UPTEC STS 18021
Examensarbete 30 hp
Juni 2018

UPPSALA
UNIVERSITET

En framtida elektrifiering av Stockholms läns taxiflotta

Lisa Borggren
Carolina Norberg

UPPSALA
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
http://www.teknat.uu.se/student

Abstract

Electrification of the taxi fleet in the Stockholm area

Lisa Borggren and Carolina Norberg

The technical development within the transportation sector is expanding rapidly, where electric vehicles stand as an important part of achieving the European Union's climate goal, targeting a fossil free vehicle fleet. Participants having a key role within this transformation are taxi operators, who replace their vehicles every third to sixth year. This indicates that taxi operators not only have the opportunity to turn their fleet into an electrical one but also have the opportunity to do so rapidly. The three largest taxi operators in Stockholm, Sweden all strive towards a fossil free taxi fleet 2025. The implementation of an electric taxi fleet therefore poses as a likely solution for reaching the declared goal. From this aspect it is interesting to further investigate how an electrification of the taxi fleet may affect the electrical grid, based on charging behavior and driving patterns in Stockholm county.

The results of the study illustrate that the charging patterns of the taxi vehicles in apartment, villa and airport areas will increase the load on the electrical grid foremost during the winter months. Moreover, in industrial and commercial areas the load will increase throughout the year. In addition, electrical taxi vehicles will foremost charge within the city center and at Arlanda airport. The results show that the largest power use takes place in the middle of the day, which contributes to power peaks caused by coinciding load on the electrical grid. Furthermore, the energy consumption per square meter decreases as the distance from the city center increases.

Handledare: Erik Hellstrand
Ämnesgranskare: Joakim Munkhammar
Examinator: Elísabet Andrésdottir
ISSN: 1650-8319, UPTEC STS 18021

Sammanfattning

Utvecklingen inom transportsektorn går fort framåt där elbilen tros bli en viktig del för att uppnå EU:s gemensamma klimatmål om en fossiloberoende fordonsflotta. Med övergången från fossila bränslen till elektricitet ställs nya krav på samhället. Att förse fordon med elektricitet kan därmed leda till att elfordon blir en sammansvetsad del av elnätet. En aktör som ofta ligger i framkant av den nya tekniken inom transportsektorn är taxiverksamheten, där en taxibil byts ut mellan var tredje och sjätte år. Detta innebär att taxiverksamheten har potential att snabbt låta sin verksamhet övergå helt till elbilar. Stockholms län är det län i Sverige med flest taxibilar, där de tre största företagen har som mål att 2025 bestå av en fossiloberonde taxiflotta. En implementation av elbilen utgör därmed en sannolik lösning för att nå det utsatta målet år 2025. Det är utifrån detta intressant att undersöka hur en elektrifierad taxiflotta kan komma att påverka elnätet utifrån laddningsbeteende och körmönster i Stockholms län. Tidigare studier som berör elbilens påverkan på elnätet visar att det är lågspänningsnätet som löper störst risk att påverkas av det ökade effektuttaget. Därav är det intressant att undersöka frågan på lokal nivå där lägst spänning i elnätet förekommer.

För att undersöka hur taxiverksamheten kan komma påverka belastningen på elnätet användes statistiskt material som berörde laddningsbeteenden och körmönster från en befintliga taxiflotta i Stockholms län. Detta för att ge en rättvis bild av dagens situation och på så sätt utforska hur framtiden kan komma att utvecklas. För att nå en mer djupgående analys delades olika delar av Stockholms län in i verksamhetsområden. De tilldelade verksamhetsområdena inkluderade *lägenhetsområde*, *villaområde*, *industri- och handelsområde* och *flygplatsområde*. För samtliga verksamhetsområden genomfördes sedan en analys och en jämförelse med lasten på elnätet.

Studiens resultat illustrerar att en elektrifiering av Stockholms läns taxiflotta kan påverka elnätet på ett flertal sätt. På årsbasis kommer eltaxibilar som last påverka elnätet genom att öka den befintliga lasten på elnätet. För *lägenhetsområden, villaområden* och *flygplatsområden* visar studiens resultat att detta främst sker under vinterhalvåret. För *industri- och handelsområden* visar resultaten däremot att lasten på elnätet ökar hela året. Vidare kommer eltaxibilar främst ladda i Stockholms läns *lägenhetsområden* och vid Arlanda flygplats, där det största effektuttaget för *lägenhetsområden* kommer förekomma i stadskärnan. Enligt befintligt laddningsbeteende sker de största effektuttagen för alla verksamhetsområden mitt på dagen. Detta sammanfaller i samtliga fall med befintlig last på elnätet och kommer på så sätt bidra till en ökad belastning vid effekttopparna. Vidare kommer zoner lokaliserade i Stockholms läns stadskärna utgöra de med högst energiåtgång per kvadratmeter. Energiåtgången per kvadratmeter minskar därefter ju längre ifrån stadskärnan zonerna är lokaliserade.

För att uppnå EU-målet av 0,1 laddningspunkter per elbil visar resultaten att antalet laddningsstationer i Stockholms län skulle behöva öka med 87 % enbart för taxibilar. Resultatet visar också att behovet av nya laddningsstationer är som störst i Stockholm läns stadskärnan där en stor del av laddningen kommer att ske.

Förord

Detta examensarbete utfördes under våren 2018 och med detta arbete avslutar vi våra fem år på civilingenjörsprogrammet system i teknik och samhälle (STS). Samtliga delar av studien har utförts tillsammans och med samma arbetsinsats. Arbetet har utförts i samarbete med Vattenfall Eldistribution och vi vill därför tacka Maria Dalmalm, Cecilia Hellner samt Peter Takács som initierade en första kontakt med Vattenfall. Vidare vill vi tacka våra handledare Jimmy Sandström och Erik Hellstrand som varit ett stort stöd genom hela projektet.

Vi vill även tillägna ett stort tack till vår ämnesgranskare Joakim Munkhammar som kommit med snabb och värdefull feedback genom hela arbetet. Slutligen vill vi tacka Taxi Stockholm, Uppsala Taxi, InCharge och Jens Hagman som alla bidragit med information och statistik.

Lisa Borggren och Carolina Norberg
Uppsala 2018-06-11

Innehållsförteckning

1. Inledning 5
1.1 Syfte 5
1.1.1 Frågeställningar 6
1.2 Disposition 7

2. Bakgrund 8
2.1 Sveriges Elnät 8
2.2 Eldrivna fordon 8
2.2.1 Elbilens tillväxt 9
2.2.2 Elmotorn och batteriet 10
2.2.3 Laddning av batteriet 11
2.2.4 Laddningsinfrastruktur i Sverige 12
2.3 Tidigare forskning kring elektriska taxifordon 14
2.3.1 Potentialen för eltaxi globalt 14
2.3.2 Potentialen för eltaxi i Sverige 15
2.4 Taxiverksamheter i Stockholm och Uppsala län 15
2.4.1 Taxi Stockholm som verksamhet 15
2.4.2 Uppsala Taxi som verksamhet 16

3. Metod 18
3.1 Insamling av material 18
3.2 Erhållet material 18
3.2.1 Laddningsbeteende 18
3.2.2 Elnätets last i olika verksamhetsområden 19
3.2.3 Körmönster 20
3.3 Analys av material 20
3.3.1 Delmoment 1 - Befintligt laddningsbeteende 20
3.3.2 Delmoment 2 - Effektuttag baserat på två skilda laddningsbeteenden 21
3.3.3 Delmoment 3 - Elnätets belastning 22
3.3.4 Delmoment 4 - Uppskattad energiförbrukning år 2025 22
3.4 Känslighetsanalys 27
3.5 Studiens antaganden 28

4. Resultat 29
4.1 Lastprofiler och laddningsbeteende – År 29
4.1.1 Lägenhetsområde 30
4.1.2 Villaområde 31
4.1.3 Industri- och handelsområde 33
4.1.4 Flygplatsområde 34
4.2 Lastprofiler och laddningsbeteende – Dygn 36
4.2.1 Lägenhetsområde 36
4.2.2 Villaområde 37
4.2.3 Industri- och handelsområde 39
4.2.4 Flygplatsområde 41
4.3 Effektuttag baserat på två skilda laddningsbeteenden 43

4.3.1 Lägenhetsområde 43
4.3.2 Villaområde 45
4.3.3 Industri- och handelsområde 46
4.3.4 Flygplatsområde 47
4.4 Uppskattad energiåtgång år 2025 48
4.4.1 Energiåtgång per kvadratmeter 48
4.4.2 Lägenhetsområde 50
4.4.3 Villaområde 51
4.4.4 Industri- och handelsområde 52
4.4.5 Flygplatsområde 53
4.5 Känslighetsanalys 54
4.6 Analys av resultat 55
4.6.1 Lägenhetsområde 55
4.6.2 Villaområde 55
4.6.3 Industri- och handelsområde 56
4.6.4 Flygplatsområde 56
4.6.5 Känslighetsanalys 56
5. Slutsatser 58
6. Avslutande diskussion 59
6.1.1 Vidare studier 60
Referenser 61
Appendix ..... Fel! Bokmärket är inte definierat.

1. Inledning

Elbilen är en historisk innovation som användes och uppfanns i Frankrike redan år 1881 [1]. Därefter var utvecklingskurvan länge långsam vilket inte kom att ändras förrän på 1990-talet, då en stark tillväxt uppstod i samband med ett stort internationellt utvecklingsprogram [2]. Sedan dess har utvecklingen framskridit och från 2012 till 2017 har antalet elbilar i Sverige ökat med 180 % [3]. Den ökande andelen elbilar ställer idag nya krav på samhället och elnätet. Detta har bidragit till att ett flertal studier har utförts för att undersöka hur en implementering av elbilen som last kan komma att påverka elnätet. Tidigare studier inom ämnet visar att elbilen exempelvis kan bidra med förhöjda effektuttag samt ökade krav på tillgängligheten av laddningsinfrastruktur. Vidare tros elbilen påverka transmissionsnätet och distributionsnätet där den största inverkan tros synas på distributionsnätet [4]. Ett flertal studier har visat att komponenter inom dessa fördelningsnät därför löper störst risk för överbelastning [5]. Distributionsnätet utgör det fördelningsnät som direkt påverkar slutkunderna. Därmed utgår många studier idag från elbilens inverkan på elnätet lokalt, genom exempelvis förändringar i lastprofiler där laddningsbeteende och körmönster har stor påverkan [5].

Vidare har tidigare studier identifierat taxiverksamheter som aktiva aktörer i omställningen mot mer miljövänliga bränslen samt bilar [6]. Bilar inom taxiverksamheten ersätts regelbundet var tredje till sjätte år [7]. Detta innebär att taxiverksamheten har potential att snabbt låta sin verksamhet övergå helt till elbilar. Därtill anses införandet av elbilen inom transportsektorn idag bli betydelsefull för att uppnå EU:s gemensamma klimatmål om en fossiloberoende fordonsflotta [8]. De tre största taxiverksamheterna i Stockholms län, som utgör det län med flest taxifordon i Sverige [9], har alla som mål att fram till år 2025 övergå till en fossiloberoende taxiflotta [10–11]. Utifrån detta är det därför intressant att undersöka hur en elektrifierad taxiflotta kan komma att påverka elnätet samt energibehovet med avseende på befintligt laddningsbeteende och körmönster.

1.1 Syfte

Studien syftar till att undersöka en potentiell övergång till en elektrifierad taxiflotta i Stockholms län. Detta genom att identifiera och utvärdera laddningsbeteenden och körmönster hos taxifordon utifrån snabbladdning och på så sätt utvärdera hur en elektrifierad taxiflotta kan påverka elnätet. Inverkan på elnätet ämnas studeras på lokal nivå med avseende på effekttoppar i olika verksamhetsområden. Syftet avser besvaras med nedanstående frågeställningar och utifrån antagandet att hela Stockholms läns taxiflotta består av enbart elbilar år 2025.

1.1.1 Frågeställningar

- På vilka sätt, utifrån olika verksamhetsområden och laddningsbeteenden, kan en elektrifierad taxiflotta komma att belasta Stockholms läns elnät?
- Hur kan energibehovet, utifrån olika verksamhetsområden, se ut för Stockholms läns eltaxiflotta år 2025?

1.2 Disposition

Rapporten är disponerad med ett flertal huvudavsnitt som består av bakgrund, metod, resultat, slutsatser och avslutande diskussion. Inledningsvis presenteras Sveriges elnät i avsnitt *2. Bakgrund* vilket sedan övergår till en beskrivning av elbilens tillväxt samt dess tekniska egenskaper. Vidare beskrivs laddningsinfrastrukturen i Sverige samt elbilen och laststyrning. Bakgrunden avslutas med en redogörelse för tidigare forskning kring elbilens potential och information kring två taxiverksamheter i Sverige.

Efter bakgrunden följer avsnitt *3. Metod* som beskriver med vilken metod studien utförts. I metodavsnittet redogörs hur studiens material tillhandahållits, vad materialet innehåller samt på vilka sätt det har bearbetats. Avsnittet beskriver även hur studiens känslighetsanalys har genomförts. Slutligen presenteras studiens antaganden.

Vidare följer avsnitt *4. Resultat* som presenterar studiens resultat. Avsnittet är uppdelat i ett flertal delavsnitt. Inledningsvis presenteras resultaten för elnätets lastprofiler och uppskattat medeleffektuttag från laddningsbeteendet på års- och därefter dygnsbasis. Därtill presenteras uppskattat medeleffektuttag baserat på två skilda laddningsbeteenden. Vidare presenteras en approximerad energiåtgång år 2025, vilket följs av resultaten från utförd känslighetsanalys. Slutligen avslutas avsnittet med en analys av resultaten. Samtliga delavsnitt i resultatdelen presenteras utifrån fyra olika verksamhetsområden.

I avsnitt *6. Slutsatser* sammanställs studiens slutsatser, ämnade att besvara frågeställningarna. Slutligen inkluderar avsnitt *7. Avslutande diskussion* en diskussion med reflektioner kring arbetet samt förslag på vidare studier.

2. Bakgrund

I detta avsnitt presenteras den bakgrund som är viktig för att få en överskådlig förståelse av elnätet, elbilen, taxibranschen och relationen mellan dessa. Avsnittet inleds med en kort beskrivning av Sveriges elnät och elbilens samverkan med elnätet. Därefter beskrivs elbilens tekniska egenskaper. Vidare presenteras tidigare forskning och slutligen avslutas avsnittet med information kring två taxiverksamheter lokaliserade i Stockholm och Uppsala län.

2.1 Sveriges Elnät

Idag har Sverige ett väl utbyggt elnät som sträcker sig över hela landet och är sammankopplat med våra grannländer. Det svenska elnätet är uppdelat i tre olika nivåer som utgörs av stamnät, regionnät och lokalnät [12]. Stamnätet utgör ryggraden i elnätet och transporterar elen långa sträckor [12]. Spänningsnivån i stamnätet ligger mellan 220 och 440 kilovolt [13]. Länken mellan stamnätet och lokalnäten förbinds via regionnäten. Det finns ett flertal regionnät som är kopplade till lokalnäten, produktionsanläggningar och större förbrukningsanläggningar. Spänningsnivåerna i regionnäten ligger mellan 40 och 130 kilovolt [13]. Regionnäten transporteras således elen till elanvändare med mycket hög elförbrukning. De nät med lägst spänningsnivå är lokalnäten vars spänning är lägre än 40 kilovolt och ligger vanligtvis mellan 10 till 20 kilovolt [13]. Lokalnäten tillhandahåller Sveriges hushåll och mindre industrier med el vars elförbrukning är lägre än för de tyngre industrierna inom regionnäten [14].

De tre olika nivåerna i det svenska elnätet förvaltas av olika aktörer. Stamnätet är statligt ägt och förvaltas av Svenska kraftnät [15]. Regionnäten och lokalnäten förvaltas till skillnad från stamnätet av ett flertal aktörer via koncessioner. Regionnäten är till större del uppdelat mellan de tre huvudaktörerna E.ON Elnät Sverige, Vattenfall Eldistribution och Ellevio. Lokalnäten har desto fler ägare och ägs av cirka 160 elnätsföretag [15].

Varje gång en elbil ansluts till en laddningsstation belastas elnätet. I de fall då flera bilar laddar samtidigt vid laddningsstationen blir toppeffekten per fas högre än normalt [16]. Genom att till exempel nyttja laststyrning kan toppeffekten minskas [16]. Detta kan ske genom att laddningseffekten sprids ut till de fordon som laddar [17]. Ett annat alternativ är att det fordon som kopplats in sist erbjuds en högre laddningseffekt eftersom detta fordon rimligtvis är det fordon med högst behov av laddning [17]. Målet är således att det sammanlagda effektuttaget inte överskrider det önskade [17]. På detta sätt går det att begränsa effektuttaget på elnätet.

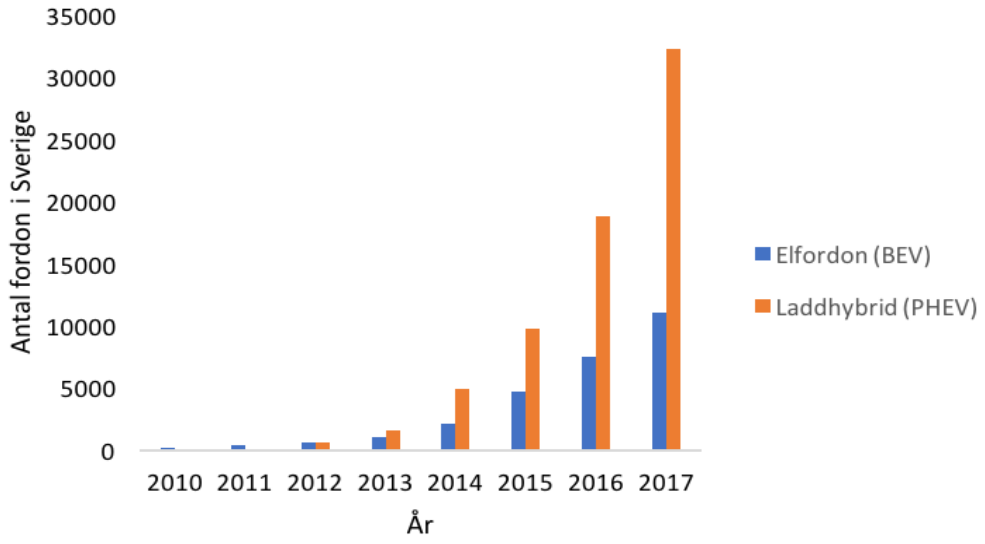
2.2 Eldrivna fordon

För att närmare förstå hur en övergång till eltaxibilar skulle kunna komma att se ut är baskunskap av elbilen nödvändig. Därför presenteras elbilens tillväxt, dess tekniska egenskaper och den befintliga laddningsinfrastrukturen i Sverige.

2.2.1 Elbilens tillväxt

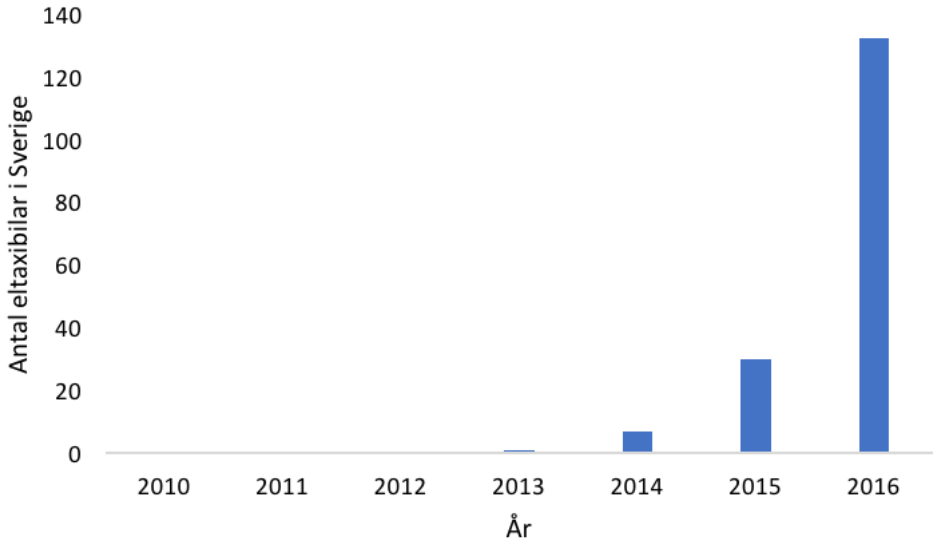
Den vanligaste typen av eldrivna fordon är elbilen (BEV) som enbart drivs av el och är utrustad med en elektrisk motor och ett batteri [18]. Detta fordon kan laddas direkt från elnätet. Vidare finns även laddhybriden (PHEV) och hybriden (HEV). Dessa skiljer sig från elbilen då de förutom en elmotor också har en förbränningsmotor [18]. Laddhybriden går, likt elbilen, att ladda direkt från elnätet. Hybriden är utrustad på ett likartat sätt som laddhybriden men använder förbränningsmotorn i en större utsträckning [18]. Förbränningsmotorerna används till stor del på grund av att hybriden inte går att ladda via elnätet, den laddas istället upp medan bilen kör [18].

År 2016 fanns omkring 2 miljoner elbilar och laddhybrider registrerade världen över [19]. USA hade fram till dess flest eldrivna fordon i landet men år 2016 ökade Kinas tillväxt av elbilar kraftigt, vilket resulterade i att de idag har flest antal laddningsbara fordon i världen [19]. Märkvärt är dock att Norge sedan år 2008, ur ett marknadsandelsperspektiv, utgjort det land med störst andel laddningsbara fordon [19]. Figur 1 visar tillväxten av personelbilen (PB) och laddhybriden (PHEV) i Sverige mellan år 2010 och 2017. Det går att avläsa att det skett en ökning av laddbara fordon under de senaste åren. Vid en närmare anblick fanns det i Sverige år 2017 över 32 000 laddhybrider vilket medför en ökning med 500 % sedan 2012 [3]. Vidare fanns det 11 000 elbilsfordon i Sverige vilket motsvarar en ökning med 180 % från 2012 [3].



Figur 1. Antalet laddbara bilar i Sverige mellan 2010 till 2017 [3].

Denna studie utgår enbart från personelbilar inom Stockholms taxiverksamhet. I figur 2 följer statistik över framväxten av elbilar inom Sveriges taxiflotta mellan 2010 till 2016. Enligt statistiken infördes den första eltaxibilen i Sverige år 2013.



Figur 2. Antalet laddbara bilar inom Sveriges taxiflotta mellan 2010 till 2016 [9].

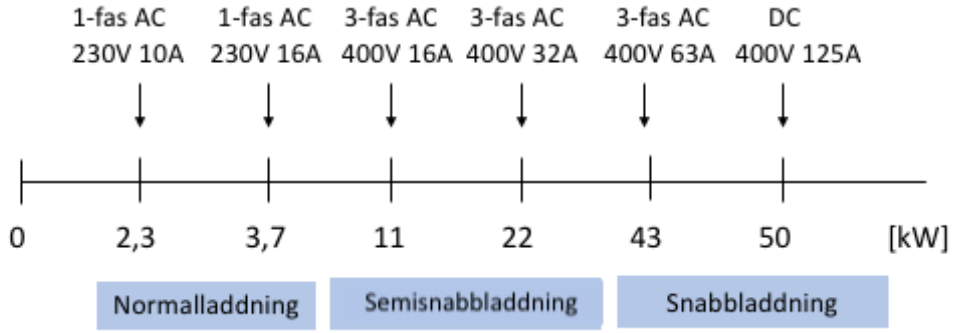
2.2.2 Elmotorn och batteriet

En förbränningsmotor har vanligen en verkningsgrad på 30 % och drivs av bensin, diesel eller biogas [20]. De eldrivna bilarna är istället utrustade med en elmotor som kan ha en verkningsgrad upp mot 80 % [20]. Idag förbrukar en genomsnittlig elbilsmotor i genomsnitt 0,2 kilowattimmar per kilometer [21]. Dessa elmotorer drivs i sin tur normalt av ett batteri som kan laddas upp direkt från elnätet. Priserna på elbilar har redan från början varit högre än fordon med förbränningsmotorer, vilket beror på batteriernas höga framställningskostnader [22]. Batterierna mäts i specifik energi vilket motsvarar batteriets förmåga att lagra energi per kilogram [22]. Idag finns ett antal olika typer av batterier som används i elbilar. Den mest förekommande batteritypen är litium-jonbatterier som har en kapacitet på ungefär 150 wattimmar per kilo [23].

Livslängden och kapaciteten hos ett batteri är direkt kopplat till motsvarande för själva fordonet. Vidare påverkas batteriets livslängd till stor grad av omgivande temperatur samt av förarens laddningsbeteende [23]. Batterierna fungerar optimalt vid rumstemperatur och laddas ur snabbare vid lägre och högre utetemperaturer [23]. Batteriets livslängd och kvalité försämras dessutom av urladdningar och överladdningar, vilket är varför under- och överladdning ska undvikas. Dagens elbilsteknik har vanligen larmsystem som illustrerar att bilen är urladdad en viss tid innan batteriet i verkligheten är helt urladdat [23]. På liknade sätt informerar systemet att bilarna är fulladdade när de egentligen enbart är laddade upp till 95 %. Denna teknik minskar förslitningar på batterierna och säkerställer att batteriets livslängd motsvarar den önskade livslängden på bilen [23].

2.2.3 Laddning av batteriet

Batteriets förmåga att lagra energi påverkar elbilens räckvidd medan laddningstiden istället beror på laddningsmetoden. Då olika elbilsmodeller har en varierad förmåga att ta emot laddningseffekt beror även laddningstiden på bilmodell [25]. Det finns idag en mängd olika tekniker och typer av sätt att ladda elfordon på och dessa varier globalt. Tekniken skiljer sig främst åt i laddningseffekt, vilket i sin tur påverkar laddningstiden där en högre laddningseffekt resulterar i en snabbare laddningstid. Laddningen har framförallt tre olika huvudkategorier: normalladdning, semisnabbsladdning och snabbladdning. Figur 3 illustrerar de tre olika kategorierna. Utöver dessa finns även Teslas snabbladdare Tesla Supercharger.



Figur 3. Sammanställning av laddningsmetoder samt dess effekt och laddningstid [25].

Normalladdning är den mest förekommande laddningsmetoden i Sverige [26] vilket utnyttjar enfasuttag med en laddningseffekt mellan 2,3 till 3,7 kilowatt, se figur 3. Denna laddningseffekt är vanligt förekommande i hemmet och har en laddningstid på 5 till 8 timmar, vilket varierar delvis på batteriets kapacitet samt dess nivå av uppladdning [26].

Semisnabbladdningen är en metod som är mer förekommande på laddningsstationer och är en snabbare typ av normalladdning med trefasväxelström [25]. Denna laddningsmetod har en laddningseffekt på 11 till 22 kilowatt och varierar beroende på strömstyrkan, se figur 3. Det tar vanligen mellan 1 till 3 timmar att ladda upp en elbil med semisnabbladdning [25].

Snabbladdningen använder, likt semisnabbladdningen, trefasväxelström men kan även nyttja likström [25]. Denna laddningsmetod är en snabb metod med ett högt effektuttag på 43 till 50 kilowatt och laddar upp elbilen på ungefär 20 till 40 minuter, se figur 3. Även denna teknik används vid laddningsstationer.

Tesla Supercharger är en snabbladdningsmetod som egenkonstruerats av det amerikanska företaget Tesla. Dessa laddningsmoduler är enbart konstruerade för Teslabilar och har en laddningseffekt på 130 kilowatt vilket laddar upp en elbil på 30 min [27].

Vilken typ av laddningsmetod som kan användas vid laddning beror på vilken typ av kontakt elbilen är utrustad med. Standarder kring typer av kontakter i Sverige följer sedan 2016 EU-direktivet om att använda kontakter av Typ 2 vid normalladdning och CCS-kontakten vid snabbladdning [28].

I tabell 1 följer en sammanställning av de mest förekommande elbilarna i Sverige idag samt dess tekniska skiljaktigheter. Under 2018 och framåt väntas ytterligare bilföretag, så som Audi, Volvo och BMW att lansera fler och nya elbilsmodeller [29].

Tabell 1. Sammanställning av tekniska egenskaper hos elbilar, priset är avrundat uppåt till närmaste 1000-tal [30–35].

Elbilsmodell	Räckvidd [km]	Batterikapacitet [kWh]	Elförbrukning /100 km [kWh]	Pris [tkr]
Nissan Leaf	380	40	17	303
Tesla Model S	490	75	19	607–950
Renault Zoe	300	41	15	210–225
Tesla Model X	500	100	-	607–950
Volkswagen e-Up!	160	19	12	226
BMW i3	300	33	14	340–396

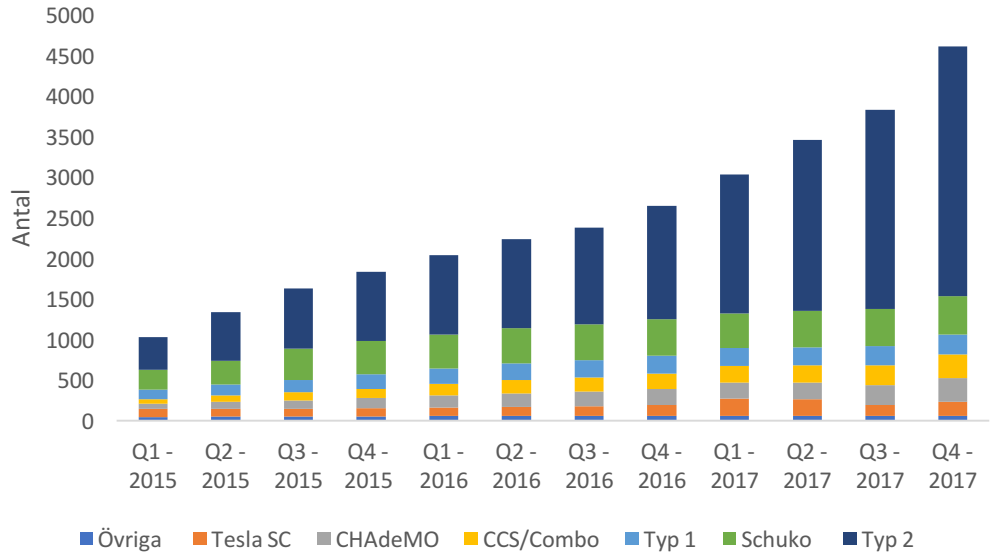
2.2.4 Laddningsinfrastruktur i Sverige

Laddningsinfrastrukturen i Sverige består av laddningsstationer med laddningspunkter. En laddningsstation syftar till ett geografiskt område med möjlighet till laddning [36]. Laddningsstationer kan bestå av ett flertal laddningspunkter där el överförs till en eller fler elbilar, medan en laddningspunkt endast tillhandahåller ett fordon med laddning i taget [36]. Laddningsinfrastrukturen i Sverige består av två typer av laddningsstationer, icke-publika och publika. Publika laddningsstationer är platser där allmänheten får tillgång till laddningsplatsen och där vem som helst kan ladda [36]. Dessa är ofta lokaliserade vid landsvägar, parkeringshus, motorvägar, resecentrum eller köpcentrum [36].

Effekten på laddningsstationen är beroende av dess funktion. Vid icke-publika laddningsstationer är en lägre effekt fördelaktig eftersom fordon ofta står parkerade vid dessa platser under en längre tid, det räcker därför med normalladdning [37]. För publika laddningsstationer varierar det rekommenderade effektuttaget. Till exempel kan laddning vid knutpunkter till kollektivtrafik ha ett lägre effektuttag. Detta då fordonen förväntas vara parkerade en längre tid, medan en högre effekt är eftertraktat där fordonen laddar under en kortare period [38]. Publika stationer med snabbladdning används också för att snabbare öka eller komplettera fordons räckvidd under en längre resa där enbart en laddning inte är tillräcklig [38–40]. Idag finns en rad olika digitaliserade lösningar som erbjuder information om vart de publika laddningsstationerna är utplacerad, vilken typ av laddningskontakt som finns tillgängligt samt antalet laddningspunkter vid varje station [41]. Dessa funktioner är tänkta att underlätta användandet av elbilen. Vissa laddningsstationer är också uppkopplade online vilket innebär att information om laddningspunktens tillgänglighet kan ses i realtid via hemsidor och applikationer [41].

Det finns idag främst två typer av betalningslösningar för laddning av elbilar vid publika laddningsstationer. En betalningslösning innebär att kunden enbart betalar för den tid som bilen står parkerad, detta kan liknas vid en vanlig parkeringsplats med tidsdebitering [38]. Denna betalningslösning hindrar kunder från att ta upp laddningsstationer längre än nödvändigt och kan öka platsens tillgänglighet. Vidare finns en betalningslösning där kunden istället betalar för den energi som överförs, detta kan i sin tur liknas vid en vanlig bensinstation där kunden enbart betalar för tankningen [38]. Fördelen med denna betalningsmetod är att kunden betalar för den faktiska energin som förbrukas.

Idag finns 1 327 publika laddningsstationer med 4 996 laddningspunkter i Sverige [42]. Dessa är spridda i landet men är främst koncentrerade till storstäderna. I Stockholms län finns det idag 54 laddningsstationer med möjlighet till snabbladdning [43]. Det finns inga strikta regler kring hur infrastrukturen bör etableras men EU-direktivet från 2014 har som nationellt mål att 0,1 laddningspunkter per elbil ska vara etablerat år 2020 [39]. Ökningen av laddningspunkter som skett i Sverige under 2015 till och med 2017, samt vilka typer av laddningskontakter som finns installerade vid dessa kan ses i figur 4.



Figur 4. Laddpunkter i Sverige kvartalsvis från 2015 till 2017 [42].

Denna studie har utgått ifrån verkliga laddningsdata baserad på ett antal av Vattenfalls befintliga snabbladdningsstationer i Stockholms län. Dessa laddarare är tillverkade av ABB och är av modellen Terra multi-standard DC charging station 53 [44]. Dessa modeller är rustade med en till tre laddningsuttag och har ett maximalt effektuttag på 50 kilowatt. De är också försedda med laddningsuttagen CCS, CHAdeMO och växelströmsfunktionalitet. Laddarna har kapaciteten att ladda ett 24 kilowattsbatteri från 30 till 80 % under 15 minuter [44].

2.3 Tidigare forskning kring elektriska taxifordon

Som tidigare nämnt har användandet av eltaxibilar varit lågt i Sverige och denna trend syns även globalt. Av denna anledning är tidigare forskning inom ämnet ännu begränsat. Befintlig forskning har främst ägt rum i Asien samt Nordamerika och därför följer beskrivningar av två internationella studier, en utförd i Sydkorea och en utförd i USA. Vidare redogör avsnittet för en studie utförd i Stockholm, Sverige.

2.3.1 Potentialen för eltaxi globalt

Enligt studien *A study on the activation plan of electric taxi in Seoul*, utförd av Kim Jooyoung, Lee Seungjae och Sik Kim Kwangs [45], finns motivation att införa eldrivna taxibilar i Sydkorea. Detta beror främst på viljan att minska lokala och globala luftföroreningar som till stor del orsakas av bilar med fossila bränslen. Studien utfördes i Sydkoreas huvudstad Seoul och visade på att staden hade en hög implementationspotential för eltaxibilar samt att det skulle vara finansiellt gångbart. Analysen, som baserades på eltaxibilars körbeteende och laddningsmönster, visade att staden hade en hög implementeringspotential samt att det skulle vara positivt ur ett klimatperspektiv.

Vidare fann studien att många elbilsägare besitter en viss rädsla för att batterierna ska ladda ur. Detta medför i sin tur att elbilsförare har en uppfattning om att elbilar enbart bör och kan användas för kortare sträckor. Studien visade på att denna uppfattning delades av stadens eltaxichaufförer, vilket resulterade i färre resor till stadens förorter samt färre körda mil per skift. Studien visade även på en trend där de flesta studerade taxifordon laddade vid vissa specifika laddningsstationer. Dessa var många gånger placerade i Seouls innerstad. Forskarna rekommenderade av den anledningen en tätare utplacering av laddningsstationer längst stora vägar som leder till städer.

Ytterligare en studie som genomförts inom det berörda området är *Charge Sharing Model using Inductive Power Transfer to Increase Feasibility of Electric Vehicle Taxi Fleets* [46]. Denna studie är utförd av Columbia University och är baserad på verkliga data hämtade från taxiflottan i New York i USA. Även denna studie undersökte möjligheten för en ökad användning av elbilar hos New Yorks taxiflotta. Undersökningen fokuserade på eltaxibilens räckvidd och hur den kunde komma att förändras med laddning via induktion. Laddning via induktion sker genom marken. Denna relativt nya teknik innebär att elbilar vid specifika platser har möjligheten att, genom induktion i vägen, utbyta laddning mellan andra elbilar vid samma position. Studien visade att räckvidden hos eltaxibilar ökade med denna typ av laddning. Detta var baserat på befintliga körmönster samt ett modellerat laddningsbeteende. Vidare visade studien även på att taxiverksamhetens befintliga beteende till största grad har möjligheten att fortskrida, utan oönskade stopp och distraktioner, om laddning kan kompletteras med induktion i marken.

2.3.2 Potentialen för eltaxi i Sverige

Doktoranden Jens Hagman är projektledare för en pågående studie som utförs i Stockholm och som beräknas slutföras i juni 2018. Projektet benämns *Elbil som taxi* [47], vilket syftar till att utreda i vilken grad införandet av eltaxibilar kan utgöra en drivkraft för en storskalig utveckling av elbilar och snabbladdare, utifrån svenska förhållanden. Studien ämnar utföra en ekonomisk optimering av investeringar, införande och beteende samt identifiera risker och hinder. Projektet har som målsättning att ta fram ny kunskap samt att påverka omställningen från fossila bränslen till en mer hållbar lösning och därmed främja en minskad energianvändning. Vidare har studien som mål att nå en 10 % ökning av eltaxibilar i Stockholm. De menar på att en total elektrifiering av samtliga taxibilar skulle medföra en radikal minskning med 60 till 70 % av energianvändningen.

Studien har hittills bland annat undersökt Stockholms taxiverksamhet och funnit att inställningen till elbilar är positiv men att det finns en generell rädsla för att batterierna ska ladda ur. Av den anledningen väljer ofta de chaufförer, med eltaxi, bort körningar med okänd destination [48]. Vidare har studien funnit ett par rekommenderade laddningsstrategier för taxiverksamheten [48]. Dessa rekommendationer är baserade på intervjuer med ett antal eltaxichaufförer samt erhållen kördata från Taxi Stockholm. Studien rekommenderar dels att chaufförerna laddar mellan skiften och om möjligt med långsamladdare [47]. För att öka drifttiden och inkomsten under skiften förespråkar studien även flera men kortare snabbladdningar vid rast- och paustillfällen. Till sist rekommenderar studien laddning i områden där efterfrågan på eltaxi är hög för att försäkra sig om nya körningar efter färdig laddning [6].

2.4 Taxiverksamheter i Stockholm och Uppsala län

I detta avsnitt presenteras information kring två taxiverksamheter i Stockholm och Uppsala län. Informationen är baserad på intervjuer med projektledare för tidigare utförda studier kring eltaxibilar samt intervjuer med taxibolagen Taxi Stockholm och Uppsala Taxi.

2.4.1 Taxi Stockholm som verksamhet

Taxi Stockholm är en förening med ungefär 900 åkerier som medlemmar [49]. Sammanlagt har dessa åkerier 1 600 bilar som sammanlagt kör cirka 8 miljoner resor under ett år i Taxi Stockholms namn [49]. Idag har föreningen totalt 45 eltaxifordon i bruk [7]. En enskild taxibil på Taxi Stockholm kör i dagsläget i snitt 1 200 mil per år [9]. Detta medför att bilarna får användas i högst sex år men byts i genomsnitt ut efter tre års användning, vilket innebär att föreningen byter ut cirka 500 bilar om året [7]. Enligt Belan Bahram [7], projektledare för elbilar på Taxi Stockholm, skulle detta rent praktiskt kunna resultera i att hela föreningens taxiflotta kan vara utbytt till enbart elfordon inom loppet av tre år. Enligt Taxi Stockholms VD Johan Lagerhäll [10] har de dock, likt många konkurrenter, som vision att vara helt fossiloberoende år 2025 [11].

Enligt Lagerhäll [10], ansvarar varje enskilt åkeri för samtliga kostnader och investeringar kring sina verksamheter, inklusive bilarna och driften. På så sätt är yrket provisionsbaserat, ju fler körningar desto större vinst. Som förening ansvarar Taxi Stockholm för att ha kontinuerlig kontakt, med bland annat Vattenfall och andra inblandade intressenter, för att delta i planeringen av laddningsstationer [7]. Föreningen äger inte själva några laddningsstationer men har samarbeten och avtal med större företag kring laddningspris och användning [10]. Enligt Bahram [7] uppmuntrar Taxi Stockholm, som förening, de chaufförerna med elfordon att installera egna normalladdare vid sina hem. Förutom normalladdning i hemmen laddar taxichaufförerna idag övervägande vid snabbladdningsstationer [10]. Vidare poängterade både Lagerhäll [10] och Bahram [7] att det för taxiverksamheten finns ett behov av att kunna ladda ofta och under kortare perioder, mellan fem till tio minuter. De tror även att möjligheten att kunna snabbladda vid varje destination skulle spara taxichaufförerna tid och försäkra dem om att batteriet räcker.

Föreningen planerar att fortsätta öka sin andel elbilar i flottan och för idag dialoger med biltillverkare i hopp om förbättringsmöjligheter anpassade efter deras verksamhet [49]. Av föreningens 45 elbilar är idag 15 av modellen Tesla [10]. En taxibil kräver en lämplig säkerhet, storlek samt komfort vilket enbart bilar av modellen Tesla uppfyller idag dock med nackdelen av dess höga inköpspris [10]. Som ägare av en Teslabil finns det möjlighet att ladda vid Teslas egna snabbladdningsstationer [27]. Vidare finns ett flertal laddningsstationer vid Arlanda flygplats. Bahram menar dock på att laddning vid Arlanda, ur ett taxiperspektiv, inte är att föredra på grund av det långa avståndet. Vidare poängterade Bahram en viss problematik kring saknandet av reglering av laddning. Enligt Bahram upplever Taxi Stockholms eltaxichaufför att de befintliga laddningsplatserna ofta är upptagna [7]. Han menar att detta kan bero på elbilsägarnas beteende som lämnar bilarna obevakade längre än nödvändig.

2.4.2 Uppsala Taxi som verksamhet

Uppsala Taxi är ett aktiebolag, aktivt i Uppsala, vars medlemmar består av åkerier som äger aktier inom företaget och som i sin tur består av en till tjugo bilar [50]. Företaget har idag 150 taxifordon där 88 av bilarna drivs med biogas och en med el [50]. Enligt VD Håkan Eriksson samt miljö- och utbildningsansvarige Lars Axelsson [50] består bolagets verksamhet till största del av så kallade samhällskörningar. Samhällskörningar innefattar sjukresor och skolturer. Sjukresor är upphandlade av landstinget och omfattar resor mellan hemmet och vårdgivare för patienter i hela länet. Dessa resor är inaktiva vilket innebär att taxichauffören i förväg inte vet resans destination eller sträcka. Skolturerna avser i sin tur resor mellan hemmet och skolan men är inte inaktiva utan är förutbestämda och planerade.

Likt Taxi Stockholm står varje åkeri som ägare för taxifordonen [50]. Detta med undantag för bolagets elbil, av modellen Tesla, som försöksvis köptes in av moderbolaget år 2015 i och med ett samarbete med Uppsala Energi [50]. I och med samarbetet installerades en snabbladdningsstation vid företagets huvudkontor. Enligt Eriksson [50] är elfordonet i dagsläget inte lönsam för bolaget. Detta menade han beror på det höga inköpspriset samt dess begränsade räckvidd. Eriksson och Axelsson [50] menade främst på att Teslan inte är lämpad för sjukresor där en begränsad räckvidd försvårar inaktiva resor. Vidare är heller inte Teslan anpassad för patienter med funktionshinder [50].

3. Metod

I detta avsnitt presenteras tillvägagångsätt för att uppnå projektets syfte. Inledningsvis följer en redogörelse för hur det empiriska och statistiska materialet tillhandahållits, dess innehåll samt bearbetning. Vidare presenteras tillvägagångsättet för utförd känslighetsanalys och slutligen presenteras studiens antaganden.

3.1 Insamling av material

I studiens uppstartande fas lades fokus på tidigare forskning inom projektets berörda område. Däribland inkluderades studier som tidigare undersökt utvecklingen och användningen av elbilar i stadsområden samt mer specifika studier med elektrifierade taxiflottor i olika städer. För att få tillgång till statistik samt en djupare insikt i taxibranschen kontaktades ett antal taxibolag. En inledande intervju hölls med Uppsala taxi, vilket genererade viktig och fördjupande information kring dess verksamhet och inställning kring elbilar. Statistiska data erhölls av laddningsinfrastrukturföretaget InCharge samt Taxi Stockholm via Jens Hagman, doktorand på Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm. Jens Hagman är projektledare för studien *Elbil som taxi*, vilket är ett samarbete mellan Sustainable Innovation, Kungliga Tekniska Högskolan, Vattenfall och Taxi Stockholm. Projektet *Elbil som taxi* syftar till att undersöka eltaxibilens möjlighet att agera som drivkraft för introduktionen av elbilar i samhället, främst genom att optimera ekonomiska investeringar kring införandet.

I studiens senare skede kompletterades insamlat material med material berörande elnätets last. Detta skedde i samarbete med Vattenfall och inkluderade lasten på elnätet utifrån fyra olika verksamhetsområden. I nästa avsnitt följer en närmare beskrivning av erhållet material samt dess användningsområde.

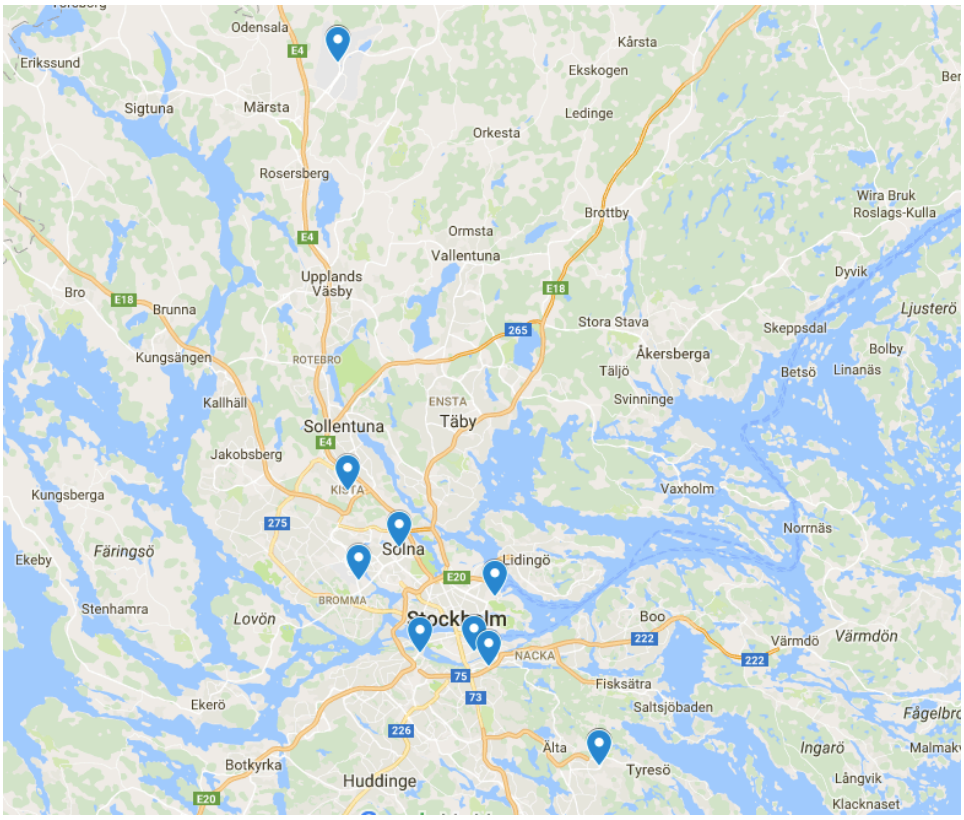
3.2 Erhållet material

I detta delavsnitt beskrivs innehållet av det insamlade materialet som använts i studien. Delavsnittet innehåller information om data berörande laddningsbeteende, belastning på elnätet och körmönster från Taxi Stockholms eltaxibilar.

3.2.1 Laddningsbeteende

Ett verkligt och pålitligt laddningsmönster är fördelaktigt för att kunna undersöka hur befintliga eltaxibilars laddningsbeteende ser ut samt för att kunna urskilja olika typer av laddningsbeteenden. Registrerad statistik baserad på 12 snabbladdningsstationer, placerade i Stockholms län har därför stått som grund för laddningsbeteendet i detta projekt. Urvalet gjordes av InCharge och inkluderar laddningstillfällen från 49 eltaxibilar samt 403 privatbilar. Erhållet data bestod av samtliga registrerade laddningstillfällen vid valda snabbladdningsstationer och inkluderade laddningstillfällets start- och sluttid, den totala varaktigheten, volymuttaget samt vilken laddningsstation och vilket uttag som använts. Datainsamlingen baserades på ett år och sträckte sig från 2016-04-01 till 2017-03-31 vilket resulterade i 15 878 laddningstillfällen, varav hälften utgjordes av taxiladdning. Den

insamlade statistiken hämtades från befintliga snabbladdningsstationer från olika verksamhetsområden placerade i Stockholms län, se överskådlig bild i figur 5. Varje markör representerar en enskild laddare med undantag från Arlanda, Tyresö och Östermalm där två laddare är placerade. Alla laddningsstationer där datainsamling skett ägs av InCharge.



Figur 5. Geografisk placering av laddningsstationerna använda i studien. Kartan är skapad med Google Maps kartverktyg.

3.2.2 Elnätets last i olika verksamhetsområden

För att möjliggöra en jämförelse mellan elnätets belastning och laddningsbeteendets mönster införskaffades data kring elnätets belastning. Efterfrågat material baserades på belastningen i fyra olika verksamhetsområden. Dessa verksamhetsområden infördes för att på ett enklare sätt kunna kategorisera och jämföra elbilslasten i olika områden i Stockholms län. Kategoriseringen resulterade i *lägenhetsområde*, *villaområde*, *industri- och handelsområde* samt *flygplatsområde.* Data för *lägenhetsområde* inkluderade två elnätslinjer på lokal nivå som sammanlagt försåg 3 186 kunder. Data för *villaområde* inkluderade två elnätslinjer på lokal nivå som försåg 2 319 villakunder. *Industri- och handelsområde* innefattade tre elnätslinjer med sammanlagt 100 kunder. Det sista området, *flygplatsområde*, innefattade tre linjer där en linje representerade ett större flygplatsområde och de andra två representerade mindre flygplatsområden. Belastningen på elnätet för *lägenhet-, villa, industri- och handelsområde* är hämtad under tidsperioden 2016-04-01 till 2017-03-31, medan data för *flygplatsområde* hämtades under tidsperioden 2017-04-01 till 2018-03-31. Lasten för respektive linje var baserad på timbasis. Det insamlade materialet erhölls av Vattenfall.

Datavärdena på de utvalda linjerna försåg även andra typer av kunder i verksamhetsområdena men baserades på så rena linjer som möjligt.

3.2.3 Körmönster

Statistiken erhållen från Taxi Stockholm utgjorde samtliga resor körda av företagets 1 600 taxibilar. Dessa resor var registrerade mellan 205, av Taxi Stockholm, fördefinierade zoner inom Stockholms län med given start- och slutpunkt. Statistiken representerar företagets körmönster med samtliga körningar från 12 veckor under 2017. Enligt Taxi Stockholm varierar körmönstret avsevärt lite under året [10]. En vecka per månad under ett år erhölls därför.

3.3 Analys av material

Analys av erhållet material skedde i fyra olika delmoment. De tre första delmomenten utgick från data baserat på laddningsstationerna och elnätets belastning, medan det sista delmomentet baserades på data från Taxi Stockholms körmönster. Det första delmomentet finns beskrivet i avsnitt *3.3.1 Delmoment 1-Befintligt laddningsbeteende*. Delmomentet innefattade en omarbetning av data för att nå en representativ bild av hur laddningsbeteendet på de 12 laddningsstationerna ser ut i dagsläget. Det andra delmomentet, beskrivet i avsnitt *3.3.2 Delmoment 2-Effektuttag baserat på två skilda laddningsbeteenden,* innebar en uppdelning av befintligt laddningsbeteende till två olika beteenden. Dessa inkluderade laddning med varaktighet under 10 minuter samt laddning med varaktighet över 20 minuter. Avsnitt *3.3.3 Delmoment 3-Elnätets belastning* beskriver bearbetningen av verksamhetsområdenas last på elnätet. Slutligen beskriver avsnitt *3.3.4 Delmoment 4-Uppskattad energiförbrukning i Stockholms län*, en kartläggning av Stockholms läns taxiflottas approximerade energibehov år 2025. I nästkommande delavsnitt följer mer utförliga beskrivningar av samtliga delmoment.

3.3.1 Delmoment 1 - Befintligt laddningsbeteende

För att påvisa hur dagens laddningsbeteende ser ut användes laddningsdata från InCharges 12 laddningsstationer. Laddningsstationerna var placerade på 12 geografiska platser i Stockholms län. Dessa skalades ner till nio geografiska platser eftersom det vid tre platser låg två närliggande stationer. Laddningsmönstret för de två stationerna summerades för att nå en rättvis bild av laddningsmönstret vid den geografiska platsen. Dessa platser inkluderade laddningsstationer på Arlanda, Tyresö och Östermalm.

Utifrån data från laddningsstationerna skapades lastprofiler. Lastprofilerna innefattade två olika tidshorisonter, en på årsbasis samt en på dygnsbasis. Lastprofilerna på årsbasis delades upp i de fyra olika verksamhetsområdena *lägenhetsområde, villaområde, industri- och handelsområde* samt *flygplatsområde*. Dessa verksamhetsområden tilldelades i sin tur laddningsstationerna. Samtliga effektuttag för respektive verksamhetsområde plottades sedan över tid och medeleffektuttaget samt standardavvikelsen beräknades för respektive verksamhetsområde. För verksamhetsområde *lägenhet* inkluderades stationer belägna i

zonerna Östermalm, Södermalm, Hammarby och Liljeholmen. För verksamhetsområde *villa* inkluderades stationer belägna i zonen Tyresö. För *industri- och handelsområde* inkluderades zonerna Solna och Kista. Slutligen inkluderades stationer belägna i zonerna Arlanda flygplats och Bromma flygplats till verksamhetsområde *flygplats*. I tabell 2 illustreras uppdelningen av laddningsstationerna.

Tabell 2. Uppdelning av laddningsstationer i verksamhetsområden.

Lägenhetsområde	Villaområde	Industri- och handelsområde	Flygplatsområde
Östermalm	Tyresö	Solna	Arlanda flygplats
Södermalm		Kista	Bromma flygplats
Hammarby			
Liljeholmen			

Lastprofilerna på dygnsbasis beräknades för samtliga 9 stationer. Profilerna bestod av en beräknad medeleffekt under en 24 timmars period med minutupplösning och beräknades med hjälp av programmeringsspråket Matlab. Programmet hade som syfte att returnera en lastvektor med 1440 punkter, en punkt per minut under en 24 timmars period. Vid varje laddningstillfälle beräknades därför effektuttaget genom att dividera volymuttaget med varaktigheten i enlighet med:

$$Medeleffekt = \frac{Volymuttag\ [kWh]}{Varaktighet\ [h]}.$$

Resultatet från ekvationen antogs vara konstant över hela varaktigheten och placerades på korresponderande start- och stoppminut i lastvektorn. För varje station summerades sedan effektuttaget från samtliga laddningstillfällen och dividerades med antalet dagar under ett år. Laddningsvektorn kom således att utgöra medeleffekten för den korresponderande stationen över ett medeldygn.

3.3.2 Delmoment 2 - Effektuttag baserat på två skilda laddningsbeteenden

Utifrån de intervjuer som genomfördes med Jens Hagman, Taxi Stockholm och Uppsala Taxi framgick att beteendemönstret, utifrån laddningsinfrastrukturen idag, främst kan komma gå två vägar. Denna studie har därför utgått från en analys av korttids- och fulltidsladdning, för att se hur dessa beteende kan komma att utvecklas fram till 2025. Om taxiföraren själv får bestämma kommer fordonet ladda ofta och under en kort tid. Efter att ha studerat befintliga laddningsdata togs beslutet att korttidsladdning i detta projekt definieras som laddning med en varaktighet som underskrider 10 minuter. Med detta tidsspann hinner fordonen inta en

tillräcklig mängd energi för att motsvara en ny resa. I det andra fallet sker motsatsen och innebär att batteriet laddas näst intill fullt, vilket i sin tur definierats som laddning med en varaktighet som överskrider 20 minuter.

Utifrån dessa två extremfall sorterades därför erhållet material i två olika dataset; ett dataset vars laddningstillfällen understeg 10 minuter och ett dataset vars laddningstillfällen översteg 20 minuter. Utifrån de två dataseten skapades laddningsprofiler för de nio laddningsstationerna. Detta gjordes i programmeringsspråket Matlab, på samma sätt som i avsnitt *3.3.1 Delmoment 1-Befintligt laddningsbeteende.* Slutligen beräknades medeleffektuttaget för de båda varaktigheterna samt andelen av korttidsladdningens energimängd utifrån den totala energimängden.

3.3.3 Delmoment 3 - Elnätets belastning

För att möjliggöra en jämförelse mellan elnätets last och lasten från eltaxibilarna skapades lastprofiler för elnätet. Dessa inkluderade lasten på elnätet, utifrån de fyra olika verksamhetsområdena, under ett år samt medelvärdet över ett dygn. Lasten på årsbasis beräknades genom att summera lasten på de utvalda elnätslinjerna inom respektive verksamhetsområde. Även medellasten och standardavvikelsen beräknades.

Lasten på dygnbasis beräknades genom att summera samtliga värden för ett angivet klockslag under ett års tid. Summan dividerades sedan med antalet värden för att nå ett medelvärde.

3.3.4 Delmoment 4 - Uppskattad energiförbrukning år 2025

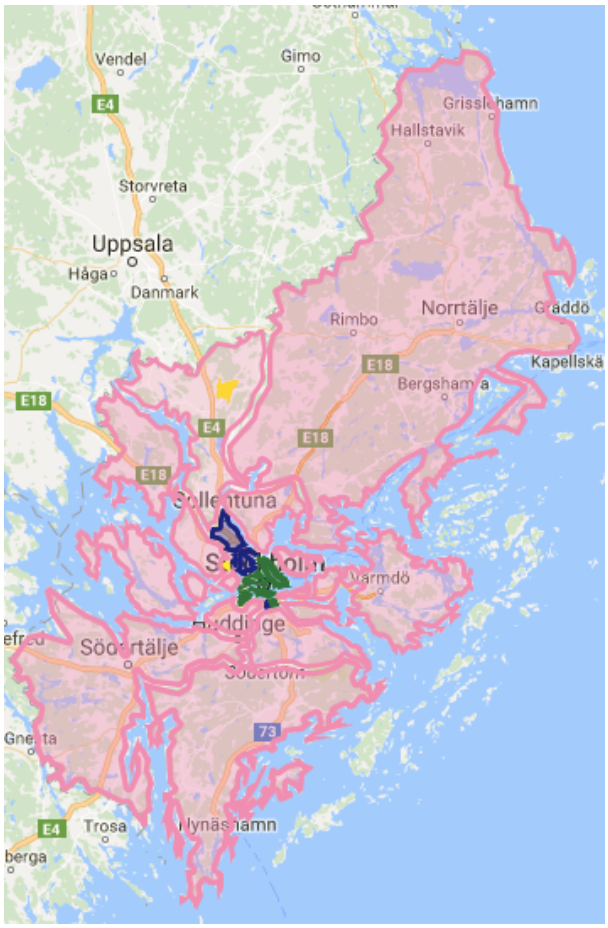
För att approximera ett framtida energibehov år 2025, som genererats från samtliga taxiresor över tid, användes Taxi Stockholms körmönster. Körmönstret var indelat utifrån vilken timme på dygnet som resan genomfördes, zon där resan påbörjades samt zon där resan avslutades. Zonerna var i sin tur baserade på 205, av Taxi Stockholm, fördefinierade zoner. För att nå en hanterbar datamängd påbörjades arbete genom att dela in de 205 fördefinierade zonerna i 27 större zoner.

De 27 zonerna skapades utifrån typ av verksamhetsområde, antal körningar till och från zonen samt angränsande vägar. Detta eftersom typ av verksamhetsområde påverkar under vilken tid på dygnet fordonet laddar. Vidare tilldelades angränsande områden, med likvärdig verksamhet och antal körningar, samma zon medan angränsande områden med varierande antal körningar tilldelades olika zoner. Även angränsande vägar togs i beaktning eftersom den geografiska placeringen av vägar påverkar vart i zonen fordonen har möjlighet att ladda. I tabell 3 nedan presenteras indelningen av de olika zonerna i respektive verksamhetsområden.

Tabell 3. Uppdelning av zoner i verksamhetsområden.

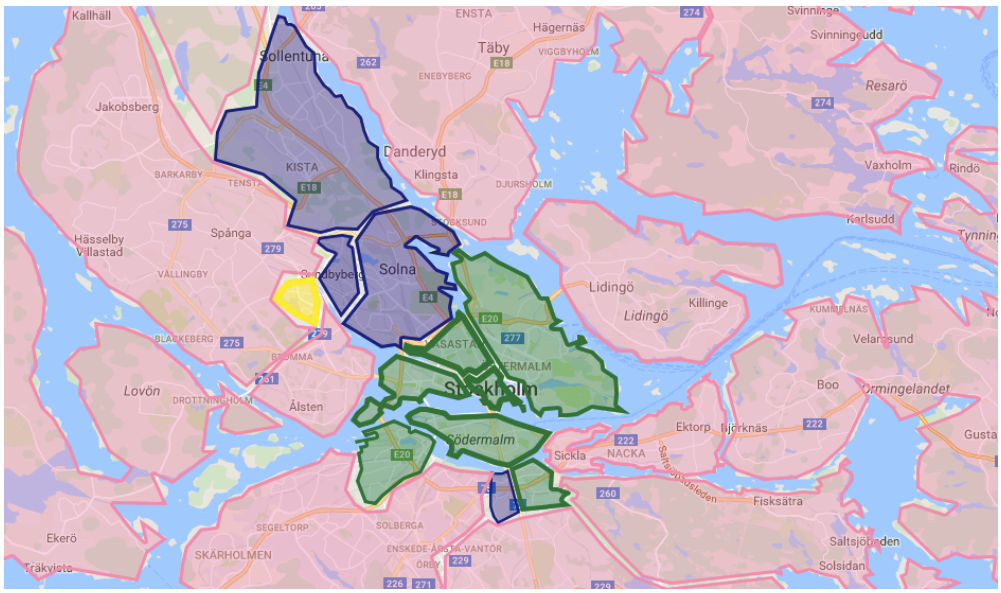
Lägenhetsområde	Villaområde	Industri- och handelsområde	Flygplatsområde
Södermalm	Bromma	Solna	Arlanda flygplats
Östermalm	Nacka	Kista	Bromma flygplats
City	Täby	Sundbyberg	
Västermalm	Järfälla	Globen	
Norrmalm	Lidingö		
Hammarby	Värmdö		
Liljeholmen	Tyresö		
	Skärholmen		
	Upplands Väsby		
	Södertälje		
	Norrtälje		
	Mälaröarna		
	Saltsjöbaden		
	Nynäshamn		

I figur 6 ses en övergripande bild av de 27 definierade zonerna i Stockholms län. De olika färgerna representerar olika typer av zoner där grön representerar *lägenhetsområde*, rosa representerar *villaområde,* lila representerar *industri- och handelsområde* och gul representerar *flygplatsområde*.



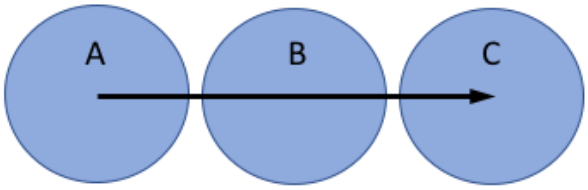
Figur 6. Uppdelning av zoner inom Stockholms län. Grön zon representerar lägenhetsområde, rosa zon representerar villaområde, lila zon representerar industri- och handelsområde och gul zon representerar flygplatsområde. Kartan är skapad med Google Maps kartverktyg.

I figur 7 presenteras en närmare överblick över de mindre zonerna lokaliserade i Stockholms läns stadskärna.



Figur 7. Uppdelning av zoner inom innerstad och närförort. Grön zon representerar lägenhetsområde, rosa zon representerar villaområde, lila zon representerar industri- och handelsområde och gul zon representerar flygplatsområde. Kartan är skapad med Google Maps kartverktyg.

Utifrån de definierade zonerna beräknades energimängden för de utförda resorna till zonen. Energimängden beräknades utifrån två variabler; antalet resor till en specifik zon samt avståndet för att resa från startpunkten till den angivna zonen. Energimängden mättes i enheten kilowattimmar. Figur 8 illustrerar hur avståndet mellan två zoner beräknades.



Figur 8. Illustration för beräkning av avstånd mellan zoner. Uppmätningen av avståndet utgick från startzonens mittpunkt (A) till slutzonens mittpunkt (C) via fågelvägen.

I figur 8 illustreras hur avståndet beräknades genom att mäta fågelvägen från mittpunkten i zon A, till mittpunkten i zon C. För resor gjorda inom zonen halverades den längsta diagonalen i zonen. Avståndet beräknades med hjälp av Google Maps kartverktyg där avståndet mellan två punkter angavs. Viktigt att ta i beaktning är att avståndet inte avser en verklig körsträcka utan utgör det kortaste avståndet mellan två zoner. Avståndet användes sedan för att beräkna den totala energiåtgången för resan, där ett fordon antas förbruka 0,2 kilowattimmar per kilometer.

Energimängd per resa multipliceras sedan med antalet resor gjorda mellan de två zonerna. Slutligen dividerades energimängden för samtliga resor med antal dagar på ett år för att nå en representation av energimängden per timme över ett medeldygn.

För att beräkna den totala energimängden per timme beräknades avståndet mellan samtliga zoner och multiplicerades sedan med antalet resor. Resultatet illustrerades sedan grafiskt med hjälp av Matlab. Koden returnerade, likt laddningsmönstret, en lastvektor vars effektuttag motsvarade energimängden per timme. Eftersom energimängden beräknades varje timme, motsvarade effekten vid angiven timme samma värde som energimängden.

Slutligen skalades resultatet upp för att representera energiåtgången år 2025. Detta gjordes i enlighet med en utförd prognos som resulterade i antalet aktiva taxifordon år 2025 i Stockholms län. Nedan följer en närmare beskrivning av prognosen.

År 2016 var antalet taxifordon i Stockholms län 6 996 stycken. Denna siffra kan också uttryckas som 3,1 taxifordon per 1 000 invånare och benämns då som taxitäthet [9]. Taxitätheten för respektive år mellan 2007 till 2016 återfinns i taxiförbundets branschlägesrapporter [9] och presenteras i tabell 4. I tabellen presenteras även differensen i taxitäthet mellan förekommande och aktuellt år.

Tabell 4. Taxitätheten per 1000 invånare från år 2007 till 2016 [9], samt differensen mellan aktuellt och föregående år.

År	Taxitäthet	Differens
2007	2,789	
2008	2,806	0,017
2009	2,780	-0,026
2010	2,871	0,091
2011	2,937	-0,049
2012	2,888	-0,036
2013	2,852	0,055
2014	2,907	0,055
2015	2,962	0,055
2016	3,094	0,132

År 2016 var befolkningsmängden i Stockholms län 2 269 060 [51]. Till år 2025 förväntas befolkningen uppgå till 2 574 059 [51]. Utifrån given statistik kunde en prognos för antalet taxifordon beräknas enligt:

$$Antalet\ taxibilar\ \text{år}\ 2025 = \frac{Befolkning\ \text{år}\ 2025}{1000} * Taxitäthet\ per\ 1000\ invånare\ .$$

Taxitätheten grundade sig i värdet 3,1 från år 2016 i tabell 4. Värdet extrapolerades sedan till år 2025 genom att beräkna medelvärdet av differensen i tabellen, som sedan adderades årsvis. Det slutliga uppskattade värdet för taxitätheten blev således 3,4. Utifrån den nämnda beskrivningen resulterade ekvationen i 8 749 fordon år 2025. Det motsvarar en ökning med 1 753 fordon i Stockholms län från år 2016 till år 2025. Energibehovet skalades således upp för att representera 8 749 fordon år 2025.

3.4 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen i denna studie inkluderade beräkningar gällande energibehovet för de 27 definierade zonerna. Analysen undersökte hur beräkningen av avståndet mellan två zoner kan påverka energibehovet. I studien beräknades avståndet mellan två zoner genom att ta mittpunkten i de båda zonerna och sedan mäta fågelvägen däremellan. Fågelvägen gav således en indikation på energiåtgången som möjliggjorde en jämförelse mellan de olika zonerna. För att undersöka hur avståndet påverkade energibehovet genomfördes därför en alternativ beräkning av avståndet för den zonen med högst energibehov. Detta resulterade i en känslighetsanalys för zonen City.

I känslighetsanalysen beräknades avståndet mellan två zoner genom att utforska en verklig körrutt mellan de två zonerna. Körrutten bestämdes genom att använda Google Maps verktyg som erbjuder vägbeskrivning mellan två punkter. Den rutt som resulterade i kortast restid användes för att beräkna avståndet mellan de två punkterna. Energibehovet beräknades sedan på samma sätt som beskrivet i avsnitt *3.3.4 Uppskattad energiförbrukning år 2025* med nya värden för avståndet mellan zonerna. Slutligen beräknades den totala energiåtgången för de båda fallen.

Andra parametrar som kommit att påverka energibehovet är antalet kilowattimmar per kilometer samt antalet aktiva bilar år 2025. Eftersom dessa parametrar är konstanter innebär en förändring av värdena en linjär ökning eller minskning i de båda fallen. Känslighetsanalys med avseende på dessa parametrar utfördes av den anledningen inte.

3.5 Studiens antaganden

I studien inkluderades ett antal antaganden. Ett första antagande berörde InCharges laddningsdata som utgick från 49 eltaxifordon vid 12 olika snabbladdningsstationer. Då studien begränsades till att studera effektuttag från snabbladdning togs inte data baserad på normal- eller semisnabbladdning i beaktning. Det går att argumentera för att dessa typer av laddning finns med indirekt i laddningsmönstret för snabbladdning, då fordon nyttjar dessa typer vid andra tider på dygnet.

Elnätets belastning utgår ifrån fyra olika verksamhetsområden. I varje enskilt verksamhetsområde har elnätets belastning baserats på två eller tre elnätslinjer. Dessa linjer antogs därmed vara representativa för sitt verksamhetsområde.

Ytterligare ett antagande berör Taxi Stockholms verksamhetsroll. Taxi Stockholms taxiverksamhet antogs vara representativ för samtliga taxiverksamheter i Stockholms län och körmönstret baserades på data kopplad till deras verksamhet.

Ännu ett antagande var att körmönster och laddningsbehov påverkas av antalet aktiva taxifordon. Hur många skift som körs per dygn, samt starttider och sluttider för skiften är därmed faktorer som påverkar antalet aktiva fordon. Eftersom erhållet material, både laddningsdata och körmönster, redogör för verkliga fordon i drift antogs deras skift och dygnsrytmer vara inkluderade i respektive mönster. Någon alternering av data utifrån dessa faktorer har därför inte genomförts.

Ett sista antagande berör prognosen för antalet verksamma taxifordon år 2025. Prognosen bygger på att den årliga tillväxttakten kan bestämmas utifrån medelvärdet från tidigare år.

4. Resultat

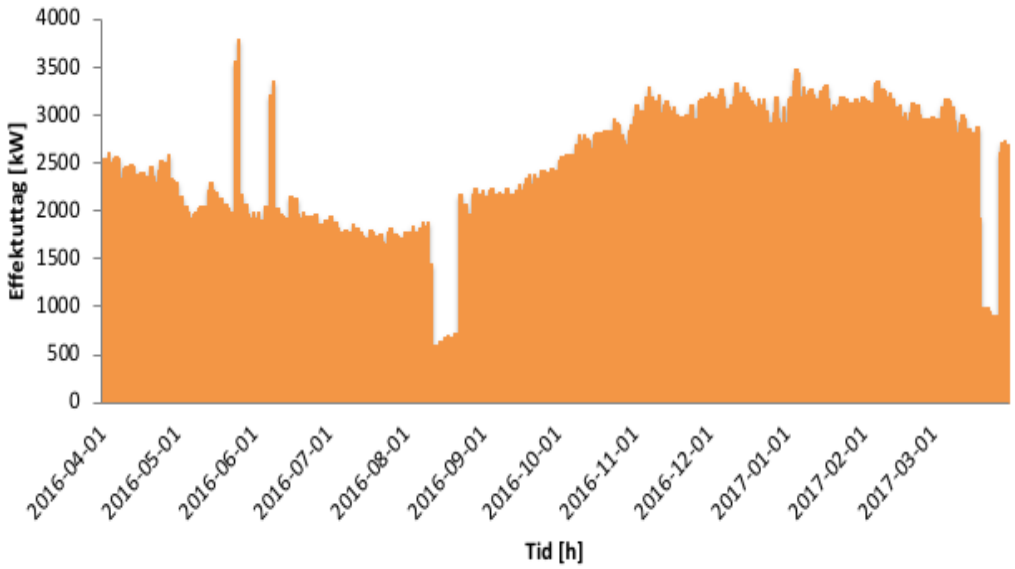
I detta avsnitt presenteras studiens resultat i fyra olika delar. I *4.1 Lastprofiler och laddningsbeteende – År* presenteras resultaten från delmoment 1 och 3 på årsbasis och illustrerar belastningen på elnätet och laddningsbeteendet under perioden 2016-04-01 till 2017-03-31 för nio geografiska platser. Avsnittets resultat presenteras utifrån de fyra kategorierna *lägenhetsområde, villaområde, industri- och handelsområde* och *flygplatsområde*. I *4.2 Lastprofiler och laddningsbeteende – Dygn* presenteras resultaten från delmoment 1 och 3 på dygnsbasis och illustrerar medeleffekten över ett dygn för elnätets belastning samt för laddningsbeteendet på nio geografiska platser. Avsnitt *4.3 Effektuttag baserat på två skilda laddningsbeteenden* presenterar resultaten från delmoment 2 och illustrerar laddningsbeteendet utifrån laddningens varaktighet. I *4.4 Uppskattad energiåtgång år 2025*, presenteras resultaten från delmoment 4 som är en uppskattning av medelenergiåtgången per zon år 2025. Vidare visar *4.5 Känslighetsanalys* resultaten för utförd känslighetsanalys. Slutligen, i *4.6 Analys av resultat,* analyseras och jämförs resultaten mer ingående.

4.1 Lastprofiler och laddningsbeteende – År

I detta avsnitt presenteras resultaten från delmoment 1 och delmoment 3 på årsbasis. Detta inkluderar således lasten på elnätet i de fyra olika verksamhetsområdena samt uttagen från laddningsstationerna. Diverse avbrott och skiljaktigheter har identifierats under året, däribland ett avbrott mellan 17 juni till och med den 22 juli där ingen data finns tillgänglig. Avbrotten antas bero på tekniska avvikelser.

4.1.1 Lägenhetsområde

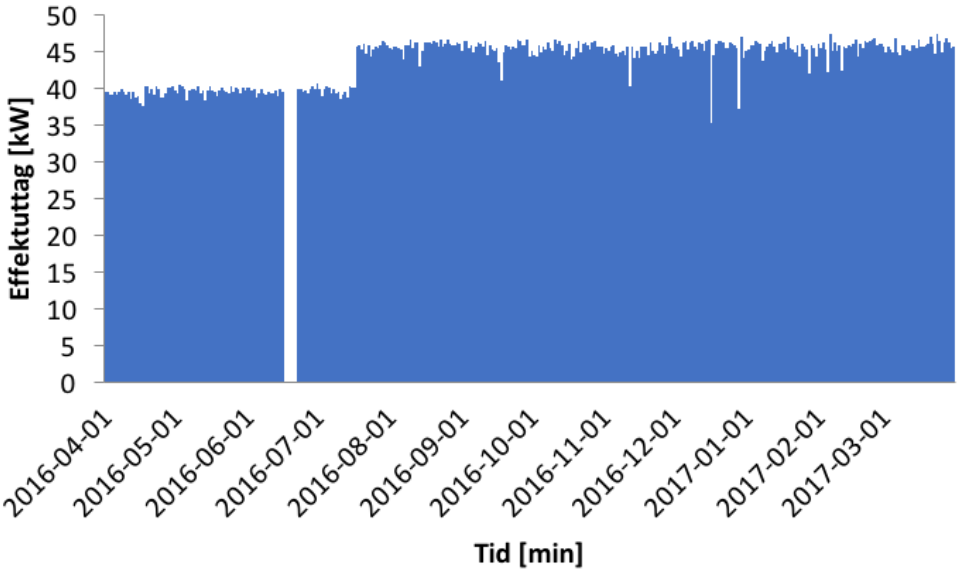
I figur 9 presenteras den totala belastningen på elnätet för två linjer som förser lägenhetskunder i Stockholms län. Sammanlagt förser de två linjerna 3 186 kunder och representerar lasten mellan 2016-04-01 till 2017-03-31.



Figur 9. Årlig last för lägenhetsområden under 2016-04-01 till 2017-03-31.

Medellasten för *lägenhetsområde* är 1 904 kilowatt med standardavvikelse 637. Den största variationen sker mellan sommar- och vintermånaderna. En kraftig minskning erhålls även i slutet av augusti samt i mars. Variationerna påverkar således standardavvikelsen, som är hög.

Utifrån befintligt laddningsbeteendet illustreras, i figur 10, taxibilars årliga effektuttag mellan 2016-04-01 till 2017-03-31. Dessa effektuttag är baserade på 49 taxibilar vid fem olika laddningsstationer i fyra olika lägenhetsområden i Stockholms län. Laddningsstationerna är placerade i zonerna Östermalm, Södermalm, Hammarby och Liljeholmen.

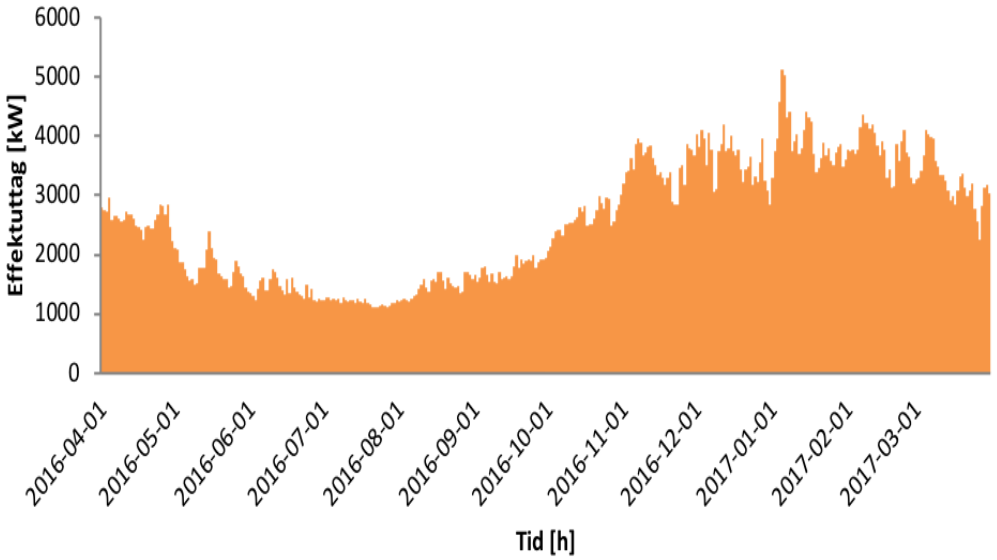


Figur 10. Årligt laddningsmönster i Stockholms läns lägenhetsområde under 2016-04-01 till 2017-03-31.

Eltaxibilarna har en tillsynes jämn effektanvändning över året och medeleffektuttaget är 40 kilowatt med standardavvikelse 7. Det hopp som sker i juli, från 40 kilowatt till 45 kilowatt, har ingen vedertagen förklaring och diskuteras därför inte vidare.

4.1.2 Villaområde

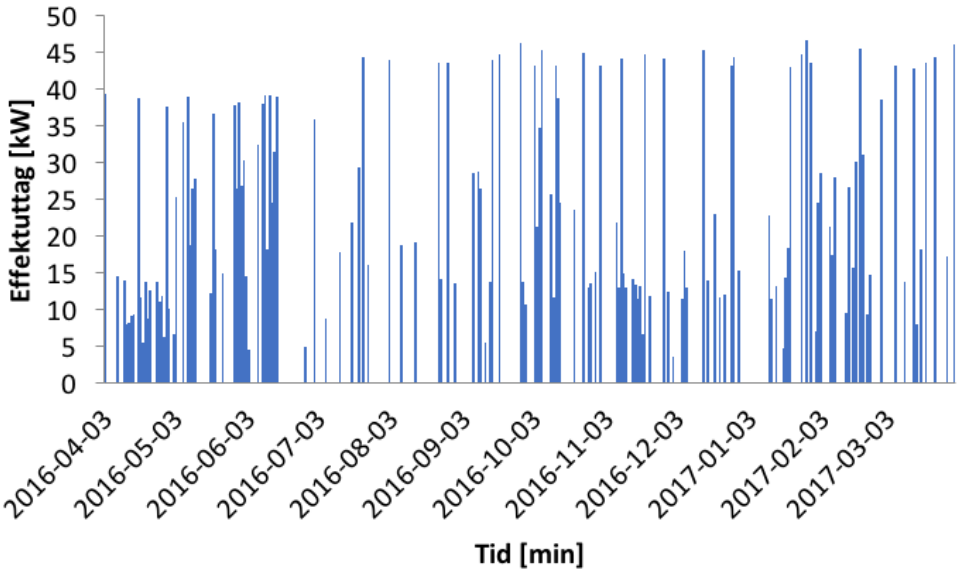
I figur 11 presenteras lasten från 2 319 villakunder i Stockholms län baserat på två linjer under perioden 2016-04-01 till 2017-03-31.



Figur 11. Årlig last för villaområde under 2016-04-01 till 2017-03-31.

Även i *villaområde* illustreras en tydlig minskning under sommarhalvåret som ökar under vinterhalvåret. Medellasten i *villaområde* är 2 128 kilowatt med standardavvikelse 929.

Figur 12 illustrerar 49 taxibilars årliga effektuttag utifrån befintligt laddningsbeteende mellan 2016-04-01 till 2017-03-31. Effektuttaget är hämtat från två laddningsstationer i zonen Tyresö, ett *villaområde* i Stockholms län.

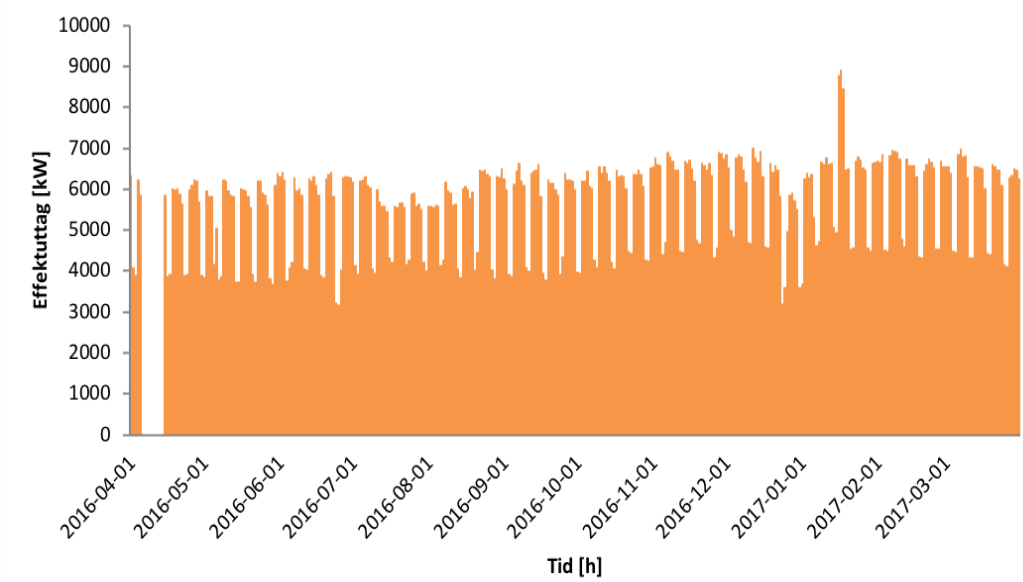


Figur 12. Årligt laddningsmönster i Stockholms läns villaområde under 2016-04-01 till 2017-03-31.

Det går att urskilja ett mer ojämnt effektuttag i detta verksamhetsområde. Medeleffektuttaget i *villaområde* är 22 kilowatt med standardavvikelse 13. Nämnvärt är att figuren illustrera färre datapunkter, vilket också kan förklara de mer glesa effekttopparna. Det hopp som sker i juli från 40 kilowatt till 45 kilowatt har ingen vedertagen förklaring och diskuteras därför inte vidare.

4.1.3 Industri- och handelsområde

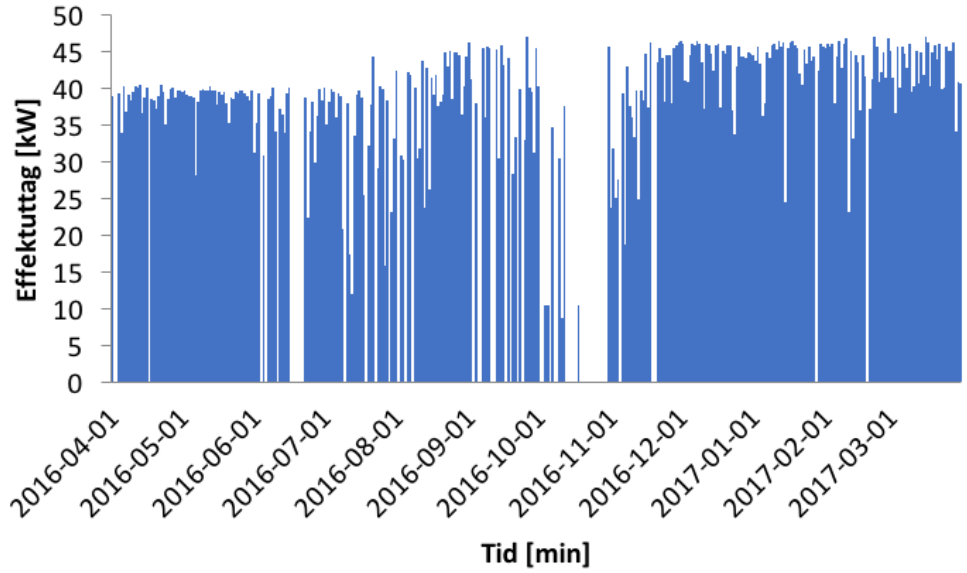
I figur 13 presenteras lasten på tre linjer som främst förser industri- och handelskunder med elektricitet. Lasten utgår från tre linjer med sammanlagt 100 kunder under perioden 2016–04–01 till 2017–03–31.



Figur 13. Årlig last för industri- och handelsområden under 2016-04-01 till 2017-03-31.

I detta verksamhetsområde framgår ett periodiskt uttag under året. Det går även att urskilja ett upprepat mönster om fyra toppar per månad och en tydligt minskad aktivitet under helgerna. Medellasten är 3 921 kilowatt med standardavvikelse 1 583. Nämnvärt är att uttagen är högre i detta verksamhetsområde och därmed även standardavvikelsen. Under april sker även ett avbrott, detta antas bero på tekniska avvikelser.

Figur 14 illustrerar 49 taxibilars årliga effektuttag utifrån befintliga laddningsmönster över ett år, mellan 2016-04-01 och 2017-03-31. Här är effektuttaget baserat på två laddningsstationer i zonerna Solna och Kista.

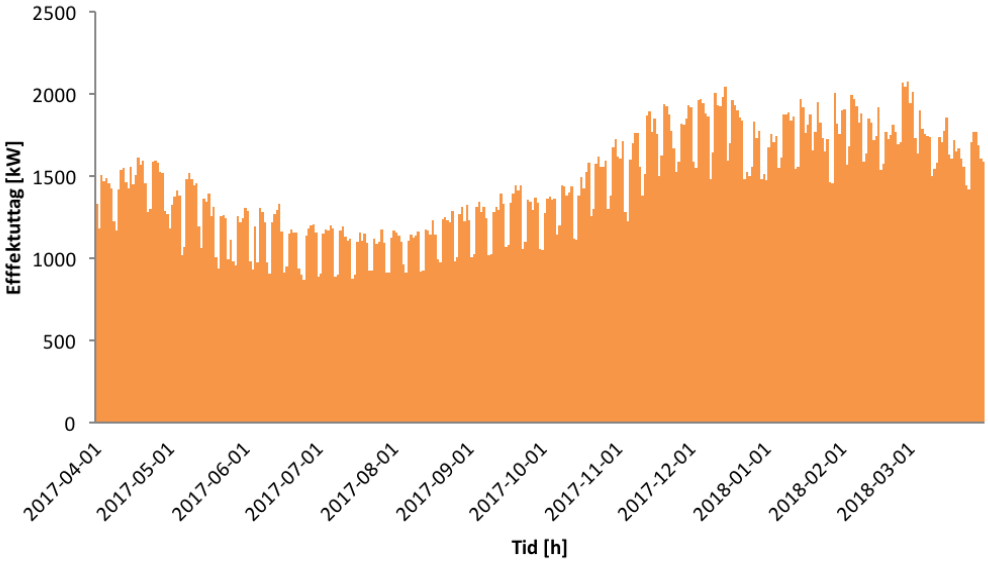


Figur 14. Årligt laddningsmönster i Stockholms län industri- och handelsområden under 2016-04-01 till 2017-03-31.

Effektuttaget i *industri- och handelsområde* kan liknas med det i *lägenhetsområde* dock med ett lägre medeleffektuttag. Vidare erhålls även ett minskat uttag i juni, samt mellan september och november vilket tros bero på tekniska omständigheter. Medeleffektuttaget är 35 kilowatt med standardavvikelse 9.

4.1.4 Flygplatsområde

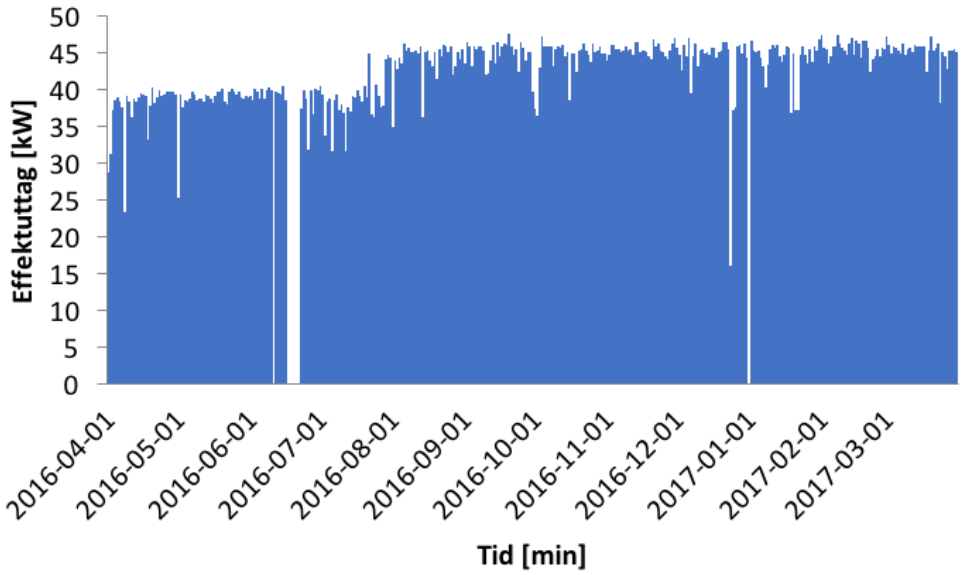
I figur 15 presenteras lasten på tre linjer som förser två mindre flygplatskunder, samt en större flygplatskund, med elektricitet. Lasten utgår från tidsperioden 2017–04–01 till 2018–03–31.



Figur 15. Årlig last för flygplatsområde under 2017-04-01 till 2018-03-31.

Även här minskar aktiviteten under sommarmånaderna för att sedan öka under vintern. Medellasten är 1 253 kilowatt med standardavvikelse 310. Vidare erhålls också en minskad aktivitet under helgerna med tydliga toppar under veckodagarna.

Slutligen illustrerar figur 16 det årliga effektuttaget för 49 taxibilar utifrån befintligt laddningsbeteende. Effektuttaget är hämtat från två laddningsstationer vid zonen Arlanda flygplats och en laddningsstation vid zonen Bromma flygplats.



Figur 16. Årligt laddningsmönster i Stockholms läns flygplatsområde under 2016-04-01 till 2017-03-31.

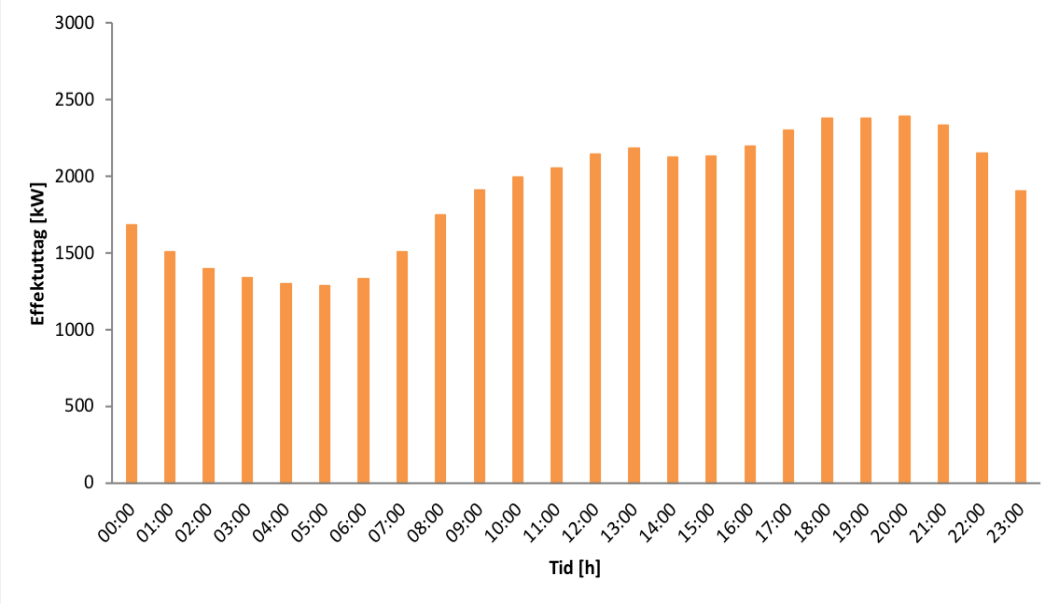
Även figur 16 visar ett jämnt effektuttag över året med en snabb ökning under vintermånaderna augusti till mars. Det hopp som sker har ingen vedertagen förklaring och diskuteras därför inte vidare. Det går även att urskilja ett avbrott i juni månad vilket antas bero på tekniska avvikelser. Medeleffektuttaget är 34 kilowatt med standardavvikelse 10.

4.2 Lastprofiler och laddningsbeteende – Dygn

I detta avsnitt presenteras resultaten från delmoment 1 och delmoment 3 på dygnsbasis inom samtliga verksamhetsområden. Lastkurvorna samt effektuttaget för eltaxibilarna är baserade på samma kunder och bilar som resultatet ovan. Figurerna illustrerar den dagliga lastprofilen samt det dagliga laddningsbeteendet för taxifordon i Stockholms län och illustrerar ett medeleffektuttag.

4.2.1 Lägenhetsområde

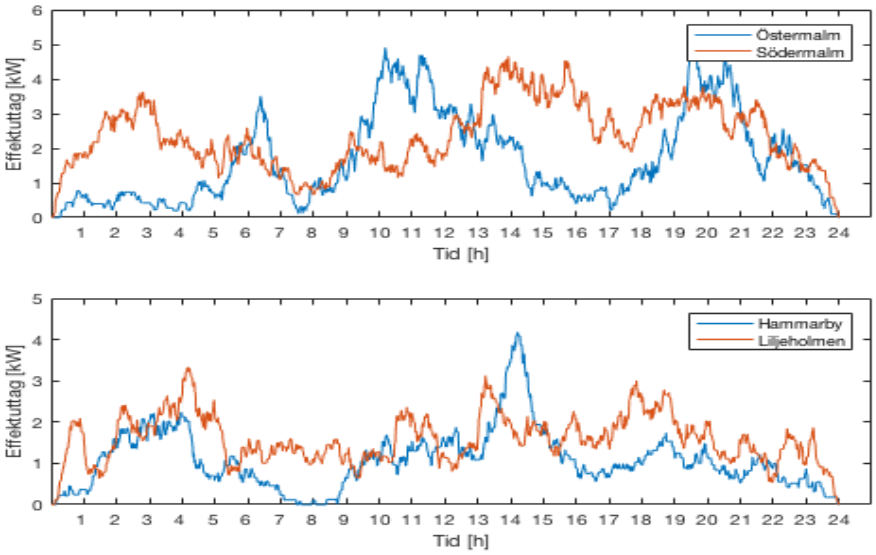
Figur 17 visar lasten på elnätet, under ett medelvärdesdygn, från två linjer som förser lägenhetskunder i Stockholms län. Sammanlagt förser de två linjerna 3 186 kunder.



Figur 17. Daglig last under ett medeldygn för lägenhetsområde.

Figur 17 visar en succesiv ökning från klockan 07:00 till 13:00 vilket återupprepas klockan 15:00 till 20:00. Därefter stagnerar lastkurvan under natten. Det går att urskilja ett ökat effektuttag från klockan 17:00 till 21:00.

I figur 18 illustreras medeleffektuttaget för laddningsstationer i *lägenhetsområde*. Medeleffektuttaget anges för laddningsstationer placerade i zonerna Östermalm, Södermalm, Hammarby och Liljeholmen.

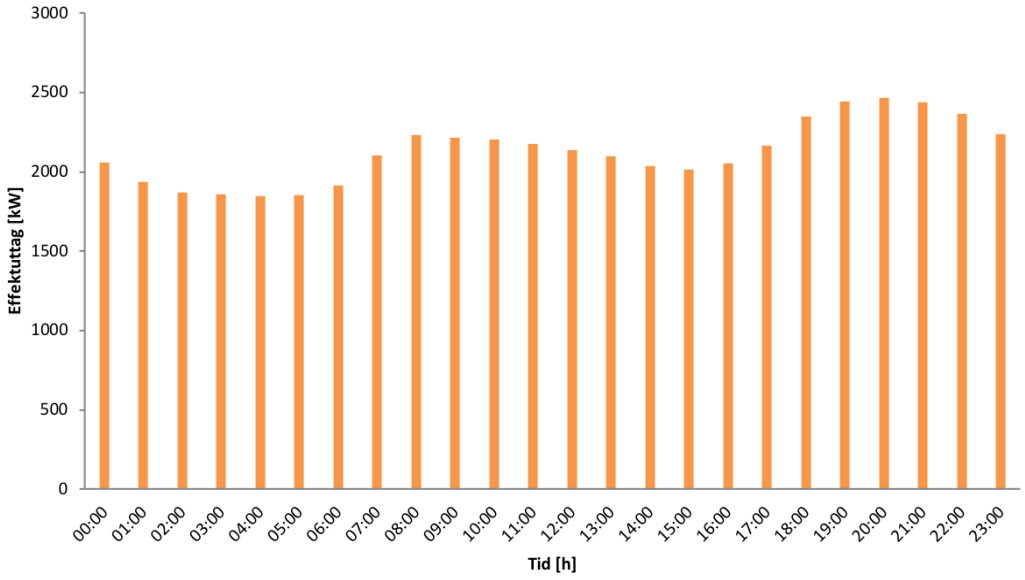


Figur 18. Genomsnittligt laddningsmönster under ett dygn på laddningsstationer i lägenhetsområde.

Från figur 18 ses en relativt hög aktivitet under dygnet i *lägenhetsområde*. Tre cykler uppstår under dygnet där förhöjningar och förminskningar av effektuttaget sker. Det går även att observera att dessa förhöjningar sker under olika tidpunkter på dygnet i zonerna Östermalm och Södermalm. I Hammarby och Liljeholmen går det däremot att urskilja ett mer likartat beteende under dygnet där högre effektuttag sker vid samma tidpunkter.

4.2.2 Villaområde

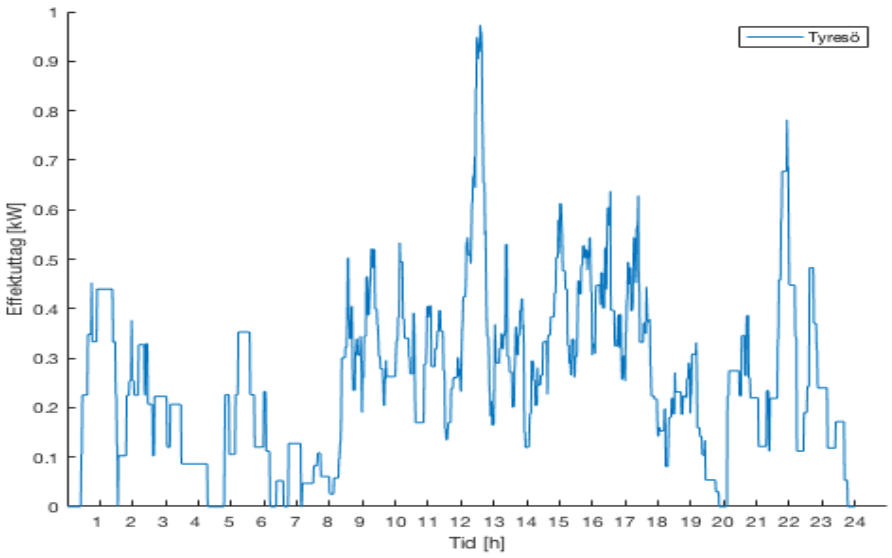
I figur 19 presenteras lasten på elnätet, under ett medelvärdesdygn, från 2 319 villakunder i Stockholms län baserat på två linjer.



Figur 19. Daglig last under ett medeldygn för villaområde.

Figur 19 följer ungefär samma dygnsrytm som för *lägenhetsområde* med skillnaden att den lägsta medellasten är högre. Det går att urskilja en ökad aktivitet klockan 08:00 vilket sedan avtar under dagen. Lastkurvan avtar sedan igen för att därefter öka och nå sin topp mellan klockan 18:00 till 22:00.

Figur 20 presenterar medeleffektuttaget för laddningsstationer i *villaområde* i Stockholms län. Medeleffektuttaget anges för laddningsstationer placerade i zonen Tyresö och illustreras under ett dygn.

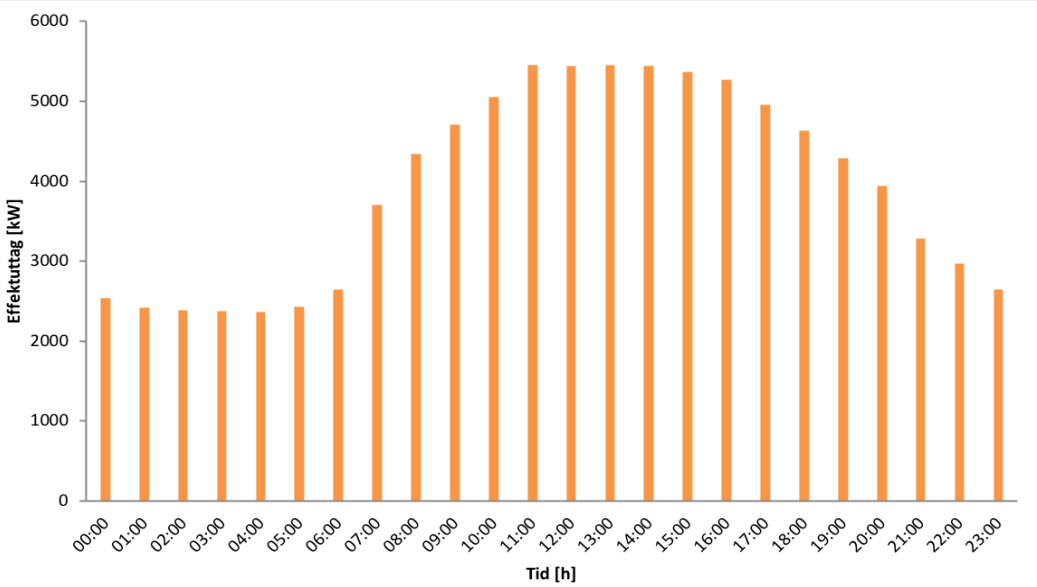


Figur 20. Genomsnittligt laddningsmönster under ett dygn på laddningsstationer i villaområde.

Figur 20 visar att det i *villaområde*, likt *lägenhetsområde*, uppstår tre perioder med förhöjningar och förminskningar under dygnet. En effekttopp med ökad aktivitet uppstår också mellan klockan 12:00 och 13:00.

4.2.3 Industri- och handelsområde

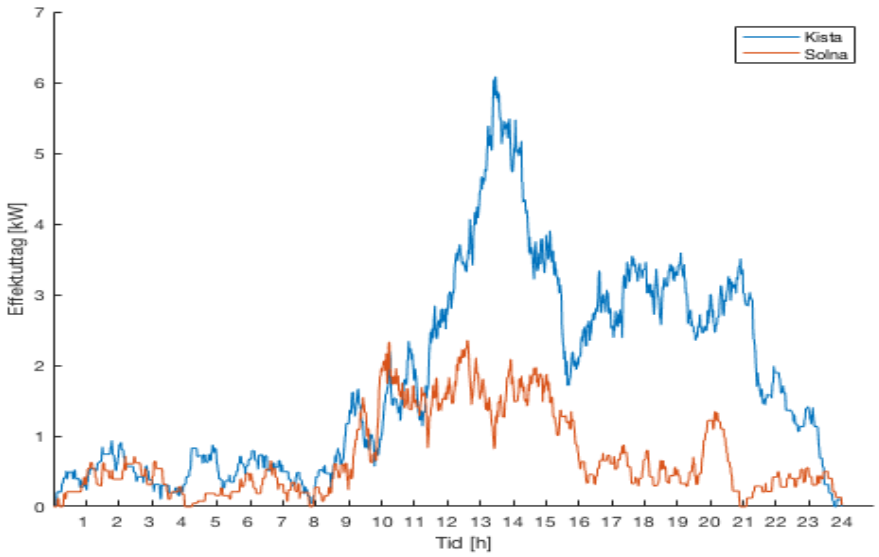
I figur 21 presenteras lasten på tre linjer som förser industri- och handelskunder med elektricitet. Lasten utgår från tre linjer med sammanlagt 100 kunder som illustreras med ett medelvärdesdygn.



Figur 21. Daglig last under ett medeldygn för industri- och handelsområde.

I figur 21 illustreras en tydlig lastökning under dagen med start från klockan 07:00 och framåt. En ökad last sker mellan klockan 11:00 till 16:00, därefter minskar aktiviteten.

I figur 22 presenteras medeleffektuttaget för två laddningsstationer i zonerna Solna och Kista. Medeleffektuttaget illustreras här över ett medelvärdesdygn.

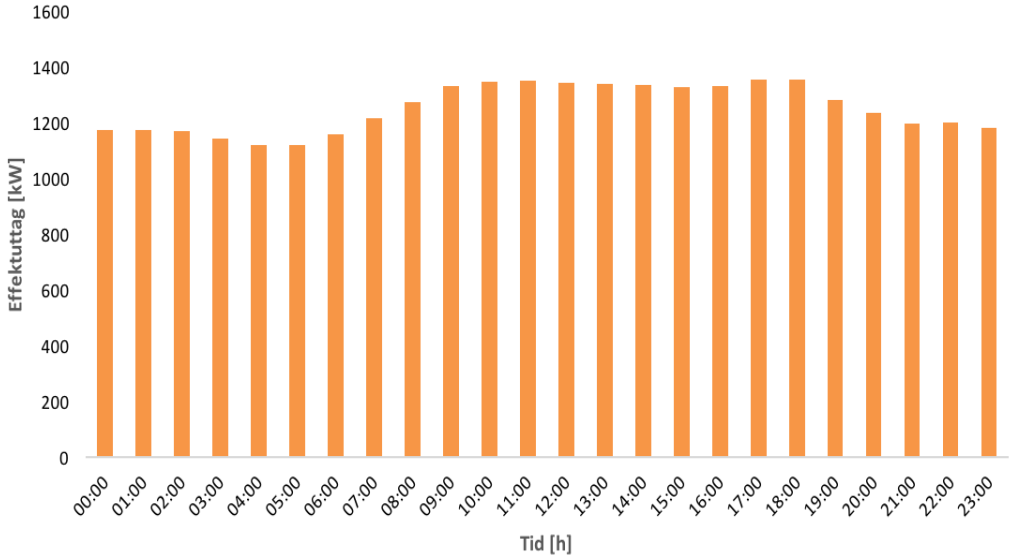


Figur 22. Genomsnittligt laddningsmönster under ett dygn på laddningsstationer i industri- och handelsområde.

Figur 22 visar att laddningen i dessa områden främst sker under dagen mellan klockan 09:00 och 21:00. I Kista finns en tydlig effekttopp mellan 13:00 till 14:00, medan det i Solna finns en förhöjning mellan klockan 09:00 till 16:00.

4.2.4 Flygplatsområde

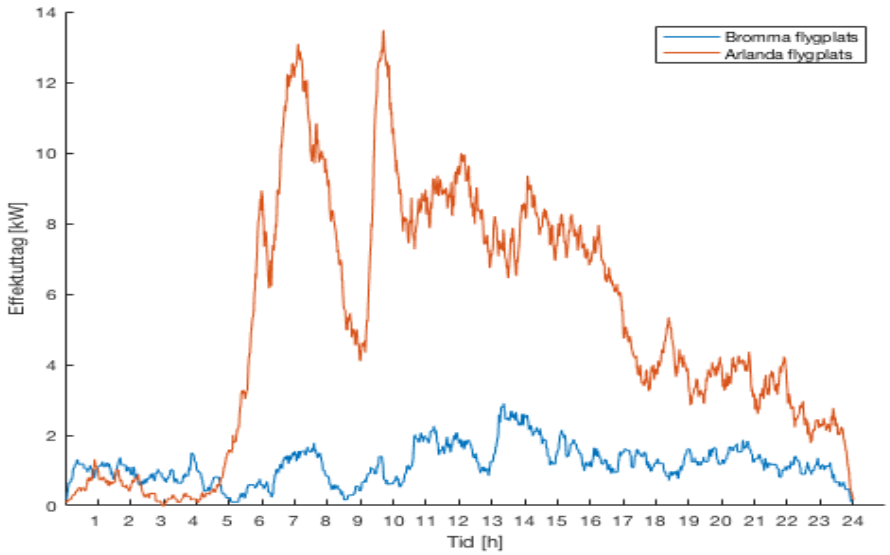
I figur 23 presenteras lasten på tre linjer som förser två mindre flygplatskunder, samt en större flygplatskund, med elektricitet. Detta illustreras med ett medelvärdesdygn.



Figur 23. Daglig last under ett medeldygn för flygplatsområde.

Figur 23 visar på en relativt jämn last under dygnet, med undantag för en minskning mellan klockan 04:00 och 05:00 samt 19:00 till 22:00.

Figur 24 illustrerar medeleffektuttaget för tre laddningsstationer fördelade vid två flygplatsområden i Stockholms län. Effektuttaget är hämtat från laddningsstationer placerade i zonerna Arlanda flygplats och Bromma flygplats. Medeleffektuttaget illustreras över ett medelvärdesdygn.



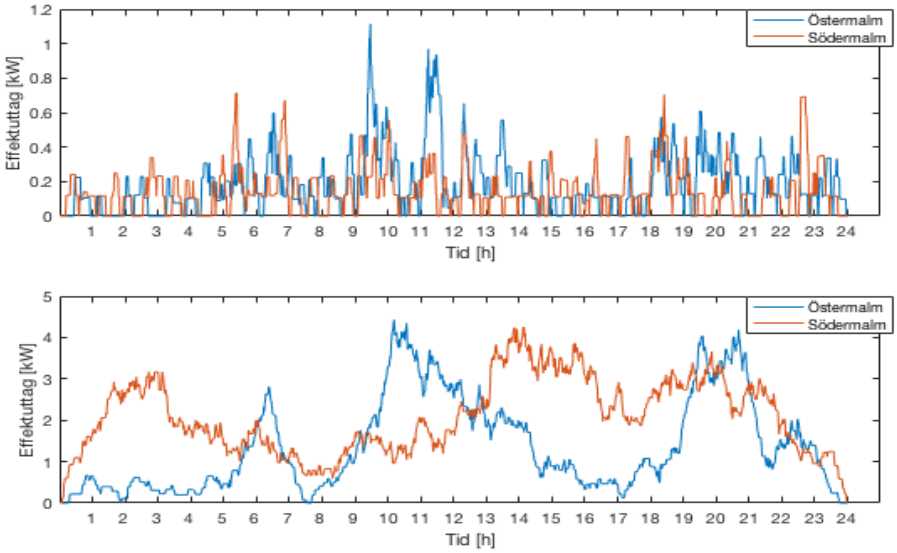
Figur 24. Genomsnittligt laddningsmönster under ett dygn på laddningsstationer i flygplatsområde.

I figur 24 går det att se att laddningen vid Bromma flygplats har ett relativt jämnt uttag över dygnet med en mindre ökning mitt på dagen. Vid Arlanda flygplats förekommer däremot en betydligt lägre aktivitet på natten, mellan klockan 00:00 till 05:00, i jämförelse med den mycket höga aktiviteten under resten av dygnet i samma zon. Vidare erhålls även två effekttoppar vid Arlanda flygplats klockan 07:00 och 10:00.

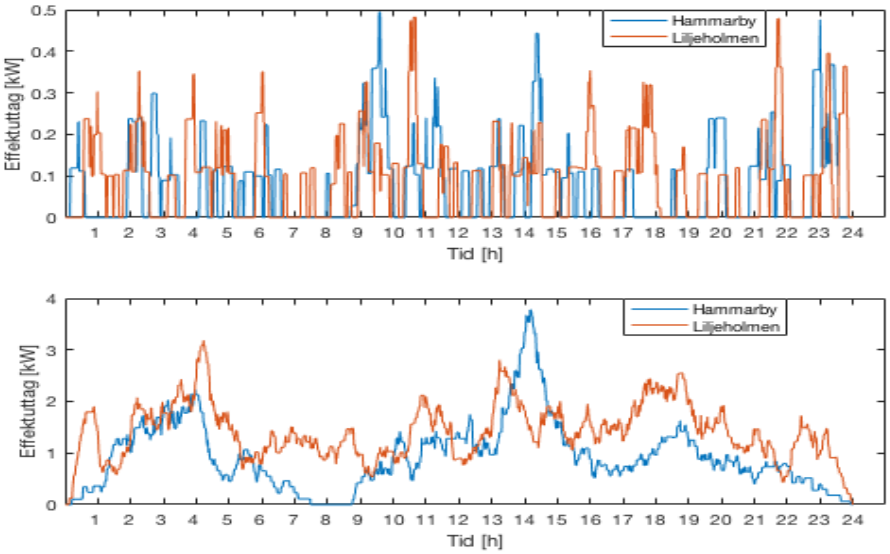
4.3 Effektuttag baserat på två skilda laddningsbeteenden

Nedan presenteras resultaten från delmoment 2 där två skilda laddningsbeteenden betraktas. Laddningsbeteendet har undersökts utifrån två olika varaktigheter. I det första fallet sker korttidsladdning, vilket innebär all laddning som sker med en varaktighet under 10 minuter. I det andra fallet sker laddning till dess att batteriet är fulladdat, vilket motsvarar all laddning med en varaktighet över 20 minuter. De två fallen presenteras för samtliga laddningsstationer indelade i respektive verksamhetsområde.

4.3.1 Lägenhetsområde



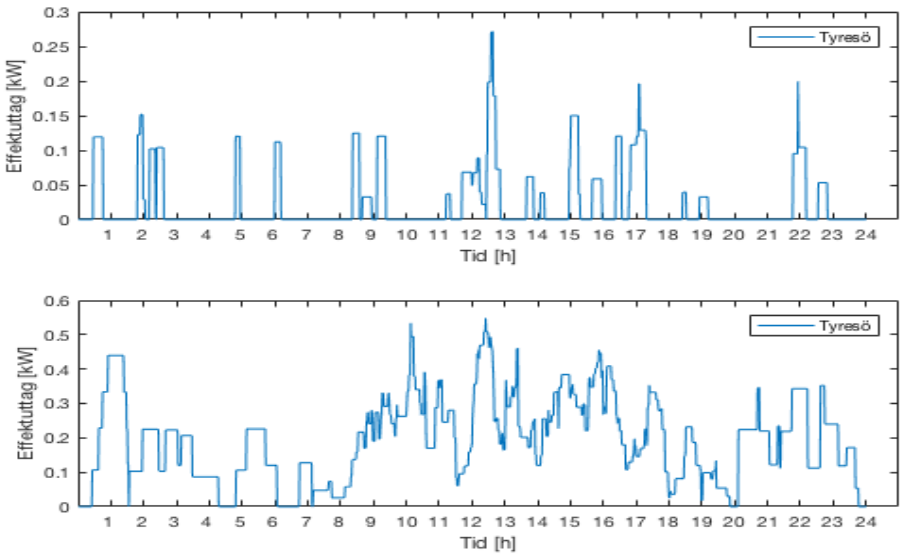
Figur 25. Medeleffektuttag för laddning under 10 minuter och över 20 minuter i lägenhetsområde. Den översta grafen representerar en varaktighet under 10 minuter och den nedersta grafen representerar en varaktighet över 20 minuter.



Figur 26. Medeleffektuttag för laddning under 10 minuter och över 20 minuter i lägenhetsområde. Den översta grafen representerar en varaktighet under 10 minuter och den nedersta grafen representerar en varaktighet över 20 minuter.

Figur 25 och 26 visar skillnaden mellan två olika laddningsbeteenden för fyra olika zoner i *lägenhetsområde* i Stockholms län. Det går främst att identifiera att medeleffekten vid laddning under 10 minuter är betydligt lägre. För Östermalm är medeleffekten 0,2 kilowatt för laddning under 10 minuter i jämförelse med 1,4 kilowatt för laddning över 20 minuter. Motsvarade för Södermalm, Hammarby och Liljeholmen är 0,2 mot 2,2, 0,01 mot 0,9 och 0,1 mot 1,4 kilowatt respektive. Vidare utgör laddning under 10 minuter i Östermalm 11 % av taxibilarnas totala energimängd medan laddning under 10 minuter för resterande zoner utgör 6 % till 7 %.

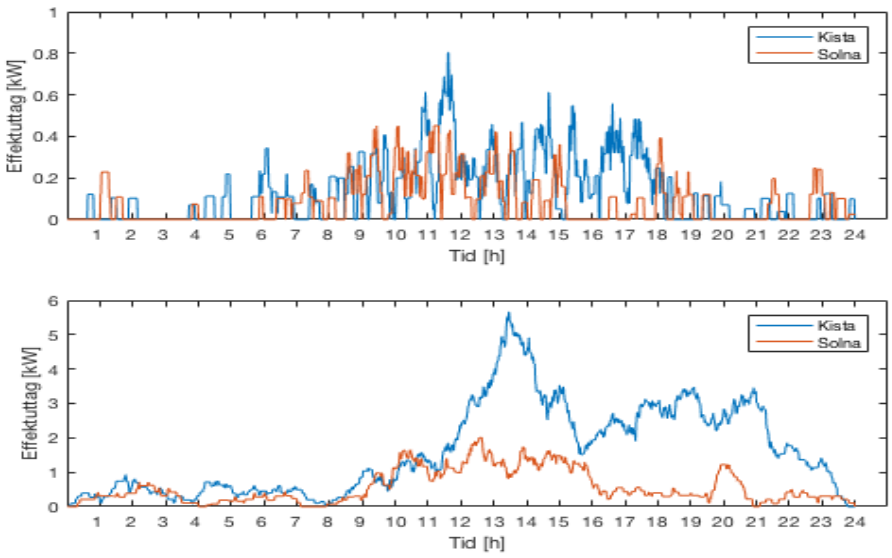
4.3.2 Villaområde



Figur 27. Medeleffektuttag för laddning under 10 minuter och över 20 minuter i villaområde. Den översta grafen representerar en varaktighet under 10 minuter och den nedersta grafen representerar en varaktighet över 20 minuter.

I figur 27 illustreras skillnaden mellan två olika laddningsbeteenden baserat på laddningsmönstret från två laddningsstationer i zonen Tyresö i *villaområde.* Även här går det att urskilja en lägre medeleffekt för laddning under 10 minuter, på 0,02 jämfört med 0,2 för laddning över 20 minuter. I detta verksamhetsområde utgör laddning under 10 minuter enbart 9 % av den totala laddningen. För Tyresö är effektuttaget relativt lågt i de båda fallen. Det sker således endast ett fåtal effektuttag då varaktigheten är under 10 minuter.

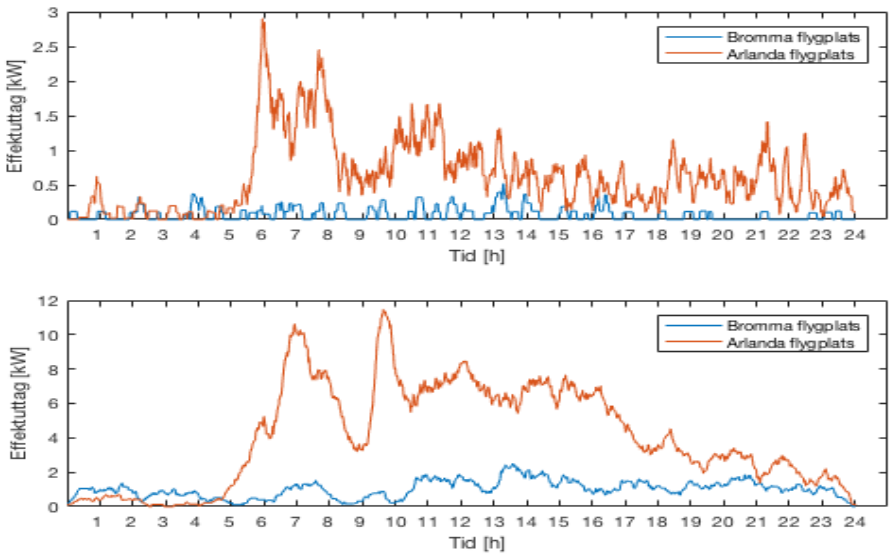
4.3.3 Industri- och handelsområde



Figur 28. Medeleffektuttag för laddning under 10 minuter och över 20 minuter i industri- och handelsområde. Den översta grafen representerar en varaktighet under 10 minuter och den nedersta grafen representerar en varaktighet över 20 minuter.

Figur 28 presenterar skillnaden mellan två olika laddningsbeteenden baserat på laddningsstationer i zonerna Kista och Solna. Även här är andelen laddning med varaktighet under 10 minuter låg och motsvarar 7 % i Kista respektive 11 % i Solna. Det går också att se att medeleffekten är lägre för laddning under 10 minuter. I Kista har laddning under 10 minuter en medeleffekt på 0,13 mot 1,6 kilowatt för laddning över 20 minuter. Motsvarande för Solna ligger på 0,08 mot 0,6 kilowatt. Vidare erhålls ett jämnare effektuttag vid laddning under 10 minuter.

4.3.4 Flygplatsområde



Figur 29. Medeleffektuttag för laddning under 10 minuter och över 20 minuter i flygplatsområde. Den översta grafen representerar en varaktighet under 10 minuter och den nedersta grafen representerar en varaktighet över 20 minuter.

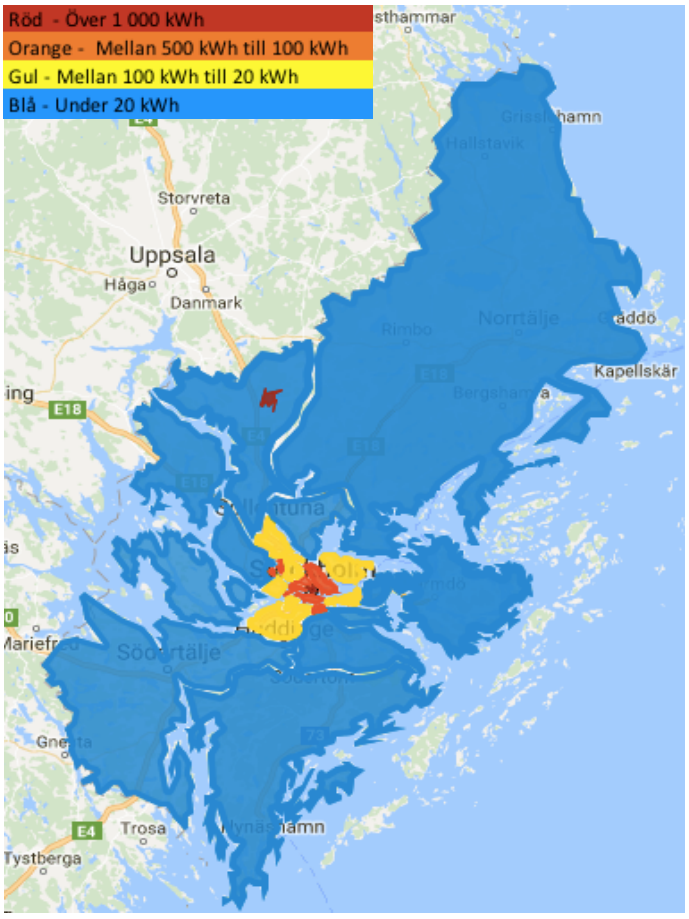
I figur 29 går det att urskilja skillnaden i olika laddningsbeteenden i zonerna Arlanda flygplats och Bromma flygplats. På Bromma flygplats utgör laddning under 10 minuter 6 % av den totala laddningen i zonen och har en medeleffekt på 0,07 mot 1,0 kilowatt för laddning över 20 minuter. I övrigt är effektuttaget relativt jämnt för respektive beteende över dygnet. På Arlanda flygplats utgör istället laddning under 10 minuter 12 % av den totala laddningen och har en medeleffekt på 0,6 mot 4,1 kilowatt för laddning över 20 minuter. I denna zon erhålls dessutom effekttoppar för respektive beteende mellan klockan 05:00 och 10:00.

4.4 Uppskattad energiåtgång år 2025

I detta avsnitt presenteras resultaten från delmoment 4. I figur 30 till figur 31 illustreras den uppskattade medelenergiåtgången under ett dygn för Taxi Stockholms resor i Stockholms län. Resultatet baseras på energiåtgången för samtliga resor till slutzonen på timbasis och grundas i ett medelvärde. Figurerna ger en indikation på vart taxifordonen befinner sig under dygnet samt en uppskattad energiåtgång. Energiåtgången representeras av ett potentiellt effektuttag som motsvarar energiåtgången för varje körning vid en given tidpunkt och zon. Medeleffektuttaget har skalats upp för att representera en uppskattad energiåtgång år 2025, då 8 749 taxifordon antas infinna sig i Stockholms län. I avsnitt *4.4.1 Energiåtgång per kvadratmeter* presenteras en översikt över den totala energiåtgången i respektive zon under ett dygn. I resterande avsnitt har energiåtgången översatts till ett uppskattat effektuttag.

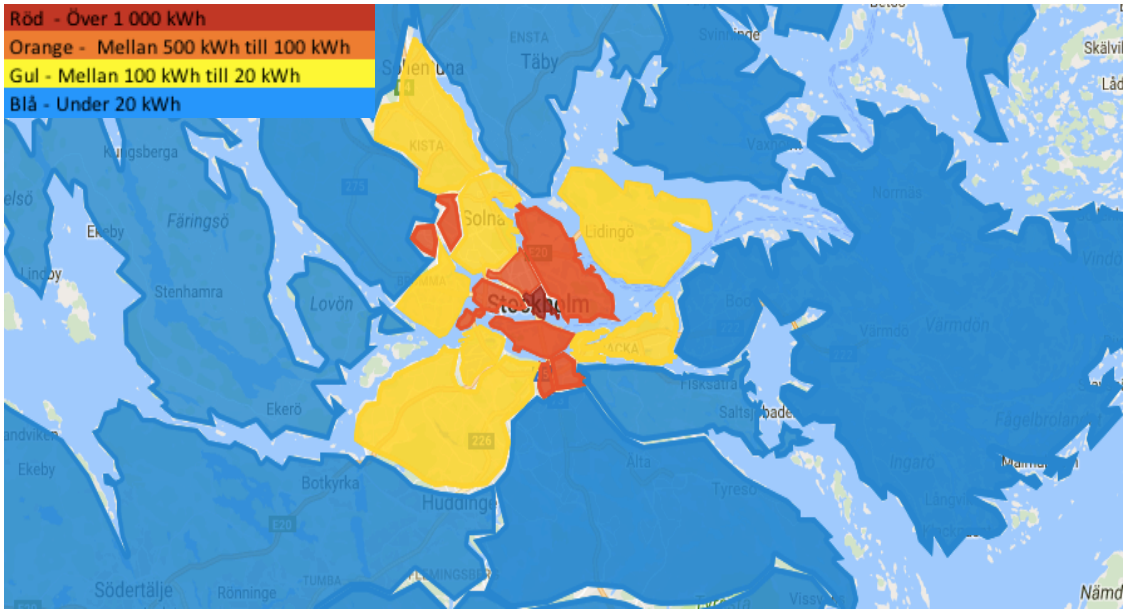
4.4.1 Energiåtgång per kvadratmeter

Figur 30 och 31 illustrerar energiåtgången i de 27 definierade zonerna. Figur 30 ger en mer överskådlig bild av Stockholms län medan figur 31 ger en mer detaljrik bild av stadskärnan.



Figur 30. Karta med överblick över energiåtgång per kvadratmeter och zon under ett medeldygn. Röd zon indikerar en energiåtgång över 1 000 kWh, orange zon indikerar en energiåtgång mellan 500 kWh och 100 kWh, gul zon indikerar en energiåtgång mellan 100 kWh och 20 kWh och blå zon indikerar en energiåtgång under 20 kWh.

Figur 30 visar att zoner belägna längre ut från Stockholms stadskärna har lägre energiåtgång medan de zoner som är koncentrerade till stadskärnan har en högre energiåtgång. Arlanda flygplats är dock ett undantag och har ett utav de högsta energibehoven.

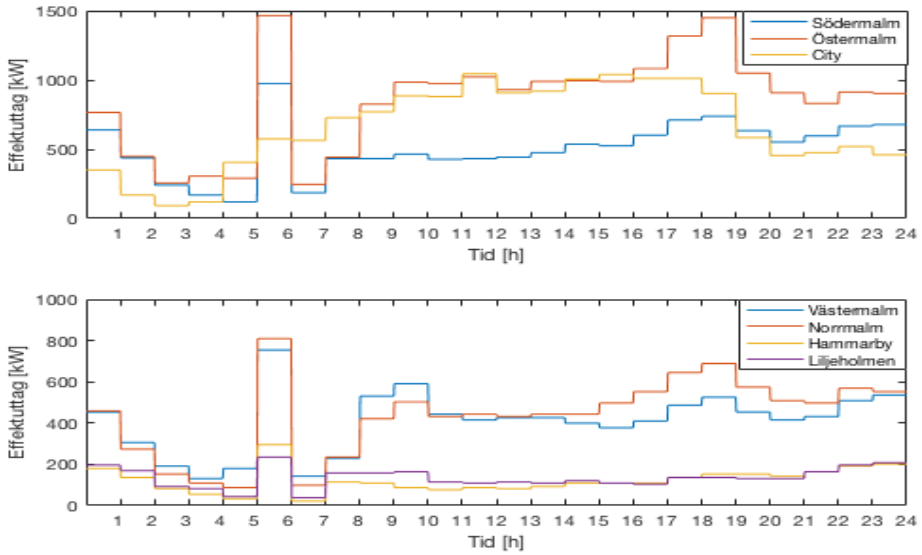


Figur 31. Karta över energiåtgång per kvadratmeter och zon i och runt Stockholms stadskärna under ett medeldygn. Röd zon indikerar en energiåtgång över 1 000 kWh, orange zon indikerar en energiåtgång mellan 500 kWh och 100 kWh, gul zon indikerar en energiåtgång mellan 100 kWh och 20 kWh och blå zon indikerar en energiåtgång under 20 kWh.

I figur 31 ses att Stockholms stadskärna har en hög energiåtgång. Zonerna Hammarby, Globen, Bromma flygplats och Sundbyberg har också en relativt hög energiåtgång som överstiger 100 kilowattimmar.

4.4.2 Lägenhetsområde

I figur 32 illustreras effektuttaget baserat på energiåtgången för zoner belägna i Stockholms *lägenhetsområde*. Dessa zoner inkluderar Södermalm, Östermalm, City, Västermalm, Norrmalm, Hammarby och Liljeholmen.

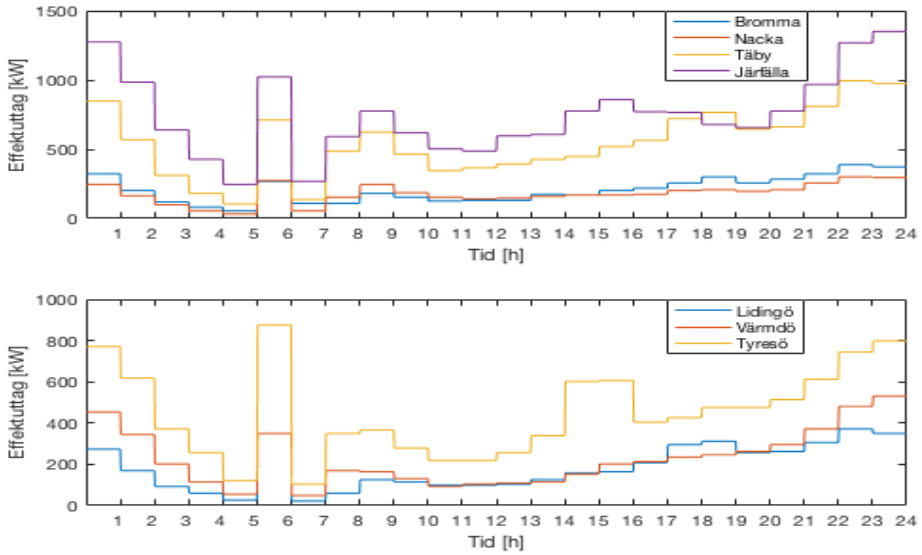


Figur 32. Effektuttag baserat på energiåtgång för respektive zon i lägenhetsområde.

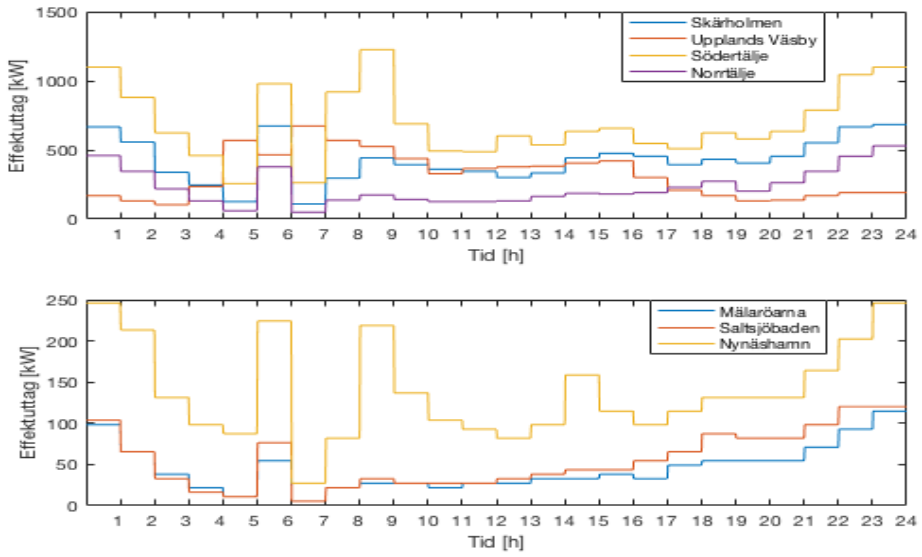
Det uppskattade effektuttaget kan ur figur 32 ses följa samma mönster för de olika zonerna. Mellan klockan 02:00 och 07:00 sker ett lägre effektuttag med undantag för en effekttopp mellan klockan 05:00 till 06:00. Vidare erhålls även en effekttopp mellan klockan 18:00 till 19:00. Från figuren framkommer även att zonen Östermalm har ett högre effektuttag i jämförelse med resterande zoner medan Hammarby och Liljeholmen har lägre effektuttag.

4.4.3 Villaområde

I figur 33 och 34 illustreras effektuttaget för *villaområde* i zonerna Bromma, Nacka, Täby, Järfälla, Lidingö, Värmdö, Tyresö, Skärholmen, Upplands Väsby, Södertälje, Norrtälje, Mälaröarna, Saltsjöbaden och Nynäshamn.



Figur 33. Effektuttag baserat på energiåtgång för respektive zon i villaområde.

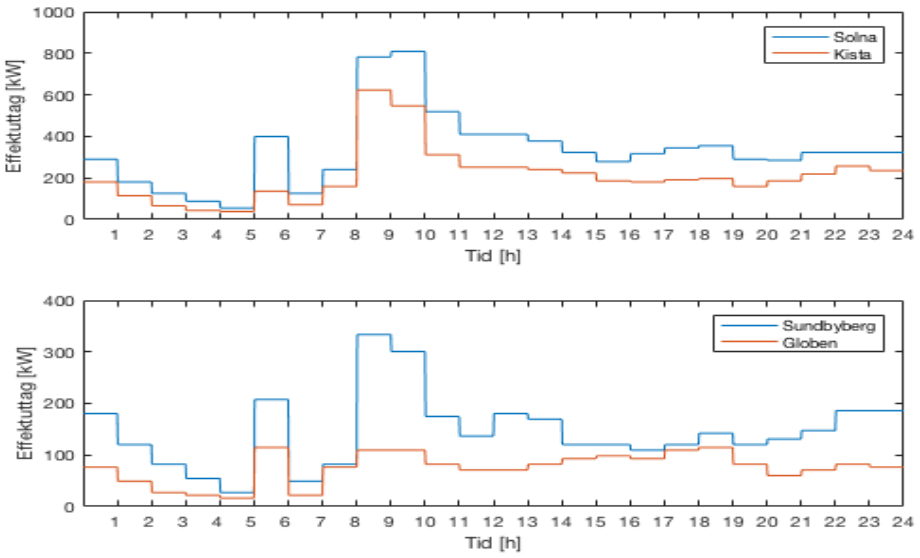


Figur 34. Effektuttag baserat på energiåtgång för respektive zon i villaområde.

Från figur 33 och 34 ses att det uppskattade effektuttaget under dagen är lägre än effektuttaget under kvällen och natten, med undantag för effekttoppar mellan klockan 05:00 till 06:00 och 08:00 till 09:00. Det sker en ökad aktivitet från klockan 21:00 som fortlöper fram till klockan 02:00.

4.4.4 Industri- och handelsområde

Figur 35 illustrerar effektuttaget för *industri- och handelsområde* i zonerna Solna, Sundbyberg, Kista och Globen.

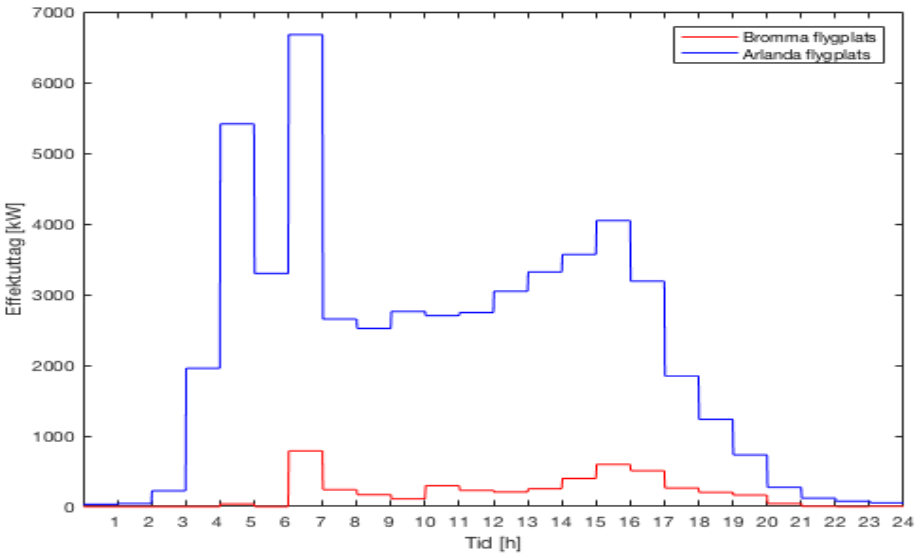


Figur 35. Effektuttag baserat på energiåtgång för respektive zon i industri- och handelsområde.

Från figur 35 ses att energitoppar sker mellan klockan 05:00 till 06:00 för samtliga zoner och klockan 08:00 till 10:00 för zonerna Solna och Sundbyberg. Efter detta sker ett relativt jämnt effektuttag fram till klockan 01:00.

4.4.5 Flygplatsområde

I figur 36 presenteras det uppskattade effektuttaget för *flygplatsområden* i zonerna Bromma flygplats och Arlanda flygplats.

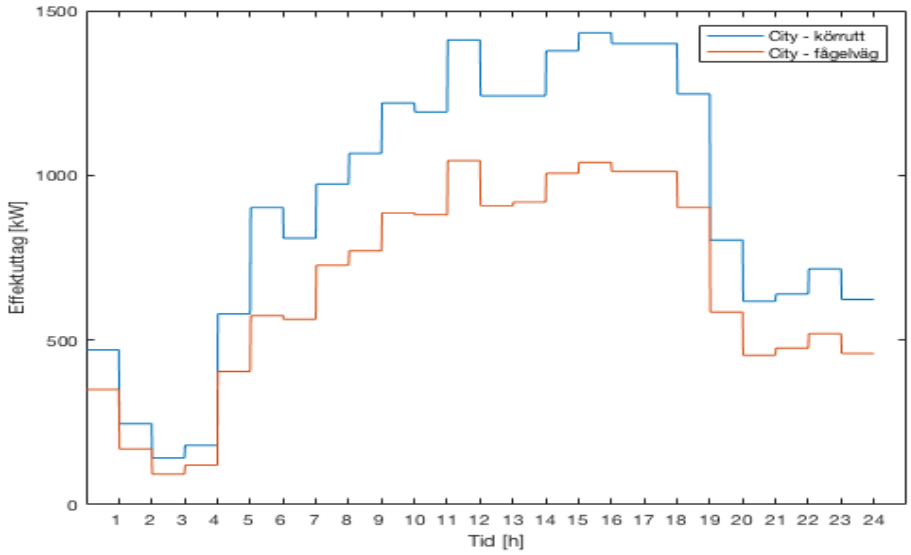


Figur 36. Effektuttag baserat på energiåtgången för respektive zon i flygplatsområde.

I figur 36 visas att effektuttaget för Arlanda flygplats mellan klockan 03:00 till 18:00 är hög med effekttoppar klockan 04:00 till 05:00, 06:00 till 07:00 och 15:00 till 16:00. Effektuttaget för Bromma flygplats är lägre än för Arlanda flygplats men har fortfarande effekttoppar mellan klockan 06:00 till 07:00 och 15:00 till 16:00.

4.5 Känslighetsanalys

I figur 37 illustreras resultaten från känslighetsanalysen där effektuttaget, baserat på energiåtgången, beräknats med två olika uppmätningsmetoder. Avståndet har uppskattats med faktisk körrutt och med uppmätt fågelväg. Energiåtgången motsvarar effektuttaget i zonen City, *lägenhetsområde,* år 2025.



Figur 37. Effektuttag för lägenhetsområde City med två olika uppmätningsmetoder med avseende på avstånd.

Figur 37 illustreras att de olika uppmätningsmetoderna följer samma mönster under dygnet. Den totala energiåtgången under ett snittdygn varierar för de olika uppmätningsmetoderna. För uppmätning med uträknad fågelväg uppnår energiåtgången 950 megawattimmar medan det med uträknad körrutt motsvarar 1 300 megawattimmar. Detta innebär en ökning med 38 %.

4.6 Analys av resultat

4.6.1 Lägenhetsområde

Utifrån resultaten går det att tyda att laddningsuttaget, för eltaxibilarna, är jämnt fördelat över året. Detta kan ställas i relation mot elnätslasten, som har en tydlig ökning under vinterhalvåret. Med en helt elektrifierad taxiflotta skulle alltså den totala lasten på elnätet öka ytterligare. Detta skulle då främst innebära att laddningslasten, på en årlig basis, skulle ge större utslag under vinterhalvåret.

Vid en analys på dygnsbasis går det att utläsa att zonerna Östermalm och Södermalm i *lägenhetsområde* upplever ett ökat effektuttag vid tidpunkter då lasten på elnätet redan är hög. Trots att effekttopparna i dessa zoner inte sker vid samma tillfälle uppkommer de främst mellan 10:00 och 22:00, vilket överensstämmer med ett förhöjt effektuttag på elnätet. Vidare går det att observera att zonerna Södermalm, Liljeholmen och Hammarby i *lägenhetsområde* också har högre laddningsfrekvens mellan 01:00 och 07:00. Detta kan ses som en fördel utifrån den totala lasten på elnätet som då är låg och kan jämnas ut.

Vid analys av energiåtgången år 2025 erhålls att det sker en effekttopp mellan klockan 05:00 till 06:00 för samtliga zoner. Detta kan ses som en fördel då lasten på elnätet är låg under dessa klockslag. Med avseende på energiåtgången utgör City den zon med högst energiåtgång per kvadratmeter. Vidare går det även att utläsa att energibehovet i stadskärnan är mer än dubbelt så högt i jämförelse med övriga lägenhetsområden. I stort kommer alltså belastningen vara högre i dessa områden.

4.6.2 Villaområde

På årsbasis går det att se att eltaxifordon laddar med ett lägre effektuttag i *villaområde* än i *lägenhetsområde*. Även på dygnsbasis går det att konstatera att medeleffektsuttaget för taxibilar är lägre och färre än i *lägenhetsområde*. Vidare går det att urskilja att *villaområde* har tre effekttoppar under dygnet. I *villaområde* syns de högsta topparna mellan klockan 09:00 och 17:00. I dessa verksamhetsområden är den övriga lasten på elnätet relativt jämn och når sin topp under kvällen mellan 18:00 till 22:00, vilket kan ses som en fördel med avseende på laddningsbeteende i verksamhetsområdet.

Vad gäller energiåtgången år 2025 i *villaområde* går det att avläsa att de större förorterna, så som Södertälje och Nynäshamn, har högre energibehov. Energibehoven motsvarar nästan samma storlek som det i *lägenhetsområde*, exempelvis är energibehovet i Södertälje och City ungefär lika stora. Nämnvärt är dock att zonen Södertälje motsvarar en yta ungefär 440 gånger så stor som City.

För *villaområde* går det även att se att det sker en ökad energiåtgång mellan klockan 05:00 till 06:00 vilket resulterar i en effekttopp, vilket även i dessa verksamhetsområden är fördelaktigt med avseende på befintlig last på elnätet. Det går också att urskilja att energiåtgången är

högre över kvällen och natten. Slutligen går det även att se att energiåtgången per kvadratmeter minskar med avståndet från Stockholms stadskärna.

4.6.3 Industri- och handelsområde

Från resultaten går det att se att effektuttaget i *industri- och handelsområde* är jämnt under hela året vilket också är fallet för effektuttaget på elnätet, med undantag för helger då uttaget minskar. Vidare kan urskiljas att medeleffektuttaget är lågt mellan klockan 23:00 och 09:00, men är högt under övriga timmar på dygnet. Eftersom effektuttaget från eltaxibilarna följer lasten på elnätet ökar effektuttaget och belastar elnätet desto mera.

Energiåtgången år 2025 i dessa verksamhetsområden är, i jämförelse med *lägenhetsområde*, lägre i storleksordning men fortfarande relativt höga. Det största energibehovet erhålls i zonerna Kista och Solna, samt främst mellan klockan 08:00 till 11:00. Även här sker en effekttopp mellan klockan 05:00 till 06:00 men är mindre markant i jämförelse med övriga effektuttag under dygnet, vilket är fördelaktigt för den totala belastningen på elnätet.

4.6.4 Flygplatsområde

Likt *lägenhets- och villaområde* följer effektuttaget i *flygplatsområde* en säsongsbaserad last som ökar under vinterhalvåret. Uttagen kan även liknas med *industri- och handelsområde* med avseende på effektminskningen under helgerna. Med de jämna laddningsuttagen går det att se att en elektrifierad taxiflotta främst kommer att öka belastningen på elnätet under vinterhalvåret samt under veckodagarna.

Även under dygnet är lasten på elnätet jämn medan effektuttaget från eltaxifordonen vid Arlanda flygplats har två tydliga toppar klockan 07:00 och 10:00. Det går även att se en ökning under dagen både vid Arlanda flygplats och Bromma flygplats, vilket i sin tur skulle utgöra en ökad belastning på elnätet vid en elektrifiering i dessa verksamhetsområden.

Arlanda flygplats motsvarar den zon med näst högst energiåtgång per kvadratmeter i Stockholms län år 2025. Detta beror dels på mängden resor dit men också på grund av det långa avståndet. Både för Arlanda flygplats och Bromma flygplats visar resultaten mest aktivitet under för- och eftermiddagen. Bromma flygplats har i storleksordning en liknande energiåtgång som *lägenhetsområde* medan Arlanda flygplats har en betydligt högre energiåtgång. Till skillnad från övriga verksamhetsområden sker det inte ett ökat effektuttag mellan klockan 05:00 och 06:00 men däremot mellan klockan 06:00 och 07:00. Trots att lasten på elnätet är väldigt jämn under dagen, vid *flygplatsområde,* sker även här en minskad last då effekttopparna från eltaxibilarna förekommer.

4.6.5 Känslighetsanalys

Resultaten från känslighetsanalysen påvisar att energiåtgången kommer att följa samma mönster men vara högre än tidigare resultat visat. Detta beror på att avståndet är den alternerande parametern, medan körmönstret är oförändrat. Dock utgår även denna mätmetod från zonernas mittpunkt och är därför inte heller exakt. Den totala skillnaden över hela dygnet

är 38 %, emellertid varierar skillnaden i energiåtgång under dygnet där högre energiåtgång ger större utslag. Denna procentuella ökning är värd att ha i åtanke vid utvärdering av resultaten. Ökningen sker enligt känslighetsanalysen framförallt då energiåtgången är som störst eftersom energiåtgången då har en tydlig underrepresentation.

5. Slutsatser

Studiens resultat visar att en elektrifiering av Stockholms läns taxiflotta kan påverka elnätet på ett flertal sätt. På årsbasis kommer eltaxibilar som last påverka elnätet genom att öka redan befintliga effekttoppar. För *lägenhetsområde, villaområde* och *flygplatsområde* kommer detta främst ske under vinterhalvåret. För *industri- och handelsområde* kommer däremot eltaxibilar som last höja belastningen på elnätet året om.

Från resultaten framkommer det att eltaxibilar i dagsläget laddar mest i Stockholms läns *lägenhetsområde* och vid zonen Arlanda flygplats, där det största effektuttaget för *lägenhetsområde* förekommer i stadskärnan. Enligt befintligt laddningsmönster sker de största effektuttagen för samtliga verksamhetsområden mitt på dagen. Detta sammanfaller i samtliga fall med befintlig last på elnätet och kommer således bidra till högre effekttoppar.

Utifrån de två studerade laddningsbeteendena laddar majoriteten av eltaxibilar idag över 20 minuter. Detta innebär att fordonens batterier laddas fullt. Endast ett fåtal av de studerade laddningstillfällena varar under 10 minuter. Detta bidrar med ett högre medeleffektuttag per laddning vilket resulterar i en större last på elnätet vid dessa tillfällen.

Utifrån effektuttaget, baserat på energiåtgången år 2025, kommer zoner lokaliserade i Stockholms läns stadskärna utgöra de med högst energiåtgång per kvadratmeter. Energiåtgången per kvadratmeter minskar därefter ju längre ifrån stadskärnan zonerna är lokaliserade. Vidare innefattar *lägenhetsområde* i innerstaden samt Arlanda flygplats zoner med högt energibehov på liten yta. Östermalm är den zon i Stockholms län som kommer ha det högsta approximerade energibehovet år 2025.

6. Avslutande diskussion

För att uppnå det nationella EU-målet år 2020, där varje elbil ska kunna tillgodoses 0,1 laddpunkter, bör laddningsinfrastrukturen byggas ut. Utifrån studiens approximerade antal eltaxibilar år 2025 skulle detta innebära en tillväxt med 818 laddningspunkter i Stockholms län. I det fall då varje snabbladdningsstation består av två laddningspunkter resulterar det i totalt 438 snabbladdningsstationer enbart för taxibilar, en ökning med 87 %. Som tidigare nämnts utgör dessutom hälften av erhållna laddningsdata laddningstillfällen från taxibilar medan resterande laddning utförts av privata bilar. Denna statistik visar att energiåtgången för 49 taxibilar motsvarade samma energimängd som för 403 privata bilar med avseende på snabbladdning under år 2016. Enligt utförd prognos kan Stockholms län taxiflotta bestå av 8 749 taxibilar vilket i sin tur motsvarar 72 000 privata bilar. Återigen visar detta på att en elektrifiering av Stockholms taxiflotta kommer kunna utgöra en stor påfrestning på elnätet.

Idag sker främst laddning med en varaktighet över 20 min vilket kan bero på avsaknad av laddningsinfrastruktur. Likt tidigare studier, visar resultaten att laddning av eltaxibilar idag främst sker i *lägenhetsområde* och därtill stadskärnan. Då även effektuttaget, baserat på körmönstret, indikerar att flest antal resor går till stadskärnan och flygplatser kan det antas att laddning år 2025 fortfarande kommer att ske i dessa verksamhetsområden. För att klara av en elektrifiering av eltaxibilar i stadskärnan skulle därför en stor utvidgning av laddningsinfrastruktur behövas i hela länet men främst i *lägenhetsområde* och f*lygplatsområde*.

Utifrån resultaten i avsnitt *4.3 Effektuttag baserat på två skilda laddningsbeteenden* går det att avläsa att ett mer jämnt effektuttag sker vid laddning under 10 minuter än då laddningen överstiger 20 minuter. Däremot visar resultaten i avsnitt *4.4 Uppskattad energiåtgång år 2025*, där energiåtgången till de olika zonerna illustreras, att om laddning skulle ske efter varje körning skulle energibehovet fortfarande vara högre vid vissa tidpunkter. Dessa toppar sammanfaller, likt fulladdningen, vid tidpunkter då elnätet redan är högt belastat. För att möjliggöra laddning under dessa energitoppar skulle återigen en stor ökning av laddningsstationer vara nödvändig. Eftersom effektuttaget är högt på snabbladdningsstationer skulle detta ge stort utslag på elnätet. För att jämna ut den last som eltaxibilar utgör skulle laststyrning kunna appliceras. Detta genom att möjliggöra högre effektuttag vid tillfällen då lasten är låg samt begränsa effektuttaget då lasten på elnätet är hög. Värt att notera är att snabbladdning är det laddningsalternativet som idag lämpar sig bäst för taxiverksamheten. Begränsas effektuttaget i för stor grad förlängs laddningstiden vilket därmed begränsar möjligheten att använda elbilar inom taxiverksamheten. Att hitta en balans mellan lasten på elnätet och effektuttaget för taxiverksamheten är därmed nödvändig.

Andra aspekter som kan komma att påverka körmönstret och därmed laddningsbeteendet är elbilens funktion och räckvidd. Med en ökad räckvidd förändras behovet av att ladda och kan ses som mer fördelaktigt för taxiverksamheten. Även elbilens funktion påverkar vilken typ av verksamhet som kan bedrivas, nödvändigt är exempelvis funktionsnedsättningsanpassning.

Studiens slutsatser har grundats ur antagandet att körmönstret och verksamheten hos Stockholms läns taxiflotta är och förblir oförändrat år 2025. Skulle däremot Stockholms taxiflottas verksamhet komma att efterlikna den i Uppsala, med exempelvis fler samhällskörningar, skulle energibehovet kunna komma att se annorlunda ut.

6.1.1 Vidare studier

Studien har visat att taxiflottors verksamhet varierar beroende på dess placering. Exempelvis utgör samhällskörningar en stor del av Uppsala Taxis verksamhet medan dessa typer av körningar mer sällan förekommer inom Taxi Stockholms verksamhet. Av den anledningen är studiens resultat inte direkt applicerbart inom andra län. Det skulle därför vara av intresse att studera andra typer av taxiverksamheter, utanför Stockholms län, för att undersöka likheter samt skillnader som kan komma att påverka etableringen av en elektrifierad taxiflotta.

Studiens resultat påvisar att laddning av eltaxibilar främst sker och kommer att ske inom Stockholms läns stadskärna. Genomförandet av en fördjupningsstudie, genom att exempelvis studera placering av laddningsstationer, inom detta område skulle av den anledningen vara givande ur ett elnätsperspektiv. Av samma anledning är även Arlanda flygplats ett intressant område att utforska vidare.

Studiens känslighetsanalys visar att det approximerade energibehovet för zonen City ökade med 38% då avståndet beräknades med en alternativ metod. Denna känslighetsanalys skulle kunna genomföras för flera zoner för att på så sätt approximera en skalningsfaktor som representerar ökningen av energibehovet då en verklig körsträcka tas i beaktning. Samtliga energibehov skulle således kunna skalas upp för att erhålla en mer exakt approximation av det verkliga energibehovet.

Studien har fokuserat på laddningsteknik via elkablar vilket begränsar laddningsmöjligheterna för eltaxibilar. Att inkludera andra laddningsmöjligheter, så som laddning med induktion, skulle utvidga laddningsmöjligheten. Ur ett elnät- samt taxiperspektiv skulle det vara intressant att studera dessa möjligheter vidare.

Referenser

[1] Ehsani, M., Gai, U., Amadi, A. (2010), ”Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, CRC Press Boca Raton”.

[2] Eberle, U., von Helmold, R. (2010), ”Sustainable transportation based on electric vehicle concepts: a brief overview”, Energy Environ. Sci., No. 3, 689-699.

[3] Trafikanalys. (2017), ”Fordon på väg – Fordon 2017”. https://www.trafa.se/vagtrafik/fordon/. Hämtad 2018-05-07.

[4] Andersson, G., Galus, M., González Vayá, M., Krause, T. (2013), ”The role of electric vehicles in smart grids”, WIREs Energy Environ, No. 2, 384–400.

[5] Blumsack, S., Dowds, J., Farmer, C., Hines, P. (2010), ”Modeling the Impact of Increasing PHEV Loads on the Distribution Infrastructure”, IEEE, Honolulu.

[6] Hagman. J. (2018), ”Elbil som taxi. Elbilstaxi – Drivkraft för storskalig introduktion av elbilar och snabbladdare”.

[7] Bahram, B. Telefonintervju med Taxi Stockholm. 2018-02-22. Stockholm.

[8] Statens offentliga utredning. (2016), ”En klimat- och luftvårdsstrategi för Sverige – Del 1”, SOU 2016:47, Stockholm.

[9] Svenska Taxiförbundet. (2017), ”Branschläget”, http://www.taxiforbundet.se/media/103418/stf_branschl_get_webben___003_.pdf. Hämtad 2018-05-07.

[10] Bahram, B., Bjurlefors, C., Lagehäll, J. Intervju med Taxi Stockholm. 2018-03-01. Stockholm.

[11] Sverigetaxi. ”Sverigetaxis miljöpolicy”. https://www.sverigetaxi.se/corporate-social-responsibility. Hämtad 2018-04-13.

[12] Energiföretagen. (2017), “Elnät – distribution”. https://www.energiforetagen.se/sa-fungerar-det/el/distribution/. Hämtad 2018-01-31.

[13] Energimyndigheten. (2015), ”Elnätet”. http://www.energikunskap.se/sv/FAKTABASEN/Vad-ar-energi/Energibarare/Elektricitet/Elnatet/. Hämtad: 2018-01-31.

[14] Svensk Energi, Svenska Kraftnät. (2014), “Elnät i fysisk planering – Behandling av ledningar och stationer i fysisk planering och tillståndsärenden”.

[15] Lahti B. et al. (2016), ”Ett elnät vi äger tillsammans”, Motion 2016/17:155.

[16] Svenska Energi. (2014), ”Laddinfrastruktur för elfordon”.

[17] Emobility. ”2. Laststyrning”. http://emobility.se/startsida/laddinfrastruktur/2-laststyrning/. Hämtad 2018-02-06.

[18] Cobb, J. (2014), ”Plug-In Car Sales Cross Global Half-Million Mark”. http://www.hybridcars.com/plug-in-car-sales-cross-global-half-million-mark/ Hämtad 2018-01-30.

[19] International Energy Agency. (2017), ”Global EV outlook 2017”. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf 2014. Hämtad 2018-01-30.

[20] Dinger, A., Martin, R., Mosquet, X., Rizoulis, D., Russo, M., Sticher, G. (2010), ”Batteries for electric cars - challenges, opportunities and the outlook to 2020”, Technical Report the Boston Consulting Group 2010.

[21] Salisbury, S. (2016), “Cold Weather On-Road Testing of a 2015 Nissan Leaf”, Idaho National Laboratory, Tech. Rep.

[22] Thackaray, M. M., Wolverton, C., Isaacs, E. D. (2012), ”Electrical energy storage for transportation — approaching the limits of, and going beyond, lithium-ion batteries”, Energy & Environmental Sciences, No. 5, 7854–7863.

[23] Husain, I. (2011), ”Electric and hybrid vehicles: Design fundamentals”, second edition, CRC press, Boca Raton.

[25] Emobility. (2017), ”1.2 Snabbladdning?” http://emobility.se/startsida/laddstationsguiden/forberedelser/1-2-snabbladdning-eller-normalladdning/. Hämtad 2018-05-07.

[26] WSP Analys & Strategi på uppdrag av Stockholm stad. (2016), ”Laddinfrastruktur i Stockholm - Långsiktiga mål”, Malmö.

[27] Tesla. ”Tesla Supercharger”. https://www.tesla.com/sv_SE/supercharger. Hämtad 2018-05-07.

[28] Emobility. (2017), ”1.4. Om olika kontakter”. http://emobility.se/startsida/elfordon/5-kommande-elfordon/. Hämtad 2018-01-30.

[29] Emobility. (2017), ”Kommande elfordon”. http://emobility.se/startsida/elfordon/5-kommande-elfordon/. Hämtad 2018-01-30.

[30] Nissan. ”Nya Nissan Leaf ”. https://www.nissan.se/fordon/fordon-utbud/leaf/rackvidd-laddning.html. Hämtad 2018-05-07.

[31] Tesla. ”Tesla Model S”. https://www.tesla.com/sv_SE/new/5YJSA7E23JF251851. Hämtad 2018-05-07.

[32] Renault. ”Renault Zoe”. https://www.renault.se/bilar/personbilar/nya-zoe.html. Hämtad 2018-05-07.

[33] Tesla. ”Tesla Model X”. https://www.tesla.com/sv_SE/new/5YJXCCE44HF059729. Hämtad 2018-05-07.

[34] Volkswagen. ”Volkswagen e-Up!”. https://www.volkswagen.se/sv/modeller/e-up.html#e2006daebfc090e30d7598a1306b5fb1. Hämtad 2018-05-07.

[35] BMW. ”BMW i3”. https://www.bmw.se/sv/alla-modeller/bmw-i/i3/2017/tekniska-data.html#tab-0. Hämtad 2018-05-07.

[36] Energimyndigheten. (2016), ”Ordlista”. http://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/fossilfria-transporter/elfordon-och-laddning/ordlista/. Hämtad 2018-02-05.

[37] Emobility. (2017), “Laddinfrastruktur”. http://emobility.se/startsida/laddstationsguiden/forberedelser/1-6-att-valja-ratt-plats/. Hämtad 2018-02-05.

[38] Länsstyrelsen i Västra Götalands Län. (2017), ”Laddinfrastruktur för elfordon – Strategisk studie för utbyggnad av publik laddning i Västra Götalands län”. Rapport 2017:43.

[39] Equest AB. ”Elfordon och laddinfrastruktur – snabbväxande teknik med fokus på framtiden”. http://www.laddinfraost.se/SiteCollectionDocuments/LaddinfraÖst-ElfordonLaddinfrastruktur.pdf. Hämtad 2018-02-05.

[40] Energimyndighet. (2017), ”Klimatvärdering av icke-publika och publika laddstationer inom Klimatlivet”. http://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/bidrag-och-ersattning/bidrag/klimatklivet/klimatvardering-laddstationer-2017.pdf. Hämtad 2018-02-05.

[41] Emobility. ”1.11. Uppkoppling”. http://emobility.se/startsida/laddstationsguiden/forberedelser/uppkoppling/. Hämtad 2018-02-05.

[42] Elbilsstatistik. ”Laddinfrastrukturstatistik”. https://www.elbilsstatistik.se/laddinfrastatistik. Hämtad 2018-02-05.

[43] Uppladdning. “Karta”. http://www.uppladdning.nu/Map.aspx?ln=sv. Hämtad 2018-05-03.

[44] ABB EV Charging Infrastructure. Product Leaflet. “Electric Vehicle Charging Infrastructure Terra multi-standard DC charging stations 53”. https://library.e.abb.com/public/. Hämtad 2018-04-17.

[45] Jooyoung, K., Seungjae, L., Kwangs, S. K. (2017), ”A study on the activation plan of electric taxi in Seoul”, Journal of Cleaner Production, No. 146, 83-93.

[46] Dutta. P. (2014),” Charge Sharing Model using Inductive Power Transfer to Increase Feasibility of Electric Vehicle Taxi Fleets”, Columbia University.

[47] Sustainable innovation. ”Elbilstaxi – Drivkrafter för storskalig introduktion av elbilar och snabbladdare”. http://www.sust.se/projekt/elbilstaxi/”. Hämtad 2018-04-18.

[48] Hagman, J. (2018), Telefonintervju 2018-02-15. Uppsala.

[49] En hållbar resa. (2016), ”Hållbarhetsredovisning Taxi Stockholm 2016”.

[50] Axelsson, L., Eriksson, H. Intervju med Uppsala Taxi. 2018-02-22. Uppsala.

[51] Stockholms läns landsting, TRF/Tillväxtavdelningen, SCB. (2017), ”Kommunprognoser”. Demografisk rapport 2017:04.