skulle innebära snabbare degradering och kortare livslängd för batterierna. Det innebär också att fordonets andrahandsvärde riskerar att sjunka rejält, vilket kan göra att V2G inte är så loc-

kande för individen. En annan aspekt som är viktig att ta hänsyn till är att bilen måste vara laddad när den ska användas. Detta problem syns kanske inte lika tydligt i teorin men är väldigt viktigt för alla användare. Tillgänglighet och räckvidd är viktigt för att kunna känna sig trygg och om detta äventyras, riskerar det att metoden tappar förtroende.

Eftersom V2G riskerar att öka slitage och påverka tillgängligheten så är det viktigt att det finns något annat som lockar användare. Det krävs att det finns en tillräckligt stor kompensation till användaren för att det ska fungera. Det är idag inte helt bestämt hur flexibilitet och energi som bilar bidrar med till nätet ska ersättas. En modell för hur dessa tjänster ska integreras i dagens elmarknad kommer behöva tas fram. Dessutom så är inte alla nuvarande elbilsladdare utrustade för att kunna transportera el från bilen till nätet.

5.6 Egna tankar om projektet

Efter att ha diskuterat och analyserat resultatet, tycker vi att arbetet ha bidragit till att skapa en djupare inblick kring laddningens påverkan på det totala elnätet. Den skapade modellen möjliggör en skalbar simulering som kan implementeras på diverse områden och kan därför användas som ett verktyg kring vidare forskning i en framtid men större användning av elfordon. De resultat och slutsatser som har uppstått från projektet, har till viss del motsatt våra egna hypoteser och tankar som vi själva hade inför arbetets start. Vi trodde exempelvis att okontrollerad laddning skulle vara betydligt sämre, men också att effekt-balanseringen skulle vara mycket bättre än vad modellen demonstrerade. Istället visade verkligheten att alla metoder har sitt eget användnings område, men speciellt att dem är effektivast när dem arbetar tillsammans. Men även själva nätets kapacitet förvånade oss då vår hypotes inför arbetet var att det inte skulle vara kapabelt till majoriteten av de test som skulle simuleras. Men det istället visades ännu en gång vikten på en bra fördelning bland olika laddningsmetoder, vilket är en viktig läropunkt för den kommande framtiden.

Så sammanfattningsvis är vi överlag nöjda med projektets utformning och struktur. Vi känner att arbetet har gett en bredare förståelse för ämnet och poängterat de problem som vi står inför. Målen som skapades i början av arbetet har enligt oss blivit uppfyllda och arbetsgången har fungerat på ett strukturerat sätt från början till slut. Ämnet är väldigt stort och brett, vilket har krävt en hel del avgränsningar och antaganden. Saker som vi hade velat göra annorlunda ifall arbetet varit större hade varit att just försöka minimera dessa antaganden. Exempelvis konstruera en bättre och mer avancerad batterimodell, som kan simulera olika storlekar. Vi hade också föredragit att göra en bättre förundersökning på det valda området för att få en bättre bild av vilka fordon och laddartyper som redan finns där idag.

Litteraturförteckning

- [1] Europeiska Kommissionen, "Målen för 2030", 2021. [Online]. Tillgänglig: https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/overall-targets-and-reporting/2030-targets_sv (hämtad: 2026-03-31)
- [2] H. Ritchie, "Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?," Our World in Data, [Online]. Sep. 2020. Tillgänglig: <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector> (hämtad: 2026-03-31)
- [3] Our World in Data, "Share of new cars sold that are battery-electric and plug-in hybrid, 2010 to 2024", 2025. [Online]. Tillgänglig: https://ourworldindata.org/grapher/share-car-sales-battery-plugin?country=OWID_WRL~OWID_EU27~GBR~CHN~USA~SWE (hämtad: 2026-03-31)
- [4] D. Cabezuelo m.fl., "Powertrain systems of electric, hybrid and fuel-cell vehicles: State of the technology," i 2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Edinburgh, Storbritannien, 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8001458>, (hämtad: 2026-03-31)
- [5] N. A. Azis m.fl., "State of Charge (SoC) and State of Health (SoH) Estimation of Lithium-Ion Battery Using Dual Extended Kalman Filter Based on Polynomial Battery Model," i 2019 6th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT), Bali, Indonesien, 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8916734> (hämtad: 2026-04-23).
- [6] H. Iskandarani m.fl., "Review of Fast Charging Strategies in Lithium-Ion Battery Electric Vehicles," i 2025 7th International Conference on Renewable Energy for Developing Countries (REDEC), Beirut, Libanon, 2025, [Online]. Tillgänglig: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11190174>, (hämtad: 2026-03-31)
- [7] E.ON, "Elbilsbatteri", 24 mars 2026 [Online]. Tillgänglig: <https://www.eon.se/el/guider-tips/elbilsbatteri> (hämtad: 2026-04-13).
- [8] K.Rask De 50 mest sålda elbilarna i Sverige 2025, Älltomobil, [Online], Jan, 2, 2026. Tillgänglig: <https://alltomobil.se/>

- de-50-mest-salda-elbilarna-i-sverige-2025/(hämtad: 2026-04-21)
- [9] Automatos, "Hitta, jämför och betygsätt elbilar,"[Online]. Tillgänglig: <https://automatos.se/>(hämtad: 2026-04-21).
- [10] EVKX, Permanent magnet synkronmotorer,"2025. [Online]. Tillgänglig: <https://evkx.net/sv/technology/motors/pmsm/> (hämtad: 2026-04-13).
- [11] Energiguiden, "AC- och DC-laddning elbil: Skillnader, fördelar och tips", 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://energiguiden.se/ac-och-dc-laddning-elbil-skillnader-fordelar-tips-306/> (hämtad: 2026-04-21)
- [12] Energiföretagen, "Elproduktion,"2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/elsystemet/produktion/>(hämtad: 2026-04-13).
- [13] E. Rydegran, "Kraftvärme", 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/kraftvarme/>(hämtad: 2026-04-13).
- [14] Svenska Kraftnät, "Utveckling av transmissionsnätet", 2024 [Online]. Tillgänglig: <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/> (hämtad: 2026-04-13)
- [15] Svenska Kraftnät, Sveriges elnät", 2024 [Online]. Tillgänglig: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/oversikt-av-kraftsystemet/sveriges-elnat/>(hämtad: 2026-04-15)
- [16] Charge, "Smart EV Charger vs Dumb EV Charger: Differences Explained", 2026. [Online]. Tillgänglig: <https://www.chargie.com/resources/what-is-the-difference-between-a-smart-ev-charger-and-dumb-ev-charger> (hämtad: 2026-03-31)
- [17] Vattenfall, "Vehicle-to-grid", 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.vattenfalleldistribution.se/var-verksamhet/vart-arbete/innovation/vehicle-to-grid/> (hämtad: 2026-04-08)
- [18] G. Shanmukasri m.fl., "Bidirectional Power Flow Grid-to-Vehicle and Vehicle-to-Grid in Electric Vehicle", 2023 International Conference on Energy, Materials and Communication Engineering (ICEMCE), Madurai, India, 2023, [Online]. Tillgänglig: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10434254>, (hämtad: 2026-04-13)
- [19] G. Moren, "Energimarknadsinspektionens föreskrifter om vad som avses med kvaliteten i nätverksamheten och vad som avses med ett effektivt utnyttjande av elnätet vid fastställande av intäktsram," lagen.nu, [Online].

- Mar. 2019. Tillgänglig: <https://lagen.nu/eifs/2019:4> (hämtad: 2026-04-13)
- [20] Energimarknadsbyrån, "Elpriser - Utveckling och Statistik", 2026. [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-elavtal-och-kostnader/elhandelsavtalet/elpriser-statistik/elpriser-utveckling-och-statistik/> (hämtad: 2026-04-21)
- [21] Energimarknadsinspektionen, "Elpriser", 2026. [Online]. Tillgänglig: <https://ei.se/konsument/el/elmarknaden/elpris> (hämtad: 2026-04-21)
- [22] Vattenfall, "Därför blir det minuspris på el,"[Online]. Tillgänglig: <https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/negativt-elpris/> (hämtad: 2026-06-04).
- [23] MathWorks, "What is MATLAB?," [Online]. Tillgänglig: <https://se.mathworks.com/discovery/what-is-matlab.html> (hämtad: 2026-04-16).
- [24] Lucid Software Inc., "Lucidchart produktöversikt,"[Online]. Tillgänglig: <https://www.lucidchart.com/pages/sv/produkt>(hämtad: 2026-04-28).
- [25] Göteborgs Energi, "Kvartspris, Elavtal,"[Online]. Tillgänglig: <https://www.goteborgenergi.se/privat/elavtal/elpriser>(hämtad: 2026-04-22)
- [26] Statistikdatabas Göteborgs Stad, "Personbilar i trafik 2003-2025,"[Online]. Tillgänglig: https://statistikdatabas.goteborg.se/pxweb/sv/1.%20G%c3%b6teborg%20och%20dess%20delomr%c3%a5den/1.%20G%c3%b6teborg%20och%20dess%20delomr%c3%a5den_Prim%c3%a4romr%c3%a5den_%c3%96vrigt_Personbilar/10_Bilar_PRI.px/table/tableViewLayout1/ (hämtad: 2026-04-22)

A

Appendix 1

```
%% ===== SETTINGS =====
%What follows are all the parameter and variables that a user can
change in order to run the simulations

%% ===== TIME SETUP =====
dt = 1/60; % 1 minute resolution (hours)
t = 0:dt:24-dt; % 1440 points exactly (00:00 - 23:59)
N = length(t);

%% ===== AREA PARAMETERS =====
%MW limit 1279 Houses 1431 Cars

houses = 1279;

EV_cars = 1431;
EV_cars_charge = round(EV_cars * 0.5);

%% ===== HOUSEHOLD PROFILE =====
hours = 0:23;

Season = 'Autumn';

switch Season
case 'Summer'
    effect_kW = [119.35, 117.10, 120.64, 113.82 ...
        107.81, 105.39, 125.47, 144.85 ...
        155.85, 163.10, 164.49, 163.10 ...
        158.70, 154.13, 149.36, 148.93 ...
        167.61, 181.78, 175.01, 163.04 ...
        153.22, 145.28, 141.63, 131.00]/238;
case 'Autumn'
    effect_kW = [194.00, 187.64, 181.50, 177.72 ...
        179.33, 197.84, 215.59, 218.73 ...
```

```

                234.59, 233.19, 228.44, 214.47 ...
                210.98, 212.24, 205.53, 210.35 ...
                233.33, 247.10, 258.90, 250.73 ...
                223.76, 195.82, 178.56, 158.79]/238;
    case 'Winter'
        effect_kW = [272.68, 269.43, 269.43, 266.18 ...
                    272.03, 283.90, 313.17, 328.62 ...
                    338.70, 340.81, 355.28, 348.46 ...
                    363.41, 355.93, 339.35, 331.87 ...
                    361.46, 390.08, 412.36, 383.09 ...
                    349.11, 322.60, 289.43, 264.72]/238;
    otherwise
        error('Unknown Season')
end

% Interpolate to minute resolution
single_house = interp1(hours, effect_kW, t, 'pchip');

%% ===== HOUSEHOLD VARIATION =====
variation_pct = 2; % fluctuation level

total_power = zeros(1, N);

for h = 1:houses

    % Create smooth random variation over time
    noise = randn(1, N); % white noise
    noise = movmean(noise, 60);
    noise = noise / max(abs(noise));

    % Apply variation to base profile
    house_profile = single_house .* (1 + variation_pct * noise);

    house_profile = max(house_profile, 0);

    total_power = total_power + house_profile;
end

total_power_MW = total_power / 1000; % MW

%% ===== ELECTRICITY PRICE MODEL (SEK/kWh) =====

switch Season

```

```
case 'Summer'
    hourly_price = [ ...
    -0.01 -0.08 -0.21 -0.93 -0.16 0.09 ...
    0.64 2.49 2.59 1.35 0.02 -1.16 ...
    -2.39 -3.38 -2.72 -1.19 -0.1 1.44 ...
    3.05 9.59 11.18 11.18 8.54 2.53]/100;

case 'Autumn'
    hourly_price = [ ...
    0.2461 0.2128 0.2112 0.2003 0.2736 0.3583 ...
    0.6078 1.4045 2.2098 1.8112 1.2635 1.1583 ...
    0.9681 0.9124 0.7989 0.8390 0.8824 1.0687 ...
    1.7840 2.0114 1.8383 1.5441 1.2849 1.1919];

case 'Winter'
    hourly_price = [ ...
    118.99 119.95 114.49 113.37 112.90 126.5 ...
    130.84 182.57 342 270.83 222.17 162.12 ...
    140.75 141.62 150.41 174.13 218.77 375.72 ...
    243.43 220.51 195.38 171.18 141.66 120.77]/100;

otherwise
    error('Unknown Season')

end

% Interpolate to minute resolution
price = interp1(hours, hourly_price, t, 'pchip');

%% ===== EV SETTINGS =====

battery_kWh = 75;
targetSOC    = 1.0;

charger = 'Normal'; % 'Normal', 'Fast', 'Superfast'

switch charger
case 'Normal'
    maxPower = 12; % kW
case 'Fast'
    maxPower = 50; % kW
case 'Superfast'
    maxPower = 250; % kW
otherwise
```

```
        error('Unknown charger type')
end

% Needs to add up to 100%, this is a example of 20% for each method

Dumb = round(EV_cars_charge * 0.2);           % Dumb charging
Scheduled = round(EV_cars_charge * 0.2);       % Scheduled Charging
Price_Based = round(EV_cars_charge * 0.2);     % Price Based Charging
Load_Balancing = round(EV_cars_charge * 0.2);  % Load Balancing
V2G = round(EV_cars_charge * 0.2);            % Vehicle to grid

%Adjusts the amount of simulations at a time (Usually set to 1)

Scenario = 1;
```

INSTITUTIONEN FÖR något ämne
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige
www.chalmers.se



CHALMERS