



CHALMERS



Prissättning av offentliga elbilsladdare – en marknadsmodellering

En studie om dynamisk prissättning som verktyg för kostnadseffektiv och lönsam elbilsladdning

Kandidatarbete inom Elektroteknik-EENX16

EMANUEL ALM, NILS ANDERSSON, ANTON GUNNARSSON
JONATAN MARKUSSON, LINUS SJÖSTRAND, TIM SUNDQVIST

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2025
www.chalmers.se

KANDIDATARBETE 2025

Prissättning av offentliga elbilsladdare – en marknadsmodellering

En studie om dynamisk prissättning som verktyg för kostnadseffektiv
och lönsam elbilsladdning

EMANUEL ALM, NILS ANDERSSON, ANTON GUNNARSSON
JONATAN MARKUSSON, LINUS SJÖSTRAND, TIM SUNDQVIST



CHALMERS

Institutionen för Elektroteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2025

**Prissättning av offentliga elbilsladdare – en marknadsmodellering
En studie om dynamisk prissättning som verktyg för kostnadseffektiv
och lönsam elbilsladdning**

© EMANUEL ALM, NILS ANDERSSON, ANTON GUNNARSSON
JONATAN MARKUSSON, LINUS SJÖSTRAND, TIM SUNDQVIST, 2025.

Handledare: ANDERS GRAUERS, Institutionen för Elektroteknik E2
Examinator: JONAS FREDRIKSSON, Institutionen för Elektroteknik E2

Kandidatarbete 2025
Institutionen för Elektroteknik
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Elbil laddas vid laddstation. Bildkälla: [1].

Skriven i L^AT_EX
Göteborg 2025

Prissättning av offentliga elbilsladdare – en marknadsmodellering

En studie om dynamisk prissättning som verktyg för kostnadseffektiv och lönsam elbilsladdning

EMANUEL ALM, NILS ANDERSSON, ANTON GUNNARSSON

JONATAN MARKUSSON, LINUS SJÖSTRAND, TIM SUNDQVIST

Institutionen för Elektroteknik

Chalmers Tekniska Högskola

Abstract

This thesis investigates how dynamic pricing influences profitability and utilization at public fast-charging stations for electric vehicles. As electric vehicle adoption increases, efficient management of charging demand and competitive pricing strategies may become essential for charge point operators.

The study uses an agent-based model to simulate fast-charging stations along a highway, capturing interactions between demand fluctuations, competition and customer behavior. The model evaluates how static versus dynamic pricing strategies impact user distribution, queue times, station utilization, and operator profitability under varying market conditions.

Key findings indicate that dynamic pricing can lower average customer costs, slightly reduce queues, and give early adopters a competitive edge when it comes to profitability under competitive market situations. In the case of a matured market where dynamic pricing has become the norm for operators, adopting a dynamic price model may become essential to remain competitive. For maximum effectiveness, pricing strategies should be adapted to customer segments and local competition, and complemented by capacity planning during peak periods.

Keywords: electric vehicles, fast charging, agent-based modeling, dynamic pricing, utilization, profitability, charging infrastructure, competition, customer behavior

Förord

Följande rapport är ett kandidatarbete på Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Arbetet är skrivet av Emanuel Alm, Nils Andersson, Anton Gunnarsson, Jonatan Markusson, Linus Sjöstrand och Tim Sundqvist under våren 2025. Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Anders Grauers för idéer och hjälpande diskussioner under arbetet, samt stöd under rapportskrivandet.

Nomenklatur

Begrepp	Förklaring
AC (Alternating current)	Växelström. Ström där riktningen växlar periodiskt.
DC (Direct current)	Likström. Ström med konstant riktning.
kW (Kilowatt)	Effekt. (=1000 watt)
kWh (Kilowattimme)	Energimängd motsvarande 1000 watt under en timme.
Snabbladdare	En laddare med effekt överstigande 50 kW.
Kötid	Tid en elbil får vänta innan laddning kan påbörjas.
Laddstation	En plats med utrustning för att ladda elfordon.
Laddpunkt	En enskild eluttagspunkt vid en laddstation där ett fordon kan laddas. En laddstation kan bestå av flera laddpunkter.
Kökänslig	Individ som sätter stor vikt vid att slippa köer.
Laddningskapacitet	Den maximala effekt (kW) som en laddstation kan leverera.
Laddsession	Ett enskilt tillfälle då ett fordon laddas vid en laddstation.
Spotpris	Det rörliga elpriset som sätts timme för timme på elbörsen, baserat på utbud och efterfrågan.
Effekttariff	En elnätsavgift som baseras på det högsta effektuttaget (kW) under en viss tidsperiod.
SOC (State of Charge)	Batteriets laddningstillstånd, uttryckt i procent av total kapacitet.
Optimering	Process för att maximera eller minimera en viss funktion, t.ex. vinst eller kostnad.
Halvdynamisk	En prismodell där priset varierar efter förutbestämda tidsperioder.
En-route-laddning	Laddning under resa i syfte att endast återställa räckvidd och nå sin destination.

Innehåll

Nomenklatur	vii
Figurer	xiii
Tabeller	xv
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och frågeställningar	2
1.3 Avgränsningar	2
2 Teori	4
2.1 Snabbladdning	4
2.1.1 Elnät till laddstation	4
2.1.2 Laddare till bil	5
2.1.3 Batteri och laddningskurvor	6
2.1.4 Laddarnas utnyttjandegrad	7
2.2 Ekonomiska ramverk	8
2.2.1 Utbud och efterfrågan	8
2.2.2 Priselasticitet	9
2.3 Konsumentbeteende och beteendeekonomi	10
2.3.1 Faktorer som påverkar valet av laddstation	11
2.3.2 Beteendeekonomiska faktorer vid prisjustering	11
2.3.3 Nudging som ett verktyg för efterfrågestyrning	12
2.4 Prissättningsmodeller för publik elbilsaddning	13
2.4.1 Tidsbaserad prissättning	13
2.4.2 Energibaserad prissättning	13
2.4.3 Hybridmodeller	13
2.5 Dynamisk och fast prissättning	14
2.5.1 Implementering av dynamisk prissättning	14
2.5.2 Dynamisk prissättning och lönsamhet	15
2.6 Lönsamhet inom laddinfrastruktur	16
2.6.1 Affärsmodeller för laddoperatörer	16
2.6.2 Utnyttjandegrad och lönsamhet	18
2.7 Agentbaserad modellering	20
3 Metod	22

3.1	Statistik på användning av laddstationer	22
3.1.1	Urvalet av data	22
3.1.2	Överblick av nationella laddningsmönster	22
3.1.3	Laddningsmönster vid station längs Europaväg 6	24
3.1.4	Köbildning	26
3.1.5	Utnyttjandegrad	26
3.2	Modell	28
3.2.1	Kunder	28
3.2.1.1	Kundgrupper	29
3.2.1.2	Trafikflöde	29
3.2.1.3	Beslutsfattande	29
3.2.1.4	Laddning	31
3.2.2	Laddstationer	32
3.2.2.1	Underliggande elpris	33
3.2.2.2	Prissättning	33
3.2.2.3	Resultaträkning	34
3.2.3	Simuleringsprogram baserat på modell	35
4	Resultat och diskussion	37
4.1	Prismodellerna utan konkurrens	37
4.1.1	Resultat av simulering utan konkurrens	38
4.1.2	Diskussion av simulering utan konkurrens	38
4.1.2.1	Begränsningar och tolkning	39
4.1.2.2	Sammanfattning	39
4.2	Prismodellerna med konkurrens	39
4.2.1	Resultat av simulering med konkurrens	40
4.2.2	Diskussion av simulering med konkurrens	42
4.2.2.1	Effekter av priskänslighet och konkurrens	42
4.2.2.2	Utnyttjandegrad och lönsamhet	43
4.2.2.3	Begränsningar och marknadens mottagande	44
4.2.2.4	Sammanfattning	44
4.3	Simulerad variation i efterfrågan	45
4.3.1	Resultat av variation i efterfrågan	45
4.3.2	Diskussion av variation i efterfrågan	49
4.3.2.1	Begränsningar och tolkning	49
4.3.2.2	Sammanfattning	50
4.4	Isolerade kundbeteenden	50
4.4.1	Resultat av simulering med isolerade kundbeteenden	50
4.4.2	Diskussion om isolerade kundbeteenden	52
4.4.2.1	Strategier vid heterogen kundbas	52
4.4.2.2	Sammanfattning	53
4.5	Möjlighet att förflytta sin laddning i tid	53
4.5.1	Resultat av simulering när kunderna kan förflytta sin laddning i tid	53
4.5.2	Diskussion av simulering när kunderna kan förflytta sin laddning i tid	55

4.6	Varför har dagens marknad inte implementerat dynamisk prissättning i större utsträckning?	56
4.7	Framtida forskning	56
4.7.1	Optimering	57
4.7.2	Abonnemangsmodeller	57
4.7.3	Utbyggnad av laddinfrastruktur	57
5	Slutsats	58
	Bibliography	59
A	Appendix	I
A.1	Uppskattning av elpris	I
A.2	Beräkning av utnyttjandegradens effekt på kostnad per kWh	I
A.3	Beräkning av utnyttjandegradens effekt på rörelsemarginalen	I

Figurer

2.1	DC-laddare vid en laddstation. Bild tagen av Anton Gunnarsson.	6
2.2	Laddningskurva som visar hur effekten varierar med batteriets laddningstillstånd (SOC). Högst laddeffekt uppnås vid låg SOC, varefter effekten gradvis sjunker i takt med att batteriet fylls [19].	7
2.3	Kostnad och intäktsströmmar för en CPO[50][7]	17
2.4	Diagrammet illustrerar hur kostnaden per kWh för laddoperatörer sjunker med en högre utnyttjandegrad. Se appendix A.2 för ingående information om antaganden vid beräkning.	19
2.5	Diagrammet visar hur rörelsemarginalen för en laddpunkt påverkas av dess utnyttjandegrad för olika priser vid laddning. Diagrammet indikerar att rörelsemarginalen växer som kraftigast vid lägre utnyttjandegrader och att ett lägre pris ut till kund kräver en högre utnyttjandegrad för att uppnå samma rörelsemarginal. För information kring antaganden vid beräkning se appendix A.3.	20
3.1	Genomsnittligt antal laddningssessioner per veckodag på nationell nivå.	23
3.2	Procentuell jämförelse av genomsnittliga mått per veckodag på nationell nivå.	24
3.3	Genomsnittligt antal laddningssessioner per veckodag för specifik station längs Europaväg 6.	25
3.4	Genomsnittligt antal laddningssessioner per timme under dygnet för vardagar respektive helger vid den specifika laddstationen längs Europaväg 6.	25
3.5	Sessionsdiagram för specifik station längs Europaväg 6 den 13:e oktober 2024	26
3.6	Utnyttjandegrad för specifik station längs Europaväg 6	27
3.7	Tidsmässig utnyttjandegrad för specifik station längs Europaväg 6	28
3.8	Antal bilar som väljer att ladda över ett dygn när en station med fast prissättning konkurrerar med en station med dynamisk prissättning.	31
3.9	Laddningsmängd i kWh under ett dygn.	32
3.10	Genomsnittligt underliggande elpris per timme över veckan.	33
4.1	Rörelseresultat för de olika prismodellerna när de får verka utan konkurrens under en veckas simulering.	38

4.2	Rörelseresultat för de olika prismodellerna när de oberoende av varandra konkurrerar mot fast prissättning. Mätningen längst till vänster i diagrammet motsvarar grundscenariot, där två stationer med samma fasta prismodell konkurrerar. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.	40
4.3	Utnyttjandegrad för de olika prismodellerna när de oberoende av varandra konkurrerar mot fast prissättning. Resultatet motsvarar en veckas simulering.	41
4.4	Genomsnittligt rörelseresultat över tid för två konkurrerande stationer: en med dynamisk prissättning baserat på efterfrågan (grön kurva) och en med fast pris (röd kurva). De heldragna strecken i grafen visar hur genomsnittligt ackumulerat rörelseresultat utvecklas över en veckas period (måndag till söndag), baserat på resultat från 10 simuleringar. De streckade linjerna visar hur priset som respektive aktör sätter varierar under samma tidsperiod, där prisenivån i kr / kWh kan avläsas mot sekundäraxeln till höger i diagrammet.	42
4.5	Totalt rörelseresultat för fast prissättning som konkurrerar med dynamisk (spotprisbaserad) prissättning vid olika efterfrågenivåer. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.	46
4.6	Totalt rörelseresultat för fast prissättning som konkurrerar med dynamisk (efterfrågebaserad) prissättning vid olika efterfrågenivåer. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.	47
4.7	Totalt rörelseresultat för fast prissättning som konkurrerar med halvdynamisk prissättning vid olika efterfrågenivåer. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.	48
4.8	Totalt rörelseresultat för fast prissättning som konkurrerar med dynamisk prissättning (endast sänkning vid låg efterfrågan) vid olika efterfrågenivåer. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.	49
4.9	Totalt rörelseresultat när fast prismodell konkurrerar med dynamiska prismodeller då alla kunder enbart är priskänsliga. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.	51
4.10	Totalt rörelseresultat för fast prissättning som konkurrerar med dynamiska prismodeller när alla kunder enbart är kökänsliga. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.	52
4.11	Genomsnittlig kötid för de kunder som laddat, stationernas utnyttjandegrad, samt medelvärdet av antal bilar i kö per minut för fast och dynamisk prissättning när kunder kan flytta sin laddning i tid om det medför ett bättre pris. Y-axeln använder en logaritmisk skala. Resultatet motsvarar en veckas simulering.	54
4.12	Trafikflöde under ett dygn för två, icke konkurrerande stationer med dynamisk respektive fast prissättning. Kunder har haft möjligheten att tidigare-eller senarelägga sin laddning hos den dynamiskt prissatta stationen med en timme om det medför lägre pris.	55

Tabeller

2.1	Sammansatt elkostnad per kWh för laddstation. Spotpriset är ett genomsnittspris från de två föregående åren i elområde 3. För mer detaljerad information om beräkning av priser se appendix A.1. . . .	18
3.1	Parametrar för elbil	29
3.2	Parametrar för laddstation	32
3.3	Sannolikhet att ladda	35
3.4	Programbibliotek och versioner	36

1

Inledning

Efterfrågan på elbilar har ökat kraftigt de senaste åren och antalet elbilar i trafik har tredubblats på bara två år i Sverige [2]. Detta bland annat på grund av att elbilens roll i omställningen mot en fossilfri fordonsflotta är central. Internationella energirådet (IEA) uppskattar att utsläppen från vägtransporter kan minska från 3,7 GtCO₂ år 2022 till under 0,5 GtCO₂ år 2050 om bland annat elbilar ersätter dagens förbränningsmotorer [3]. Trots att inköpspriset fortfarande är relativt högt har elbilen blivit ett allt vanligare transportmedel. För att stödja denna utveckling krävs ett utbyggt och effektivt nätverk av snabbladdningsstationer, inte bara vad gäller teknisk kapacitet utan även ur ett prismässigt perspektiv. Tillgång till snabba och prisvärda laddningsmöjligheter är avgörande för att minska användarnas oro kring framtida kötider och ökade kostnader, vilket är centralt för att elbilen ska upplevas som ett praktiskt alternativ vid längre resor [4].

En viktig aspekt för framtidens laddningsinfrastruktur är hur laddning kan prissättas på ett sätt som både gynnar konsumenten och gör investeringar i snabbladdningsstationer lönsamma. Detta är särskilt viktigt i takt med att antalet elbilar på vägarna ökar. Effektiva prismodeller och incitament kan bidra till att optimera användningen av befintlig infrastruktur, minska effektoppar och på sikt även förbättra lönsamheten för laddoperatörer. Det finns därför ett stort värde i att analysera hur prissättningen på snabbladdning kan utformas för att påskynda övergången till en mer hållbar framtid.

1.1 Bakgrund

Den snabba ökningen av elbilar har medfört ett växande behov av effektivt publikt tillgänglig snabbladdningsinfrastruktur. Prissättningen vid laddstationer har identifierats som en nyckelfaktor som styr när och hur elbilsförare väljer att ladda sina fordon [5]. Traditionellt tillämpar många operatörer fast prissättning (t.ex. ett fast pris per kWh eller minut), en enkel modell som dock inte tar hänsyn till den kraftigt varierande efterfrågan och spotpriset på el över tid. Dynamisk prissättning, där priset kan variera beroende på faktorer som spotpris, tidpunkt på dygnet, efterfrågan och belastning, har därför lyfts fram som ett medel för att bättre balansera laddbehovet mot tillgänglig kapacitet [6]. Forskning [6] antyder att en sådan flexibel prismodell kan hjälpa till att jämma ut belastningstoppar, minska köbildning vid hårt utnyttjade stationer och uppmuntra fler att ladda under perioder med lägre efterfrågan. På så vis kan väntetiderna kortas och den

befintliga infrastrukturen utnyttjas mer effektivt, vilket i sin tur kan bidra till ökad kundnöjdhet när trängsel undviks [6].

Dessutom har studier visat att elbilsförare kan vara priskänsliga och benägna att anpassa sitt beteende efter priset. Exempelvis väljer många en mer avlägsen laddstation om kostnaden där är lägre [5]. För laddoperatörerna är prissättningen samtidigt avgörande ur ett affärsperspektiv. Lönsamheten för publika snabbladdningsstationer beror i hög grad på nyttjandegraden, vilken i sin tur påverkas av hur priser sätts [7]. Trots dessa potentiella fördelar är dynamisk prissättning ännu relativt oprövad i praktiken inom laddinfrastrukturen, och dess effekter på såväl kundvärde, som operatörens intäkter behöver undersökas närmare. Detta gäller särskilt för högeffektladdare som numera blir standard vid nyetablering av snabbladdningsstationer, där stora investeringar och hög efterfrågan ställer krav på optimerat användande [8]. Ett lovande angreppssätt för att analysera dessa komplexa samband är genom agentbaserad simulering, där individuella fordon och laddstationer modelleras som agenter för att efterlikna verkliga beteenden och interaktioner [9]. Med denna bakgrund använder denna studie en agentbaserad modell för att undersöka hur dynamisk kontra fast prissättning påverkar köbildning, resursutnyttjande och kundbeteende vid 150 kW snabbladdare. Arbetet syftar till att belysa hur prissättningen kan optimeras för att samtidigt maximera kundvärde och lönsamhet för laddningsoperatörer genom att knyta an till tidigare forskning om laddbeteenden och prissättningsstrategier.

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med detta projekt är att undersöka hur prissättningen för snabbladdning av elbilar påverkar laddningsleverantörers lönsamhet. Studien fokuserar på varierande prissättning och kundbeteende, samt dess påverkan på köbildning och resursutnyttjande vid publika snabbladdningsstationer. Specifikt kommer dessa två frågeställningar att behandlas:

- Kan dynamisk prissättning vara mer lönsam för operatörer än fast prissättning?
- Kan dynamisk prissättning användas för att minska belastningstoppar och köbildning genom att styra efterfrågan?

Genom att besvara dessa frågor är förhoppningen att bidra med en djupare förståelse för hur smart prissättning kan användas för att förbättra kostnadseffektivitet. Resultaten kan ge en indikation på om snabbladdningsstationer kan utvecklas lönsamt genom marknadsdrivna initiativ.

1.3 Avgränsningar

För att avgränsa projektets omfattning och möjliggöra ett tydligare fokus har studien inriktats på specifika aspekter av snabbladdning av elbilar. Den laddinfrastruktur som analyseras är enbart snabbladdare som använder sig av likström (DC) med en effekt på minst 50 kW. Laddinfrastruktur med lägre effekt,

växelström (AC) eller destination och laddning vid hemmet tas inte i beaktning.

En tydlig distinktion görs mellan olika typer av laddningsscenarier. Projektets huvudfokus ligger på så kallad en-route-laddning, vilket innebär att föraren gör ett medvetet stopp vid en laddstolpe med hög effekt i syfte att på kort tid ladda bilen vid längre resor. Laddning i samband med parkering, exempelvis vid butik, bostad eller arbetsplats omfattas inte av projektet. Detta val motiveras av att de faktorer som påverkar valet av laddpunkt skiljer sig åt mellan dessa scenarier, där en-route-laddning medför utmaningar kring tillgång och väntetid vilket i sin tur skapar möjligheter för företag att anpassa sina prissättningsstrategier därefter.

Projektets omfattning har även begränsats till att endast behandla privatpersoner som använder eldrivna personbilar. Kommersiella fordon och företagskunder exkluderas, då dessa vanligtvis omfattas av andra användningsbeteenden, behov och prismodeller, såsom separata företagsavtal och schemalagda laddningsrutiner. Vidare inkluderas inte abonnemangsmodeller eller medlemskapstjänster i analysen, utan studien fokuserar uteslutande på prissättning som möter kunden vid tillfällig, spontan en-route-laddning. Detta val görs för att minska komplexiteten och tydligare kunna analysera hur dynamisk prissättning påverkar val av laddplats i realtidssituationer.

Vidare begränsas den geografiska analysen till förhållanden längs Europaväg 6 (väg E6) i västra Sverige. Denna avgränsning har gjorts för att minska komplexiteten och möjliggöra en djupare analys inom ett avgränsat område där dagens prissättningsstrategier samt trafikflöde tas i beaktande. En rad ytterligare antaganden har gjorts vid konstruering av modellen i syfte att eftersträva en trovärdig simuleringskontext, se avsnitt 3.2 där den agentbaserade modellen beskrivs mer ingående.

2

Teori

För att kunna analysera och utveckla effektiva prismodeller för snabbladdning av elbilar krävs en god förståelse för de tekniska, ekonomiska och beteendemässiga faktorer som påverkar laddinfrastrukturens funktion och användning. I detta avsnitt presenteras därför den teoretiska bakgrunden för projektet. Avsnittet behandlar dels de tekniska aspekterna av snabbladdning, såsom elnätets uppbyggnad, laddstationernas anslutning till elnätet samt hur laddning sker mellan station och fordon. Vidare redogörs för ekonomiska teorier som är centrala för förståelsen av hur priser sätts och hur konkurrensen på marknaden fungerar. Slutligen behandlas agentbaserad modellering, som används för att simulera och analysera elbilsförarens beslutsfattande vid val av laddstation.

2.1 Snabbladdning

Det finns flera faktorer som påverkar hur effektivt och tillgängligt snabbladdning kan ske. En fungerande laddinfrastruktur kräver en stabil elförsörjning, effektiva omvandlingssystem och batteriteknologi som möjliggör snabba laddningar. I Sverige byggs snabbladdningsnätet kontinuerligt ut, men frågor kring kapacitet och utnyttjandegrad är fortfarande avgörande för att möta den ökande efterfrågan. Följande avsnitt behandlar elens väg från nätet till laddstationer, skillnader mellan AC- och DC-laddning, batteriets laddningskurvor samt hur laddinfrastrukturens effektivitet påverkas av utnyttjandegraden.

2.1.1 Elnät till laddstation

För att möjliggöra en pålitlig och effektiv elförsörjning till snabbladdningsstationer krävs en välfungerande infrastruktur för el. Sveriges elnät är enligt Svenska Kraftnät [10] uppbyggt i tre huvudsakliga nivåer: transmissionsnätet, regionnätet och lokalnätet, vilka tillsammans transporterar elektricitet från elproducenter till slutkonsumenter.

Transmissionsnätet fungerar som elens motorvägar och ansvarar för att transportera stora mängder el från elproduktionsanläggningar till de regionala distributionsnäten [10]. Nätet löper genom hela landet och förbinder Sverige med grannländernas elnät. På grund av de långa avstånden används mycket höga spänningar, 400 kV och 220 kV, för att minimera energiförluster vid överföring [10].

Efter att elektriciteten transporterats genom transmissionsnätet leds den vidare genom distributionsnätet, som delas in i regionnät och lokalnät [11]. Regionnätet beskrivs som elens landsvägar och transporterar elen från transmissionsnätet till lokalnäten och även direkt till vissa större elanvändare. Vanligtvis använder regionnätet en spänning på 130 kV och ägs av större elnätsföretag [10].

Slutligen fungerar lokalnätet som elens gator och förser slutkonsumenter såsom hushåll, företag och mindre laddstationer med el. Spänningen i lokalnäten är vanligtvis 10–40 kV och omvandlas via transformatorstationer ner till 400 V eller 230 V för att kunna användas av vanliga laddare och elanläggningar [11].

2.1.2 Laddare till bil

Elnätet levererar växelström (AC) till laddstationerna, men eftersom elbilens batteri endast kan laddas med likström (DC) krävs en omvandling från AC till DC. Denna omvandling kan ske antingen i fordonets inbyggda ombordladdare eller i själva laddstationen – något som påverkar både laddningseffektivitet och hastighet [12].

Vid AC-laddning sker omvandlingen från AC till DC via en likriktare som finns inbyggd i bilens ombordladdare. Denna likriktare har en begränsad kapacitet, vilket innebär att laddningseffekten styrs av bilens interna laddare [12]. Detta gör att AC-laddning, som oftast används vid hemmaladdning, men även vid vissa publika laddare, generellt har lägre effekt och längre laddningstider. Typiska effektnivåer för AC-laddning ligger mellan 3,7 kW och 22 kW beroende på laddstationens kapacitet och fordonets likriktare [13]. Eftersom omvandlingen sker inuti bilen kan det ta flera timmar att ladda en elbil fullt vid en AC-laddare, vilket gör den lämplig för laddning över natten eller vid längre parkeringstillfällen [12].

Vid DC-laddning, även kallad snabbladdning, sker omvandlingen från AC till DC direkt i laddstationen. Detta innebär att den likström som levereras till bilen redan är i rätt form för att laddas direkt in i batteriet, vilket eliminerar behovet av bilens interna likriktare [14]. Eftersom DC-laddare kan leverera betydligt högre effekter, från cirka 50 kW upp till över 350 kW, möjliggör det snabbladdning av elbilar på betydligt kortare tid. En snabbladdare kan till exempel ladda ett batteri från 10 % till 80 % på under 30 minuter, vilket gör denna typ av laddning idealisk för längre resor där man vill ladda mycket energi och korta stopp är önskvärda.



Figur 2.1: DC-laddare vid en laddstation. Bild tagen av Anton Gunnarsson.

En viktig skillnad mellan AC- och DC-laddning är alltså var omvandlingen av elen sker. Vid AC-laddning är det bilens ombordladdare som avgör laddningseffekten, medan vid DC-laddning är det laddstationen som avgör den maximala effekten som kan levereras [12]. Detta innebär att fordonets design och batteriteknologi spelar en stor roll i hur snabbt det kan laddas, särskilt vid snabbladdning. Alla elbilar har begränsningar i hur mycket DC-effekt de kan ta emot, vilket påverkar den maximala laddhastigheten även vid en kraftfull snabbladdare [14].

Trots att DC-laddning möjliggör snabbare laddningstider finns det vissa begränsningar. Laddning med hög effekt kräver mer avancerad teknisk utrustning, såsom kraftigare elanslutningar, transformatorer och kylsystem. Detta gör att snabbladdningsstationer ofta blir dyrare att installera och underhålla jämfört med enklare AC-laddare [12]. Dessutom kan frekvent snabbladdning påverka batteriets livslängd på grund av den ökade värmeutvecklingen och den högre belastningen på battericellerna [14].

2.1.3 Batteri och laddningskurvor

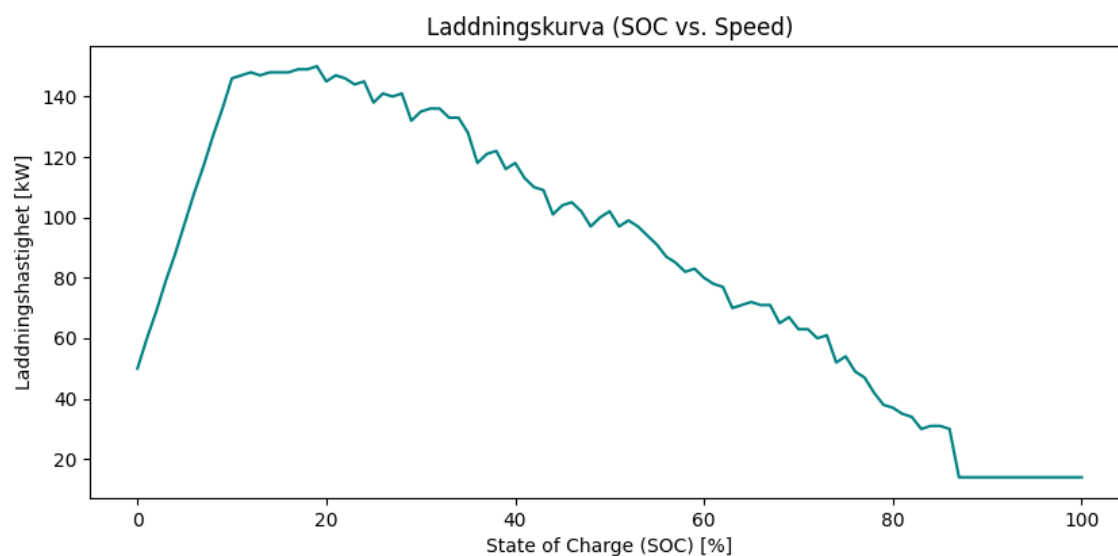
Litiumjonbatterier är det dominerande valet för elbilar tack vare deras höga energitäthet och förmåga att hantera många laddningscykler [15]. Dessa batteriers prestanda och livslängd påverkas av flera faktorer, där laddningstillstånd (State of Charge, SOC) och temperaturreglering vid snabbladdning är centrala aspekter.

För att maximera batteriets livslängd rekommenderas det att undvika extrema laddningstillstånd. SOC mäter laddningsnivån i förhållande till batteriets totala kapacitet, och många tillverkare rekommenderar att hålla laddningsnivån mellan

20 % och 80 % [16]. Fullständiga urladdningar och kontinuerlig full laddning kan leda till snabbare kemisk nedbrytning av battericellerna och därmed förkorta livslängden.

Vid snabbladdning tillförs hög effekt till batteriet under en kort tid, vilket kan resultera i ökad värmeutveckling. För att hantera detta är moderna elbilar utrustade med avancerade temperaturregleringssystem som säkerställer att batteriet hålls inom optimala temperaturintervall [17]. Dessa system är avgörande för att undvika överhettning och bibehålla batteriets prestanda över tid.

En annan viktig aspekt av batteriers prestanda är laddningskurvan, som beskriver hur batteriets laddningshastighet förändras beroende på SOC [18]. Vid låga laddningsnivåer kan effekten vara hög, men när batteriet närmar sig full kapacitet minskar laddningseffekten för att skydda battericellerna. Detta innebär att den sista delen av laddningen ofta går långsammare än den initiala fasen. Ett exempel på hur en laddningskurva kan se ut ses i figur 2.2.



Figur 2.2: Laddningskurva som visar hur effekten varierar med batteriets laddningstillstånd (SOC). Högst laddeffekt uppnås vid låg SOC, varefter effekten gradvis sjunker i takt med att batteriet fylls [19].

Batteriteknologins utveckling är avgörande för att förbättra räckvidd och laddningstider i framtidens elbilar. Genom att optimera laddningsstrategier och temperaturhantering kan batteriets livslängd förlängas, vilket gynnar både användare och laddningsinfrastrukturens långsiktiga hållbarhet.

2.1.4 Laddarnas utnyttjandegrad

Utnyttjandegraden är ett centralt mått för att bedöma effektiviteten i användningen av en laddinfrastrukturens kapacitet. I detta sammanhang definieras utnyttjandegraden som kvoten mellan den faktiskt levererade energin under ett år

och den teoretiskt maximala energimängden som kan levereras om laddaren nyttjas med full effekt under årets samtliga timmar [20].

$$\begin{aligned} \text{Utnyttjandegrad} &= \frac{\text{Laddad energi under ett år}}{\text{Teoretisk maximal energi för ett år}} \\ &= \frac{\text{Medeleffekt} \cdot 8760 \text{ h/år}}{\text{Teoretisk maximal effekt} \cdot 8760 \text{ h/år}} \\ &= \frac{\text{Medeleffekt}}{\text{Teoretisk maximal effekt}} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Medeleffekten avser den genomsnittliga effekt som laddaren har levererat över året, medan maxeffekten representerar laddarens nominella toppeffekt, det vill säga den högsta effekt den är konstruerad för att leverera. Faktorn 8760 är det totala antalet timmar på ett kalenderår (365×24). Genom simpel förenkling fås en formel där utnyttjandegraden uttrycks som kvoten mellan medeleffekt och den teoretiska maxeffekten.

Resultatet blir ett dimensionslöst tal mellan 0 och 1, som ofta uttrycks i procent, där ett högt värde indikerar att laddaren har använts nära sin maximala kapacitet under en stor del av året. Ett lägre värde signalerar däremot ett underutnyttjande, vilket kan bero på exempelvis låg efterfrågan, överdimensionering av utrustningen eller begränsningar i drift och tillgänglighet. För att få en ytterligare dimension av utnyttjandet kan en tidsbaserad utnyttjandegrad beräknas. Denna metod ger en tydligare och mer lättförståelig bild av hur stationen används över tid.

Tidsmässig utnyttjandegrad per dygn definieras som:

$$\text{Tidsmässig utnyttjandegrad under ett dygn} = \frac{\text{Total fakturerad tid (min)}}{\text{Antal laddplatser} \cdot 24 \text{ h} \cdot 60 \text{ min}} \quad (2.2)$$

där den totala fakturerade tiden representerar summan för samtliga laddningstider för alla laddningssessioner under en specifik tidsperiod, i detta fall ett dygn.

2.2 Ekonomiska ramverk

För att förstå dynamiken bakom marknaden för publik snabbbladdning krävs en grundläggande förståelse för en del relevanta ekonomiska principer. I detta avsnitt presenteras begrepp som utbud, efterfrågan samt priselasticitet. Dessa är viktiga verktyg för att analysera aktörer och efterfrågans beteende till följd av prisförändringar.

2.2.1 Utbud och efterfrågan

Utbud och efterfrågan är två centrala ekonomiska begrepp som syftar till att förstå samspelet mellan konsumenter och producenter samt hur deras interaktion

påverkar kvantiteten och prisnivån på de varor som handlas på en marknad [21]. Utbudet på marknaden utgörs av mängden varor eller tjänster som producenter är villiga att sälja för olika prisnivåer. Efterfrågan utgörs på motsvarande vis av konsumenterna på en marknad och mängden varor eller tjänster som de är villiga att köpa givet olika prisnivåer. För de flesta varor gäller i regel att ett lägre pris kommer medföra en ökad efterfrågan och vice versa.

I en fri marknad med konkurrens kommer marknadskrafterna att på sikt röra sig mot en jämvikt, där den kvantitet som producenterna är villiga att erbjuda till ett visst pris motsvarar den kvantitet som konsumenterna efterfrågar [21].

Marknadsjämvikt kännetecknas av en balans mellan utbud och efterfrågan där effektiv resursanvändning och konkurrenskraftiga priser gynnar såväl konsumenter som producenter [22]. Inom systemet blir både producenter och konsumenter pristagare samtidigt som balansen medför att inga systematiska överskott eller brister uppkommer [22]. Vid en eventuell obalans i marknaden så kommer marknadskrafter, ofta refererat till som den osynliga handen, att verka för att återställa balansen på marknaden. Detta sker utan central styrning, istället kommer prismedvetna kunder och vinstdrivande företag att självmant återgå mot jämvikten eftersom det ur ett samhällsekonomiskt perspektiv är det mest effektiva marknadsutfallet [23]. Marknadsjämvikt tenderar att primärt förekomma inom mogna marknader, det vill säga marknader som existerat under lång tid och präglas av en stabil efterfrågan, utbredd spridning samt låg teknisk innovationstakt [24].

Marknaden för publik laddning av elfordon är i dagsläget tämligen omogen och snabbt föränderlig där en stor del av etableringen av publik laddinfrastruktur grundas på en prognostiserad framtida efterfrågan [25]. Det höga tempot i den pågående elektrifieringen av fordonsflottan medför därmed att marknadskrafterna riskerar att hamna i obalans. Detta eftersom producenternas behov att ta höjd för fortsatt expansion kan skapa en situation där utbudet antingen ligger före eller släpar efter marknadens behov. Denna obalans kan leda till att marknadsjämvikten rubbas, vilket antingen skapar ett överskott av laddare, med lägre priser och ökade lönsamhetsproblem för producenterna till följd, eller en bristsituation där utbudet inte hinner anpassas till den hastiga utvecklingen och priset drivs upp då efterfrågan överstiger den tillgängliga laddinfrastrukturen.

2.2.2 Priselasticitet

Ytterligare ett centralt ekonomiskt koncept är efterfrågans priselasticitet, som beskriver hur efterfrågan på en vara eller tjänst förändras som resultat av en prisändring [26]. Mer formellt illustrerar efterfrågans priselasticitet hur många procent den efterfrågade kvantiteten ökar eller minskar då priset förändras. Generellt sett har varor en negativ priselasticitet, vilket innebär att om priset höjs så kommer efterfrågan att sjunka. Det finns ett flertal faktorer som påverkar varors priselasticitet, bland annat tillgången på substitut, varans nödvändighet och

varans homogenitet ¹ [27].

Exempelvis har bensin en relativt inelastisk priselasticitet, -0,3 på kort sikt, vilket innebär att en 10 procentig ökning av priset endast medför en 3 procentig minskning av efterfrågan. Detta eftersom det finns begränsad tillgång till att tanka med andra drivmedel om det sitter en bensinmotor i bilen, det tar tid för konsumenterna att anpassa sitt beteende och varans nödvändighet är stor för många då behovet av transport är oföränderligt på kort sikt [26]. Däremot är priselasticiteten för tjänsten att sälja bensin rimligtvis mycket högre. Eftersom drivmedel är en homogen produkt och tankstationerna erbjuder samma vara av samma kvalitet så medför en hög konkurrens att tillgången på substitut, det vill säga andra tankstationer, är stor. Konsekvensen blir att en prishöjning hos en tankstation får en kraftigare minskning av efterfrågan, jämfört med vad en prissänkning av motsvarande paritet hade ökat efterfrågan. På liknande sätt är elen som laddas vid en publik laddstolpe en homogen vara och tämligen inelastisk av samma anledningar som för bensin, användare kommer behöva ladda sina bilar oavsett pris.

Således förblir efterfrågan dock mer elastisk vid val mellan olika publika snabbbladdare. En låg differentieringsgrad mellan varor leder därmed till en hög priselasticitet vilket ofta mynnar ut i att pris blir det främsta konkurrensmedlet mellan företag, som i fallet med bensinmackor idag. I sådana marknader blir företagen i praktiken pristagare och har ingen möjlighet att själva sätta priset högre än konkurrenterna utan att förlora betydande efterfrågan [28].

2.3 Konsumentbeteende och beteendekonometri

Konsumentbeteende och beteendekonometri är viktiga områden inom ekonomi som syftar till att förstå och förklara hur underliggande kognitiva, sociala och känslomässiga faktorer påverkar konsumentens ekonomiska beslutsfattande. Inom traditionell ekonomisk teori har utgångspunkten varit att människor agerar rationellt, utifrån perfekt information och enbart tar beslut i syfte att maximera sin egen nytta. Beteendekonometrin motsäger denna traditionella syn genom att betona det faktum att människors beslutsfattande i verkligheten präglas av begränsad rationalitet, inkomplett information och kognitiva bias² [30].

Genom att analysera konsumentbeteende kan företag på ett bättre sätt förstå drivkrafterna som ligger bakom konsumenternas val av produkter och tjänster. Detta är särskilt relevant för laddoperatörer som agerar i en snabbt växande marknad, där kundernas beslut påverkas av både psykologiska och praktiska överväganden.

¹En homogen vara är en vara som är likvärdig i alla avseenden oavsett producent. Konsumenter upplever ingen skillnad i funktion eller egenskaper mellan olika producenters version av varan, vilket gör priset till en viktig konkurrensfaktor.

²Kognitiva bias är systematiska och förutsägbara avvikelser från rationellt tänkande vid beslutsfattande [29].

2.3.1 Faktorer som påverkar valet av laddstation

Vid val av laddstationer finns ett flertal faktorer som påverkar konsumenternas beslutsfattande, varav pris, väntetid och bekvämlighet alla har betydande inverkan [31].

Ett flertal studier identifierar och kategoriserar kunderna på laddmarknaden i två distinkta grupper baserat på beslutsfattande: prismedvetna kunder och de med komfortdrivet beteende [31][32]. Prismedvetna kunder väljer laddstation främst utefter pris och är beredda att ta en omväg för att hitta en billigare laddstation. När priset höjs väljer den här kundgruppen i stället ofta att ladda hemma eller på jobbet, vilket gör att de använder publika laddstationer i mindre utsträckning. Kunder som istället drivs av komfort har ofta invanda laddningsvanor och är inte priskänsliga, laddstationens placering i relation till deras vanliga resvägar och tillgång till ledig laddplats väger tyngre för dem [31][32]. Detta beteende kan dels förklaras av en potentiellt högre betalningsvilja som en högre inkomst medför, eller av det mänskliga rutinemässiga beteendet som grundar sig i en underliggande motvilja mot förändring, även kallad status quo-bias. Konsekvensen blir en tröghet i beslutsfattandet, där förändringar som innebär ansträngning eller osäkerhet ytterligare förhindrar människor att utforska nya alternativ [33].

En annan studie som undersökte laddbeteenden hos elbilsägare i USA (som kan skilja sig från kunder i Sverige) identifierade en tredje kategori användare som utgjorde cirka 60% av respondenterna, nämligen multifaktor-drivna kunder [34]. De beskrivs som någorlunda prismedvetna, men med skillnaden att de dessutom väger in andra faktorer som laddtillfällets längd och laddhastighet vid laddbeslutet. Uteslutande prismedvetna och komfortdrivna kunder utgjorde enligt undersökningen 20% av marknaden vardera [34].

En faktor med direkt påverkan på konsumenternas val av laddstation är långa kötider [31]. Hög beläggning på en laddstation leder i många fall till att kunder väljer en annan station med bättre tillgänglighet, oavsett om den andra stationen är dyrare. Detta gäller i huvudsak om den förväntade väntetiden på ledig laddare överstiger 10–15 minuter och det sker oberoende av om kunden är prismedveten eller komfort-driven [31]. Dessutom tenderar kunder som regelbundet upplever långa väntetider vid en given laddstation att byta till andra stationer med lägre beläggning, även om det kräver längre resor [31].

2.3.2 Beteendeekonomiska faktorer vid prisjustering

Företag tillämpar i vissa fall incitament och principer från beteendeekonomin i syfte att på olika sätt påverka efterfrågan för att bättre överensstämma med sina intressen. Inom ekonomisk teori om utbud och efterfrågan kan detta uppnås genom att endast justera prisnivån för en vara eller tjänst. Det finns dock flera beteendefaktorer som påverkar huruvida mottagandet av konsumenterna överensstämmer och resulterar i företagets förväntningar.

Konsumenter jämför ofta aktuella priser med så kallade referenspunkter, vilket kan vara exempelvis kostnad vid föregående tillfälle eller konkurrenternas prissättning. En alltför stor avvikelse från referenspriset uppfattas i regel som orättvist av kunden, givet att det gällande priset är högre än referenspriset [35]. Denna upplevda orättvisa kan på lång sikt medföra kundbortfall och minskad kundlojalitet [27]. Dessutom påverkas de flesta konsumenter undermedvetet av förlustaversion, vilket innebär att förluster upplevs mer känslomässigt påfrestande än vad motsvarande vinster är tillfredsställande [35][36]. Detta kan liknas vid konsumenters beteende på marknaden, där de uppvisar en starkare reaktion på prishöjningar än på prissänkningar av samma storlek. Således tenderar en prishöjning att avskräcka nya kunder mer än vad en motsvarande prissänkning lockar nya [35][36].

Marknadens mottagande av prishöjningar skiljer sig däremot åt beroende på om det är interna eller externa faktorer som ligger bakom, visar en studie [27]. Den indikerar även att prishöjningar som motiveras med att täcka ökade externa kostnader (exempelvis ökade materialkostnader) tas emot bättre av marknaden än höjningar som beror på interna beslut, exempelvis vinstmaximering. Studien påvisar att cirka 74% av respondenterna kategoriserade beslutet om höjda priser enbart till följd av ökad efterfrågan som orättvist, medan samma andel ansåg att förhöjda priser till följd av högre kostnader för leverantören var rättvist. Misstanke om att prisändringar genomförs främst i syfte att maximera vinsten upplevs som girigt och skadar förtroendet för företaget [27].

2.3.3 Nudging som ett verktyg för efterfrågestyrning

Ett annat sätt att påverka efterfrågan utan att ge ut direkta ekonomiska incitament är genom nudging. Nudging innebär ett sätt att styra människors beslut i en viss riktning utan att aktivt begränsa deras handlingsalternativ eller ekonomiska incitament [37].

I fallet med publik laddinfrastruktur har tidigare studier påvisat att prisprognos signaler kan användas för att uppmana kunder att ladda under lågtrafikperioder [38]. Genom att förutse och skicka ut signaler om lägre priser under tider med lägre efterfrågan kan förväntningarna medföra ett förändrat laddbeteende hos en del av kunderna, utan att nödvändigtvis ändra priset. En sådan nudge kan minska belastningen vid högtrafik och resultera i en jämnare belastning över hela dagen, vilket minskar risken för köbildning [38]. Även uppmaningar i form av avrådan att ladda vid publika laddare under de mest högbelastade timmarna eller informerande upplysningar om förväntade kötider vid olika tider på dygnet är exempel på nudges som kan ha liknande effekt på kundens laddningsvanor.

2.4 Prissättningsmodeller för publik elbilsladdning

Prissättningsmodeller spelar en central roll i utbyggnaden och användningen av publik laddinfrastruktur. Dessa modeller utgör i många fall ett strategiskt verktyg för företag att aktivt styra efterfrågan och påverka konsumentbeteende i syfte att maximera lönsamheten.

Prismodeller går generellt att kategorisera som antingen kostnads- eller värdebaserade. En kostnadsbaserad modell innebär att priset sätts utifrån företagets kostnader och önskad avkastning, medan värdebaserade modeller bygger på kundens upplevda värde samt betalningsvilja. Med tanke på elens homogenitet som produkt har värdebaserade prissättningsmodeller tidigare varit svåra att etablera, men senare års hastiga utveckling inom snabbladdare och dess laddeffekt har möjliggjort för företag att ta ut en värdebaserad premie för elen vid snabbladdning [39].

I Sverige förekommer idag framför allt tre kategorier prissättningsmodeller: tidsbaserad, energibaserad samt hybrider av dessa [40].

2.4.1 Tidsbaserad prissättning

Tidsbaserad prissättning innebär att användaren debiteras en fast avgift per tidsenhet, vilket för snabbladdare vanligtvis är en kostnad per minut. Fördelen med denna modell är att den skapar incitament för användare att flytta bilen snarast efter att önskad energimängd laddats, vilket motverkar att fulladdade bilar blockerar andra användare från att ladda [40]. En nackdel är att den totala kostnaden för laddsessionen blir svår att uppskatta för användaren då faktorer som exempelvis batteriets temperatur, bilmodell samt laddningsnivå påverkar laddtiden. Denna modell har tidigare använts av bland annat Vattenfall och Fortum [40].

2.4.2 Energibaserad prissättning

Energibaserad prissättning är den vanligaste prismodellen vid publik snabbladdning idag och innebär att användaren debiteras per kilowattimme [41]. Fördelen med modellen är att den är rättvis och lätt att förstå, vilket gör det lättare för användarna att uppskatta sina kostnader och jämföra priser mellan operatörer på ett smidigt sätt [40]. Nackdelen är att den inte tar hänsyn till tidsåtgången för laddning samt inte aktivt motverkar att färdigladdade bilar står kvar och blockerar, vilket riskerar att leda till ett lägre effektivt utnyttjande av laddstolparna [40].

2.4.3 Hybridmodeller

På senare år har många operatörer valt att kombinera den energibaserade prismodellen med en blockeringsavgift/trängselavgift, i syfte att öka

utnyttjandegraden på laddstationerna. Det exakta upplägget skiljer sig mellan aktörer men generellt innefattar det en blockeringsavgift som startar när bilen är fulladdad, eller en övre tidsgräns överskridits (vanligtvis 90 min) [42][43].

2.5 Dynamisk och fast prissättning

Vid implementering av ovan nämnda modeller står laddoperatörer inför ytterligare ett val: om priset ska vara fast per laddad kWh oberoende av när laddning sker, eller om priset ska variera utifrån faktorer som spotpriset på el, efterfrågan och elnätets belastning.

Fast prissättning utmärker sig framför allt genom sin förutsägbarhet och kundacceptans. Dock finns det tydliga begränsningar: exempelvis kan den effektiva utnyttjandegraden sjunka, stigande spotpriser kan ge upphov till högre kostnader och därmed minskad lönsamhet, samt köbildning kan riskera att medföra intäktsbortfall.

Målet med dynamisk prissättning är att maximera den totala samhällsnyttan, det vill säga maximera både lönsamheten för operatörerna samt kundernas upplevda nytta [44]. Detta sker genom att laddoperatörer justerar prisnivån i syfte att förändra kunders laddbeteende bort från högtrafikerade tider för att i slutändan jämma ut belastningsnivån på laddstationen under dygnet. Effekten för kunderna blir att väntetiderna och risken för köbildning minskar vid laddstationerna till följd av att vissa kunder väljer att ändra sitt laddbeteende till tider där det erbjuds ett billigare pris. För operatörerna möjliggör den jämnare belastningsnivån på laddstationen en förhöjd utnyttjandegrad, vilket har en direkt effekt på stationens lönsamhet [44].

2.5.1 Implementering av dynamisk prissättning

Vid implementering av dynamisk prissättning ställs laddoperatörer inför en rad överväganden gällande vilka faktorer som ska vara styrande i prisvariationerna. De huvudsakliga faktorerna inkluderar spotpriset på el, efterfrågan på laddning samt elnätets belastning.

Snabbladdning är som tidigare nämnts mycket energikrävande, vilket är varför ett fluktuerande spotpris har direkt påverkan på laddoperatörens rörliga kostnader [45]. Genom att variera priset utefter operatörens inköpskostnader kan såväl ett lägre pris erbjudas under lågpristimmar (utan att det sker på bekostnad av operatörens vinstmarginal) som säkerställas att de inte säljer el för billigt under högpristimmar. Det kan antingen följa elpriserna i realtid eller utgå från en prognostiserad elkostnad över dygnet.

Elnätets belastning kan användas som en styrande prisparameter eftersom den, till skillnad från spotpriset, tar mer hänsyn till lokala eller regionala kapacitetsbegränsningar, som kan utlösa olika typer av effekttariffer för operatören

[39][45][46]. Genom att sprida laddstationens förbrukning över dygnet med hänsyn till elnätets belastning kan operatören minska sina kostnader kopplade till nätet.

Genom att variera priset utifrån efterfrågan kan efterfrågans priselasticitet utnyttjas för att justera priset uppåt eller nedåt beroende på marknadens laddbehov. Efterfrågan kan vara antingen prognostiserad, där priserna bestäms i förväg utifrån förväntat laddningsbeteende (exempelvis 24h framåt), eller realtidsbaserad då den reella efterfrågan och tillgängligheten på stationen styr priset [44].

En utmaning med dynamisk prissättning är den traditionella uppfattningen att dynamiska priser skapar missnöje och minskar kundlojaliteten, vilket resulterat i att fast pris mot kund inom laddbranschen länge ansetts vara mer attraktivt [39]. På senare tid har dock ett flertal aktörer i Sverige valt att påbörja dynamisk prissättning. Exempelvis har både Vattenfall Incharge och Tesla infört olika grader av prisvariation under dygnet. Incharge har delat in dygnet i fyra olika prisnivåer, där tiden 12-18 är perioden med högst pris, 06-12 och 18-24 är aningen billigare samt en period mellan 00-06 där priset är kraftigt nedsatt [47]. Tesla har ett liknande upplägg, dock med endast en dyrare tidsperiod mellan kl 16-20, vilket de kommunicerar som ett försök att minska belastningen på elnätet när den är som störst [48]. I linje med ökad implementering kan marknadens inställning till dynamisk prissättning förväntas bli bättre. Kundens mottagande till varierande priser kan därmed med fördel underlättas genom att prissättningen kommuniceras som en konsekvens av externa faktorer bortom operatörens kontroll (se 2.3.2) [39].

2.5.2 Dynamisk prissättning och lönsamhet

I frågan om hur dynamisk prissättning påverkar lönsamheten för en laddoperatör behöver både konkurrenssituationen på marknaden och kundernas efterfrågemönster beaktas.

En studie som undersöker efterfrågans påverkan konstaterar att i det fall då efterfrågan på en marknad utgörs av en normalt fördelad, homogen kundbas som har liknande laddpreferenser, förekommer ingen nämnvärd skillnad på intäkter mellan fast och dynamisk prissättning [49]. Vid en heterogen kundbas där betalningsviljan kraftigt varierar mellan individer och efterfrågefördelningen innehar flera toppar, antyds dynamisk prissättning däremot ha potential att generera mer intäkter. Anledningen är att den dynamiska prissättningen fångar upp den spridda betalningsviljan mellan segmenten genom att mindre priskänsliga kunder betalar ett högre pris vid toppar i efterfrågan [49].

En annan studie som undersökte marknadsstrukturens påverkan på lönsamheten presenterar att dynamisk prissättning är som mest effektivt på konkurrensutsatta marknader med många aktörer [44]. Det framkommer att aktörer genom att sänka priset vid perioder med låg efterfrågan kan använda den dynamiska prissättningen som ett verktyg för att differentiera sig gentemot sina konkurrenter och på så sätt

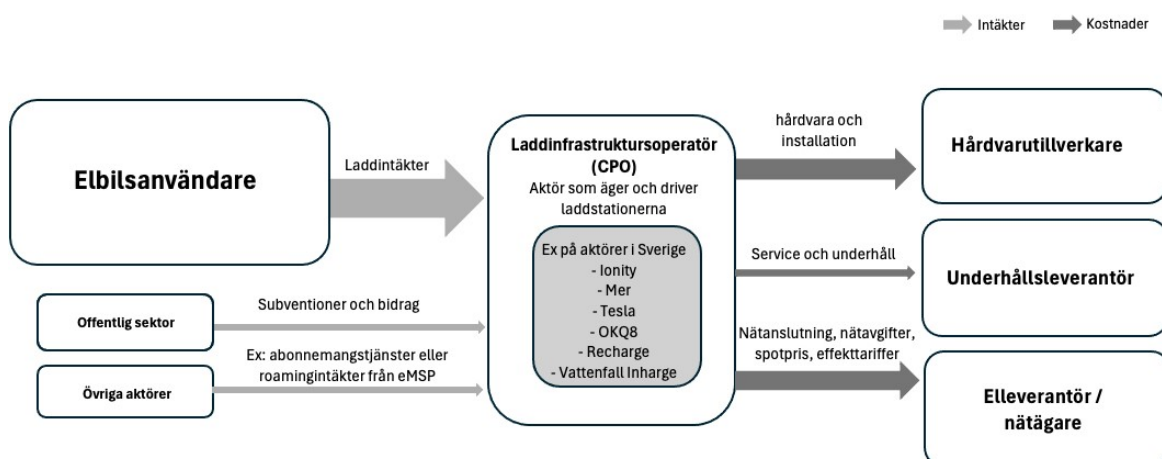
öka utnyttjandegraden. Studien belyser även det faktum att dynamisk prissättning ger aktörer möjligheten att snabbt anpassa sig till marknadsförändringar och konkurrenters prissättning för att vara fortsatt konkurrenskraftiga. Därmed kan hård konkurrens driva samtliga aktörer mot att själva implementera dynamisk prissättning i syfte att behålla sin marknadsposition. Vidare antyds att hos marknader som präglas av få aktörer och låg konkurrens verkar de ekonomiska fördelarna med dynamisk prissättning avta, eftersom behovet av att anpassa priserna kontinuerligt i differentieringssyfte inte är lika signifikant. Dessutom kan kostnaderna för att införa dynamisk prissättning i fallet med låg konkurrens överstiga potentiella vinster, vilket indikerar att fast prissättning är mer lämpligt ur ett lönsamhetsperspektiv [44].

2.6 Lönsamhet inom laddinfrastruktur

Laddinfrastrukturens utbyggnad är en förutsättning för den fortsatta elektrifieringen av bilflottan. En avgörande faktor för denna expansion är att affärsmodellen för publika snabbaddare är ekonomiskt hållbar, vilket skapar incitament för privata aktörer att investera och vidarutveckla laddnätverket. En lönsam laddstation förutsätter en strategiskt vald geografisk placering för att uppnå hög lokal efterfrågan, vilket är avgörande för att säkerställa att stationens laddstolpar används i så stor utsträckning som möjligt [50].

2.6.1 Affärsmodeller för laddoperatörer

För att lönsamheten ska kunna uppnås i praktiken krävs mer än bara rätt geografisk placering, det handlar också om hur affärsmodellen för operatören ser ut och vilka andra aktörer som är inblandade. I detta system är laddoperatörer (Charge point operators, CPO:er) och e-mobilitetstjänsteleverantörer (e-Mobility Service Providers, eMSP:er) två centrala aktörer. CPO:er är huvudaktörerna på marknaden vars huvudsakliga ansvar innefattar allt som rör laddarnas funktionalitet. Detta inkluderar byggnationen, ägandet samt driften av laddningsstationerna [51]. Uppförandet av laddinfrastruktur kräver stora initiala investeringar och för att säkerställa laddoperatörernas långsiktiga lönsamhet krävs stabila intäktsströmmar från laddande kunder över längre tid. Figur 2.3 illustrerar de huvudsakliga kostnads- och intäktsströmmarna för en CPO.



Figur 2.3: Kostnad och intäcksströmmar för en CPO[50][7]

Medan CPO:er tillhandahåller laddinfrastrukturen så är eMSP:er tjänstedrivna och agerar som en brygga mellan kunder och laddoperatörer på marknaden [51]. Detta sker genom att eMSP:er förmedlar och tillgängliggör laddtjänster till elbilsförare via digitala plattformar, exempelvis mobilappar. Det ömsesidiga beroendet mellan dessa aktörer resulterar oftast i olika typer av samarbeten, där eMSP:er, som finansieras via abonnemangsanslutna elbilsförare eller transaktionsavgifter, betalar CPO:er för tillgång till deras laddstolpar [52].

Utöver CPO:ernas huvudsakliga intäkter kan laddoperatörer i vissa fall få statligt stöd, särskilt vid etableringen av laddstationer i områden med begränsad efterfrågan [53]. Detta gäller framför allt vid byggnation av laddstationer i glesbefolkad landsbygd, så kallade "vita sträckor", där den lägre utnyttjandegraden gör det svårt att få laddstationen att vara ekonomiskt lönsam utan stöd [39][54].

Kostnadsstrukturen för en CPO består av ett flertal olika komponenter, varav de initiala kostnaderna vid byggnationen utgör en stor del. Dessa kostnader är tätt sammankopplade med effekten på laddstolpen, där den generella trenden är att investeringskostnaden ökar med laddeffekten [55]. På grund av volymfördelar vid inköp av ett större antal laddare eller laddare av högre effekt kan priset variera kraftigt. I Sverige uppskattas investeringskostnaden för en laddpunkt med 150 kW effekt vara mellan 475 000 - 933 000 kr (3166 - 6220 kr/kW)[55]. I detta pris inkluderas de fasta kostnaderna för inköp av laddstolpe, installation och engångskostnaden för anslutning till elnätet ³. Utöver investeringskostnaderna tillkommer driftkostnader i form av service och underhållskostnader, nätavgifter ⁴

³kostnader för elnätsanslutning kan även dessa variera kraftigt beroende på vart närmaste anslutningspunkt är placerad och nätets nuvarande kapacitet. I kalkylen görs antagandet att anläggningarna är placerade inom 200 meter av en anslutningspunkt och därmed krävs ingen omfattande nätutbyggnad [55]

⁴nätavgifter inkluderar kostnader som effekttariffer och abonnemangsavgifter. Effekttariffen är

samt övriga kostnader som exempelvis fjärrövervakning. Driftkostnaderna för samma 150 kW laddare uppskattas ligga mellan 106 000 - 130 000 kr per år (707-867 kr/kWh) [55]. En kostnad som inte är inkluderad i dessa kostnadsuppskattningar är de rörliga kostnader för elhandel, som innefattar spotpriset för el samt kostnader för överföringsavgifter och energiskatt [56]. För att få en uppskattning på hur stor del vardera komponent utgör presenteras i tabell 2.1 ett exempel på hur de totala genomsnittliga priserna per kWh för en aktör i södra mellansverige (SE3) kan se ut.

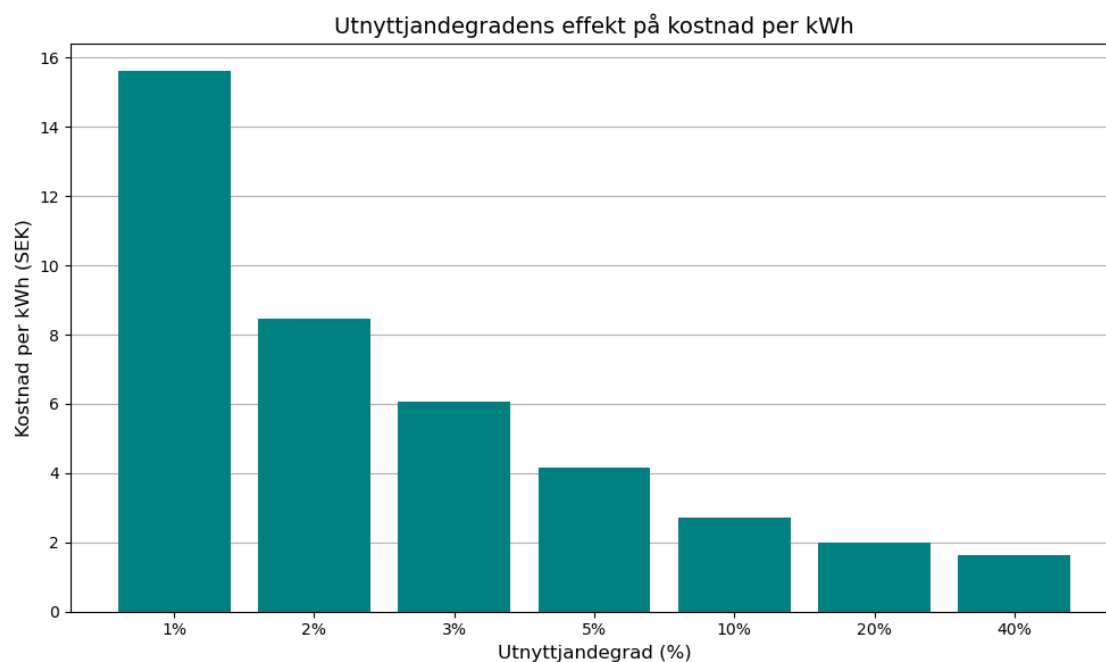
Tabell 2.1: Sammansatt elkostnad per kWh för laddstation. Spotpriset är ett genomsnittspris från de två föregående åren i elområde 3. För mer detaljerad information om beräkning av priser se appendix A.1.

Komponent	Kostnad per kWh
Spotpris	0,499 kr
Överföringsavgift	0,088 kr
Energiskatt	0,439 kr
Total kostnad (exklusive moms)	1,03 kr

2.6.2 Utnyttjandegrad och lönsamhet

Givet de höga kostnaderna är en hög utnyttjandegrad av laddstolpen en förutsättning för dess ekonomiska hållbarhet, något som ett flertal rapporter antyder [7][39][50]. För att illustrera utnyttjandegradens påverkan på operatörernas lönsamhet finns nedan diagram 2.4 som visar utnyttjandegradens effekt på den genomsnittliga kostnaden per kWh för en laddpunkt.

en avgift som laddstationsoperatören betalar för den maximala effekt som laddstationen drar i en timme vid en viss tidpunkt och vid uppskattning av denna kostnad antog kalkylen att endast 50% av den teoretiska maximala effekten från laddaren används samtidigt [55]. Faktorer som laddningskurvor som varierar och byte av bil vid laddstolpen kan bidra till att det är ovanligt att maximal laddkapacitet utnyttjas under en hel timme. En högre maxbelastning i praktiken hade resulterat i högre nätavgifter än kalkylens antagande.

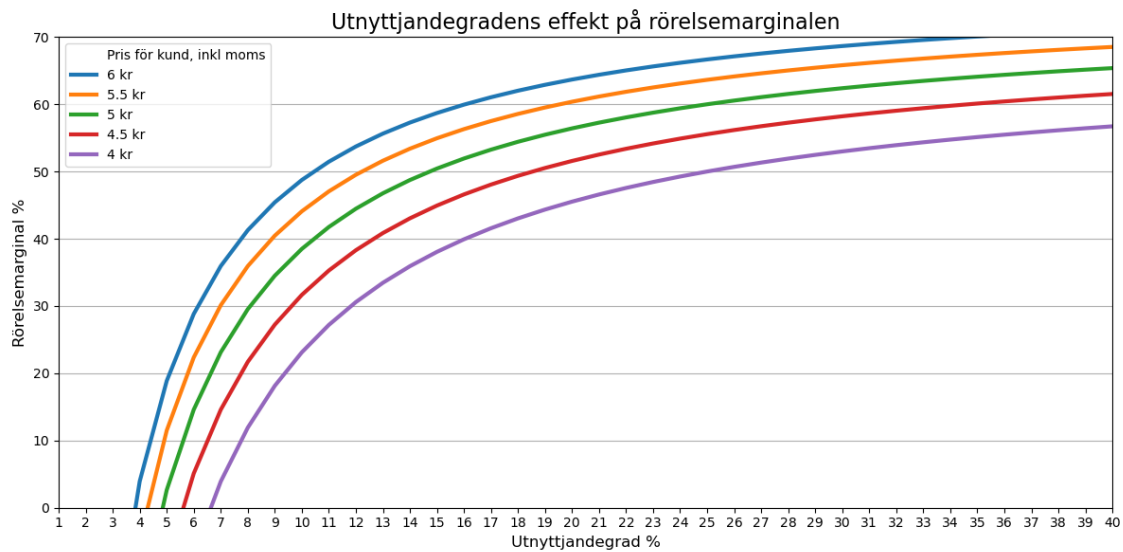


Figur 2.4: Diagrammet illustrerar hur kostnaden per kWh för laddoperatörer sjunker med en högre utnyttjandegrad. Se appendix A.2 för ingående information om antaganden vid beräkning.

Bland de större laddoperatörer i Sverige idag ligger det genomsnittliga fasta priset per kWh för en 150 kW laddare inom intervallet 5,5-6,5 kr (inklusive moms)⁵. Vid ett antaget pris på 6 kr / kWh (4,8 kr exklusive moms) och med tidigare presenterade kostnadsuppskattningar för en 150 kW laddare, krävs en utnyttjandegrad på ungefär 4% för att verksamheten ska gå jämnt ut. Detta motsvarar en minimiförbrukning av fyra laddningar per dygn, baserat på en genomsnittlig laddsession från 20 - 80 procents laddning av ett 60 kWh batteri. Vid en högre utnyttjandegrad på 10% skulle detta motsvara tio laddsessioner per dag, vilket resulterar i en rörelsemarginal på över 43%⁶. En dubbling av utnyttjandegraden och antalet laddsessioner till 20 per dag hade endast ökat rörelsemarginalen till 58%. Detta beror på att kostnaderna fördelas över en större energivolymer, vilket leder till en icke-linjärt avtagande kostnadsminskning per kWh, vilket visualiseras i figur 2.4. Effekten är som störst vid lägre utnyttjandegrader, 1-10% och planar sedan ut vid högre nyttjandenivåer, där ytterligare nyttjandegradsökning ger mindre relativ kostnadsminskning och därmed en motsvarande mindre relativ ökning av lönsamheten, som figur 2.5 illustrerar.

⁵OKQ8 [57], Ionity [58], CircleK [59], Vattenfall Incharge[60], Recharge [61]

⁶Rörelsemarginalen definieras som en kvot mellan rörelseresultatet (vinst före räntor och skatter, efter avskrivningar för investeringar) och nettoomsättningen (intäkter av försäljning med avdrag för moms) [62]. Det är ett mått på hur lönsamt ett företag är genom att kvantifiera hur stor andel av rörelseintäkterna som företaget får behålla, utan att ta hänsyn till hur verksamheten är finansierad. I fallet med laddoperatörer innebär detta hur stor andel av intäkterna per kWh som operatören får över efter att dragit av fasta kostnader för investering, driftskostnader och elkostnader.



Figur 2.5: Diagrammet visar hur rörelsemarginalen för en laddpunkt påverkas av dess utnyttjandegrad för olika priser vid laddning. Diagrammet indikerar att rörelsemarginalen växer som kraftigast vid lägre utnyttjandegrader och att ett lägre pris ut till kund kräver en högre utnyttjandegrad för att uppnå samma rörelsemarginal. För information kring antaganden vid beräkning se appendix A.3.

Figur 2.5 påvisar dessutom att ett lägre pris ut till kund kräver en högre utnyttjandegrad som compensation för att uppnå samma lönsamhet. Vid ett pris på 4 kr per kWh krävs istället drygt 7 procentens utnyttjandegrad för att uppnå en positiv rörelsemarginal, jämfört med en knappt 4 procentig utnyttjandegrad som krävs vid ett pris på 6 kr per kWh. Därmed indikerar den initialt branta lutningen på kurvorna i figur 2.5 att systemet är känsligt, där enstaka procentenheters förändring i utnyttjandegrad kan utgöra skillnaden mellan förlust och en ekonomiskt hållbar rörelsemarginal för en laddpunkt. Samtidigt innebär prissänkningar, till följd av konkurrens eller andra prissättningsmodeller, ytterligare press på att hålla en hög beläggning för att laddstationerna ska förbli lönsamma. Det är därför avgörande för operatörer att upprätthålla en så hög utnyttjandegrad som möjligt.

2.7 Agentbaserad modellering

Agentbaserad modellering (ABM) är en simuleringsmetod som syftar till att förstå hur lokala interaktioner mellan individer kan ge upphov till komplexa och oväntade mönster i större system. Metoden är ett sätt att skapa en förenklad representation av verkligheten för att analysera hur enskilda aktörer på mikronivå tillsammans formar fenomen på makronivå. ABM består av individuella, autonoma "agenter" som kan fatta beslut och interagera både med andra agenter och med sin omgivning. Varje agent är självständig i sitt beslutsfattande och agerar utifrån egna beteenderegler och preferenser [63]. När agenterna interagerar med varandra och reagerar på förändringar i omgivningen kan det ge upphov till emergenta

fenomen, det vill säga mönster eller beteenden på makronivå som är svåra att förutsäga enbart genom att studera agenternas individuella egenskaper.

För att skapa en agentbaserad simulering är det lämpligt att använda objektorienterad programmering (OOP). Inom OOP betraktas objekt som strukturer som både kan bära data (instansvariabler) och procedurer (metoder) [64]. För en agent innebär detta att dess instansvariabler representerar interna tillstånd, som exempelvis batterinivå eller hastighet, medan dess metoder beskriver agentens beteenderegler och preferenser såsom när agenten väljer att ladda eller köra vidare. [64]. Dessutom kan miljöelement såsom platser eller resurser också modelleras som objekt, med egen data och metoder. På så sätt fångas de centrala aspekterna av både agenter och deras omgivning in i en struktur som sedan är enkel att vidareutveckla, testa och underhålla i en simuleringsmiljö.

3

Metod

Under följande avsnitt beskrivs de metoder och tillvägagångssätt som har använts. Arbetet baseras på tre huvudsakliga delar: insamling och analys av data, utveckling av en agentbaserad modell samt implementering av denna modell i ett simuleringsprogram. Datan användes för att ge en realistisk bas för modellen som i sin tur låg till grund för simuleringar som undersökte olika scenarier kopplade till laddstationers prissättning.

3.1 Statistik på användning av laddstationer

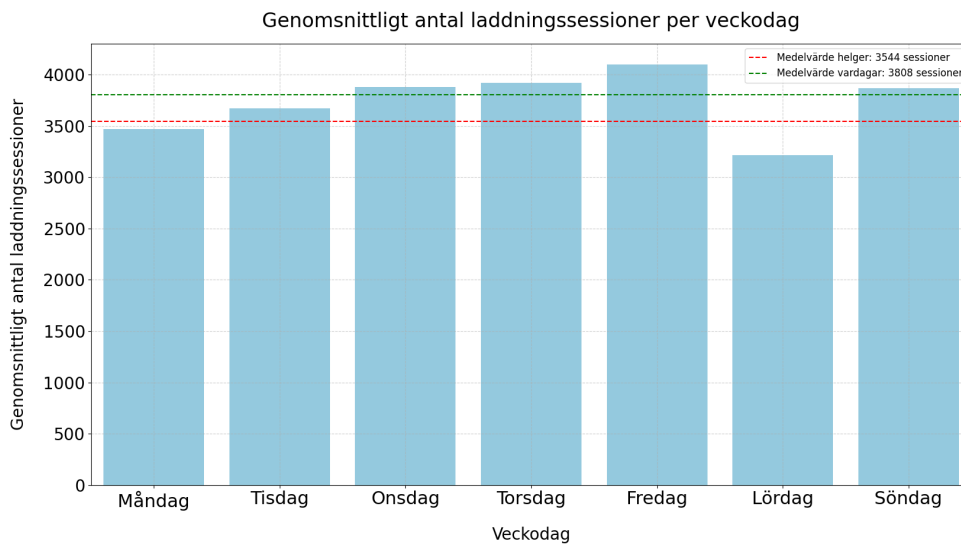
I syfte att ge en verklighetsförankrad bild av hur elbilar använder publika laddstationer tillhandahölls historisk data från ett etablerat företag. Datamängden omfattade över 100 000 individuella laddsessioner från olika laddplatser över hela Sverige under en tidsperiod 2024, vilket utgjorde en robust grund för vidare analys. Varje datapunkt innehöll stationens geografiska koordinater, starttidpunkt för laddstationen, debiterad tid, samt total energi överförd under laddningssessionen.

3.1.1 Urvalet av data

För att säkerställa att endast relevant data för personbilar inkluderades i analysen genomfördes en rensningsprocess i flera steg. Datapunkter som sannolikt kunde hänföras till lastbilar eller andra kommersiella fordon exkluderades. Inledningsvis togs datapunkter där den totala mängden laddad energi översteg 111 kWh bort, vilket antas utgöra en övre gräns för batterikapacitet hos personbilar [65]. Dessutom exkluderades datapunkter där effekten konsekvent överskred den fysiskt möjliga laddkapaciteten för personbilar under en längre tidsperiod. Efter ovanstående filtreringssteg förfinades datasetet ytterligare genom borttagning av uppenbara anomalier som antas bero på tekniska avvikelser eller mätfel, exempelvis laddningssessioner med en varaktighet överstigande 50 timmar. Trots denna ytterligare rensning bibehölls cirka 99% av de ursprungliga datapunkterna.

3.1.2 Överblick av nationella laddningsmönster

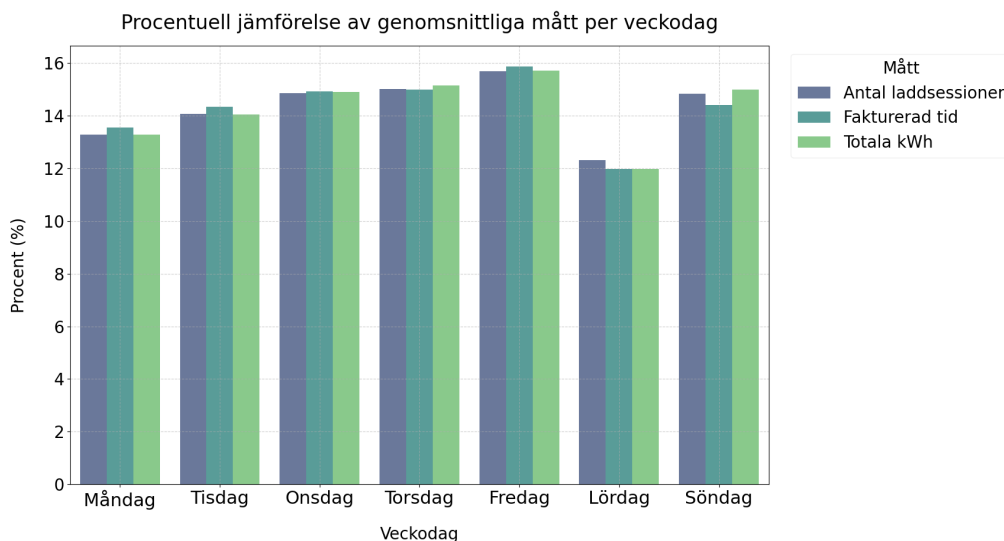
Datan uppvisar betydande variation i laddningsmönster beroende på geografisk plats. För att ändå ge en samlad överblick över laddningsmönster på nationell nivå har därför ett riksgenomsnitt beräknats. Detta illustreras i figur 3.1, som visar det genomsnittliga antalet laddsessioner per veckodag.



Figur 3.1: Genomsnittligt antal laddningssessioner per veckodag på nationell nivå.

Den grönsträckade linjen markerar medelvärdet för vardagar, medan den röda markerar helger. En något högre laddningsaktivitet observeras under vardagar jämfört med helger. Vidare visar datan att den genomsnittliga laddningstiden per session är cirka 28 minuter, medan den genomsnittliga energimängden per laddning är ungefär 30 kWh.

För att möjliggöra en jämförelse mellan olika mått har samtliga storheter i figur 3.2 nedan normaliserats. Eftersom den totala levererade energin samt den totala fakturerade tiden är betydligt större i absoluta tal än antalet laddsessioner, har dessa skalats om för att visas på en gemensam procentuell skala. Detta gör det möjligt att identifiera eventuella skillnader i mönster mellan de olika måtten.



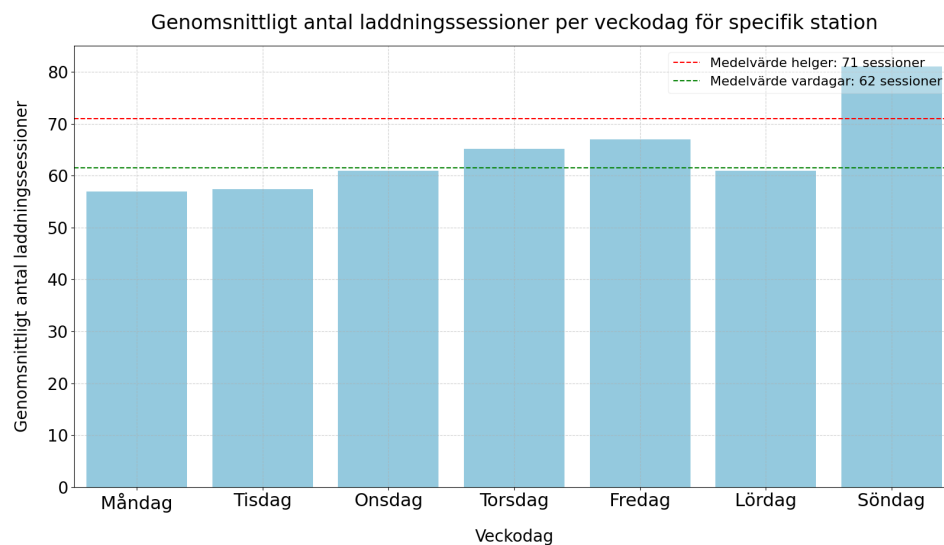
Figur 3.2: Procentuell jämförelse av genomsnittliga mått per veckodag på nationell nivå.

Figur 3.2 visar att mönstren för antal laddningssessioner, levererad energi och fakturerad tid per veckodag är mycket lika varandra. Detta indikerar att oavsett vilket mått som används, uppvisas samma övergripande laddningsbeteende. För att förenkla presentationen utan att förlora betydande information har endast ett mått i taget valts ut för de efterföljande visualiseringarna. Diagrammet baseras på data från hela landet, vilket medför ett stort antal datapunkter och ger därmed ett mer representativt resultat.

3.1.3 Laddningsmönster vid station längs Europaväg 6

För att erhålla en mer detaljerad förståelse av laddningsbeteende och för att relatera dessa insikter till den utvecklade modellen, undersöktes laddningsmönster på en mer lokal nivå. Fokus lades på en specifik laddstation längs Europaväg 6, i enlighet med de avgränsningar som presenterades i avsnitt 1.3. Den valda stationen består av åtta laddningsplatser, samtliga med en effekt på 300 kW, och är placerad i ett område med flera konkurrerande laddstationer i närheten. Dessa faktorer gör stationen särskilt intressant för vidare analys ur ett konkurrens och lönsamhetsperspektiv.

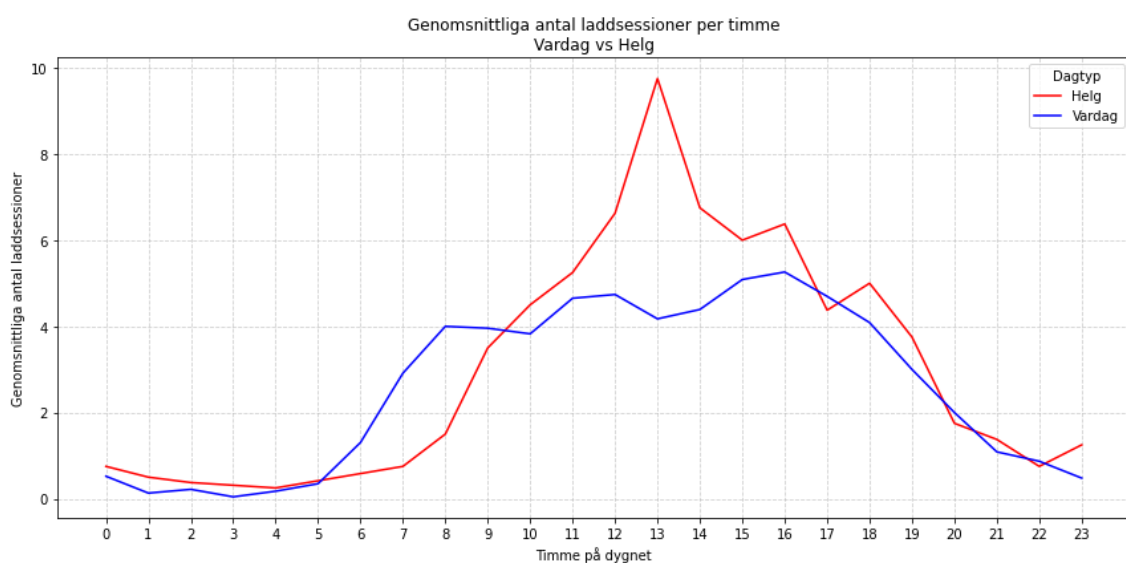
Figur 3.3 nedan visar det genomsnittliga antalet laddsessioner per veckodag för den specifika laddstationen. Den grönstreckade linjen representerar medelvärdet för vardagar, medan den rödstreckade linjen visar medelvärdet för helger.



Figur 3.3: Genomsnittligt antal laddningssessioner per veckodag för specifik station längs Europaväg 6.

Till skillnad från de övergripande trenderna i Sverige, där högre aktivitet under vardagarna observerades, uppvisar detta resultat en motsatt trend med cirka 15% högre aktivitet under helgerna. Detta indikerar att laddningsmönster kan variera beroende på den specifika laddstationens geografiska läge.

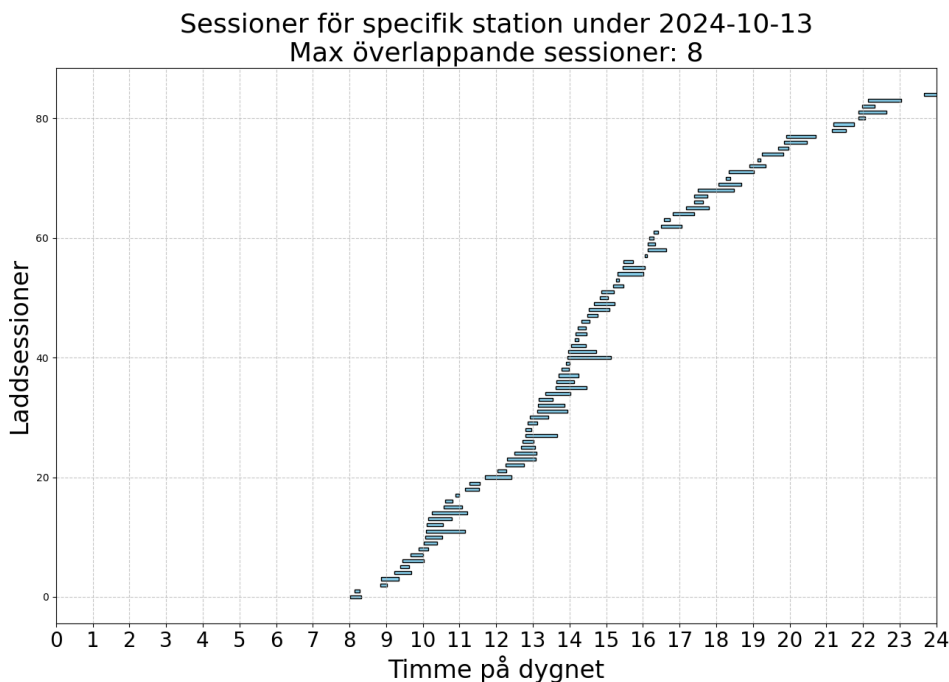
I figur 3.4 visas tidpunkterna på dygnet då laddningssessionerna sker vid den valda stationen. Under vardagar startar laddningsaktiviteten tidigare på morgonen, medan aktiviteten under helger är förskjuten några timmar senare på dagen. Detta antyder att människors dagliga rutiner och resvanor är avgörande faktorer för när laddstationerna används.



Figur 3.4: Genomsnittligt antal laddningssessioner per timme under dygnet för vardagar respektive helger vid den specifika laddstationen längs Europaväg 6.

3.1.4 Köbildning

För att få en uppfattning om i vilken utsträckning köbildning uppstår vid publika laddstationer längs Europaväg 6, granskades de dagar under oktober månad då den valda stationen uppvisade flest överlappande laddsessioner. Figur 3.5 nedan visar resultatet för 13 oktober 2024, då stationen noterades som mest åtta samtidiga sessioner. Eftersom den särskilda laddstation har åtta laddplatser tillgängliga, motsvarar detta stationens maximala kapacitet.



Figur 3.5: Sessionsdiagram för specifik station längs Europaväg 6 den 13:e oktober 2024

Diagrammet omfattar 85 separata laddtillfällen, där varje horisontell stapel motsvarar en enskild laddsession. Varje stapel löper längs x-axeln från sessionens start- till sluttid och dess längd ger därmed laddningens varaktighet. När flera sessioner överlappar varandra kan det indikera en potentiell köbildning, om den totala efterfrågan skulle överstiga antalet tillgängliga laddplatser. I detta fall skulle åtta överlappande sessioner kunna utgöra en potentiell risk för köbildning.

Utifrån vidareutvecklingen av antagandet att åtta överlappande sessioner kan innebära en risk för köbildning, konstaterades att det i oktober månad för den valda stationen endast uppstod körisk vid fyra tillfällen. Den vanligaste tidsperioden för köbildning var söndagar mellan 12:00 och 14:00.

3.1.5 Utnyttjandegrad

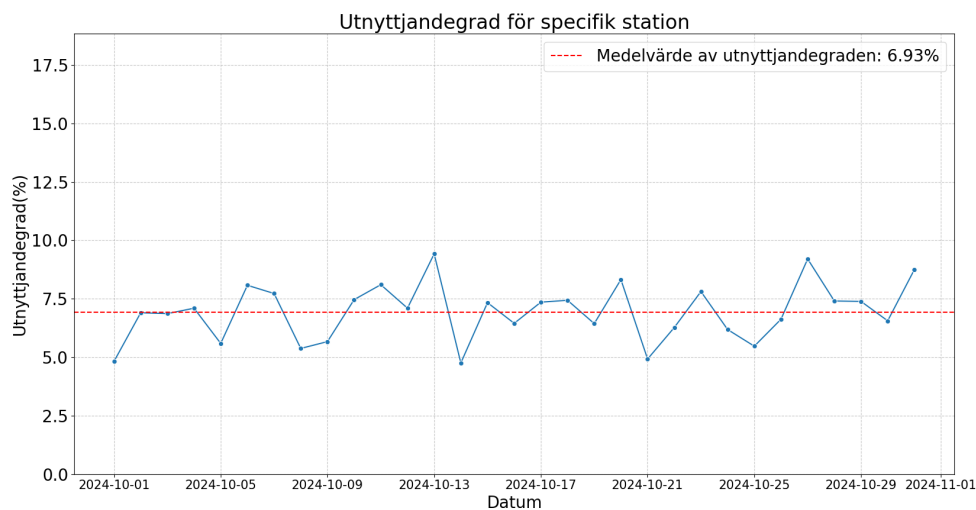
För att mäta hur väl specifika laddstationer används kan deras utnyttjandegrad beräknas. Utnyttjandegrad definieras enligt ekvation 2.1 som förhållandet mellan

den faktiska energileveransen och den teoretiska maxkapaciteten per dygn. Den teoretiska maxkapaciteten per dygn är:

$$\text{Teoretisk maxkapacitet} = \text{Antal laddplatser} \cdot \text{Laddningseffekt (kW)} \cdot 24(h) \quad (3.1)$$

Genom att jämföra den faktiska energikonsumtionen med denna maxgräns erhålls en tydligare bild av hur effektivt stationen utnyttjas. En låg utnyttjandegrad kan indikera att stationen har kapacitet att hantera fler fordon, medan en hög utnyttjandegrad kan tyda på att kapaciteten är nära sitt maximum, vilket kan leda till köbildning under högtrafik.

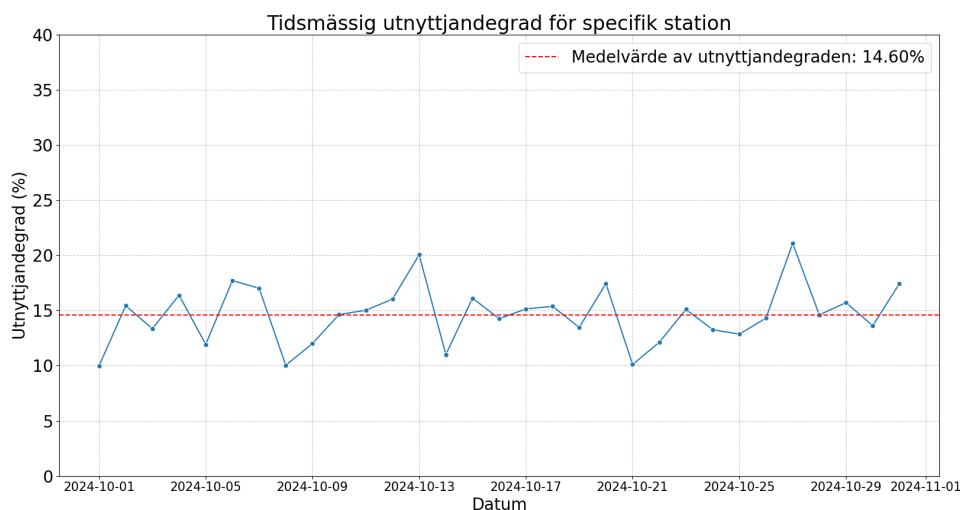
Figur 3.6 nedan visar utnyttjandegraden för den specifika stationen under en månadsperiod. Den röda punktade linjen representerar medelvärdet under perioden, medan den blå visar den dagliga utnyttjandegraden.



Figur 3.6: Utnyttjandegrad för specifik station längs Europaväg 6

Som framgår av diagrammet varierar utnyttjandet över tid, med tydliga återkommande toppar på söndagar, vilket överensstämmer med tidigare figur 3.3. Detta återkommande mönster kan vara en konsekvens av ökad trafik, exempelvis från långresor eller veckopendling.

Figur 3.7 nedan visar den tidsbaserade utnyttjandegraden, definierad i avsnitt 2.1.4 i ekvation 2.2, varje dag under en månadsperiod för den specifika laddstationen längs Europaväg 6.



Figur 3.7: Tidsmässig utnyttjandegrad för specifik station längs Europaväg 6

Resultatet för den tidsmässiga utnyttjandegraden visar högre värden än den energimässiga utnyttjandegraden. Detta beror på att bilar generellt sett inte kan ta emot den maximala effekten som erbjuds av operatörer (se avsnitt 2.1.3).

3.2 Modell

Modellen som byggts är en agentbaserad modell (ABM) som simulerar ett system med elbilar och snabbladdningstationer längs med en bestämd vägsträcka under en veckas tid. Modellens syfte är att jämföra dynamisk och fast prissättning vid laddstationerna och jämföra vardera rörelseresultat och utnyttjandegrad.

I modellen agerar elbilar och laddstationer som autonoma agenter med egna parametrar och beteenden. Elbilarna färdas längs en rak väg och stannar när de behöver ladda baserat på batterinivå. De fattar beslut om vart de ska ladda baserat på pris och kölängd vid laddstationerna, som sätter sina priser dynamiskt eller fast. Båda dessa typer av agenter uppdaterar sina parametrar och beteende över tid baserat på de förändringar som sker över tid i modellen. Nedan följer en mer detaljerad genomgång av samtliga delar i modellen.

3.2.1 Kunder

Kunderna representeras i modellen som elbilar och är en av de två typerna av autonoma agenter. Varje kund är med i en kundgrupp som därefter har sina egna preferenser för laddningsparametrar. Kundfaktorerna används vid laddningsbeslutet och multipliceras med laddstationens pris respektive kö för att välja den bästa laddstationen. Dessa parametrar kan hittas i tabell 3.1

Tabell 3.1: Parametrar för elbil

Parameter	Värde
Batteristorlek	60 kWh
Initialt laddningstillstånd (SOC)	Slumpmässigt mellan 20 och 80%
Priskänslighetsfaktor (α)	Mellan 0–1
Kökänslighetsfaktor (β)	Mellan 0–1
Energiförbrukning	0,2 kWh/km
Hastighet	100 km/h

3.2.1.1 Kundgrupper

I modellen delas kunderna upp i tre olika kundsegment, baserat på avsnitt 2.3.1. 20% av kunderna är bara priskänsliga, 20% av kunderna är bara kökänsliga och 60% av kunderna är både kökänsliga och priskänsliga. Om en kund endast är priskänslig sätts priskänslighetfaktorn till 1 och kökänslighetfaktorn till 0. Detta innebär att kunden endast väljer vilken station den ska ladda på beroende på vilken som har lägst pris. Om en kund är kökänslig sätts den faktorn till 1 och priskänslighetsfaktorn till 0. Detta innebär att valet av station endast beror på vilken som har kortast kö. Om en kund är både priskänslig och kökänslig beräknas en total vikt där priskänslighet viktas med faktorn 0,5 och kökänslighet med faktorn 1. Dessa faktorer är valda för att varje bil i kö ska väga lika tungt som en prishöjning på 2 kr/kWh. Antalet bilar i kö används som mått på väntetid istället för faktisk kötid, eftersom alla jämförda laddstationer har samma antal laddplatser. Detta gör måttet jämförbart mellan stationerna.

3.2.1.2 Trafikflöde

Modellen bygger på ett trafikflöde anpassat efter faktiska förhållanden för att efterlikna verkligheten. Trafikflödesdata från Trafikverket vid den valda platsen används för att uppskatta hur många bilar som kör förbi laddaren varje dag [67]. Därefter uppskattas andelen elbilar av alla fordon till 7% av det totala trafikflödet [68]. För att fördelningen av trafikflödet under ett dygn ska vara verklighetstroget fördelas fordonen på olika timmar på samma sätt som laddningssessionerna i datan från den faktiska laddstationen (se avsnitt 3.1.3).

3.2.1.3 Beslutsfattande

I modellen fattar varje kund beslut om huruvida den behöver ladda, och i så fall vid vilken laddstation. Detta beslut utvärderas varje gång kunden passerar en station. Sannolikheten att kunden väljer att ladda beror på dess aktuella batterinivå (SOC).

Om kunden väljer att ladda, väljs en station baserat på kundens känslighet för pris och kö. Kundens känslighetsfaktorer används för att beräkna ett viktat beslutsunderlag, där vikten beräknas enligt:

$$\text{Vikt} = \alpha \cdot p + \beta \cdot q$$

där:

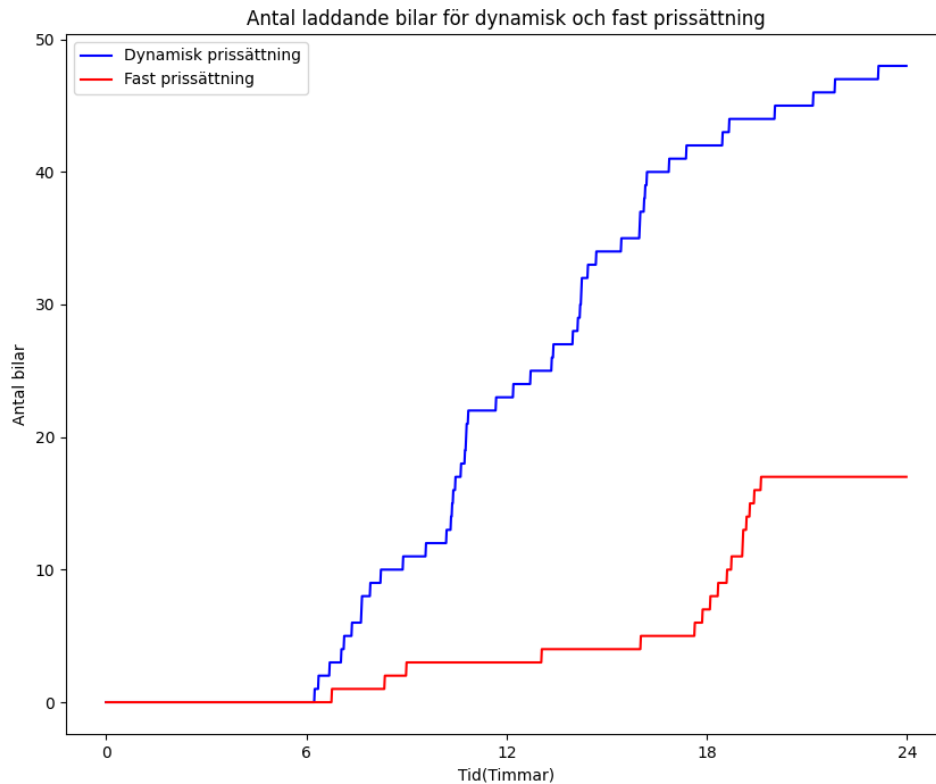
- α = kundens *priskänslighet*
- β = kundens *kökänslighet*
- p = pris vid stationen (kr/kWh)
- q = antal bilar i kö vid stationen

Priskänslighetsfaktorn multipliceras med stationens aktuella pris och kökänslighetsfaktorn multipliceras med antalet bilar i kö. Summan av dessa två värden avgör hur attraktiv en station upplevs av kunden.

Kunden kan i vissa extremfall även välja att köra vidare utan att ladda. Detta inträffar om något av följande villkor är uppfyllda:

- $p > 7$ kr/kWh för **priskänsliga kunder**
- $q > 2$ bilar för **kökänsliga kunder**
- $\alpha \cdot p + \beta \cdot q > 6$ för **kunder som är känsliga för både pris och kö**

I figur 3.8 ses ett exempel på data från en körning där en station med fast prissättning konkurrerar med en station som har dynamisk prissättning. De trappstegsliknande förändringarna i grafen illustrerar de tidpunkter då kunder fattar beslut om vilken station de ska välja. Besluten baseras på vikterna enligt viktformeln som presenterats ovan.

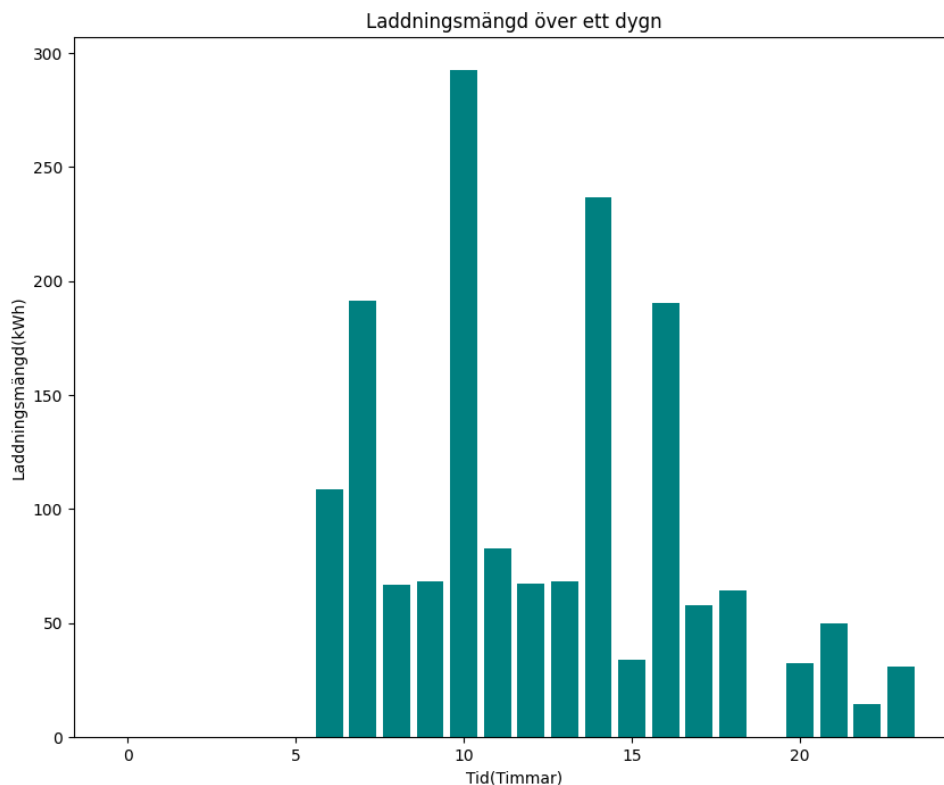


Figur 3.8: Antal bilar som väljer att ladda över ett dygn när en station med fast prissättning konkurrerar med en station med dynamisk prissättning.

3.2.1.4 Laddning

Om en kund tar beslutet att ladda kommer den antingen ställa sig på en ledig plats eller i kö om stationen är full. När en plats blir ledig kommer den som stått i kö längst tid ställa sig på den lediga platsen. Kunderna laddar sedan sitt batteri till 80% innan de kör vidare.

I figur 3.9 visas ett exempel på hur laddningen är utspridd över ett dygn i modellen som byggts.



Figur 3.9: Laddningsmängd i kWh under ett dygn.

3.2.2 Laddstationer

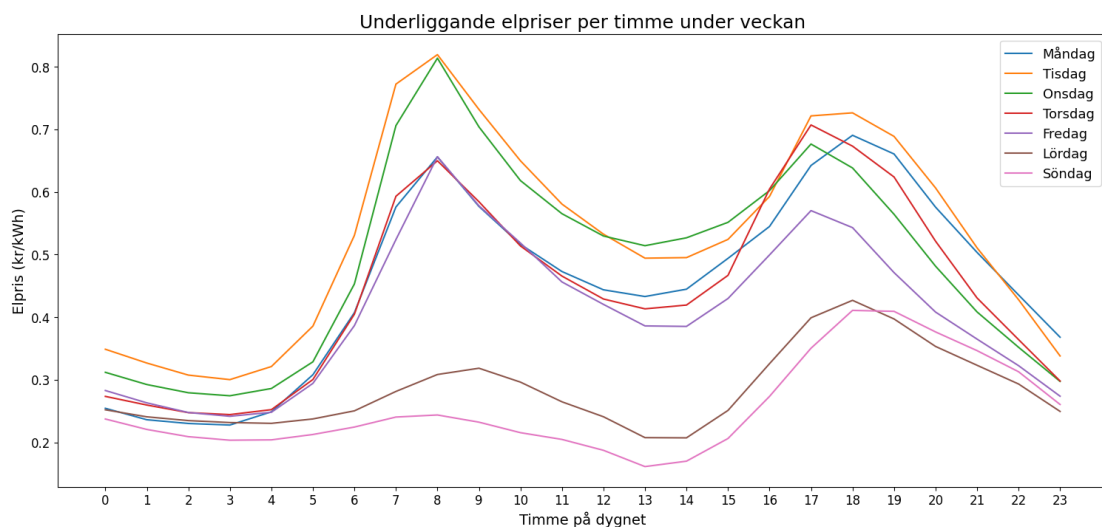
Laddstationer är den andra typen av agent i modellen och har egna parametrar med olika prissättningsmodeller. Dessa parametrar framgår av tabell 3.2. Det totala antalet laddpunkter i en simulering är alltid 8 stycken. Vid scenarion med två konkurrerande stationer delas laddpunkterna jämnt mellan dessa, det vill säga två stationer med 4 laddpunkter vardera. Vid fall utan konkurrens får en ensam station tillgång till samtliga 8 laddpunkter. Anledningen till detta är att förhållandet mellan kapaciteten och efterfrågan ska förbli oförändrad.

Tabell 3.2: Parametrar för laddstation

Parameter	Värde
Antal laddpunkter	4 eller 8
Prissättning	Dynamisk eller fast prissättning
Priser	Lista över priser varje timme
Effekt	150 kW

3.2.2.1 Underliggande elpris

Det underliggande elpriset blir en kostnad för laddstationerna eftersom det avgör vilket pris de betalar för elen som elbilarna laddar. Dessutom avgör det underliggande elpriset vilket pris den dynamiska prismodellen sätter vid varje tillfälle. För att få en rimlig uppskattning av hur det underliggande elpriset varierar över tid används ett genomsnitt från elbörsen år 2024. [66]. För varje timme på dygnet, för varje veckodag används ett genomsnittligt underliggande elpris och implementeras i modellen. Dessa priser går att se i figur 3.10.



Figur 3.10: Genomsnittligt underliggande elpris per timme över veckan.

3.2.2.2 Prissättning

För att undersöka hur olika prismodeller påverkar laddstationernas resultat implementeras flera typer av prissättningsstrategier i modellen. Nedan presenteras de olika modellerna, inklusive både fasta och dynamiska varianter, samt de specifika regler som styr priset i varje fall. Alla priser som anges är inklusive moms.

Fast prissättning

Vid fast prissättning är priset konstant oavsett tid på dygnet eller efterfrågan.

Pris: 5,99 kr/kWh

Dynamisk prissättning baserad på efterfrågan

I denna modell justeras priset utifrån trafikflödet under den aktuella timmen. Multiplikatorn 0,025 har valts för att prisnivån ska variera på ett realistiskt sätt kring det fasta priset, baserat på trafikintensiteten. Detta säkerställer att priset både kan understiga och överstiga den fasta prissättningen på ett sätt som är rimligt i förhållande till verkliga marknadsförhållanden.

Pris:

$$\text{Pris} = 4 + 0,025 \cdot \text{trafikflöde (antal fordon per timme)} \quad [\text{kr/kWh}]$$

Dynamisk prissättning baserad på spotpris

Här sätts priset utifrån det aktuella spotpriset på el. Om spotpriset är lågt hålls priset på en lägstanivå. Faktorn 10 har valts för att transformera spotpriset till en nivå som motsvarar rimliga laddpriser i svenska förhållanden, vilket gör att det dynamiska priset fluktuerar kring det fasta priset och speglar verkliga variationer i elmarknaden.

Pris:

$$\text{Pris} = \max(4, 10 \cdot \text{spotpris}) \quad [\text{kr/kWh}]$$

Halvdynamisk prissättning

I denna modell används ett högre pris under eftermiddagens period med hög belastning, medan ett lägre pris tillämpas övrig tid. Denna modell kan liknas vid Teslas implementering av dynamisk prissättning som syftar till att sänka belastningen på elnätet då den är som störst (se avsnitt 2.5.1).

Pris:

- 5,99 kr/kWh mellan kl. 16:00–20:00
- 4,5 kr/kWh under övriga tider på dygnet

Dynamisk prissättning med pristak (spotpris)

Denna modell liknar dynamisk prissättning baserad på spotpris men begränsar priset så att det aldrig överstiger 5,99 kr/kWh.

Pris:

- Om $10 \cdot \text{spotpris} \leq 5,99 \text{ kr/kWh} \Rightarrow$ används detta värde
- Annars \Rightarrow priset sätts till 5,99 kr/kWh

3.2.2.3 Resultaträkning

I resultaträkningen för de olika stationerna i modellen är den enda intäkten det kunderna betalar för att ladda. Detta beräknas genom antal kWh kunderna har laddat multiplicerat med det gällande priset (exklusive moms). Kostnaderna består dels av rörliga och fasta kostnader. De rörliga kostnaderna består av det underliggande elpriset. Detta beräknas genom antalet kWh kunderna har laddat multiplicerat med det gällande underliggande elpriset. De fasta kostnaderna beräknas sedan enligt A.2 och slås ut över 10 år. De fasta kostnaderna räknas sedan om till vad en minut motsvarar i fasta kostnader. Dessa kostnader dras av varje minut i modellen.

3.2.3 Simuleringsprogram baserat på modell

För att implementera modellen har ett simuleringsprogram utvecklats i Python. Programmet hanterar interaktionen mellan elbilar och laddstationer längs en vägsträcka, där varje agent agerar utifrån sina parametrar och uppdaterar sitt beteende över tid. Simuleringen möjliggör insamling av data för att analysera effekterna av de olika prissättningsmodellerna.

Vid simuleringens start initieras en vägsträcka på 100 km, där laddstationerna är placerade efter 50 km på vägen. Underliggande parametrar såsom elpris, timvis trafikflöde och respektive stations prisnivå fastställs. För att säkerställa reproducerbarhet initieras en slumpgenerator.

Själva körningen sker i diskreta tidssteg som motsvarar en minut. Vid varje tidssteg genereras nya kunder enligt det aktuella trafikflödet. Om trafikflödet överstiger 60 kunder per timme påbörjar $\frac{\text{trafikflöde}}{60}$ kunder sin resa per minut, annars är sannolikheten för att en kund startar sin resa varje minut $\frac{\text{trafikflöde}}{60}$. Till exempel innebär ett trafikflöde på 120 kunder per timme att 2 kunder genereras varje minut. Om trafikflödet istället är 30 kunder per timme är sannolikheten att en kund genereras 50 % varje minut. När en kund skapas sätts dess kökänslighet och priskänslighet enligt avsnitt 3.2.1.1. Under pågående resa förflyttar sig samtliga kunder med en konstant hastighet motsvarande 1,67 km per minut (100 km/h), tills de antingen når vägsträckans slut eller beslutar sig för att ladda. När en kund befinner sig inom 1,67 km från stationerna utvärderas batterinivån mot en sannolikhetstabell som visas i tabell 3.3. Värdena för de olika sannolikheterna sätts för att bäst motsvara laddningsmönstret vid den valda stationen som presenteras i avsnitt 3.1.3

Tabell 3.3: Sannolikhet att ladda

Batterinivå	Sannolikhet att ladda
SOC > 40%	0
30% < SOC < 40%	0.05
20% < SOC < 30%	0.2
SOC < 20%	1

Om kunden väljer att ladda beräknas för varje station en vikt enligt avsnitt 3.2.1.3. Skulle ingen stations vikt vara mindre än vad kunden tolererar väljer kunden istället att köra vidare (se avsnitt 3.2.1.3). Annars väljer kunden den station som har lägst vikt, och vid lika vikt slumpas valet.

Om kunden anländer till den valda stationen och samtliga laddplatser är upptagna ställer sig kunden i kö och väntar tills en plats blir ledig innan laddning påbörjas. När batterinivån uppnår 80 % avbryts laddningen och kunden fortsätter sin resa mot vägsträckans slut. Vid varje tidssteg beräknas dessutom det aggregerade

rörelseresultatet enligt avsnitt 3.2.2.3 och utnyttjandegrad enligt 2.6.2.

För att jämföra effekterna av de olika prismodellerna genomförs flera simuleringar där parametrar och förutsättningar hålls konstanta för att isolera prissättningens påverkan. Simulering för varje prismodell genomförs tio gånger med tio olika genererade slumpfaktorer, detta för att minska påverkan från slumpmässiga variationer i modellen. Med slumpmässiga variationer avses till exempel variationer i när elbilsanvändare väljer att ladda sina fordon, deras val av laddstation, samt hur trafiken fördelar sig över dygnet. Dessa beteenden styrs delvis av sannolikhetsfördelningar i modellen och kan därför variera något mellan simuleringar, även om alla andra parametrar hålls lika. Det slutgiltiga resultatet för varje prismodell beräknas sedan som genomsnittet av dessa tio körningar.

Resultatet från simuleringarna analyseras utifrån köbildning, laddbeteende och laddstationernas ekonomiska utfall. För att underlätta tolkningen av resultaten visualiseras dessa med hjälp av matplotlib, där diagram genereras för exempelvis rörelseresultat över tid.

Simuleringsprogrammet har utformats så att parametrar som antalet laddstationer, antal laddpunkter per station, trafikflöde samt elprisdata enkelt kan justeras, vilket gör modellen flexibel och lätt att återanvända för vidare arbete. Använda programbibliotek samt deras versioner går att se i tabell 3.4

Tabell 3.4: Programbibliotek och versioner

Programbibliotek	Python	Matplotlib
Version	3.12.2	3.10.1

4

Resultat och diskussion

Avsnittet redovisar och diskuterar resultaten från simuleringarna som genomförts för att utvärdera hur de olika prissättningsmodellerna från avsnitt 3.2.2.2 påverkar både laddstationers lönsamhet samt aspekter kopplade till kundnöjdhet. Stationernas lönsamhet presenteras i form av rörelseresultatet¹, som motsvarar ett mått på stationens lönsamhet utan att ta hänsyn till mindre relevanta externa faktorer, som verksamhetens finansieringsstruktur och skatt. Detta lönsamhetsmått möjliggör en jämförelse av stationernas ekonomiska prestation på ett neutralt sätt. För att komplettera den ekonomiska analysen presenteras även hur de olika prismodellerna influerar kundrelaterade faktorer, såsom stationens kötid och utnyttjandegrad.

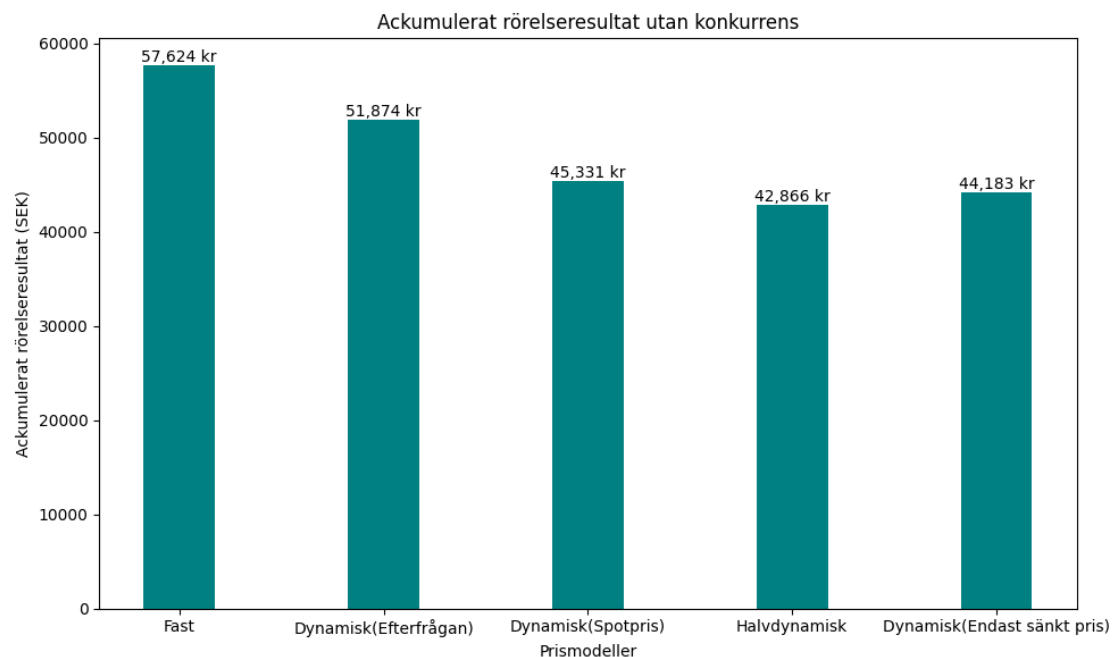
Resultatet delas upp utefter ett flertal simulerade scenarier, där prismodellerna först utvärderas utan utomstående konkurrens och därefter i konkurrenssituationer. Vidare analyseras hur modellen påverkas av varierande efterfrågan och avvikande kundbeteenden. Dessutom utvärderas vilken effekt möjligheten för kunder att förflytta laddningen i tiden har på modellens utfall. Avslutningsvis diskuteras även dagens implementering av dynamiska prismodeller och möjlig framtida forskning inom området.

4.1 Prismodellerna utan konkurrens

I figur 4.1 redovisas resultaten från simuleringen där en station med 8 laddplatser tillämpar olika prismodeller utan konkurrens från andra stationer. För varje prismodell har simuleringens modell körts separat, och kunderna har endast kunnat välja mellan att ladda vid denna station eller att avstå helt. Syftet med denna simulering är att få en förståelse för hur prismodellerna uppträder utan konkurrens. De prismodeller som undersökts är fast prissättning, dynamisk prissättning med avseende på efterfrågan, dynamisk prissättning med avseende på spotpriset på el, halvdynamisk prissättning och dynamisk prissättning med avseende på spotpriset på el men endast lägre priser än fast prissättning (se avsnitt 3.2.2.2).

¹Ett lönsamhetsmått som presenterar vinsten för ett företag efter avdrag för avskrivningar, före räntor och skatter. Likt rörelsemarginalen (se avsnitt 2.6.2) grundar det sig i att mäta hur mycket lönsamhet en station genererar från själva verksamheten. Rörelseresultatet är ett absolut mått och presenteras som en summa i kronor, till skillnad från rörelsemarginalen, som är ett relativt mått och presenterar lönsamheten i procent

4.1.1 Resultat av simulering utan konkurrens



Figur 4.1: Rörelseresultat för de olika prismodellerna när de får verka utan konkurrens under en veckas simulering.

Figur 4.1 visar att den prismodell som genererar högst rörelseresultat utan konkurrens är fast prissättning. Därefter kommer dynamisk prissättning med avseende på efterfrågan, dynamisk prissättning med avseende på spotpriset på el, dynamisk prissättning som endast sänker priset och halvdynamisk prissättning i den ordningen. Den fasta prismodellen har ett rörelseresultat som är 34% högre än den prismodell som presterar sämst. Jämfört med den bästa dynamiska prismodellen har den fasta prismodellen ett rörelseresultat som är 11% högre.

4.1.2 Diskussion av simulering utan konkurrens

Enligt teorin (se avsnitt 2.5.2) antyds att prissättningens betydelse på marknader som präglas av få aktörer och låg konkurrens är mindre relevant eftersom behovet av att använda priset som konkurrensfördel minskar. Vid simuleringen (se avsnitt 4.1.1) har kunderna inget alternativ att välja mellan olika stationer och stationens monopolställning medför att de praktiskt taget blir prissättare på marknaden, varav en dynamisk prissättningsmodell som resulterar i ett lägre genomsnittligt laddpris endast drar ner rörelseresultatet.

Detta kan även förklaras utifrån efterfrågans priselasticitet (se avsnitt 2.2.2). Eftersom laddning är en nödvändig tjänst och kunderna i denna simulering inte har något alternativ så kommer majoriteten av dem ladda bilen oavsett prisnivå (så länge den inte upplevs orimlig varav de väljer att inte ladda alls). Den

begränsade valfriheten hos kunderna resulterar i att intäkterna maximeras genom att hålla ett konstant högt pris istället för att justera priset över tid. Dessutom spelar skillnaderna i betalningsvilja mellan de olika kundsegmenten (se avsnitt 3.2.1.1) mindre roll eftersom även de priskänsliga kunderna saknar valmöjlighet och måste acceptera den erbjudna prisnivån. Dessa kunder hade i vanliga fall letat efter billigare alternativ. I denna simulering finns det därmed en stark korrelation mellan stationens genomsnittliga pris vid laddning och dess lönsamhet, där den fasta prismodellen resulterar i det högsta genomsnittliga priset.

4.1.2.1 Begränsningar och tolkning

Viktigt att nämna är dock att en implementering av en dynamisk prismodell med högre priser än den fasta prismodellen skulle resultera i ett högre rörelseresultat. Valet av prissättning motiveras i avsnittet 3.2.2.2. Modellen beaktar dessutom inte att vissa dynamiska modeller kan medföra kostnader vid implementering, vilket enligt teorin [44] antyds kunna vara ytterligare en faktor som medför att fast prissättning är mer lönsamt på en marknad med låg eller ingen konkurrens. Därmed bör det understrykas att resultatet inte bör tolkas som en jämförelse mellan dynamiska och fasta prismodeller på en generell nivå, utan enbart en jämförelse mellan de specifika prismodellerna som implementerats inom ramarna för modellen och i en marknadssituation utan konkurrens.

4.1.2.2 Sammanfattning

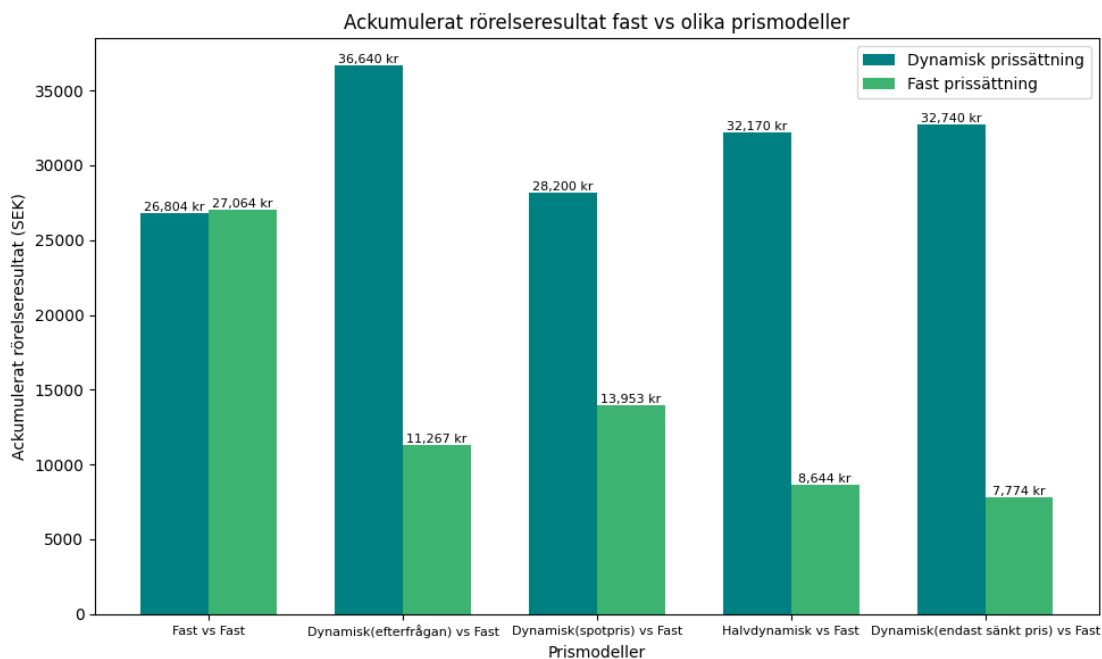
Sammanfattningsvis tyder teorikopplingen och resultatet från simuleringen (se avsnitt 4.1.1) på att frånvaron av konkurrens eliminerar många av de drivkrafter som motiverar dynamisk prissättning. Detta förklarar varför stationen med fast prissättning leder till högst rörelseresultat i simuleringen.

4.2 Prismodellerna med konkurrens

I detta scenario ställs de olika dynamiska prismodellerna mot fast prissättning i en konkurrensutsatt marknadssituation. Figur 4.2 och 4.3 visar resultatet av simuleringen där kunder har valet att antingen ladda hos en av de två konkurrerande stationer som är placerade intill varandra, eller helt avstå att ladda. Jämförelserna utgår från ett grundscenario där båda stationerna tillämpar fast prissättning, för att sedan visualisera hur rörelseresultatet och utnyttjandegraden påverkas om en av aktörerna väljer att övergå till en alternativ dynamisk prismodell. Den ena stationen erbjuder laddning till ett fast pris på 5,99 kr/kWh under hela dygnet och den andra stationen har ett varierande pris som sätts utifrån de olika varianterna på dynamisk prissättning (se avsnitt 3.2.2.2). Syftet med simuleringen är att undersöka hur stationernas lönsamhet och utnyttjandegrad påverkas av yttre konkurrens.

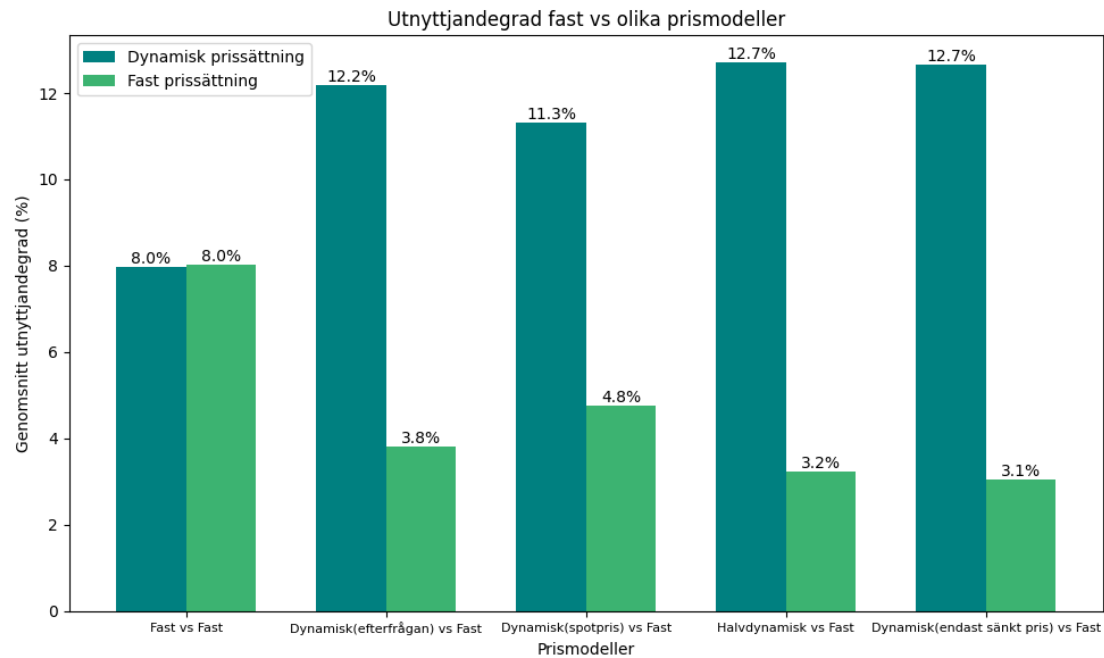
4.2.1 Resultat av simulering med konkurrens

Figur 4.2 visar att dynamisk prissättning i samtliga fall leder till ett högre rörelseresultat jämfört med en konkurrerande station som tillämpar fast pris. Den största skillnaden i lönsamhet uppstår när den dynamiska prissättningen baseras på efterfrågan, vilket också är den modell som ger det högsta rörelseresultatet totalt sett.



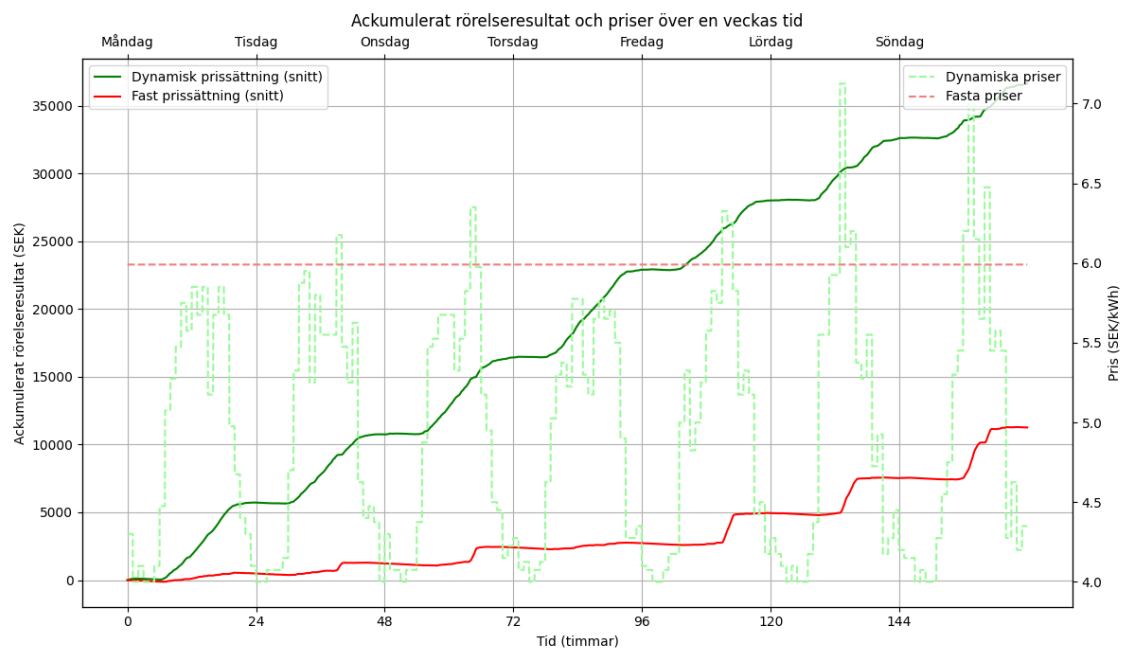
Figur 4.2: Rörelseresultat för de olika prismodellerna när de oberoende av varandra konkurrerar mot fast prissättning. Mätningen längst till vänster i diagrammet motsvarar grundscenariot, där två stationer med samma fasta prismodell konkurrerar. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.

I figur 4.3 visualiseras utnyttjandegraden för de konkurrerande stationerna vid samma körning som ovan i figur 4.2. Även i denna aspekt presterar stationer med dynamiskt satta priser bättre än den med fast pris i samtliga fall. Samtliga stationer med dynamiska prismodeller uppnår en utnyttjandegrad mellan 11-13%, medan stationerna med fast prissättning som bäst uppnår en utnyttjandegrad på knappt 5% då den utsätts för konkurrens av den dynamiska stationen. Längst till vänster i figur 4.2 och 4.3 visualiseras en körning där båda konkurrerande stationer har fast prissättning med samma prisnivå, där ingen nämnvärd skillnad mellan deras prestation kan urskiljas. Detta är en konsekvens av att kunderna väljer station slumpmässigt, givet att priset och körlängden är densamma.



Figur 4.3: Utnyttjandegrad för de olika prismodellerna när de oberoende av varandra konkurrerar mot fast prissättning. Resultatet motsvarar en veckas simulering.

Figur 4.4 visualiserar hur priset och rörelseresultat för två konkurrerande stationer utvecklas under en veckas tid. Stationen som prissätter baserat på efterfrågan erbjuder ett lägre pris per kWh under majoriteten av tiden, där endast ett fåtal toppar i efterfrågan resulterar i en prishöjning som överstiger stationen med fast pris. Dessa pristoppar sammanfaller med de få tillfällen som majoriteten av kunderna väljer stationen med fast prissättning, vilket avspeglas i den fasta grafens trappstegsliknande utveckling. Pristopparna hos denna dynamiska prismodell är både högre och pågår under en längre tid mot slutet av simuleringen, vilket motsvarar dess utveckling under helgen.



Figur 4.4: Genomsnittligt rörelseresultat över tid för två konkurrerande stationer: en med dynamisk prissättning baserat på efterfrågan (grön kurva) och en med fast pris (röd kurva). De heldragna strecken i grafen visar hur genomsnittligt ackumulerat rörelseresultat utvecklas över en veckas period (måndag till söndag), baserat på resultat från 10 simuleringar. De streckade linjerna visar hur priset som respektive aktör sätter varierar under samma tidsperiod, där prisenivån i kr / kWh kan avläsas mot sekundäraxeln till höger i diagrammet.

4.2.2 Diskussion av simulering med konkurrens

De konkurrerande fallen i avsnitt 4.2.1 kan tolkas som en situation där det tidigare funnits två stationer med identiska fasta prisstrategier, varav den ena sedan övergår till dynamisk prissättning. Resultatet illustrerar att den aktör som börjar med dynamiska priser lyckas attrahera fler kunder och därmed förbättrar både utnyttjandegraden samt rörelseresultatet. Detta resultat överensstämmer väl med teorin (se avsnitt 2.5.2) om att dynamisk prissättning är effektivt vid konkurrensutsatta marknader där kundbasen innefattar spridd betalningsvilja och efterfrågans fördelning varierar under dygnet.

4.2.2.1 Effekter av priskänslighet och konkurrens

Den främsta förklaringen bakom att stationerna med dynamisk prissättning presterar bättre är att marknaden i hög grad domineras av priskänsliga kunder. Modellens kundsegment (se avsnitt 3.2.1.1), som härleds med stöd från teorin, utgörs av en kundbas där 80% av kunderna på laddmarknaden väger in pris som en viktig faktor vid val av laddstation. Eftersom laddning av el är en homogen tjänst och elen är densamma oberoende av vilken station kunderna väljer att ladda på, blir priset en avgörande konkurrensfaktor. Efterfrågan på laddning blir därmed mer elastisk i förhållande till priset och en prissänkning hos den dynamiska

stationen leder då till en ökad efterfrågan från den pris känsliga kundgruppen. Detta förklarar varför den dynamiska prismodellen med lägre pris under lågtrafikperioder lockar till sig fler kunder vilket resulterar i både högre utnyttjandegrad och rörelseresultat.

Effekten av detta illustreras väl i figur 4.4 där rörelseresultatet för stationen med dynamisk prissättning med avseende på efterfrågan växer som kraftigast så länge priset är lägre än den fasta prismodellen. Vid de få tillfällen då priset på stationen med dynamisk prissättning överstiger det fasta priset väljer majoriteten av kunderna istället stationen med fast prissättning. Detta fenomen blir speciellt tydligt på helgen där stationen med fast prissättning gör som störst tillväxt vad gäller lönsamhet. En förklaring till varför pristopparna hos den dynamiska prismodellen är kraftigare på helgen är att den underliggande datan (se avsnitt 3.1.3) som modellen använder för att simulera efterfrågan är högre och mer koncentrerad på helgerna. En konsekvens blir att den dynamiska prismodellen (se avsnitt 3.2.2.2) höjer priset till följd av det ökade trafikflödet och dess prisnivå passerar då vissa timmar över prisnivån för stationen med fast pris. Att stationen med fast prissättning fortfarande uppvisar ett positivt rörelseresultat, trots att dess pris emellanåt är högre än konkurrentens, kan förklaras av att 20% av kunderna på marknaden är prisokänsliga.

4.2.2.2 Utnyttjandegrad och lönsamhet

Den förbättrade utnyttjandegrad och det ökade rörelseresultat som den dynamiska modellen uppvisar bekräftar teorin om ett positivt samband mellan hög utnyttjandegrad och ökad lönsamhet (se avsnitt 2.6.2). Teorin säger att en högre utnyttjandegrad medför att de fasta kostnaderna fördelas över en större energimängd, vilket sänker kostnader per kWh och höjer rörelsemarginalen (se figur 2.4 och 2.5). Denna mekanism utgör därmed en viktig grund till varför dynamisk prissättning resulterar i ett högre rörelseresultat än stationen med fast pris, trots ett lägre genomsnittligt pris vid laddning.

Sambandet mellan en högre utnyttjandegrad och en ökad lönsamhet är dock inte konsekvent i alla situationer, då ytterligare faktorer utöver utnyttjandegraden kan påverka utfallet. Detta återspeglas i resultatet genom att de dynamiska prismodeller som uppnår högst utnyttjandegrad (halvdynamisk och dynamisk endast sänkt pris) inte resulterar i högst rörelseresultat (se figur 4.3). Trots att dynamiska prismodellen baserad på efterfrågan har en utnyttjandegrad som motsvarar 0,5 procentenheter lägre än de bäst presterande modellerna i detta avseende, genererar den ett rörelseresultat som är cirka 13% högre. Orsaken bakom detta grundar sig i att den dynamiska prismodellen som följer efterfrågan lyckas få kunder att ladda till ett högre genomsnittligt pris, i jämförelse med de andra två. I figur 2.5 illustreras konceptet tydligt, där en laddpunkt med lägre utnyttjandegrad kan uppnå en högre rörelsemarginal om priset som laddningen säljs för är högre. Sammantaget belyser resultatet att kopplingen mellan utnyttjandegrad och lönsamhet i stora drag stämmer väl med simuleringen, men den är inte entydig. Även pris per kWh är en viktig faktor att beakta vid lönsamhetsanalys.

4.2.2.3 Begränsningar och marknadens mottagande

Det är dock viktigt att påpeka att denna initiala förbättring i lönsamhet sannolikt endast är relevant på kort sikt. Eftersom laddning i princip kan ses som en homogen tjänst (se avsnitt 2.2.2), är möjligheten till differentiering kraftigt begränsad. Detta innebär att priset snabbt blir det centrala konkurrensmedlet och följaktligen kommer konkurrerande aktörer att tvingas möta den dynamiska prismodellen med egna prisjusteringar för att inte förlora kunder. Den långsiktiga konsekvensen är därmed en gradvis nedåtgående prispress, vilket på sikt leder till att marknadskrafterna konvergerar mot en jämvikt. I ett sådant läge medför konkurrensen att aktörerna på marknaden blir pristagare istället för prissättare och vinstmarginalerna pressas ytterligare (se avsnitt 2.2.1), vilket i sin tur skapar ett ökat behov av antingen differentiering eller kostnadsminskning genom utnyttjandeoptimering för att förbli lönsamma.

En viktig aspekt som modellen inte fångar upp i detta scenario är marknadens reaktion på de olika prismodellerna. Vid jämförelse av prismodellen som följer spotpriset och modellen som följer spotpriset men endast sänker priset (aldrig passerar det fasta priset av 5,99 kr per kWh) presterar den sistnämnda bäst. Resultatet ligger i linje med teorin om förlustaversion (se avsnitt 2.3.2), att kunder reagerar starkare på prishöjningar än prissänkningar. I en verklig situation kan därmed en prismodell som aldrig överstiger referenspriset som den fasta stationen erbjuder antas få ett bättre mottagande av marknaden.

Vid jämförelse mellan den dynamiska prismodellen baserad på efterfrågan och spotpris säger teorin (se avsnitt 2.3.2) att marknaden reagerar bättre på prishöjningar som motiveras som en konsekvens av externa faktorer. Således kan det antas att en aktör som kommunicerar prishöjningar till följd av högre kostnader (på grund av höjt spotpris) tas emot bättre än endast högre efterfrågan. Ytterligare en aspekt av kundmottagande som inte modellen fångar är det faktum att priserna är relativt volatila sett över dygnet för den efterfrågebaserade modellen. En styrka hos fast prissättning är dess kundacceptans till följd av dess förutsägbarhet (se avsnitt 2.5), vilket troligtvis är varför många av dagens aktörer valt denna implementering. Av figur 4.4 framgår att priserna kan variera kraftigt både högt över och under det fasta referenspriset, vilket i verkligheten kan tänkas skapa missnöje hos vissa kunder som väljer att inte ladda på stationen igen som en konsekvens. En metod som aktörer kan tillämpa för att dämpa de negativa effekterna som följer av den dynamiska prismodellens oförutsägbarhet är genom att kombinera den med prissignaler eller nudging. Kunder blir då informerade i förväg om förväntade pris- och belastningsnivåer, vilket enligt teorin (se avsnitt 2.3.3) kan bidra till att öka marknadens acceptans samtidigt som belastningen på stationen blir jämnare.

4.2.2.4 Sammanfattning

Sammantaget visar resultaten på att dynamisk prissättning är särskilt effektiv när aktörer kan använda priset för att styra efterfrågan i en konkurrenssituation.

Genom att erbjuda attraktiv prissättning under lågtrafikperioder lyckas de dynamiskt prissättande stationerna uppnå både en hög utnyttjandegrad och bättre lönsamhet än den konkurrerande stationen med fast prissättning.

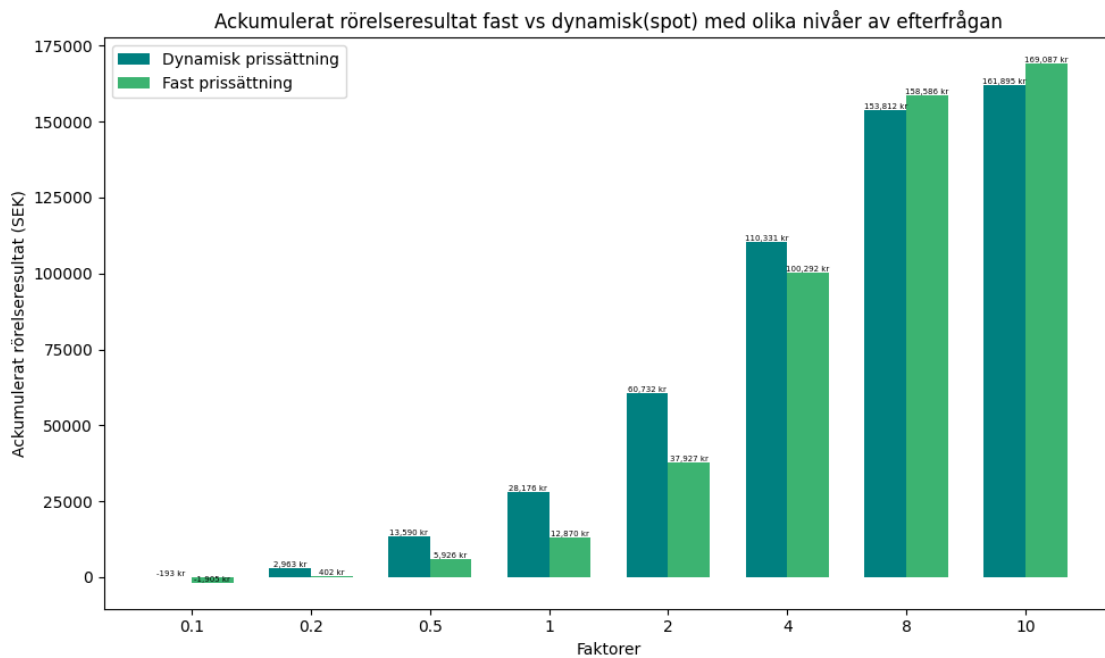
4.3 Simulerad variation i efterfrågan

I detta avsnitt presenteras och diskuteras resultat från scenarion som bygger vidare på samma situation som presenterades i avsnitt 4.2, men med skillnaden att modellen visualiserar hur de konkurrerande stationerna påverkas av varierande efterfrågan. Efterfrågan har skalats om genom att multiplicera trafikflödet med faktorer från 0,1 till 10, vilket motsvarar kraftiga temporära förändringar i trafikflöde. Syftet med denna simulering är att undersöka modellens känslighet för förändringar i trafikflödet samt dess reaktion på extrema och kortsiktiga belastningstoppar.

4.3.1 Resultat av variation i efterfrågan

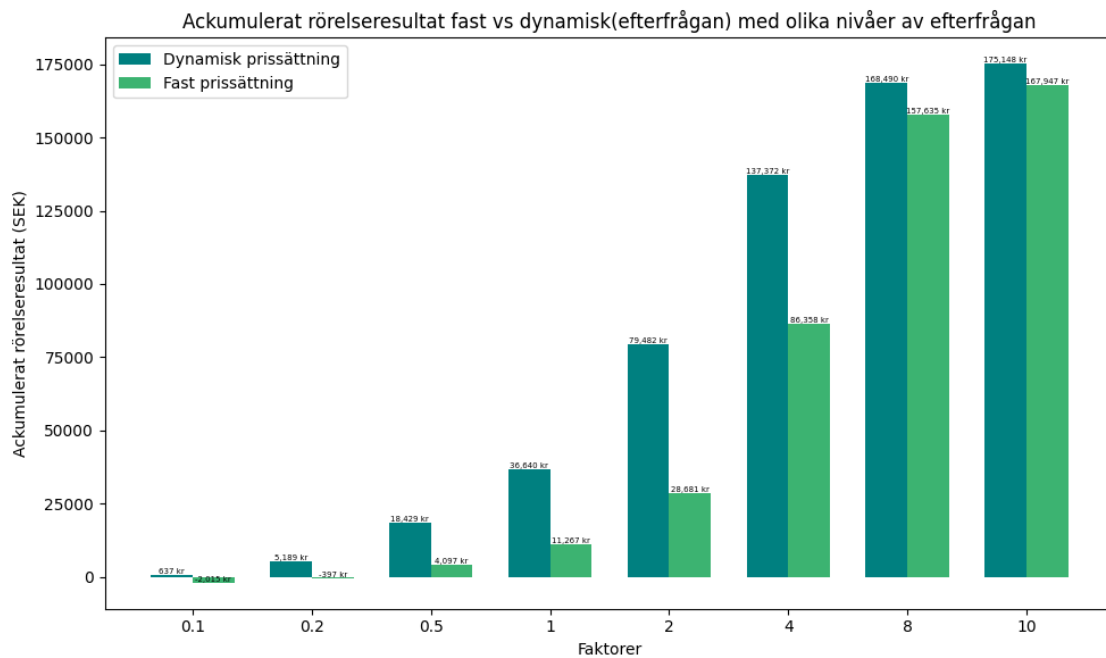
Figur 4.5 visar resultaten från simuleringar där fast prissättning jämförs med en dynamisk modell som justerar priset baserat på spotpriset. Den dynamiska prissättningen genererar ett högre rörelseresultat än fast prissättning vid samtliga efterfrågenivåer upp till 4 gånger normal efterfrågenivå. Det är först vid en trafikflödesfaktor på 8 som fast prissättning börjar generera något högre rörelseresultat än dynamisk prissättning. Vid faktor 8 och 10 är den procentuella skillnaden mellan den dynamiska prismodellen och den fasta mindre än för lägre efterfrågenivåer.

4. Resultat och diskussion



Figur 4.5: Totalt rörelseresultat för fast prissättning som konkurrerar med dynamisk (spotprisbaserad) prissättning vid olika efterfrågenivåer. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.

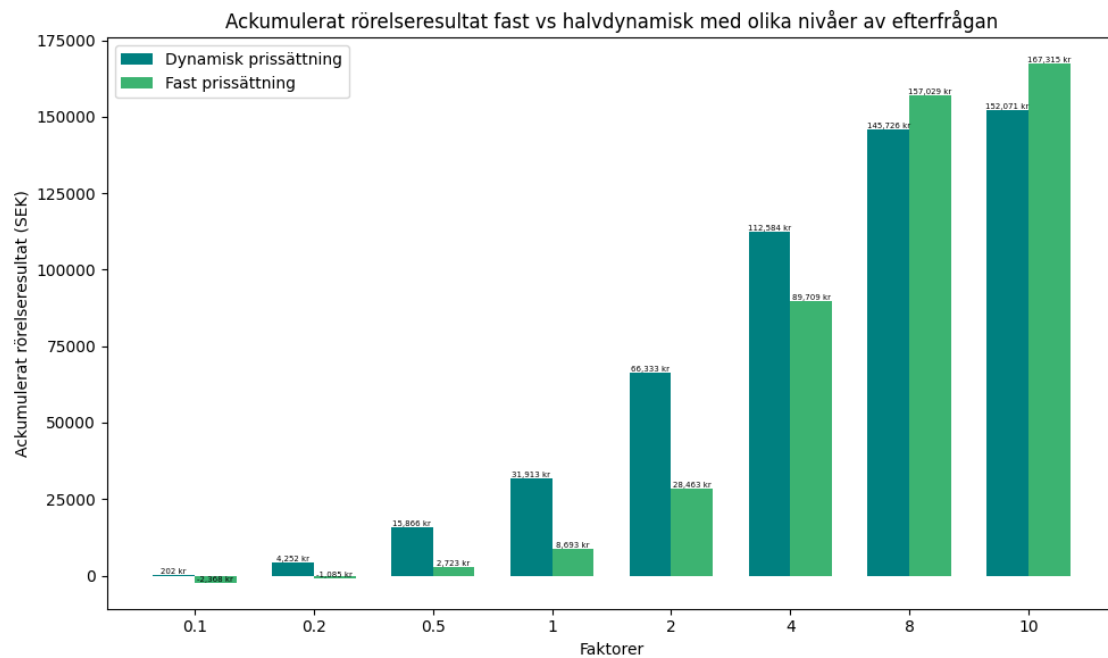
Resultatet i figur 4.6 visar att den efterfrågebaserade dynamiska modellen konsekvent genererar ett högre rörelseresultat än fast prissättning vid samtliga efterfrågenivåer. Skillnaden är särskilt tydlig vid låga till måttliga trafikflödesfaktorer (0,1 - 4). Vid extremt höga trafikflödesfaktorer, såsom 8 till 10 gånger högre efterfrågan än normalnivå, minskar skillnaden, men den dynamiska modellen presterar fortfarande något bättre.



Figur 4.6: Totalt rörelseresultat för fast prissättning som konkurrerar med dynamisk (efterfrågebaserad) prissättning vid olika efterfrågenivåer. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.

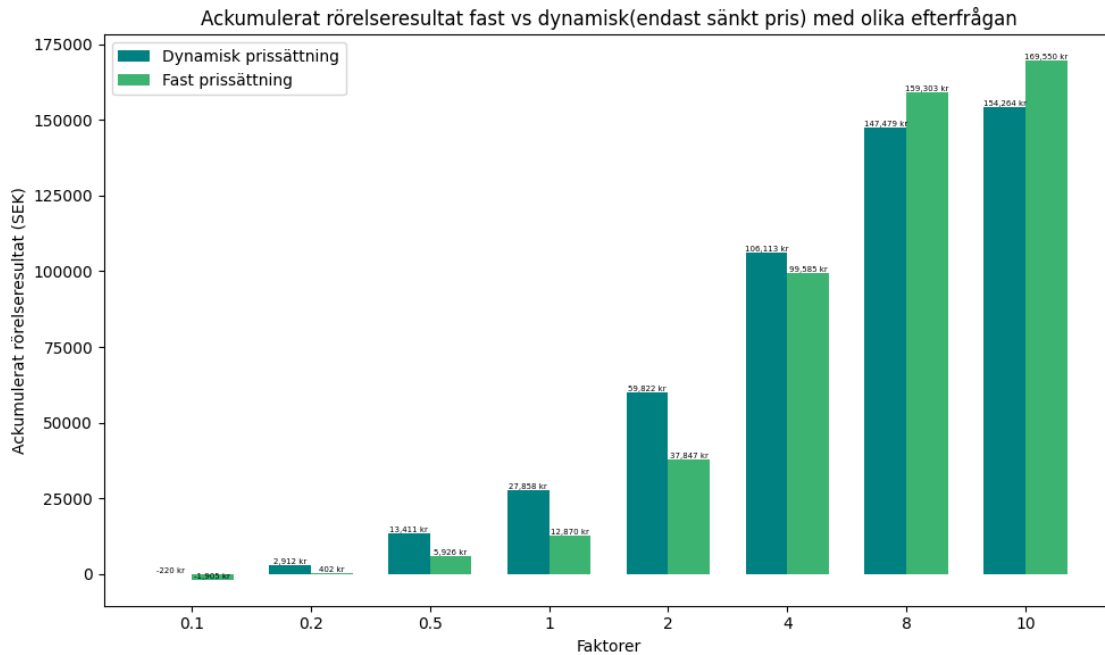
Figur 4.7 visar en jämförelse mellan fast prissättning och en halvdynamisk modell. Resultaten visar att med trafikflödesfaktorerna 0,1–4 genererar den halvdynamiska modellen ett högre rörelseresultat än den fasta. Vid de högsta efterfrågenivåerna (faktor 8 och 10) börjar skillnaden minska och den fasta prismodellen blir mer lönsam.

4. Resultat och diskussion



Figur 4.7: Totalt rörelseresultat för fast prissättning som konkurrerar med halvdynamisk prissättning vid olika efterfrågenivåer. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.

Resultatet i figur 4.8 visualiserar att den dynamiska modellen genererar konsekvent högre rörelseresultat än den fasta prissättningen vid efterfrågefaktorer upp till faktor 4. Likt figur 4.5 och 4.7 är den dynamiska prismodellen ett mer lönsamt alternativ jämfört med fast, förutom vid mycket hög efterfrågan.



Figur 4.8: Totalt rörelseresultat för fast prissättning som konkurrerar med dynamisk prissättning (endast sänkning vid låg efterfrågan) vid olika efterfrågenivåer. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.

4.3.2 Diskussion av variation i efterfrågan

Resultatet från simuleringarna visar att dynamisk prissättning i samtliga scenarion presterar bättre än fast prissättning vid låga, normala och även förhöjda trafikflöden, upp till en faktor som motsvarar 4 gånger normalt. Detta bekräftar att en dynamisk prismodell har potential att optimera intäkterna under varierande förhållanden. Genom att justera priset utifrån aktuell efterfrågan kan operatörer locka fler kunder vid låg trafiknivå och maximera intäkterna under perioder med hög belastning.

4.3.2.1 Begränsningar och tolkning

Det är viktigt att betona att detta avsnitt (4.3) i första hand syftar till att genomföra en känslighetsanalys av modellen, snarare än att förutsäga realistiska trafikflöden. Även om de faktiska trafiknivåerna i verkligheten skiljer sig från de som använts i simuleringarna, visar resultaten att förhållandet mellan prismodell och lönsamhet förblir likartat. Detta tyder på att modellen är robust och att slutsatserna kan anses generaliserbara inom rimliga variationer av trafikflöde.

Denna simulering kan även användas för att undersöka kortsiktiga effekter av variationer i efterfrågan. På kort sikt är det heller inte osannolikt att efterfrågan kan vara 2–4 gånger så hög som i grundscenariot, exempelvis vid semesterperioder eller större evenemang. Modellens förmåga att hantera dessa nivåer utan att resultaten förändras i grunden stärker trovärdigheten i dess antaganden.

Vid extremt höga trafikflödesfaktorer, såsom 8 och 10, minskar skillnaden mellan prismodellerna, och i vissa fall presterar fast prissättning marginellt bättre. Här blir laddstationens kapacitet en tydligare begränsande faktor än priset. Det bör dock betonas att dessa faktorer representerar orimliga belastningsnivåer i praktiken och snarare fungerar som stresstest än realistiska scenarier. I ett verkligt sammanhang skulle sådan överbelastning sannolikt leda till utbyggnad av laddinfrastruktur, snarare än att befintlig prismodell ifrågasätts.

4.3.2.2 Sammanfattning

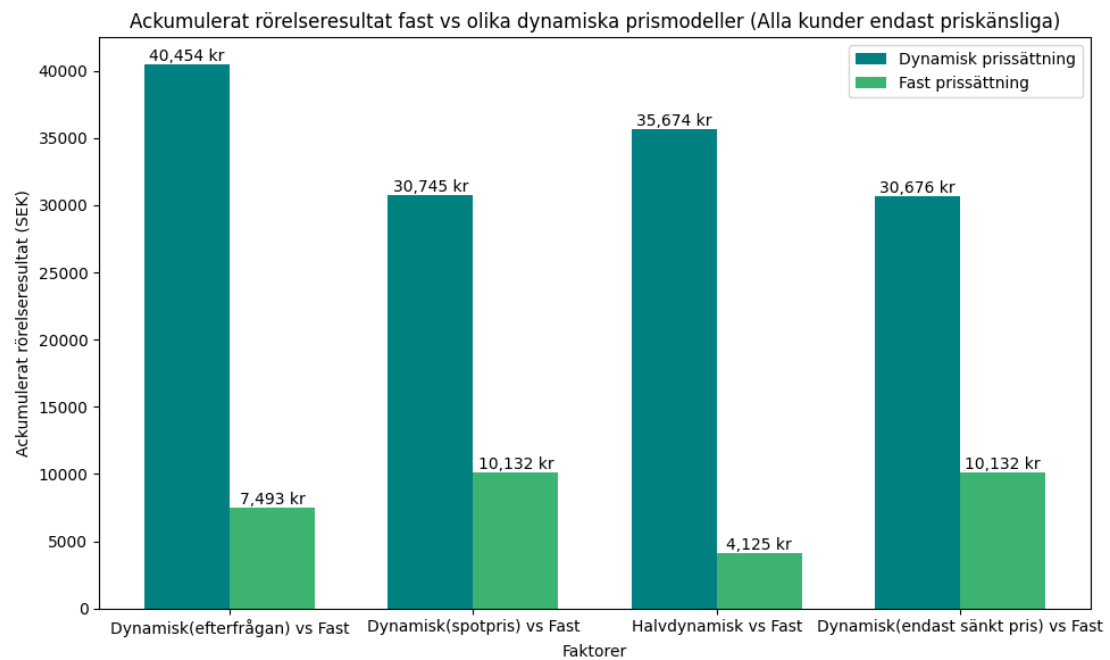
Sammanfattningsvis visar simuleringarna att dynamisk prissättning generellt genererar högre intäkter än fast prissättning vid normala och måttligt höga efterfrågenivåer. Avsnittet fungerar främst som en känslighetsanalys och indikerar att prismodellernas relativa lönsamhet är stabil även vid stora variationer i trafikflöde. Vid extremt hög belastning jämnas skillnaderna ut, då kapacitet snarare än pris blir den begränsande faktorn. Dessa extrema scenarier bör dock ses som stresstester snarare än realistiska situationer.

4.4 Isolerade kundbeteenden

I detta avsnitt presenteras och diskuteras resultat från två simuleringsscenarioer där samtliga kunder i modellen antagits vara strikt priskänsliga eller strikt kökänsliga. Syftet med dessa specifika fall är att isolera och tydliggöra hur enskilda beteendefaktorer påverkar utfallet för de olika prismodellerna. Dessutom syftar scenariot till att undersöka känsligheten av den valda kundfördelningen inom modellen, se avsnitt 3.2.1.1. Genom att undersöka dessa kundtyper separat kan man bättre förstå vilken roll pris respektive kötid spelar i valet av laddstation.

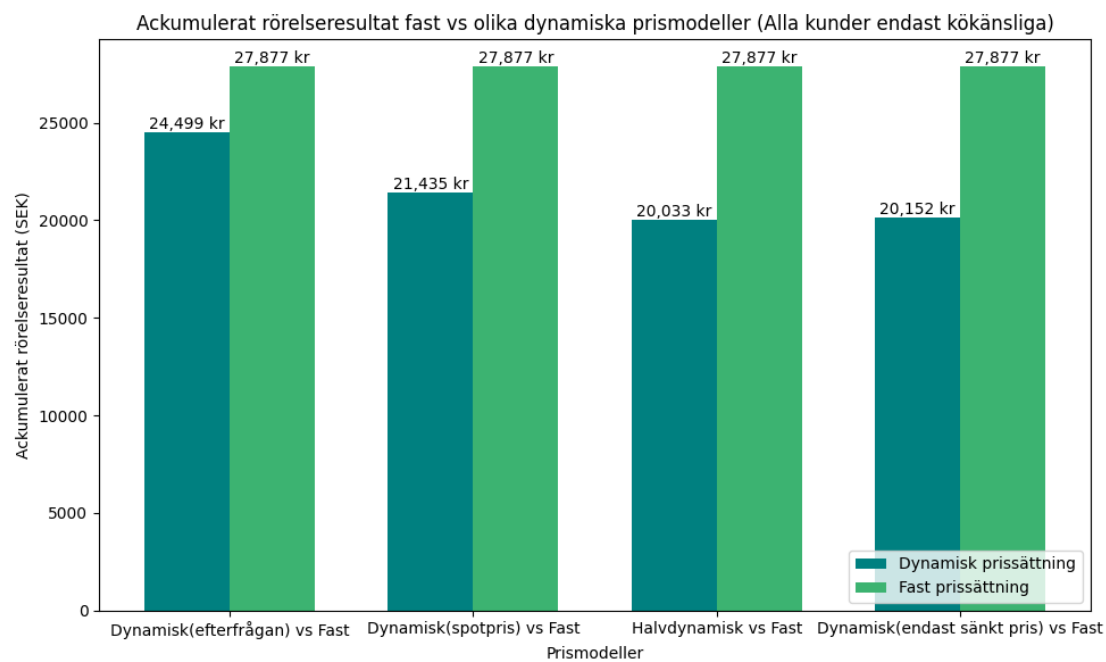
4.4.1 Resultat av simulering med isolerade kundbeteenden

Figur 4.9 illustrerar extremfallet där samtliga kunder är priskänsliga, vilket innebär att priset är den enda avgörande beslutsfaktorn vid kundens val av laddstation. Här jämförs fast prissättning med de fyra varianter av dynamisk prissättning under en normal efterfrågenivå. Resultatet är tydligt: alla fyra dynamiska strategier ger ett betydligt högre rörelseresultat än fast pris när kunderna är strikt priskänsliga. Den efterfrågebaserade modellen uppnår högst rörelseresultat av alla.



Figur 4.9: Totalt rörelseresultat när fast prismodell konkurrerar med dynamiska prismodeller då alla kunder enbart är priskänsliga. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.

I figur 4.10 visas resultatet när samtliga kunder enbart väljer laddstation utifrån den momentana längden på kön, utan att påverkas av priset. Stationen med fast prissättning uppnår högst totalt rörelseresultat, medan samtliga dynamiska prismodeller genererar ett lägre rörelseresultat.



Figur 4.10: Totalt rörelseresultat för fast prissättning som konkurrerar med dynamiska prismodeller när alla kunder enbart är kökänsliga. Rörelseresultatet motsvarar en veckas simulering.

4.4.2 Diskussion om isolerade kundbeteenden

När alla kunder är priskänsliga ökar skillnaderna i rörelseresultat mellan dynamisk och fast prissättning ytterligare jämfört med figur 4.2. Då uppnår de dynamiska prismodellerna ett betydligt högre rörelseresultat än den fasta prismodellen. Detta visar vikten av att känna sin kundbas som laddoperatör. Om majoriteten av kunderna värderar priset högt, är potentialen för att öka lönsamheten med de dynamiska prismodellerna större. Det indikerar också att operatörer som riktar in sig på prismedvetna segment kan vinna mer på att använda dynamisk prissättning. Om andelen priskänsliga kunder har underskattats i simuleringssmodellen innebär det att de dynamiska prismodellerna borde generera ett högre rörelseresultat jämfört med den fasta prismodellen. Har andelen överskattats innebär det en motsatt effekt på resultatet.

Vid simuleringar med endast kökänsliga kunder är skillnaderna mindre och den fasta stationen uppnår högst rörelseresultat. Till skillnad från fallet med strikt priskänsliga kunder så blir kundernas beslutsfattande i detta scenario helt frikopplat från stationens prismodell. Orsaken till detta är att kön fördelas jämnt mellan stationerna, vilket leder till att även kunderna fördelas på samma sätt.

4.4.2.1 Strategier vid heterogen kundbas

Prismodellerna blir desto mer avgörande vad gäller det slutgiltiga rörelseresultatet. Ett högre genomsnittligt pris medför därmed ett högre rörelseresultat när priset

inte påverkar kundernas val.

I praktiken utgörs majoriteten av kundbasen sannolikt av en blandning av prismedvetna och kökänsliga kunder. Detta innebär att om laddstationer drabbas av kapacitetsproblem och köbildning, så är det inte säkert att en aggressiv sänkning av priserna kan kompensera för kundernas missnöje. Att behöva vänta länge kan för dem upplevas som ett större problem än ett högre pris, särskilt i situationer där resenärer är stressade eller tidsbegränsade, vilket går i linje med teorin (se avsnitt 2.3.1). Det kan därför vara fördelaktigt för operatörer att både inkludera en effektiv prismodell samt en väldimensionerad laddningskapacitet utefter rådande efterfrågan, i sin långsiktiga strategi.

Dessutom skulle en prissättningsstrategi som specifikt riktar sig mot vissa kundsegment på olika sätt kunna vara effektiv. Till exempel kan kunder som värdesätter kort kötid erbjudas premiumladdare med garanterad tillgång till ett högre pris, medan prismedvetna kunder istället nås genom en lägre prisnivå, vilket dock kan medföra en ökad risk för kö.

4.4.2.2 Sammanfattning

Sammanfattningsvis visar resultaten att dynamisk prissättning är särskilt effektiv när majoriteten av kunderna är prismedvetna. När kunder endast är kökänsliga är deras laddningsbeslut frikopplat från priset vilket ger störst rörelseresultat för stationen med högst pris.

4.5 Möjlighet att förflytta sin laddning i tid

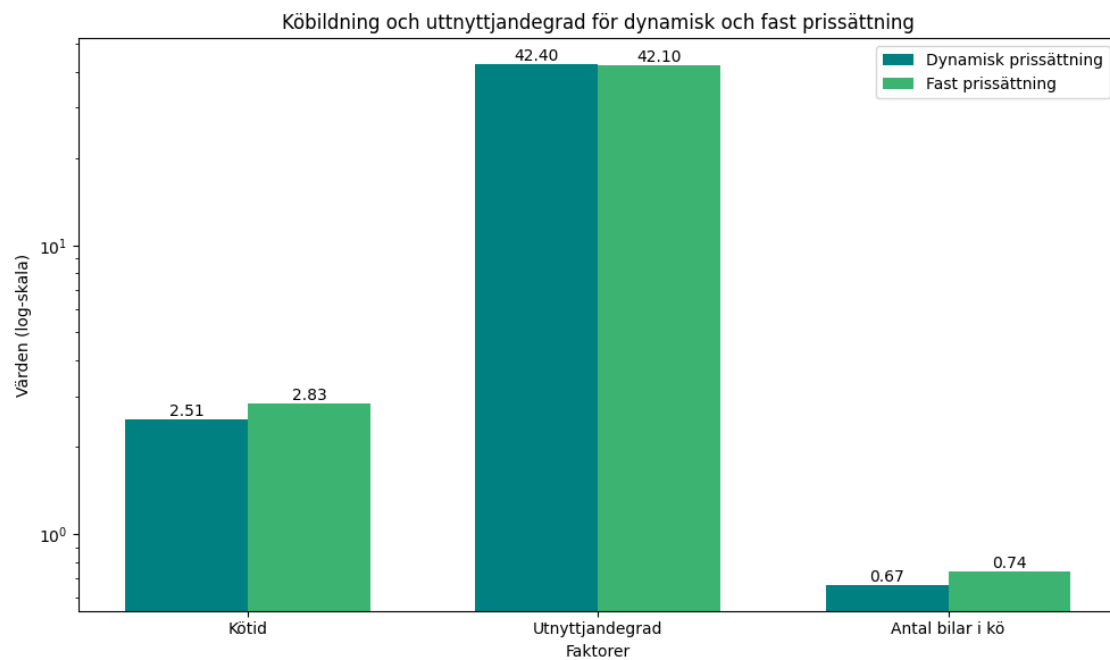
I detta avsnitt undersöks hur modellen påverkas av kunders möjlighet att förflytta sin laddning till tider med lägre elpriser. Scenariot introducerar ytterligare ett kundbeteende i form av möjligheten att tidigare- eller senarelägga sin laddning. Syftet är att analysera hur detta kundbeteende påverkar faktorer kopplade till lönsamhet och kundnöjdhet vid jämförelse av fast och dynamisk prissättning (efterfrågebaserad). Dessutom undersöks det huruvida tidsflexibel laddning kan bidra till att minska kostnader för användare samt jämna ut belastningstoppar för att undvika köer och bättre utnyttja befintlig laddinfrastruktur.

4.5.1 Resultat av simulering när kunderna kan förflytta sin laddning i tid

Figur 4.11 visar resultatet när modellen körts med kunder som har möjlighet att vänta med att ladda. Av alla kunder väljer 2% att förskjuta sin laddning med en timme för varje 0,1 kr/kWh som priset är lägre i en angränsande timme. Till exempel innebär en prisskillnad på 2 kr/kWh att 40% av kunderna väljer att ladda tidigare eller senare. Simuleringen har genomförts med en station med fast prissättning och en annan med dynamisk prissättning, var för sig och utan konkurrens, med 8 laddplatser vardera. För stationen med dynamisk prissättning

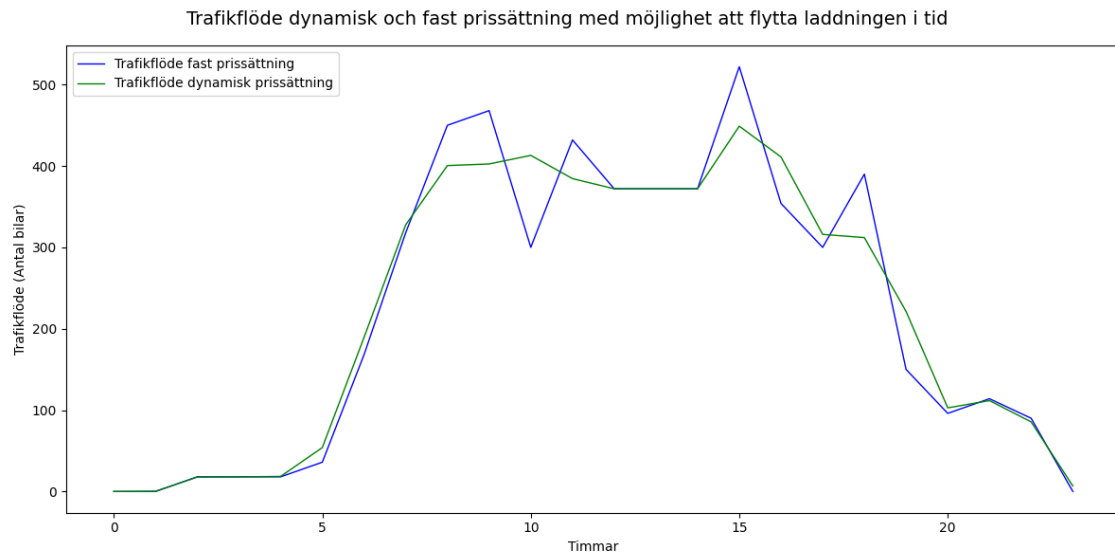
sätts priset med avseende på efterfrågan, men förflyttningen av efterfrågan beaktas inte vid dess prissättning. Dessutom är efterfrågan i modellen 6 gånger större än vad den insamlade datan i avsnitt 3.1 visar. Detta har gjorts för att kunna analysera effekterna av köbildning då en normal efterfrågenivå inte resulterar i några nämnvärda köbildningar.

Figur 4.11 visar att stationen med dynamisk prissättning får något lägre genomsnittlig kötid och antal bilar i kö samt något högre utnyttjandegrad i jämförelse med stationen med fast prissättning.



Figur 4.11: Genomsnittlig kötid för de kunder som laddat, stationernas utnyttjandegrad, samt medelvärdet av antal bilar i kö per minut för fast och dynamisk prissättning när kunder kan flytta sin laddning i tid om det medför ett bättre pris. Y-axeln använder en logaritmisk skala. Resultatet motsvarar en veckas simulering.

I figur 4.12 visas hur trafikflödet ser ut när simuleringsmodellen körs med dynamisk respektive fast prissättning. Trafikflödet för den fasta prissättningen förändras inte eftersom det alltid är samma pris. För den dynamiska prismodellen kan man se att topparna i trafikflödet jämnas ut eftersom bilar förflyttas till tider där priserna och trafikflödet är lägre.



Figur 4.12: Trafikflöde under ett dygn för två, icke konkurrerande stationer med dynamisk respektive fast prissättning. Kunder har haft möjligheten att tidigare- eller senarelägga sin laddning hos den dynamiskt prissatta stationen med en timme om det medför lägre pris.

4.5.2 Diskussion av simulering när kunderna kan förflytta sin laddning i tid

Resultaten visar att kundernas möjlighet att förflytta sin laddning i tiden har en viss utjämnande effekt på den dynamiska laddstationens belastning. Kurvan för trafikflödet blir något jämnare vid dynamisk prissättning, men effekten är inte tillräcklig för att på egen hand kunna lösa problemet med belastningstoppar och köbildning. För att uppnå större förändringar skulle en betydligt större andel av kunderna behöva flytta sin laddning, och inte bara med en timme, utan kanske flera timmar. Detta är något som kunder i praktiken förmodligen inte skulle göra eftersom bekvämlighet och tidsplanering ofta värderas högre än ekonomisk besparing (se avsnitt 2.3.1).

Det är också värt att notera att detta scenario bygger på en efterfrågan som är 6 gånger högre än vad som observerats i den verkliga datan. Med en normal efterfrågan skulle den utjämnande effekten på belastningen bli ännu mindre. Det innebär i detta sammanhang att dynamisk prissättning, under förutsättningen att kunder väljer att flytta sin laddning i tid, sannolikt inte skulle ha en tillräckligt stor påverkan på belastningen för att kunna minska köer. Istället skulle en utbyggnad av laddinfrastrukturen för att kunna möta efterfrågan vid högbelastningstider sannolikt vara ett bättre alternativ.

4.6 Varför har dagens marknad inte implementerat dynamisk prissättning i större utsträckning?

Trots att våra simuleringar tydligt visar att dynamisk prissättning teoretiskt kan förbättra lönsamheten för laddstationer, tillämpar branschen i dagsläget huvudsakligen fasta priser. Detta indikerar att det finns möjliga orsaker till varför den nuvarande laddmarknaden ännu inte i större utsträckning använder sig av dynamiska priser. I detta avsnitt diskuteras dessa eventuella orsaker.

Som framgått av simuleringarna bekräftar resultaten att dynamisk prissättning generellt presterar bättre än fasta priser under varierande trafikflöden, just genom att bättre utnyttja kundernas varierande betalningsvilja. Detta bygger på den relativt höga priselasticitet som tas upp i avsnitt 4.2.2. En möjlig orsak till laddoperatörernas skepsis skulle därmed kunna vara att dagens elbilsförare i praktiken uppvisar lägre priselasticitet än vad som antagits i modellen. Det är inte säkert att elbilsförare reagerar lika kraftigt på prisvariationer som simuleringarna förutsätter vilket skulle minska potentialen för dynamisk prissättning.

Ur ett beteendekonomiskt perspektiv finns ytterligare faktorer som eventuellt bidrar till motståndet mot dynamiska priser. Konsumenter jämför ofta aktuell kostnad med ett referenspris och påverkas samtidigt av förlustaversion (se avsnitt 2.3.2). Om operatörer inför dynamisk prissättning riskerar de därmed att framkalla oproportionerligt missnöje de gånger priset faktiskt är högre än vad kunden anser vara normalt, även om priset de flesta tillfällen är lägre. Utöver detta finns även en tendens till status quo-bias, där många föredrar att saker förblir oförändrade (se avsnitt 2.3.1). Att introducera ett nytt, fluktuerande prissystem bryter status quo och kan mötas med skepsis. Denna tröghet att ändra beteende och preferenser kan göra att såväl kunder som operatörer vill hålla sig till fasta priser.

Trots dessa hinder finns det tecken på en försiktig förskjutning mot mer dynamik i prissättningen. På senare tid har aktörer börjat experimentera med varianter av dynamisk prissättning i form av halvdynamiska prismodeller (se avsnitt 2.5.1.) Att dessa aktörer introducerar dynamiska inslag kan tyda på att marknadens inställning gradvis börjar förändras.

4.7 Framtida forskning

I detta avsnitt presenteras förslag på områden för framtida forskning som kan vidareutveckla arbetets resultat. Fokus ligger på potentiella förbättringar av prissättningsmodeller, vidare studier av användarbeteenden samt utvärdering av alternativa optimeringsmetoder och belöningsystem för publika laddstationer.

4.7.1 Optimering

Ett naturligt steg i detta arbete vore att närmare undersöka och optimera de dynamiska modellerna. I denna studie har prismodellerna baserats på fasta regler och inte utformats med syftet att maximera intäkterna. En väloptimerad dynamisk prismodell som mer effektivt anpassar priser kan förväntas ge bättre resultat än vad som presenterats. Avsnitt 3.1 visar att laddningsmönster varierar beroende på ett flertal faktorer, exempelvis geografisk plats, veckodag och tid på dygnet. Dessa variationer tyder på att framtida forskning bör inriktas på att anpassa och utveckla olika prismodeller för lokala förhållanden. Detta understryker vikten av datadrivna, plats- och tidsspecifika prisstrategier snarare än en generell modell.

Om alla operatörer skulle övergå till dynamiska prismodeller skulle det sannolikt vara avgörande att utveckla en konkurrenskraftig dynamisk modell. Här kan avancerade algoritmer och AI spela en nyckelroll genom att i realtid justera priser utifrån efterfrågan och marknadsförändringar. Samtidigt skulle ett stort fokus på transparens och rättvisa vara avgörande för operatören för att undvika missnöje bland dess kunder.

4.7.2 Abonnemangsmodeller

Utöver dynamisk prissättning vore det även relevant att undersöka alternativa prismodeller, så som olika former av abonnemang. Dessa skulle kunna erbjuda mer förutsägbara kostnader för kunder samtidigt som det ger operatörerna stabila intäkter. En framtida inriktning för forskning kan därför vara att jämföra effekterna av abonnemangsbaserade prismodeller med dynamiska modeller, alternativt utforska hybridmodeller där abonnemang kombineras med inslag av dynamik. Detta skulle kunna bidra till att balansera operatörers vinstintresse med kundernas behov av transparens och prisstabilitet (se avsnitt 2.3.2).

4.7.3 Utbyggnad av laddinfrastruktur

En annan relevant riktning för framtida forskning är att undersöka när det är ekonomiskt motiverat att bygga ut en operatörs laddinfrastruktur. Utbyggnaden kan till exempel göras genom att installera fler laddpunkter på befintliga stationer eller etablera nya stationer. Lönsamheten i sådana investeringar påverkas av flera faktorer som geografisk plats, efterfrågemönster samt prissättningsstrategi. Detta skulle också kunna bidra till ökad kundupplevelse och ökad lönsamhet för operatören.

5

Slutsats

För att undersöka hur dynamisk prissättning kan påverka lönsamhet vid publika snabbbladdningsstationer, utvecklades en agentbaserad modell som simulerar laddningsstationer längs en motorväg. Studien analyserade hur olika prismodeller, både fasta och dynamiska, påverkar utfallet under varierande efterfrågan, konkurrensförhållanden och kundbeteenden.

Resultaten visar att dynamisk prissättning oftast leder till högre utnyttjandegrad och ökad lönsamhet, särskilt när kunder är prismedvetna och när konkurrens förekommer. Detta gäller i synnerhet för aktörer som implementerar en dynamisk prismodell i ett tidigt skede, då potentialen för ökad lönsamhet är som störst när priset kan användas som en differentieringsfaktor. I en mer mogen marknad, där dynamisk prissättning blivit norm bland marknadens aktörer, kan en dynamisk prismodell istället bli en förutsättning för att bevara konkurrenskraften. Vid mycket hög belastning minskar skillnaderna mellan prismodellerna, eftersom kapacitet snarare än pris blir den avgörande faktorn. Resultaten indikerar även att dynamisk prissättning är mest effektiv när majoriteten av kunderna är prismedvetna, medan dess fördelar minskar vid hög andel kökänsliga kunder.

När kunder får möjlighet att förflytta sin laddning i tid, bidrar det till en marginell minskning av köbildning. För att belastningstopparna ska jämnas ut tillräckligt mycket för att ge en nämnvärd effekt på utnyttjandegraden och lönsamheten krävs dock en större beteendeförändring hos kunderna än vad som kan anses vara rimligt i praktiken.

Sammanfattningsvis visar studien att dynamisk prissättning är ett kraftfullt verktyg för att förbättra lönsamheten under normala förhållanden, men att den bör kombineras med kapacitetsplanering för att hantera belastningstoppar. Att anpassa prismodeller efter kundsegment och lokala konkurrensförhållanden kommer sannolikt att vara viktigt för att uppnå en hög lönsamhet.

Litteraturförteckning

- [1] K. Media, "Industri laddar fordon teknologi," Pexels, 2 dec. 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://www.pexels.com/sv-se/foto/industri-laddar-fordon-teknologi-9800009/> (Hämtad: 2025-05-13).
- [2] Statistiska centralbyrån, "Tredubbling av elbilar på två år," 19 apr. 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/redaktionellt/tredubbling-av-elbilar-pa-tva-ar2/> (Hämtad: 2025-03-30).
- [3] International Energy Agency, "Road transport," sep. 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.iea.org/reports/road-transport> (Hämtad: 2025-03-30).
- [4] European Automobile Manufacturers' Association (ACEA), "A European EV Charging Infrastructure Masterplan," mar. 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://www.acea.auto/files/Research-Whitepaper-A-European-EV-Charging-Infrastructure-Masterplan.pdf> (Hämtad: 2025-03-30).
- [5] Y. Li, X. Zhang, and Z. Wang, "Dynamic Pricing Strategy of Charging Station Based on Traffic Assignment Simulation," *Sustainability*, vol. 14, no. 21, Art. no. 14476, okt. 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/21/14476> (Hämtad: 2025-03-31).
- [6] A. K. Kalakanti and S. Rao, "Dynamic Pricing for Electric Vehicle Charging," *arXiv preprint arXiv:2408.14169*, aug. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://arxiv.org/abs/2408.14169> (Hämtad: 2025-03-31).
- [7] P. Fröde, M. Lee, and S. Sahdev, "Can public EV fast-charging stations be profitable in the United States?," McKinsey & Company, 5 okt. 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/our-insights/can-public-ev-fast-charging-stations-be-profitable-in-the-united-states> (Hämtad: 2025-04-01).
- [8] J. Winkler, "Current Market Trends and Challenges in DC EV-Charging," *E-motec*, 11 feb. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.e-motec.net/current-market-trends-and-challenges-in-dc-ev-charging/> (Hämtad: 2025-04-01).
- [9] Restack, "Agent-Based Modelling of EV Charging Behaviour," 13 apr. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.restack.io/p/agent-based-modelling-answer-ev-charging-behaviour-cat-ai> (Hämtad: 2025-04-01).
- [10] Svenska kraftnät, "Sveriges elnät," 12 apr. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/oversikt-av-kraftsystemet/sveriges-elnat/> (Hämtad: 2025-02-22).

- [11] Vattenfall Eldistribution, "Elnätets uppbyggnad," [Online]. Tillgänglig: <https://www.vattenfalleldistribution.se/om-elnatet/elnatets-uppbyggnad/> (Hämtad: 2025-02-22).
- [12] Volvo Cars, "Vad är skillnaden mellan AC- och DC-laddning?," 3 jul. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.volvocars.com/se/news/technology/what-is-the-difference-between-ac-and-dc-charging/> (Hämtad: 2025-02-24).
- [13] EON Energiinfrastruktur, "AC-DC laddning," 4 dec. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.eon.se/artiklar/ac-dc-laddning> (Hämtad: 2025-02-23).
- [14] J. Susser, "How DC Fast Charging Works," *Advanced Energy*, 24 jan. 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://www.advancedenergy.org/news/how-dc-fast-charging-works> (Hämtad: 2025-02-26).
- [15] A. König, L. Nicoletti, D. Schröder, S. Wolff, A. Waclaw och M. Lienkamp, "An Overview of Parameter and Cost for Battery Electric Vehicles," *World Electr. Veh. J.*, vol. 12, nr. 1, s. 21, 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://www.mdpi.com/2032-6653/12/1/21> (Hämtad: 2025-03-12).
- [16] M. Contestabile, G. Taljan, J. D. McDowall, R. B. Nelson och R. J. Wallace, "Fuel cell and battery electric vehicles compared," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 34, nr. 15, s. 6154–6167, 2009. [Online]. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319909008696> (Hämtad: 2025-03-12).
- [17] Svensk Fordonsladdning, "Elbilsbatterier, hur fungerar det?," 12 apr. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.svenskfordonsladdning.se/elbilsbatterier-hur-fungerar-det/> (Hämtad: 2025-02-26).
- [18] Electroverse, "What is a charging curve?" mar. 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://electroverse.com/community/ev-blogs-and-guides/what-is-a-charging-curve> (Hämtad: 2025-02-26).
- [19] EVKX.net, "Zeekr X Long Range RWD Charging Curve," 2025. [Online]. Tillgänglig: https://evkx.net/models/zeekr/x/x_long_range_rwd/chargingcurve/ (Hämtad: 2025-04-29).
- [20] A. Grauers, privat kommunikation, mar. 2025.
- [21] J. Öljemark, "Utbud och efterfrågan," *Ekonomifakta*, 17 aug. 2023. [Online]. Tillgänglig: https://www.ekonomifakta.se/sakomraden/nationalekonomisk-teori/mikroekonomi/utbud-och-efterfragan_1211286.html (Hämtad: 2025-02-11).
- [22] The CORE Team, "8. Supply and demand: Price-taking and competitive markets," i *The Economy 1.0*, CORE Econ, 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.core-econ.org/the-economy/v1/book/text/08.html> (Hämtad: 2025-05-06).
- [23] Nationalencyklopedin, "osynliga handen," *NE.se*, 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/osynliga-handen>

- (Hämtad: 2025-05-06).
- [24] Europeiska kommissionen, "Riktlinjer om vertikala begränsningar," Bryssel, SEK(2010) 411 slutlig, 10 maj. 2010. [Online]. Tillgänglig: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A52010SC0411> (Hämtad: 2025-02-11).
- [25] Konkurrensverket, "Kommuners påverkan på konkurrensen inom publik laddning av elfordon," Rapportserie 2024:2, 18 jun. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.konkurrensverket.se/informationsmaterial/rapportlista/kommuners-paverkan-pa-konkurrensen-inom-publik-laddning-av-elfordon/> (Hämtad: 2025-02-18).
- [26] Konjunkturinstitutet, "Elasticiteter inom miljö-, klimat- och energiområdet", Specialstudie 102, 28 feb. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.konj.se/download/18.58614f918de83e6c5e4a1d/1711639146872/Specialstudie-102-Elasticiteter-inom-miljo-klimat-och-energiomradet.pdf> (Hämtad: 2025-02-20).
- [27] M. A. Khan, "Determinants of Price Elasticity of Demand," ResearchGate, 2021. [Online]. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/357164681_Determinants_of_Price_Elasticity_of_Demand (Hämtad: 2025-02-20).
- [28] R. Carson, "Product Differentiation and Demand Elasticity," Carleton University, 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://carleton.ca/richardcarson/wp-content/uploads/ProductDifferentiationandDemandElasticity-18.pdf> (Hämtad: 2025-02-20).
- [29] F. Blanco, "Cognitive Bias," i *Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior*, J. Vonk och T. Shackelford, Red., Cham: Springer, 2017. [Online]. Tillgänglig: https://doi.org/10.1007/978-3-319-47829-6_1244-1 (Hämtad: 2025-05-12).
- [30] Nationalencyklopedin, "Beteendekonometri," *NE.se*, 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/beteendekonometri> (Hämtad: 2025-02-21).
- [31] M. Pagani, W. Korosec, N. Chokani, and R. S. Abhari, "User behaviour and electric vehicle charging infrastructure: An agent-based model assessment," *Applied Energy*, vol. 254, Art. no. 113680, nov. 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919313674> (Hämtad: 2025-02-21).
- [32] J. Li, X. Sun, Q. Liu, W. Zheng, H. Liu and J. A. Stankovic, "Planning Electric Vehicle Charging Stations Based on User Charging Behavior," in *Proc. 2018 IEEE/ACM 3rd Int. Conf. Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI)*, Orlando, FL, USA, 2018, pp. 225–236. [Online]. Tillgänglig: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8366991> (Hämtad: 2025-02-23).
- [33] W. Samuelson and R. Zeckhauser, "Status quo bias in decision making," *Journal of Risk and Uncertainty*, vol. 1, no. 1, pp. 7–59, mar. 1988. [Online].

- Tillgänglig: https://scholar.harvard.edu/files/rzeckhauser/files/status_quo_bias_in_decision_making.pdf (Hämtad: 2025-02-23).
- [34] Y. Wen, D. MacKenzie, and D. R. Keith, "Modeling the Charging Choices of Battery Electric Vehicle Drivers by Using Stated Preference Data," *Transp. Res. Rec.*, vol. 2572, no. 1, pp. 47–55, jan. 2016. [Online]. Tillgänglig: <https://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.3141/2572-06> (Hämtad: 2025-02-23).
- [35] Ö. Özer and Y. Zheng, "Behavioral Issues in Pricing Management," *ResearchGate*, 2006. [Online]. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/228237651_Behavioral_Issues_in_Pricing_Management (Hämtad: 2025-02-23).
- [36] P. Heidhues and B. Köszegi, "Competition and Price Variation when Consumers Are Loss Averse," *Am. Econ. Rev.*, vol. 98, no. 4, pp. 1245–1268, aug. 2008. [Online]. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1257/aer.98.4.1245> (Hämtad: 2025-02-24).
- [37] R. H. Thaler and C. R. Sunstein, *Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness*. New Haven, CT, USA: Yale University Press, 2008. [Online]. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/235413094_NUDGE_Improving_Decisions_About_Health_Wealth_and_Happiness (Hämtad: 2025-02-24).
- [38] M. Shakarami, A. Cherukuri, and N. Monshizadeh, "Steering the Aggregative Behavior of Noncooperative Agents: A Nudge Framework," arXiv preprint arXiv:2012.06376, sep. 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://arxiv.org/pdf/2012.06376> (Hämtad: 2025-02-25).
- [39] J. Williamsson, G. Schaad, and A. Sandoff, "Affärsmodeller för laddinfrastruktur," *Energiforsk Rapport 2024:968*, jan. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://energiforsk.se/media/33056/2024-968-affarsmodeller-fo-r-laddinfrastruktur.pdf> (Hämtad: 2025-02-25).
- [40] Länsstyrelsen Östergötland, "Betalningsmodeller för el-laddning: För dig som ska ta betalt för laddning av elfordon," 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.44f26481161466409d3872e/1526069121894/folder-ta-betalt-for-el-laddning-2017.pdf> (Hämtad: 2025-02-27).
- [41] ZEV Alliance, "Toward Healthy Competition: Policy Options for Accelerating the Transition to Zero-Emission Vehicles," feb. 2025. [Online]. Tillgänglig: https://zevalliance.org/wp-content/uploads/2025/02/Toward-health-competition_Feb-2025.pdf (Hämtad: 2025-02-26).
- [42] Vattenfall InCharge, "Nu inför vi trängselavgift på våra snabbaddare," 23 maj. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://incharge.vattenfall.se/kunskapshubb/artiklar/minuttariffen-slopas> (Hämtad: 2025-02-27).
- [43] Tesla, "Supercharger Fees," Tesla Support. [Online]. Tillgänglig: https://www.tesla.com/sv_se/support/charging/supercharger/fees (Hämtad: 2025-02-28).
- [44] S. Limmer, "Dynamic Pricing for Electric Vehicle Charging—A Literature Review," *Energies*, vol. 12, no. 18, Art. no. 3574, sep. 2019. [Online].

- Tillgänglig: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/18/3574> (Hämtad: 2025-03-04).
- [45] A. Kazemtarghi, A. Mallik, and Y. Chen, "Dynamic pricing strategy for electric vehicle charging stations to distribute the congestion and maximize the revenue," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 158, Art. no. 109946, jul. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061524001674> (Hämtad: 2025-03-04).
- [46] Energimarknadsinspektionen, "Effektavgift – effekttariff," 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://ei.se/konsument/el/elnatsavgiften-och-elnatsreglering/effektavgift-effekttariff> (Hämtad: 2025-03-06).
- [47] Vattenfall InCharge, "Allt om våra publika laddstationer," 20 juni. 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://incharge.vattenfall.se/kunskapshubb/artiklar/allt-om-vara-publika-laddstationer> (Hämtad: 2025-03-06).
- [48] Tesla, "Supercharger," Tesla Support. [Online]. Tillgänglig: https://www.tesla.com/sv_se/support/charging/supercharger (Hämtad: 2025-03-11).
- [49] P. Dütting, F. Fischer, and M. Klimm, "Revenue Gaps for Static and Dynamic Posted Pricing of Homogeneous Goods," arXiv preprint arXiv:1607.07105, apr. 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://arxiv.org/pdf/1607.07105> (Hämtad: 2025-03-11).
- [50] H. Kloo, J. Williamsson, and M. Carlsson, "Laddning av elbilar på färjor och terminaler," Lighthouse, Rapport, jun. 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://lighthouse.nu/images/pdf/Elbilsladdning-ombord-och-i-terminal.pdf> (Hämtad: 2025-03-13).
- [51] Fortum Charge & Drive, "Vad är skillnaden mellan e-Mobility Service Provider (eMSP) och Charge Point Operator (CPO)?," 12 jun. 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://chargedrive.com/sv-SE/artiklar/vad-%C3%A4r-skillnaden-mellan-e-mobility-service-provider-emsp-och-charge-point-operator-cpo> (Hämtad: 2025-03-13).
- [52] C. Madina, I. Zamora, and E. Zabala, "Methodology for assessing electric vehicle charging infrastructure business models," *Energy Policy*, vol. 89, pp. 284–293, dec. 2015. [Online]. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421515302202> (Hämtad: 2025-03-13).
- [53] N. Fukushima and R. Pyddoke, "Utbyggnaden av laddinfrastruktur för elfordon – effekter av styrmedel på laddinfrastrukturmarknaden," Konkurrensverket, Uppdragsforskningsrapport 2024:1, feb. 2024. [Online]. Tillgänglig: https://www.konkurrensverket.se/globalassets/dokument/informationsmaterial/rapporter-och-broschyrer/uppdragsforskning/forskrapport_2024-1.pdf (Hämtad: 2025-03-13).
- [54] Trafikverket, "Ansök om stöd till snabbbladdningsstationer för elfordon," 27 feb. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://bransch.trafikverket.se/tjanster/ansok-om/ansok-om->

- bidrag/ansok-om-bidrag-till-snabbladdningsstationer-for-elfordon/ (Hämtad: 2025-03-04).
- [55] A. Schweitz, C. Wallmark, M. Xylia, and D. Petrovic, "Laddinfrastruktur för elfordon längs väg E12," Sweco, Rapport, 7 maj. 2020. [Online]. Tillgänglig: <https://biofuelregion.se/wp-content/uploads/2021/05/Rapport-Laddinfrastruktur-for-elfordon-langs-vag-E12.pdf> (Hämtad: 2025-03-04).
- [56] Elavtal24.com, "Vad kostar 1 kWh? [2024] Beräkna elpris per kWh – Jämför elavtal," 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://elavtal24.com/elpris-kwh/> (Hämtad: 2025-03-23).
- [57] OKQ8, "Kostnad ladda elbil," 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.okq8.se/elbilsladdning/kostnad-ladda-elbil/> (Hämtad: 2025-03-26).
- [58] IONITY GmbH, "Snabb och pålitlig laddning av elfordon över hela Europa," 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ionity.eu/se> (Hämtad: 2025-03-26).
- [59] Circle K Sverige, "Priser för laddning för företag," 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.circlek.se/elbilsladdning/foretag/laddning/priser> (Hämtad: 2025-03-26).
- [60] K. Rask, "Vattenfall InCharge inför dynamisk prissättning på sina laddare," Allt om Elbil, 13 apr. 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://alltomelbil.se/vattenfall-incharge-infor-dynamisk-prissattning-pa-sina-laddare/> (Hämtad: 2025-03-26).
- [61] Recharge Sweden, "Priser," 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://rechargeinfra.com/sv/priser/> (Hämtad: 2025-03-26).
- [62] Visma Spcs, "Vad är rörelsemarginal?," 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://vismaspcs.se/ekonomiska-termer/vad-ar-rorelsemarginal> (Hämtad: 2025-03-26).
- [63] E. Bonabeau, "Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 2002. [Online]. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1073/pnas.082080899> (Hämtad: 2025-02-18).
- [64] J. M. Epstein and R. Axtell, *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Washington, DC, USA: Brookings Institution Press, 1996, p. 220 (Hämtad: 2025-02-18).
- [65] Volvo Car Retail, "Allt ljus på EX90," 4 nov. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.volvocarretail.se/om-oss/nyheter/allt-ljus-pa-ex90> (Hämtad: 2025-03-19).
- [66] Vattenfall AB, "Elpriser – dagens spotpris och våra elavtal," 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.vattenfall.se/elavtal/elpriser/> (Hämtad: 2025-04-23).
- [67] Trafikverket, "Trafikinformation – aktuellt trafikläge för väg, tåg och färja," 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://vtf.trafikverket.se/SeTrafikinformation> (Hämtad: 2025-04-23).
- [68] Dagens Infrastruktur, "Trafikanalys: Allt fler elbilar på vägarna – men tillväxten varierar i landet," 14 feb. 2025. [Online]. Tillgänglig:

- <https://www.dagensinfrastruktur.se/2025/02/14/trafikanalys-allt-fler-elbilar-pa-vagarna-men-tillvaxten-varierar-i-landet/>
(Hämtad: 2025-04-23).
- [69] Vattenfall Eldistribution, "Elnätspriser och avtalsvillkor – Företag," 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.vattenfalleldistribution.se/kund-i-elnatet/elnatspriser/elnatspriser-och-avtalsvillkor-foretag/>
(Hämtad: 2025-03-23).
- [70] Vattenfall AB, "Historik över elpriserna på elbörsen," 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.vattenfall.se/elavtal/elpriser/rorligt-elpris/prishistorik/> (Hämtad: 2025-03-23).
- [71] Vattenfall AB, "När är elen billigast på dygnet?," 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/nar-ar-elen-billigast/>
(Hämtad: 2025-03-23).

A

Appendix

A.1 Uppskattning av elpris

För uppskattning av överföringsavgiften har ett högspänningsabonnemang av typ N2T antagits. Överföringsavgiften är ett snitt av ett högpristid under vintermånaderna och lågpristid resterande månader [69].

För beräkning av spotpriset har ett genomsnittspris för elområde 3 de senaste två åren (2023, 2024) använts [70]. Eftersom det är ett genomsnittspris över dygnets alla timmar och spotpriset varierar över dygnet, med ett generellt sätt dyrare pris dagtid (med toppar på morgon och sen eftermiddag) [71], kan det rimligtvis antas att de faktiska spotpriser som en snabbbladdsoperatör handlar är högre än genomsnittspriset och därmed blir den totala kostnad som presenteras i tabellen lågt räknad.

A.2 Beräkning av utnyttjandegradens effekt på kostnad per kWh

Beräknat utifrån 1 st 150kW laddpunkt, investeringskostnaderna antas vara 704 000 kr och skrivs av på 10 år, driftkostnaderna uppgår till 118 000 kr per år och förblir oberoende av utnyttjandegraden, det totala inköpspriset för el är 1,03 kr / kWh ex moms. Inkluderar samtliga avgifter kopplade till elpriset, inklusive spotpris, energiskatt och överföringsavgifter

A.3 Beräkning av utnyttjandegradens effekt på rörelsemarginalen

Vid beräkning av rörelseresultatet har ett fast pris för laddning mellan 4-6 kr per kWh ut till kund antagits och laddintäkter från kund är den enda inkomstkällan. Priserna är inklusive moms, vilket innebär att en momsats på 25 procent dras av vid beräkning av rörelseresultatet. Övriga kostnader är hämtade från antaganden enligt ovan A.2.

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige

www.chalmers.se



CHALMERS