

Elektrifiering av vägtrafik

Tre fallstudier i Malmö



Anton Eriksson Rosenqvist
Emil Ohnell

Division of Industrial Electrical Engineering and Automation
Faculty of Engineering, Lund University

Elektrifiering av vägtrafik

Tre fallstudier i Malmö

Anton Eriksson Rosenqvist
Emil Ohnell

e.on



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Abstract

Sweden's road traffic is responsible for a great part of the emissions of greenhouse gases in the country. Conventional vehicles, driven by fossil fuels, have low efficiency and emits environmentally destructive particles. Electric vehicles can be the solution! Electric vehicles have no local emissions while driving and the electric motors of today have an efficiency of above 90 %. But there are some disadvantages.

This master's thesis investigates the electric car market in Sweden and the different charging techniques that exists today. An examination of where Malmö stands regarding a future transition towards electric road traffic is also made. Electric roads are a possible charging technique for the future. An electric road is modelled between Malmö and Lund, this constitutes case study 1. Dimensions and cost analysis of the distribution grid for the electric road is performed. Case study 2 and 3 examines the impact on substations, in form of transformer load, due to a growing electric car fleet.

The electric road study shows that the total investment cost for a distribution grid is relatively low and the combined energy consumption from the traffic is manageable. The result from case study 2, which looks at uncontrolled static charging in households, shows that overload in substations can occur in areas with high shares of electric heating systems. Case study 3 investigates static charging at workplaces. The result from this study shows that a high and concentrated load can occur in substations, due to fixed working hours.

The conclusions from this master's thesis are that the electric car market is very good and that static charging dominates today. Electric roads have a great potential, the electric cars can go down in battery size and time can be saved due to charging while driving. To decrease the load in substations, from static charging, companies have to invest in intelligent measurement and control systems.

Sammanfattning

Vägrafiken i Sverige står för en stor del av landets totala emissioner av växthusgaser, vilket beror på de fossildrivna fordonen. Konventionella fordon med förbränningsmotorer har även låg verkningsgrad. Elfordon kan vara lösningen! Elfordon har inga lokala utsläpp under drift och dagens elmotorer har verkningsgrader över 90 %, självklart finns det även vissa nackdelar.

Examensarbetet behandlar inledningsvis den svenska elbilsmarknaden och de olika laddtekniker som existerar idag. En undersökning av var Malmö ställer sig i frågan gällande en omställning till elektrisk vägrafik behandlas även. En möjlig framtida laddteknik, elvägar, för elfordon undersöks också. En elvägssträcka mellan Malmö och Lund utgör fallstudie 1, där dimensioner och kostnader för eldistribution till elvägen beräknas. Fallstudie 2 och 3, belägna i Malmö området, behandlar påverkan på nätstationer, i form av transformatorbelastning, vid en växande elbilsflotta i samhället.

Några viktiga resultat från elvägsstudien är att den totala kostnaden för byggnation av nytt distributionsnät är relativt låg och att den sammanlagda energikonsumtionen från trafiken är hanterbar. Resultatet från fallstudie 2, vilket behandlar okontrollerad statisk hemmaladdning, visar att belastningsproblem kan uppstå i områden med elvärme. Fallstudie 3 behandlar statisk arbetsplatsladdning och visar på en hög och koncentrerad belastning, från laddning av elbilar, i befintliga nätstationer på grund av relativt fasta arbetstider för förvärvsarbetare.

Slutsatserna från examensarbetet är att elbilsmarknaden är väldigt god och att statisk laddning dominerar idag. Elvägars potential är stor då mindre batteri i fordonen krävs och tid kan sparas eftersom laddning sker under färd. För att minska belastningen, från statisk laddning, i nätstationer krävs intelligent mätutrustning och reglering.

Förord

Arbetet har genomförts i samarbete med institutionen för Industriell Elektroteknik och Automation på LTH och E.ON i Malmö.

Vi vill tacka våra handledare Alf Larsen, E.ON, och Lars Lindgren, LTH, för all hjälp och vägledning under arbetets gång. Vi vill också tacka Olof Samuelsson, LTH, för hjälpen i initieringsfasen av examensarbetet. Vi är tacksamma för det stöd vi har fått från dem anställda på E.ON, såsom Anders Gustafsson, Henrik Mireander, Jonas Gilhewijk, Annika Andersson, Thomas Pehrsson, Peter Andersson och Karin Waldén med flera. Därutöver vill vi tacka Marcus Ljungqvist, Miljöförvaltningen Malmö, för ett informativt samtal.

Slutligen vill vi tacka varandra för de senaste 18 åren, då vi har följt varandra genom hela skolgången.

Förkortningslista

APS	Alimentation Par Sol, Alstoms kraftsystemslösning i vägbanan
BEV	Battery Electric Vehicle, helelektriska fordon
BMS	Battery Management System
CNG	Compressed Natural Gas
EBR	ElByggnadsRationalisering
EV	Electric Vehicle, elfordon, samlingsnamn för BEV och PHEV
GREAT	Green REgions with Alternative fuels for Transports, EU-finansierat projekt för infrastruktur för alternativa drivmedel
HVO	Hydrogenated Vegetable Oil, biodiesel
IoT	Internet of Things
KAIST	Korea Advanced Institute of Science and Technology
LNG	Liquefied Natural Gas
MC 4H	Motor Cycle 4 wheeler, fyrhjuling
OBC	On Board Charger, inbyggd laddare i elfordonet
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
SOC	State Of Charge, batteriets laddningsnivå
Std	Standardavvikelse
SUV	Sport Utility Vehicle, stadsjeep
ÅDT	Årsmeldygnstrafik

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problemformulering.....	1
1.3 Syfte	1
1.4 Avgränsningar.....	1
1.5 Disposition	2
2. Metod	3
3. Elfordon - i tiden.....	4
3.1 Från elbil till elbil.....	4
3.2 Orsaker till elbilens återkomst	4
3.3 Dagens elbilar	5
3.3.1 Helelektriska bilar, BEV	5
3.3.2 Plug-in hybridbilar, PHEV.....	6
3.4 Tunga fordon.....	7
3.5 Marknad	7
3.5.1 Sverige idag	7
3.5.2 Omvärldsmarknad.....	9
3.5.3 Framtidsprognos Sverige	10
3.6 Utvecklingsläge.....	11
4. Laddningstekniker.....	12
4.1 Plug-in-laddning	12
4.1.1 Kontaktstandarder	12
4.1.2 Normalladdning	13
4.1.3 Semisnabbladdning.....	13
4.1.4 Snabbladdning.....	14
4.1.5 Säkerhetsnivåer	15
4.1.6 För tunga fordon	15
4.2 Elvägar	16
4.2.1 Konduktiv överföring i vägbana	16
4.2.2 Konduktiv överföring för spårbunden trafik.....	17
4.2.3 Konduktiv överföring i luftledning.....	17
4.2.4 Induktiv överföring i väg	17
4.2.5 Ekonomi.....	18
4.3 Induktiv laddning.....	18
4.4 Batteribyteteknik	19
5. Malmö	20
5.1 Malmö stads miljömål och ambition.....	20
5.2 Attityder och resvanor.....	21
5.2.1 Resvanor för boende	21
5.2.2 Attityder	22
5.2.3 Framtidens innerstad.....	23
5.3 Framtidens kollektivtrafik.....	23
5.3.1 Spårvagn	23
5.3.2 Elbussar.....	24
5.4 Elbilspool	25

5.5 Laddinfrastruktur	25
5.5.1 Befintlig laddinfrastruktur	26
5.5.2 Malmö stads ståndpunkt och planer.....	26
5.5.3 GREAT-projektet.....	27
5.5.4 Finansiering från Klimatklivet.....	27
6 Elväg - simulering & projektering	28
6.1 Elvägens placering	29
6.2 Indata simulering	30
6.3 E.ON:s riktlinjer för transformatorbelastning.....	31
6.4 Resultat	32
6.4.1 Scenario 1.1.....	32
6.4.2 Scenario 1.2.....	37
6.5 Diskussion av fallstudie 1	40
6.6 Slutsatser för fallstudien	41
7 Konsekvenser av plug-in-laddning	42
7.1 Antaganden & utförande.....	42
7.2 Åkarp.....	43
7.2.1 Vågmästarevägen.....	45
7.3 Västra Hamnen.....	50
7.3.1 P-huset Fullriggaren.....	51
7.4 Diskussion av fallstudie 2 & 3	54
7.5 Slutsatser för fallstudie 2 & 3	56
8 Diskussion.....	57
8.1 Marknad, tekniker och Malmös förutsättningar.....	57
8.2 Elväg	59
8.3 Statisk laddning.....	60
8.4 Felkällor	62
8.4.1 Fallstudie 1 - Elväg	62
8.4.2 Fallstudie 2 & 3 - Hemmaladdning & arbetsplatsladdning	62
8.5 Nya produkter och tjänster.....	63
8.5.1 Mätning och reglering.....	63
8.5.2 Tariffer	64
8.5.3 Helhetslösningar och debitering	65
8.5.4 Sammanfattning	66
8.6 Framtida arbete	66
9 Slutsatser	67
Referenser	68
Bilaga 1	73
Bilaga 2	74
Bilaga 3	76

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Vid klimatmötet i Paris 2015 undertecknades ett nytt bindande globalt klimatavtal av världens länder.[1] Den globala uppvärmningen av planeten är ohållbar. Användningen av fossila bränslen ses som den främsta orsaken till försämringen. För att vända den negativa trenden föreslås bland annat förnybara energikällor och fossilfria fordon. Sverige har redan ett förhållandevis fossilfritt energisystem men transportsektorn är fortfarande starkt beroende av fossila bränslen. En elektrifiering av vägtrafiken befinner sig just nu i ett begynnande stadie. Utvecklingen går framåt och olika alternativ har redan nått marknaden. En avgörande faktor för en lyckad elektrifiering är hur det svenska elnätet klarar av en växande elfordonsflotta. Olika implementationer av energiöverföring till fordonen påverkar elsystemet på olika sätt.

1.2 Problemformulering

- Hur ser marknaden för elbilar ut idag?
- Vilka laddningstekniker finns det idag?
- Vilka förutsättningar har Malmö för en omställning till elfordon?
- Hur kan kraftdistribution dimensioneras och vad blir kostnaden för en elvägssträcka?
- Hur påverkas det befintliga elnätet av en hög andel elfordon?
- Vilka nya potentiella produkter och tjänster uppstår med ökad andel elfordon?

1.3 Syfte

Syftet med examensarbetet är att ge en ökad förståelse gällande elfordons påverkan på befintliga elnät genom en studie på olika områden i Malmö. Syftet är även att presentera dagens laddtekniker och föreslå vilken/vilka som vi anser vara bäst lämpade i framtiden. Rapporten ska därigenom ge en ökad förståelse och bilda underlag till en diskussion inom E.ON. Slutligen ska framtida kundbehov och möjliga nya tjänster belysas.

1.4 Avgränsningar

Vid undersökningar av elnätets påverkan av elbilar utesluts faktorer som elkvalité och flimmer, eftersom inga egna mätningar i verkliga förhållanden utförs. Redundans i det uppbyggda nätet till elvägssträckan beaktas ej. Kostnads kalkylen tar inte hänsyn till eventuella avbrottskostnader och markupphandlingar med mera. Topografiundersökningar utförs ej vid placering av kabel och nätstationer. Dessa faktorer kan påverka det verkliga utfallet.

1.5 Disposition

Kapitel 3 - Detta kapitel innefattar uppkomsten av bilen och dess utveckling. Vilka drivkrafter det är som har påverkat införandet av el som drivmedel undersöks. Vilka typer av elbilar det finns idag och hur framtiden ser ut för dessa, både marknads- och utvecklingsmässigt.

Kapitel 4 - Kapitlet behandlar befintliga laddningstekniker. Plug-in laddning och dess olika kontaktstandarder samt begrepp, som normalladdning, semisnabbladdning och snabbaddning. Elvägar, induktiv laddning och batteribytestekniker behandlas också.

Kapitel 5 - Kapitlet tar upp Malmö stads uppsatta mål och ambition. Attityder och resvanor hos malmöborna samt kollektivtrafikens framtida utformning behandlas också. Slutligen går kapitlet in på dagens elbilspool och laddinfrastruktur, både befintlig och planerad.

Kapitel 6 - Fallstudie 1. Projekterad elväg på en delsträcka mellan Malmö och Lund. Simulering av verklig vägtrafik och uppbyggnad av kraftdistribution resulterar i energiåtgång och kostnadskalkyl för elvägen. Två scenarier undersöks, elväg med 100 % elektrifierad tung trafik och elväg med 100 % elektrifierad tung trafik + 50 % elektrifierad personbilstrafik.

Kapitel 7 - Fallstudie 2 och 3. Belastningspåverkan på en nätstation i Åkarp vid hemmaladdning av elbil. En teoretisk modell för hemmaladdning byggs upp och appliceras på befintlig lastprofil. Modellen anpassas även till ett parkeringshus som är placerat i Västra Hamnen i Malmö för att illustrera påverkan vid arbetsplatsladdning. Fallstudie 2 omfattar fem scenarier och fallstudie 3 omfattar ett scenario.

Kapitel 8 - Samtliga kapitel diskuteras för att belysa trender och möjliga scenarior i framtiden. Vid en framtida omställning kan nya produkter och tjänster bli aktuella för marknaden. Vi författare framhäver våra tankar om vilka dessa produkter och tjänster kan vara. Framtida arbeten ingår även.

Kapitel 9 - Slutsatser från examensarbetet.

2. Metod

I kapitel 3, 4 och 5 utförs litteraturstudier för att studera bakomliggande orsaker till elfordons, såväl plug-in hybrider (PHEV) som batteribilar (BEV), frammarsch. För att undersöka Sveriges framtida marknad och utveckling för elfordon, såväl personbilar som tung trafik, utförs även en omvärldsanalys. Teknisk data för PHEV och BEV presenteras. Detaljer som batteristorlek, räckvidd, förbrukning, laddningstider och laddningseffekter utgör väsentlig data för kommande simuleringar. Litteraturstudien behandlar också de olika laddtekniker som redan existerar samt elvägar. De befintliga laddteknikerna presenteras och behandlas för att skapa en trolig framtidsbild och underlag för kommande simuleringar av skilda nätområdesmodeller i Malmö.

För att få en korrekt bild över resvanor, Malmö stads mål och ambitioner samt transformatorbegränsningar krävs en litteraturstudie. Även intervjuer med insatta personer på såväl E.ON och Malmö Stad krävs. Underlag för trafikflöden och principer vid trafikmätning hämtas från Trafikverket. Utifrån detta bestäms de mest intressanta geografiska områdena för simuleringar. De tre fallstudierna är:

1. En motorvägssträcka - E22 från Malmö mot Lund
2. Ett bostadsområde - Åkarp
3. En central stadsdel - P-hus i Västra Hamnen

Elvägssimuleringen utförs genom att välja en sträcka där mycket tung trafik färdas. Tung trafik kräver mer eller mindre konstant tillförsel av elektrisk energi för att kunna färdas långa sträckor på el utan stora batteripaket. Den valda sträckan analyseras sedan utifrån trafikmängder och vägprofil. Dessa data införs sedan i Lars Lindgrens, forskare vid Industriell elektroteknik och automation på LTH, simuleringsverktyg för att bilda underlag för dimensionering av kraftdistributionen till elvägen. Distributionsnätet byggs sedan upp i programvaran dpPower, som används av E.ON. Utifrån det avgörs komponentval och kostnader för distributionsnätet.

Fallstudie 2 och 3 bestäms efter diskussion med E.ON. Timvärdesdata för transformatorbelastning under 2015 hämtas från E.ON:s interna databaser i SAP och Generis. En modell för statisk laddning av elbilar konstrueras i MATLAB. Där aggregeras ett flertal laddande elbilar med hänsyn till hemkomst, laddeffekt och energibehov för att skapa ett verkligt framtidsscenario. Den aggregerade energin appliceras på befintlig lastprofil för att kunna dra slutsatser om nätstationers begränsningar.

3. Elfordon - i tiden

3.1 Från elbil till elbil

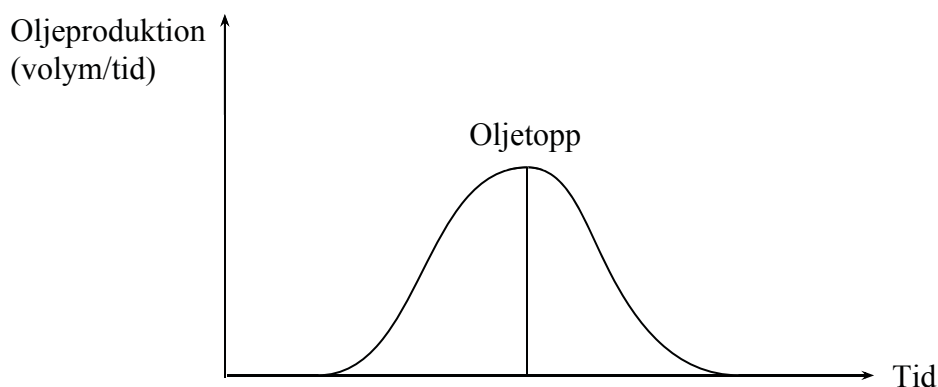
Det första elfordonet kom redan år 1881 och var en ombyggd trehjuling. Fyra år senare presenterade Karl Benz det första bensindrivna fordonet. Det dröjde dock innan praktiska bilar började serietillverkas. De första bilarna liknade de traditionella hästvagnarna till formen och hade fyra hjul. 1900-talets början präglades av en jämn fördelning av bilar drivna av ånga, bensin och el. Det var ovisst vilken typ som skulle dominera längre fram. Elbilen framstod som vibrations- och luktfri samt tystgående. Bensinbilens överlägsenhet låg i dess långa räckvidd, lägre inköps- och driftkostnader, mycket tack vare stora oljefyndigheter som gav lågt bensinpris. Bekvämligheten ökade när startmotorn uppfanns och gav därmed bensinbilen övertaget. År 1918 skapade elingenjören Woods en av de första hybridbilarna i USA, med bensin- och elmotorer i samverkan. Hybridbilen blev aldrig särskilt populär, eftersom den ansågs vara för dyr jämfört med bensinbilen.[2] Den första funktionsdugliga dieselmotorn kom 1897 och hade redan då en högre verkningsgrad än bensinmotorn. Motorn har förbättrats under åren och är idag väldigt populär tack vare dess höga verkningsgrad.[3]

Elbilen gjorde en misslyckad comeback under 1970-talets oljekris. I början av 2000-talet tog utvecklingen fart på riktigt när pionjärerna på Tesla Motors lanserade Tesla Roadster.[4]

3.2 Orsaker till elbilens återkomst

En av de främsta anledningarna till elbilens nyintroduktion är energikällors påverkan på miljön. Förbränningsmotorer använder nästan uteslutande fossila bränslen, raffinerade oljeprodukter och naturgas. Världens förbrukning av råolja uppgår till över ca 34 miljarder fat årligen¹. Vid förbränning av oljeprodukter frigörs ett flertal partiklar som bidrar till försurning i skog, mark och vattendrag samt hälsoproblem för oss människor. Även koldioxid frigörs, vilket tyvärr bidrar till en förstärkning av växthuseffekten. Olje- och gasfyndigheter är ändliga vilket betyder att de kommer ta slut. Geologen M.K. Hubbert uppfann en modell på 1950-talet som skulle prediktera när oljan skulle ta slut, se figur 1. Hittills har det varit relativt enkelt att utvinna olja ur jordens håligheter tack vare den höga kvantiteten. En ny prognos för när vi når oljetoppen är 2035. Efter oljetoppen är nådd kommer det bli ännu svårare och dyrare att utvinna olja vilket leder till höjda bränslepriser.[2]

¹ 25 miljarder fat 2004 - 1,5 % årlig ökning. 2016 - $25 \cdot 1,015^{12} = 34,7$ miljarder fat



Figur 1 - Hubbert-kurva [4]

Med insikten att användningen av fossila bränslen varken är hållbart för vår miljö eller kostnadseffektivt i framtiden kan man snabbt inse att andra energibärare är nödvändiga. Att använda biobränsle för att driva förbränningsmotorer är ett alternativ idag men nackdelen är den stora arealen som krävs för att odla råmaterial till biobränslen. Att omvandla el till mekanisk rörelse är dock väldigt effektivt i dagens elmotorer. För att minimera miljöbelastningen kan man använda el från förnyelsebara energikällor. Eftersom el anses som en flexibel, effektiv och, vid förnybar elproduktion, ren energibärare återinfördes elen som bränslekälla i bilen.[2]

3.3 Dagens elbilar

Det finns två typer av elbilar som är av intresse för den här studien, helelektriska och plug-in hybrider.

3.3.1 Helelektriska bilar, BEV

Helelektriska bilar, även kallade batteribilar, har minst lokal miljöpåverkan, då de inte avger koldioxid eller andra restpartiklar från förbränning. Batteribilens miljöpåverkan beror delvis på tillverkning och återvinning av bilen och dess delar. Miljöpåverkan beror även på hur elektriciteten har genererats, en elmix med hög andel förnybara källor ger en mycket låg påverkan. Helelektriska bilar har endast elmotorer, som enligt [5] har mellan 80 och 90 % verkningsgrad från batteri till hjul, att jämföra med optimala 46 % [3] för enbart själva dieselmotorn. Människan har under årtionden vant sig vid fordon med förbränningsmotorer som ger en lång räckvidd och har förhållandevis snabb energipåfyllning. En av de största orsakerna till trögheten i människors omställning till mer miljövänliga elbilar ligger troligtvis i våra krav på lång räckvidd.[5] För att uppnå en acceptabel räckvidd krävs stora och tunga batteripaket, nästintill uteslutande litium-jon-batterier används i dagens helelektriska elbilar.[4]

Tabell 1 - Energitätheter [2], [4]

Energibärare	Litium-jon-batteri	Bensin	Diesel
Energitäthet / (Wh/kg)	100-170	13 000	13 900

Ur tabell 1 framgår att det krävs stora mängder batterier för att uppnå samma energimängd, lyckligtvis har elbilarna högre effektivitet och förbrukar därmed mindre energi per mil.

Tabell 2 - Energiförbrukning [2], [6]

Bilmodell (Årsmödel 2010)	Nissan Leaf	VW Golf	VW Golf
Bränsle	El	Bensin	Diesel
Energiförbrukning / (kWh/mil)	2,4	5,9	5
Vikt energibärare per mil / (kg/mil)	17,14	0,45	0,36

Tabell 2 påvisar hur stor den faktiska skillnaden i vikt är, uppemot 48 gånger. Det är idag allmänt accepterat att använda 2 kWh/mil som approximation av elbilars energiförbrukning.

Elbilens renlighet och höga effektivitet är inte de enda fördelarna, motorn är tystgående och har lägre energiförbrukning i stadskörning än körning på landsbygd. Dessutom har elmotorn ett brett arbetsområde med högt vridmoment, vilket ger elmotorn en fördel jämfört med förbränningsmotorn. Elmotorns låga servicebehov och långa livslängd är ytterligare fördelar.[5]

3.3.2 Plug-in hybridbilar, PHEV

Fullhybridbilar har både förbrännings- och elmotorer. Dessa bilar kan drivas av enbart elmotorn under kortare sträckor eller använda elmotorn för att optimera förbränningsmotorns arbetspunkt, vilket möjliggör effektivare energiförbrukning. En plug-in hybrid är en vidareutveckling av fullhybridbilar och har ett större batteripaket, vilket möjliggör längre räckvidd på eldrift. Batterierna går att ladda via ett eluttag och genom regelbunden laddning kan en stor andel av vardagskörningen ske via eldrift.[4]

Plug-in hybridbilar har fler komponenter än helelektriska bilar, vilket ökar såväl vikt som tillverkningskostnader. Den stora fördelen med PHEV:s är dock deras överlägsna räckvidd, i och med snabbare energipåfyllning och större energilager, jämfört med BEV:s. Plug-in hybrider bidrar till en ökad utveckling, inom både batteriteknik och -produktion, vilket gör PHEV:s till en viktig faktor för en lyckad övergång från fossila bränslen till eldrift.[5] Enligt [7] estimeras energiförbrukningen för en hybridbil vara 25 % lägre än en konventionell bil, plug-in hybrider med stor andel eldrift kan troligtvis minska energiförbrukningen ytterligare.

3.4 Tunga fordon

Batteriernas låga energitäthet tillsammans med den tunga trafikens höga energiförbrukning per mil innebär stora hinder för en fullständig elektrifiering av lastbilar och bussar i regionaltrafiken.

Precis som för personbilar har hybrida drivlinor i tunga fordon en positiv effekt på bränsleförbrukning och utsläpp. Volvos tunga hybridlastbil, Volvo FE Hybrid, har uppvisat en förmåga att minska bränsleförbrukningen med 15-20 % jämfört med vanliga diesellastbilar.[8] Smith Electric Vehicles producerar och säljer helelektriska lastbilar som lämpar sig för kortare transporter.[9]

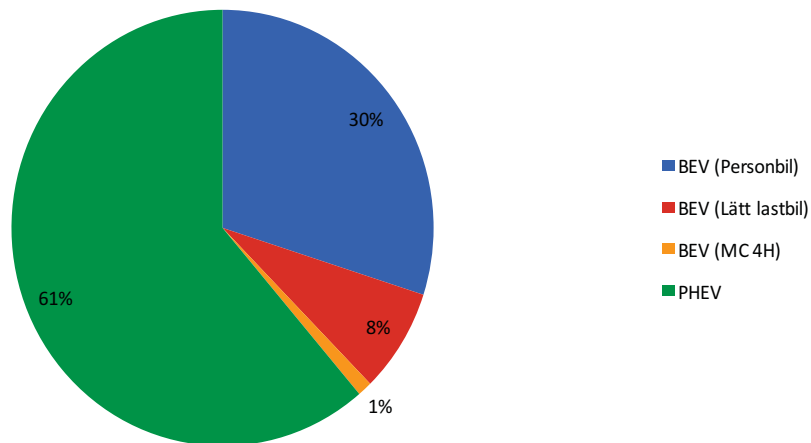
Det finns även helelektriska bussar för stadstrafik, där det finns laddningsmöjligheter vid ändhållplatserna. Stadsbusslinje 55 i Göteborg trafikeras av 3 helelektriska bussar, som är konceptbussar med planerad start av serietillverkning 2017, och 7 plug-in hybridbussar, som drivs med el och HVO, Hydrogenated Vegetable Oil (biodiesel). Energiförbrukningen för en helelektriskt buss beräknas vara 20 % av energiförbrukningen för en motsvarande dieselbuss.[10] På Energimyndighetens fordonskonferens, Energirelaterad fordonsforskning 2016, i Göteborg presenterade Lotta Göthe från Ecoplan några delresultat för stadsbusslinje 55. Linjen har försetts med sex särskilt byggda hållplatser, inklusive en inomhushållplats. Det presenterades att busslinjen betjänar cirka 100 000 resenärer per månad. Dessutom hävdar 70 % av resenärerna att användningen av förnybara el och miljövänlig biodiesel är en bidragande faktor till att välja linjen. Resenärerna uppskattade dessutom bussarnas låga bullernivå samt att det erbjuds gratis WiFi. Många resenärer väljer att vänta på en elbuss istället för att ta första bästa buss som kommer. När det gäller bussarnas bränsleförbrukning framkom att elbussen förbrukar 1,4 kWh/km och hybridbussen 15,33 liter HVO/100 km, dieselmotorn används främst till hjälpkraft vid uppförbackar. Linjen överträffar Västtrafiks krav på 80 % punktlighet och har 99,8 % i utförda turer. En slutlig resultatrapport väntas i juni 2016.[11]

Det bör nämnas att ett fordonets totala miljöpåverkan inte enbart är kopplad till energiförbrukningen i fordonet, andra faktorer är till exempel tillverkning av fordonet samt framställning av drivmedel och batterier.

3.5 Marknad

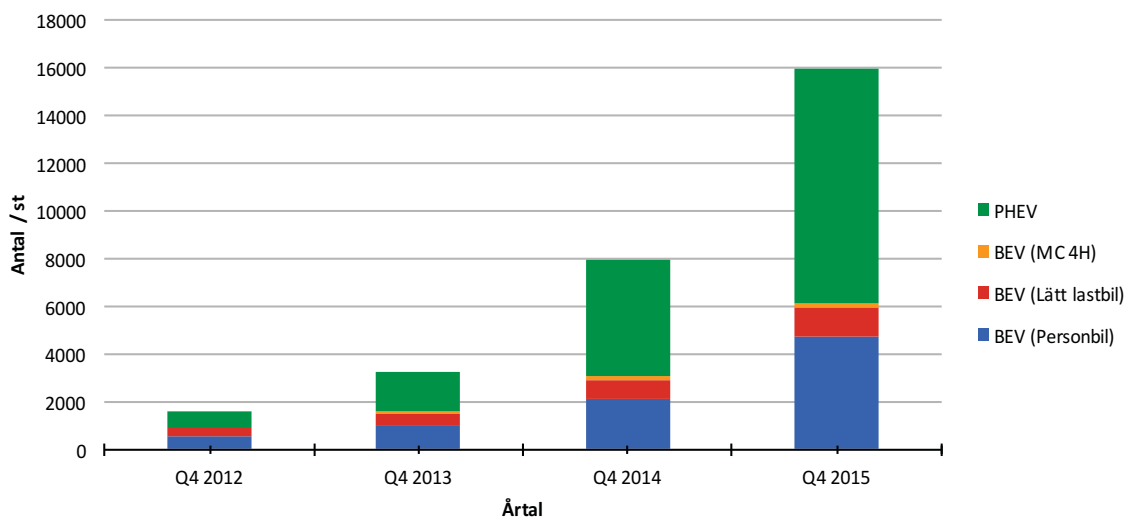
3.5.1 Sverige idag

En framtidsprognos, gjord i februari 2015, estimerade 14 000 laddbara bilar i slutet av 2015. Verkligheten visade strax under 16 000 bilar Q4 2015. Januari 2016 stod för den lägsta ökningen på tio månader, beståndet ökade med 324 bilar. Anledningen tros vara förändrade regler gällande förmånsvärdesreduktion och supermiljöbilspremien. I januari 2016 var fördelningen 9 970 PHEV, 181 BEV (MC 4H), 1 255 BEV (Lätt lastbil) och 4 880 BEV (Personbil), se figur 2 för visuell fördelning.[12]



Figur 2 - Fördelning av laddbara bilar [8]

Beståndet av laddbara bilar har fördubblats årligen sedan Q4 2012, vilket kan ses som en succé, se figur 3 för visuell fördelning.[12]



Figur 3 - Årligt bestånd och fördelning av laddbara fordon [12]

Som både figur 2 och 3 visar är plug-in hybriderna det populäraste laddbara fordonet i Sverige. Den dominerande modellen inom kategorin är Mitsubishi Outlander, 5 161 bilar januari 2016.

Outlander är en SUV som har ett batteri på 12 kWh, där det utlovas 5 mil på ren eldrift. Nypris för basmodellen är ca 410 000 SEK.[13] Volvo V60 D5/D6 plug-in är näst populärast med 1 550 bilar i januari 2016. V60 plug-in är en kombi med en prislapp på ca 470 000 SEK.[14]

Av BEV (Personbil) är det Nissan Leaf som har sålt mest, 1 532 bilar januari 2016. Tesla Model S intar andraplatsen med 1 278 bilar vid samma tidpunkt. Anmärkningsvärt är prisskillnaden mellan modellerna, ca 264 000 SEK för en Leaf och ca 870 000 SEK för Model S.[12]

Plug-in hybriderna har, jämfört med de rena elbilarna, lockat flest kunder under åren 2012-2016, vilket troligen beror på kombinationen av längre räckvidd och möjligheten att köra några mil på ren eldrift. Mitsubishi Outlanders framgångar grundas i det konkurrenskraftiga priset i kombination med dess storlek. På BEV fronten har Nissan lyckats genom en omfattande marknadsföring av sin Leaf. Tesla har blivit en ikon inom elbilsbranschen och trots det höga priset är Teslas bilar högt eftertraktade.

I januari 2016 var Sveriges totala antal bilar i trafik 4 666 338 st, varav 16 286 st laddbara bilar. Laddbara bilar utgjorde 0,34 % av det totala antalet bilar i trafik. Under 2015 nyregistrerades 361 932 bilar totalt, varav laddbara bilar utgjorde endast 2,4 % (8 668 st).[15]

3.5.2 Omvärldsmarknad

Norge är det land som har tagit störst initiativ till en elbilsövergång. Generösa politiska styrmedel har fått elbilsbranschen att blomstra. Redan 2001 införde den norska staten momsbefrielse för elbilar, fordonsmomsen är 25 %. Fria parkeringar och lägre tullavgifter för elbilar har också haft stor positiv påverkan på försäljningen av elbilar. Norge har även satsat mycket på utbyggnad av laddinfrastruktur, vilket har främjat elbilsförsäljningen. 2014 nyregistrerades 144 202 bilar, varav 18 090 laddbara bilar. I Norge är det en högre andel privatpersoner som äger elbilar jämfört med företag och myndigheter. EV-beståndet ökade till 38 568 fordon i slutet av 2014. Laddbara bilar utgjorde då hela 1,5 % av Norges fordonsflotta.[16]

Tysklands mål är att en miljon bilar ska vara laddbara år 2020, vilket motsvarar ca 2 % av Tysklands totala antal registrerade personbilar. [4]

Miljözoner är ett nytt koncept som Tyskland prövar i vissa centrala stadsdelar. Miljözoner innebär avgasfria zoner. Hittills har zonerna gett ett positivt utslag. Transportföretag har införskaffat elbilar för att kunna leverera varor inom zonerna.[16]

Frankrike har ett mer ambitiöst mål på två miljoner laddbara bilar 2020 vilket motsvarar strax under 6 %² av landets förväntade totala antal registrerade bilar. Subventioner på elbilar uppgår till 130 000 SEK. Landet har även investerat 1,5 miljarder EUR för att stimulera elbilsmarknaden. Mestadelen av investeringen har lagts på byggnation av laddstationer. Målet är fyra miljoner laddstationer till år 2020.[5]

Flera andra länder, såsom Australien, Israel, Japan och Kina, gör också stora investeringar för att öka antalet laddstationer.[5]

² Beräknat på genomsnittsökningen (0,066 %) av antal registrerade bilar mellan 2010-2014 i Frankrike. För att sedan approximera antalet registrerade bilar år 2020.[17]

3.5.3 Framtidsprognos Sverige

2012 fastslog regeringen att transportsektorn måste minska sitt beroende av fossila bränslen och att en utredning av möjliga handlingsalternativ skulle utföras. Förbrukningen av fossila bränslen bidrar till den globala uppvärmningen och släpper ut farliga restpartiklar. Därför beslutade regeringen att Sveriges transportsektor bör vara fossiloberoende 2030. En vision om ett fossilfritt Sverige 2050 fastställdes också. För att nå målen krävs långsiktiga regler och styrmedel.[18] Inför 2016 utökades budgeten för supermiljöbilspremien med 94 miljoner SEK, till totalt 309 miljoner SEK. Premien omfattar 40 000 SEK återbäring till dem som köper en BEV och 20 000 SEK återbäring för PHEV inköp. Före 2016 omfattades även PHEV av den högre återbäringen.[19] I april 2016 introducerade regeringen ett förslag om bonus-malus-system för lätta fordon. Det innebär att fordon som registreras efter den första januari 2018 antingen blir bonus- eller malus-klassade. Bilar som släpper ut 0, 0-35 respektive 35-50 gram koldioxid per kilometer blir berättigade till en bonus på 60 000, 45 000 respektive 35 000 SEK. Bilar med koldioxidutsläppsnivåer över 95 gram per kilometer beskattas i högre grad än tidigare, för att betala bonusen.[20] Som avsnitt 3.5.1 visar har utvecklingen för laddbara bilar varit positiv fram till 2016 och prognosen för antalet laddbara bilar är 31 000 stycken vid årsskiftet 2016/2017. Ett problem för ökningen av laddbara bilar är det låga antalet laddstolpar i förhållande till antal laddbara bilar i Sverige. I januari 2016 fanns det 0,11 offentliga laddpunkter per laddbar bil.[12]

Prognosen för hela fordonsflottan är 6,3 miljoner personbilar i trafik år 2050, framtaget ur den genomsnittliga årliga ökningen mellan 1990 och 2010 som var 0,9 %. Energimyndigheten har prognostiserat för 630 000 laddbara personbilar 2050.[21]

Pionjärerna Tesla presenterade, den 31 mars 2016, en ny modell, kallad Model III, som ska tillverkas i stora volymer. Model III erbjuder 34 mil räckvidd, avgiftsbelagd tillgång till Teslas Superchargers, 0-100 km/h på 6 sekunder och högsta säkerhetsklassen för endast 35 000 USD.[22] Leverans av Model III inom USA beräknas till hösten 2017 och antalet reservationer har slagit alla förväntningar. Efter två veckor hade nästan 400 000 bokningar av modellen genomförts världen över.[23] Leveransdatum till Sverige är ovisst men Modell III kan vara elbilen som gör gemene man mer intresserad av elbilar.

S-kurvor används ofta för att visualisera genomslagstakten för produkter och tjänster. Några exempel på produkter och tjänster som har uppvisat en S-liknande adaptationstakt är telefonen, TV-apparaten, bilar och flygresor. Ett liknande adaptationsmönster kan ske för elbilar, se bilaga 1 för ett egentillverkat exempel.

3.6 Utvecklingsläge

Den största utmaningen för elbilarnas frammarsch är, som tidigare nämnts, att utveckla batterier med högre energitäthet, för att minska vikten och öka räckvidden. Att samtidigt kunna pressa ner priserna på batterier är en viktig faktor. Redan idag finns battericeller i utvecklingsstadiet med en energitäthet uppemot 1 100 Wh/l, vilket är mycket mer än dagens battericeller.[24]

En väsentlig del som ofta försummas är kraftelektroniken, som medför cirka 5 % överföringsförluster. Det är av stor vikt att kraftelektroniken är tillförlitlig och precis. Med fler samverkande battericeller tillkommer en högre problematik gällande övervakning och styrning av enskilda cellers laddningsnivå.[2]

4. Laddningstekniker

De laddbara bilarna är beroende av lokala laddningsmöjligheter. Olika laddningstekniker ställer olika krav på elinfrastrukturen, vilket bör beaktas vid planering av det framtida elnäts utformning och dimensionering.

4.1 Plug-in-laddning

4.1.1 Kontaktstandarder

Både BEV och PHEV använder i dagsläget plug-in laddning för att överföra energi från elnätet till batterierna i bilen. I bilen finns en On Board Charger (OBC) som likriktar och styr strömmarna från nätet till bilens batteri. Det finns ett antal olika kontaktstandarder som används i dagsläget.



Figur 4 - Från vänster: Schuko, industrikontakt enfas, industrikontakt trefas[25]

De traditionella kontaktdonen, se figur 4, är bristfälliga vid laddning av BEV och PHEV. Samtliga kontakter saknar kommunikationsmöjlighet mellan laddningsstation och fordon. Schuko-kontakten är inte designad för fulleffektuttag under längre tid, då det medför brandrisk.[25]



Figur 5 - Från vänster: typ 1 SAEJ1772, typ 2 Mennekes[25]

Figur 5 visar de specifikt framtagna kontaktdonen som har två extra stift för kommunikation mellan laddningsstation och fordon. Typ 1 är enfas och klarar strömstyrkor upp till 32 A. Typ 2 klarar 70 A enfas och 63 A trefas. Typ 2 är definierad som standardkontakt för laddning av BEV och PHEV i Europa. Typ 1 fasas troligen ut i framtiden på grund av dess begränsning till enfas.[25]

CHAdeMO är en japansk kontakt som förser batteriet med likström. Den inbyggda OBC:n i bilen används alltså inte. Effekter upp emot 50 kW kan levereras med begränsningarna 120 A och 500 V.[25]



Figur 6 - Combo 2[25]

Combo 2 är en global standard som klarar av att ladda antingen växelström eller likström. Standarden kallas även CCS. Den övre delen, se figur 6, är typ 2 och används för normal- och semisnabbladdning. Den undre delen är för snabbladdning med likström. Biltillverkare så som BMW, Audi, Ford och VW är några som valt att anamma standarden.[25]

4.1.2 Normalladdning

Med normalladdning menas laddning med förhållandevis låg effekt, normalt sett 230 V/10 A men det förekommer även 230 V/16 A. Denna laddteknik är vanligast och sker ofta via OBC:n. Normalladdning utförs oftast i hemmet eller på arbetsplatsen där bilen står parkerad och laddas under en längre tid.[25] För att öka säkerheten och få möjlighet till styrning kan en dedikerad laddbox, som förser elbilen med 3,7 kW i laddeffekt, installeras i hemmet eller på arbetsplatsen. Totalkostnaden för en enfas, 230 V/16 A, GARO laddbox inklusive installation är ca 13 450 SEK exklusive moms.[26]. Många hushåll har i dagsläget en 16 A huvudsäkring, vilket medför att laddning av elbil med 3,7 kW belastar en fas fullt ut. Det är därför av intresse att uppgradera huvudsäkringen till 25 A. En sådan uppgradering är kostnadsfri hos E.ON, från 35 A och uppåt tillkommer en uppgraderingsavgift på över 25 000 SEK. En höjd huvudsäkring innebär en ökad abonnemangsavgift. En villakund med 16 A huvudsäkring som förbrukar över 8 000 kWh/år betalar 342,50 SEK/månad i abonnemangsavgift, avgiften höjs till 587,50 SEK/månad för 25 A huvudsäkring.[27]

4.1.3 Semisnabbladdning

Tanken bakom semisnabbladdning är att göra det tillräckligt snabbt att ladda batterierna på offentliga parkeringsplatser, till exempel vid affärer och köpcentrum. Det möjliggörs genom en effektöverföring som är 3-5 gånger högre än normalladdning. Då krävs antingen att OBC:n klarar av högre effektöverföring eller likströmsladdning, en extern laddare direktkopplad till batterierna som bestämmer laddningstakten istället för OBC:n.[25] En dedikerad 11 kW laddbox från CLEVER, inklusive installation och moms, kostar 16 250 SEK.[28] Full laddeffekt, 11 kW, innebär full belastning av tre faser med 16 A huvudsäkring. En uppgradering av huvudsäkringen till 25 A är därför nödvändig, för abonnemangsavgift se 4.1.2.

4.1.4 Snabbladdning

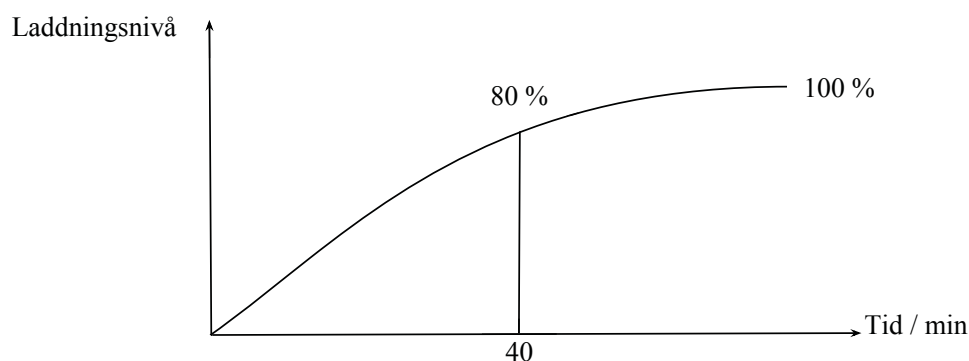
Snabbladdning är främst tänkt som ett sätt att riva långfärdsbarriären. På mellan 20 och 30 minuter ska batterierna laddas till cirka 80 %. I dagsläget krävs externa likströmladdare, med upp till 50 kW laddningseffekt, för snabbladdning eftersom den inbyggda OBC:n inte klarar av tillräckligt höga effekter. De externa laddarna medför högre kostnader för laddstationerna. Om en elbil utrustas med en OBC som klarar 43 kW AC, 400 V/63 A, skulle bilen kunna laddas ungefär lika snabbt som via likströmladdaren. Det skulle dessutom gynna nybyggnationen av laddstationer, eftersom dessa inte behöver utrustas med laddare.[25]

4.1.4.1 Tesla Supercharger

Tesla är pionjärer även när det gäller snabbladdning. Deras Supercharger kan leverera upp till 120 kW. För att uppnå en så hög laddeffekt har varje Supercharger utrustats med ett flertal laddenheter, likadana som OBC:n i en Model S, som arbetar parallellt. Model S använder samma system för energiuttag från och laddning av batterierna, så kallad integrerad laddning. Tack vare den höga urladdningseffekten som krävs för kraftiga accelerationer kan Superchargern snabbt överföra energi till batteriet. I april 2016 fanns 15 Supercharger-stationer i Sverige, med totalt 90 Superchargers.[29]



Figur 7 - Två Tesla Superchargers i Mora



Figur 8 - Laddprofil med en Supercharger [29]

En Model S med 90 kWh batterikapacitet tar cirka 40 minuter att ladda till 80 % med Superchargern, se figur 8. De sista 20 procenten tar nästintill lika lång tid, vilket fått Tesla Motors att rekommendera sina kunder att ladda till 80 %, som normalt räcker till nästa Supercharger-station, istället för 100 %. Tesla Motors har erbjudit andra biltillverkare att ingå avtal gällande laddning från Supercharger-stationer. I skrivande stund, april 2016, är det ingen annan biltillverkare som har valt att investera i ett sådant samarbete.[29]

4.1.5 Säkerhetsnivåer

Enligt svensk och internationell standard existerar fyra säkerhetsnivåer vid laddning av BEV och PHEV. De olika laddningsförloppen har sin specifika säkerhetsnivå, även kallad mode. Gemensamt för alla modes är jordade eluttag.

Mode 1 kännetecknar laddning med standardkontakterna Schuko- och industrikontakt ur eluttaget. Strömstyrkan rekommenderas till 10 A men 16 A är max. Mode 1 skyddar inte mot överhettning eller jordfel i kabeln utan förutsätter att elinstallationen är korrekt gjord för att minimera riskerna. Det sker ingen kommunikation mellan laddstation och bil.[25]

Mode 2 använder också Schuko- och industrikontakten mot eluttaget. Mot bilen återfinns dock en Typ 1- eller Typ 2-kontakt med en inbyggd kontrollenhet som känner av strömstyrka samt jordfel innan strömöverföringen börjar. Mode 2 lämpar sig inte i framtiden om laddstationen är integrerad med ett smart nät, eftersom kontakten vid eluttaget inte har några kommunikationsstift.[25]

Mode 3 är säkrast vid växelströmladdning med 230/400 V. Säkerhetsnivån tillåter strömmar upp till 63 A. Skillnaden mot Mode 2 är kontakten mot nätet. Kabeln består av antingen Typ 1 eller Typ 2 i båda ändar. Mode 3 bevakar skyddsjord, strömöverföring och yttre kabelfel. Säkerhetsnivån innebär även att uppkoppling mot smarta nät är möjligt. Energi från bilbatteriet kan överföras till nätet, även kallat vehicle to grid.[25]

Mode 4 avser likströmladdning med hög effekt. Vid Mode 4 används inte OBC:n i fordonet utan batterierna kopplas direkt till laddstationen. Här tar bilens BMS, battery management system, vid och kommunicerar med laddstationen för att inte skada batteriet. Laddningseffekter mellan 20 kW och 125 kW ingår i Mode 4. Fungerar i övrigt som Mode 3.[25]

4.1.6 För tunga fordon

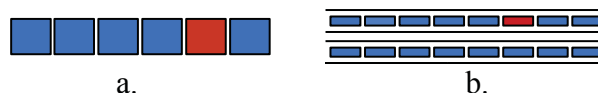
När det gäller tyngre fordon är det framförallt stadsbussar som i dagsläget laddas via plug-in. Under nätter och övrig tid med längre inaktivitet kan bussarna laddas i depåer. Laddningseffekten är normalt mellan 20 och 60 kW, vilket är förhållandevis skonsamt för batterierna och ger 3-5 timmars laddningstid. Att belasta batterierna med djupa cykler skadar däremot batterierna och bidrar därmed till en förkortad livslängd. Vid ändhållplatserna finns möjlighet att implementera tilläggs-laddning med hög effekt, upp till 400 kW med befintlig teknik.[30] Genom att använda snabb-laddningsstationer för tilläggs-laddning kan storleken på batterierna minskas kraftigt, vilket minskar elbussarnas tjänstevikt samtidigt som det frigör utrymme för fler passagerare.

Drifftiden ökar i och med snabbare uppladdning i förhållande till bussar med stora batteripaket, som måste laddas under ett flertal timmar. Under nätterna laddas bussarna för att jämna ut laddningsnivåer i battericeller, laddningen sker då med lägre effekt.[31] [32] Andra busstillverkare har valt att gå en annan väg. Ebuscos elbussar har större batteripaket, vilka visserligen ger cirka 30 mils räckvidd men tar hela 6 timmar att ladda med 125 A. Den maximala laddeffekten ger dock en minskad laddningstid till en fjärdedel.[33] [34] Det innebär att bussarna är indisponibla under en längre tid, vilket inte är optimalt för bussar i pendeltrafik, eftersom de kör längre sträckor varje dag.

4.2 Elvägar

4.2.1 Konduktiv överföring i vägbanan

Elbilars stora nackdel idag är, som tidigare nämnts, den begränsade räckvidden. Laddningstiderna är inte heller allmänt accepterade ännu. Därför söker man tekniker som kan råda bot på begränsningarna. Dagens järnväg överför el från luftledningar till en övre mottagare på tågens tak. En liknade lösning är inte önskvärd för till exempel en motorväg. Fem meter höga luftledningar skulle passa tung trafik men inte personbilar på grund av den stora höjdskillnaden. En lösning som skulle passa all typ av vägtrafik är konduktiv energiöverföring till bilen med hjälp av en bilmonterad arm och strömförande skenor i vägbanan. Två olika system testas idag. Det ena med en skena uppdelad i segment för skapa separata plus- och minussegment (figur 9a). Det andra systemet består av en plusskena och en minusskena (figur 9b). Segmenten spänningssätts i tur och ordning när fordonet befinner sig ovanför dem.[35]



Figur 9 - Konduktiv laddning med skenor. Rött - aktiv pluspol, blått - minuspol/jord

Det svenska företaget Elways utvecklar elvägar för vägtrafik. Tekniken bygger även här på två skenor och är under utveckling. Företaget har fått bidrag från Energimyndigheten för att fortsätta sin utveckling. 2017 förväntas den första testvägen mellan Arlanda och Rosersbergs logistikområde. Sträckan är två km lång och testet ska pågå under två års tid. Projektet är ett av två som är finansierade av Trafikverkets förkommersiella innovationsupphandlingar.[36] Ytterligare ett projekt, som sker i samarbete mellan Krafringen, Volvo och Lunds universitet, är ElonRoad. Projektet delfinansieras av Energimyndigheten och ska börja testas utanför Lund hösten 2016. Tekniken bygger även här på metallskenor som överför kraft till bilen. Skillnaden jämfört med Elways är att metallskenor ligger ovanpå vägen istället för i vägen. Ansvariga för ElonRoad anser att systemet då blir billigare och flexiblere.[37] Värt att notera är att överföring av energi från skenor i vägen till fordonet befinner sig i forskningsstadiet där en del problematik såsom debitering, av- och påkoppling samt säkerhetsfrågor kvarstår.

4.2.2 Konduktiv överföring för spårbunden trafik

Konduktiv överföring i spårbanan, där mottagaren sitter under vagnen, är ett väl beprövat system för spårbunden trafik. Företaget Innorail var först med systemet i franska Bordeaux. Systemet överför kraft med två skenor (se figur 9b) och används i snabbspårväg. [35]

Idag säljs systemet under namnet Alstoms APS-system, Alimentation Par Sol, efter att Innorail blivit förvärvat av Alstom. Även spårvagnssystemet inne i staden matas med APS-systemet. Tekniken är snarlik den som figur 9a visar. APS-systemet är fullt utvecklat och spårvagnar har redan färdats över 20 miljoner km på APS-spår. Systemet återfinns i totalt fyra städer i Frankrike. Fördelarna är bland annat den ostörda stadsbilden, eftersom luftledningar inte behöver byggas. Säkerheten är också högre jämfört med luftledningar, då segmenten endast blir strömförande när spårvagnen befinner sig ovanför.[38]

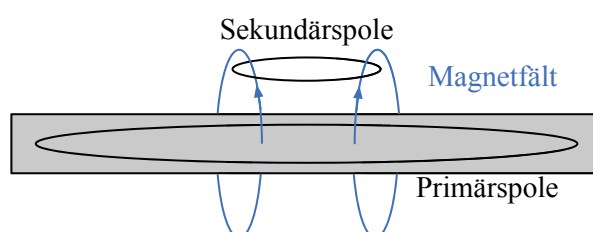
4.2.3 Konduktiv överföring i luftledning

Att överföra kraft i luftledningar är en gammal och vedertagen metod som använts till järnväg och spårvagnar i över 100 år. Metoden är överförbar till vägtrafik men innebär vissa komplikationer. Elektrifiering med luftledningar vid trafikplatser och under broar försvåras. Dessutom får stolpar och ledningar inte skymma signaler och skyltar.

Det andra projektet, Elväg Gävle, som är delfinansierat av Trafikverket är en teststräcka med luftledningar över väg. Projektet kostade 125 miljoner och resulterade i en två kilometer lång sträcka mellan Gävle hamn och Storvik på E16. Hybridlastbilar från Scania ska trafikera sträckan. Luftledningarna och kontaktanordningarna på lastbilarna är utvecklade av Siemens, som har utfört tester på liknade anordningar i Berlin sedan 2013. Lastbilarna började rulla i februari 2016 och testet ska även här pågå i två år för att sedan utvärderas.[39]

4.2.4 Induktiv överföring i väg

Induktiv överföring innebär trådlös överföring. Om en lindad kopparspole runt en järnkärna utsätts för växelström bildas ett varierande magnetfält, spolen agerar primärspole, se figur 10. Om en annan kopparspole utsätts för det varierande magnetfältet induceras en ström i den, spolen agerar sekundärspole. Härigenom har energi överförts trådlöst.



Figur 10 - Princip för induktiv överföring av energi, primärspolen placeras i vägen

Att använda tekniken för drift och laddning av batterier under färd befinner sig i ett tidigt utvecklingsstadium. Universitetet KAIST i Korea har byggt en 2,2 km lång testbana med induktiv laddning runt Seoul Park. Det är fyra induktiva laddningssegment runt banan som vardera är 93 m långa. Bussen som färdas runt parken har fem 20 kW mottagare undertill och en elmotor på 120 kW (240 kW i topp effekt). Laddningssegmenten bidrar både till drift och till laddning av batterierna. Verkningsgraden för överföringen uppgår till 83 %.[40] En annan induktiv teknik som befinner sig under test är Bombardier PRIMOVE. Se 4.3 för ytterligare information om PRIMOVE för stationär implementation.

4.2.5 Ekonomi

Intresset för elväg är stort och utvecklingen fortskrider. En stor fördel med elväg är kostnadsreduktionen på batterierna i fordonen. Istället för 300 km räckvidd på batteridrift behövs ca 50 km räckvidd vid batteridrift, om elväg är anlagd på Sveriges europa- och riskvägar. Besparingar görs även på den statiska laddinfrastrukturen som inte behöver byggas ut i lika stor utsträckning. Enligt en rapport från Lunds Universitet kan de totala kostnaderna, med en avskrivning på 10 år, för ny väginfrastruktur och anpassning av fordonen, dvs. likriktare, batterier och laddtekniker, uppgå till:

- 206 miljarder SEK/år vid anläggning av konduktiv vägbunden elväg
- 790 miljarder SEK/år vid anläggning av luftledningar

Den höga kostnaden för anläggning av luftledningar beror på bilarnas oförmåga att nyttja tekniken. De stora batteripaketerna kvarstår därför vilket bidrar till stora kostnader.[41] Kostnaden för konduktiv vägbunden elväg är ca 4-5 miljoner SEK/km inklusive anläggning av kraft- och distributionssystem. Kostnaden är uppskattad och gäller vid en storskalig utbyggnad av elväg på 2 000 mil av Sveriges vägar.[42]

4.3 Induktiv laddning

Induktiva laddningsplattor ger en trådlös och enkel laddning av fordon under den tid de står stilla, exempelvis vid rödlys eller busshållplatser. Induktionsladdningens stora fördelar är den trådlösa laddningen samt att laddplattorna kan placeras under eller nedsänkt i asfalt etcetera. De ger också en frihet från laddkablar med olika kontakter. I dagsläget är stationär induktiv laddning applicerbar i verklig miljö medan induktiva elvägar fortfarande befinner sig i forskningsstadiet.

PRIMOVE är det kanadensiska företaget Bombardiens induktiva laddningsalternativ. Systemet är kompatibelt med alla typer av elfordon, vilket gör det unikt. Det ger till exempel busstrafiken möjlighet att ladda vid hållplatser med en laddningseffekt upp till 200 kW. För busstrafiken innebär det att laddmöjligheter kan placeras vid strategiska hållplatser för att ge en smidig resa utan att inskränka på uppehållstider.[43] Systemet består av en fordonsmonterad del och en laddplatta i marken. PRIMOVE fungerar, som tidigare nämnts, även för bilar. Laddningen startar automatiskt när bilen stannat och avslutas automatiskt när batteriet är fullt. Laddningsplattorna är anpassade till platser där bilen normalt står parkerad, exempelvis vid hemmet eller arbetsplatsen.

Den maximala laddningseffekten är skalbar, mellan 3,6 och 22 kW för lätta fordon, för att möta olika bilmodellens specifikationer och överföringens verkningsgrad uppgår till 95 %. Systemet är dessutom anpassningsbart till såväl mindre sportbilar som större SUV-modeller och allt däremellan. Laddningsplattan höjs automatiskt för att minska avståndet till mottagaren och därmed öka effektiviteten samt minska elektromagnetisk fältstyrka.[44]

4.4 Batteribyteteknik

Det finns fortfarande människor som tycker att snabbladdning är för långsam, den kan inte riktigt konkurrera med konventionell tankning. Det har därför framkommit tankar om batteribytten, där urladdade batterier byts ut mot fulladdade. Batteribytetekniker har diskuterats under flera år och några initiativ har startats.

Ett exempel på initiativ som startats är Better Place som var ett dansk-israeliskt företag. Deras vision var att sälja elfordon och bygga upp ett nätverk med ladd- och batteribytesstationer. Företaget placerade sin infrastruktur i Israel och Danmark innan företagets försattes i konkurs i maj 2013.[45]

Ett annat exempel är Tesla Motors som demonstrerade en batteribytesstation under ett liveevent i Los Angeles i juni 2013. Den automatiska batteribytaren lyckades byta batteripaketet i en Model S på cirka 90 sekunder, utan att föraren behövde lämna bilen. Under den tid det tog att tanka en konventionell bil byttes batteripaket på två Model S. Mitt emot en Supercharger-station i Kalifornien, USA, lanserades en pilotstation för batteribyte under årsskiftet 2014-15. Batteribytet tar i verkligheten ungefär dubbla tiden, eftersom batteripaketet nu täcks av skyddsplåtar, men målet är batteribyte under en minut. Kostnaden för ett batteribyte var något under en full bensintank till en premium sedan.[46] Pilotstationen blev ingen kundsuccé, troligen mycket på grund av gratis snabbladdning på Supercharger-stationen som låg mitt emot. I normal drift värderades inte den snabbare energipåfyllningen tillräckligt högt varken ekonomiskt eller tidsmässigt. Tesla Motors VD Elon Musk ser därför inga incitament till en expansion av batteribytesstationer.[47]

Det svenska företaget PowerSwap AB arbetar med att ta fram en helautomatisk batteribyteteknik. En fundamental skillnad från både Teslas och Better Places koncept är att batteribytet ska utföras från sidan istället för underifrån, vilket minskar anläggningskostnaderna genom mindre markingrepp. På Energimyndighetens konferens "Energirelaterad fordonsforskning 2016" var PowerSwaps VD Sten Corfitsen en av presentatörerna. Corfitsen hävdade att deras batteribytesstation skulle kosta totalt 1,3 miljoner SEK, att jämföra med 30 miljoner för Better Places anläggning. Målet är att placera automaten vid vanliga tankstationer eller parkeringsplatser och att kunna byta ut batteripaketet på ungefär samma tid som det tar att tanka, cirka 3 minuter. Enligt PowerSwaps beräkningar ska 20 000-40 000 elbilar kunna betjäna av 50-100 batteribytesautomater. För att lyckas krävs det mer standardiserade prismaiska batteripaket, som visserligen kan ha olika dimensioner. Förhoppningen är att kunna erbjuda en tjänst som ger en betydligt lägre kostnad per mil än konventionella drivmedel.[48]

5. Malmö

5.1 Malmö stads miljömål och ambition

Malmö stads ambition är att bli Sveriges klimatsmartaste stad och vara en förebild för andra städer. Kommunfullmäktige tog beslut om Malmö stads miljöprogram 2009. Miljöförvaltningen ansvarade för framtagandet av miljöprogrammet i samråd med de övriga förvaltningarna i Malmö. Målen som antogs är följande:

- Till år 2020 ska den genomsnittliga energiförbrukningen per person minska med minst 20 %, i jämförelse med den genomsnittliga förbrukningen 2001-2005. Ytterligare 20 % ska kapas fram till år 2030.
- Malmö stads egna verksamheter ska vara klimatneutrala år 2020, med det menas 100 % förnybar energi och inga nettoutsläpp. Man strävar efter att den lokalt producerade andelen ska vara så hög som möjligt. 10 år senare är målet att energiförsörjningen i hela Malmö ska utgöras av förnybar energi.
- Växthusgasutsläppen ska minska till 60 % av 1990-års nivå.
- I övrigt ska en utbyggnad av eldriven kollektivtrafik och cykelvägar ge förbättrat resande i Malmö. Det påverkar dessutom buller- och partikelnivåer i stadsmiljön.[49]

För att miljöprogrammets mål ska uppnås utarbetas en handlingsplan med specifika aktiviteter. Malmö kommunstyrelse antog *Handlingsplan för miljöprogrammet - prioriterat arbete i Malmö stad 2015-2018* den 27 maj 2015. Aktiviteterna strävar inte enbart efter att vara ekologiskt hållbara utan ska även vara socialt gynnande och ekonomiskt fördelaktiga.

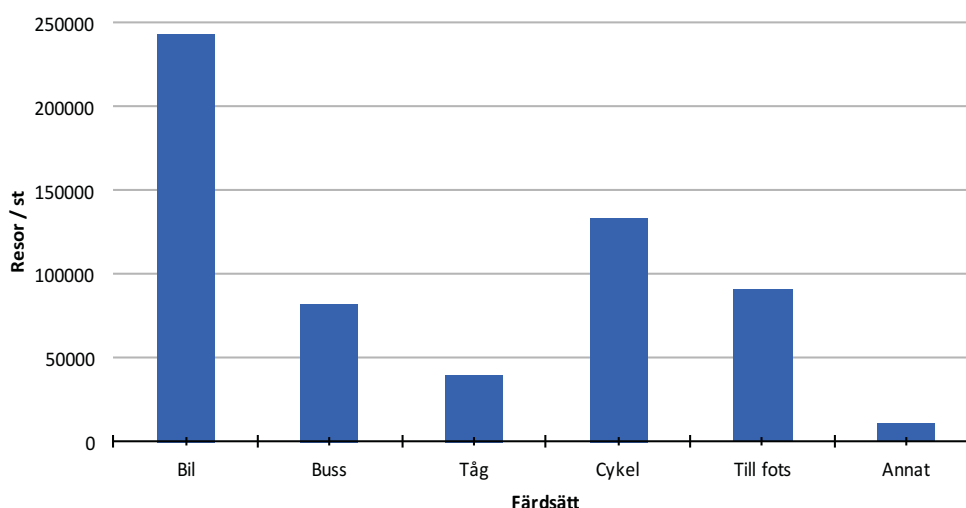
I handlingsplanen är följande aktiviteter för ett hållbart transportsystem framtagna:

1. *“Ta fram en ny miljöbilsstrategi för Malmö stad.*
2. *Genomföra en genomgripande utredning om parkering, dess kostnader, konsekvenser och avgifter.*
3. *Etablera ett hyrcykelsystem i Malmö.*
4. *Bygga ut laddinfrastrukturen.*
5. *Pröva och etablera samlastning av varuflöden, i första hand med fraktcyklar och elfordon.*
6. *Påbörja byggandet av en hållbar servicestation som enbart tillhandahåller 100 procent förnybara drivmedel.*
7. *Förbättra förutsättningarna för gång-, cykel- och kollektivtrafiken.”*

5.2 Attityder och resvanor

5.2.1 Resvanor för boende

Resvaneundersökningar utförs, med fem års mellanrum, åt Malmö kommun för att ge kunskap om hur kommunen utvecklas och förändras. 2008 utfördes en omfattande resvaneundersökning i hela Region Skåne. 2013 utförde Sweco en resvaneundersökning specifikt inriktad på Malmö stad. Enkäter gällande resvanor skickades till 12 444 personer där 4 149 svarade, en svarfrekvens på 33 %. 55 % av svaren kom från kvinnor och 45 % från män. 53 % av de svarande var förvärvsarbetare och 28 % var pensionärer. Övriga bestod av studenter, arbetssökande och sjukskrivna. Totalt görs i snitt 636 820 resor dagligen av malmöborna, se figur 11 för fördelning. Det innebär att malmöborna gör i snitt 2,6 resor per person och dag. Reslängden för en genomsnittlig malmöbo under en dag är 46 km. Männerna reser generellt längre än kvinnorna. Val av färdmedel är starkt kopplat till resans längd. De allra kortaste resorna, under 1 km, utförs främst till fots eller med cykel. Anmärkningsvärt är dock att 10 % av de kortaste resorna utfördes med bil vid 2013 års mätning, vilket är oförändrat jämfört med 2008. Det totala antalet bilresor som är under fem km är också oförändrat mellan 2008 och 2013. Hela 38 % av bilresorna är under fem km.[50]



Figur 11 - Fördelning transportslag, antal resor av malmöbor under en dag[50]

Resans ärende påverkar också valet av färdmedel. Arbetsresor för malmöborna är i snitt 16 km långa och görs med bil till 40 %, 25 % kollektivt och 25 % med cykel. Resor vars syfte är skola/utbildning (15 km i genomsnitt) är den kategori som förändrats mest sedan 2003. Bilresor till och från skola/utbildning har minskat från 25 % till 13 % fram till 2013. Bilresorna inom kategorin har till viss del ersatts med kollektivtrafik. Tjänsteresor uppmättes till i snitt 53 km vid 2013 års mätning, vilket var 10 km kortare än mätningen 2008. Ärenden som omfattar inköp, hämta och lämna barn samt träning har en genomsnittlig reslängd på 7-10 km. Vilket nästan är en dubbling jämfört med mätningen 2008.[50]

5.2.2 Attityder

De moderna elbilarna befinner sig i ett begynnande stadi. Förkunskaperna hos gemene svensk är relativt låg och olika fördomar förekommer. För att öka kunskapen om elfordon hos en utvald grupp samt få ökad förståelse om attityder och beteenden hos malmöborna utförde institutionen för Teknik och samhälle på LTH en studie i samarbete med Malmö stad och E.ON. Projektet gick ut på att låta anställda på E.ON och på förvaltningarna i Malmö välja elbilar för tjänsteresor samt nyttja elbilar för privat körning. För att samla in resdata loggade elbilarna alla utförda resor. Enkäter skickades ut innan och efter projektet för att samla in svar på frågor gällande fördomar, beteende och omdöme. Projektet utfördes under 2011-2012 och ca 150 enkätsvar kom in. Delresultaten för elbil som tjänstebil var följande:

- Hälften av dem svarande valde elbilen framför konventionella bilar eftersom de föredrog elbilen. 29 % var nyfikna på elbilens egenskaper.
- Tjänsteresorna med elbilen var i snitt 4 km långa.
- Individerna uppskattade elbilens räckvidd till mellan 5-10 mil.
- Resans längd, rädslan för elbilens begränsade räckvidd och bagageutrymmet stod till grund för val av konventionell bil.
- Laddningen skedde i E.ON:s/kommunens garage vid inaktivitet. I 60 % av tjänsteresorna kunde individen inte ladda vid slutmålet.
- 75 % av dem svarande angav att de aldrig hade några problem med elbilen under hela projektets gång. 81 % skulle absolut rekommendera andra att använda elbil i tjänst.

Klagomål som dök upp under testet var elbilens undermåliga förmåga att värma upp kupén under kalla dagar. Vissa individer ansåg att elbilen var för tyst vid stadskörning, eftersom fotgängare inte hörde den. Många testpersoner upplevde att räckvidden var mycket lägre än vad tillverkaren angivit.[51]

15 hushåll blev utvalda att nyttja elbil för privat bruk. Innan försöket uppgav hushållen att de körde ca 500-2000 mil per år. Hushållen prioriterade funktion, ekonomi och säkerhet framför drag av släp, hastighet och acceleration. Efter testperioden framkom det att 8 av hushållen hade använt elbilen för dagligen pendling till arbetsplatsen. Övriga hade kört till arbetet sporadiskt samt använt elbilen för inköp och privata ärenden. Medelavståndet för hushållens resor var 10,8 km, vilket var betydligt längre än för tjänstebilsförsöket. Elbilen har laddats hemma över natten och på jobbet eller publika laddstolpar under dagtid. Omdömena från testpersonerna var överhängande positiva. Bullernivån i bilen och till omgivningen var betydligt lägre samt att driftkostnaderna hade reducerats. Klagomål som uppkom var liknande som för tjänstebilsförsöket. Den begränsade räckvidden, krångel med klimatanläggningen i kupén och den begränsade möjligheten att dra släp påpekades från testhushållen. Den generella attityden bland testhushållen, nio av tolv, uppger sig ha blivit mycket mer positiva till elbilar. Endast ett hushåll har blivit mycket mer negativt till elbilar. Hushållen uppger även att de blivit mer intresserade av klimatfrågor och fordonsteknik.[51]

5.2.3 Framtidens innerstad

Hur Malmö ska formas i framtiden debatteras ständigt. Malmö stad har sina mål och tankar för en grönare och mer trivsamt stadsmiljö. För att undersöka vad malmöborna själva anser om innerstadens framtida trafiksituation utfördes en enkätundersökning av VTI under 2014.

Innerstaden definieras som en triangel med Södervärn, Malmöhus och Östervärn som hörn. I studien inkom ca 1 000 svar från personer i åldrarna 18-75 år som var bosatta i Malmö kommun. Personerna valde mellan följande tre framtidsscenarier:

1. *“Bättre framkomlighet och mer gatuutrymme åt bilarna i innerstaden”*
2. *“Ett lugnare trafiktempo i innerstaden”*
3. *“En innerstad med mer gatuutrymme för gång, cykel och kollektivtrafik”*

47,6 % valde scenario 3, 32,3 % valde scenario 2 och slutligen valde 20,1 % av personerna scenario 1. Bland de svarande bodde 76 % utanför innerstaden och 24 % i innerstaden. Resultatet kan då tolkas som att nästan 80 % önskar minskad biltrafik i innerstaden. Ökad framkomlighet, mindre buller och en öppnare stadsmiljö är något malmöborna prioriterar inför framtiden.[52]

5.3 Framtidens kollektivtrafik

Boendeantalet i Malmö förväntas öka med 4 700 personer per år till totalt 390 000 invånare 2030. Antal arbetande i Malmö ökar också starkt med ca 1 000 sysselsatta per år till 180 000 fram till 2030. Öresundsregionen tros även nå fyra miljoner invånare 2027. Malmös luftkvalitet blir sämre med åren samtidigt som buller är ett stort problem. Malmös höga miljöambitioner ställer höga krav på kollektivtrafiken. Malmö stads mål är att få ett ökat resande med kollektivtrafiken så att antalet bilresor inom staden minskar. Kommunfullmäktige i Malmö har, efter samråd med Malmö stads förvaltningar, insett att en elektrifierad kollektivtrafik kan lösa samtliga problem gällande miljö, buller och ökande kapacitetsbehov.[53] Det är nu upp till politikerna att fastställa vilken väg Malmö ska gå. Redan idag finns områden där förberedelser gjorts för att möjliggöra spårvagnstrafik i framtiden. Hyllie Boulevard är ett exempel på en plats som har planerats med en möjlig framtida spårvagnstrafik i åtanke. Boulevarden är extra bred för att spårväg ska kunna läggas i mitten. Även stadsbusslinje 5, mellan Stenkällan och Västra Hamnen, är ett förstadium till spårväg.[54]

5.3.1 Spårvagn

2008 gav kommunstyrelsen ett uppdrag till stadskontoret, gatukontoret och stadsbyggnadskontoret att utreda framtidens kollektivtrafik i Malmö. Uppdraget utfärdades främst på grund av det ökande kollektivresandet i regionen. Ett flertal aspekter beaktades vid utredningen, såsom miljö, tillväxt, integration och jämställdhet.[53]

Rapporten [53] kom fram till följande:

- Eldriven kollektivtrafik ger lägre bullernivå samt 20 % minskning av kvävedioxidhalterna vid de belastade gatorna.
- Elbussar med batteridrift befinner sig i ett utvecklingsstadium och är inte ett alternativ nu (2008), idag (2016) är det definitivt ett alternativ. Luftburna kontaktledningar är rimligast i dagsläget.
- Hög kapacitet med spårvagnar. Spårvagnar, 30 m långa, kan transportera strax över 2000 personer per timme vid 5-minutersintervall. Stadsbussar av standardlängd, 12 m, kan endast transportera ca 700 personer under samma förutsättningar.
- Spårvagnar upplevs som bekvämast med sittkomfort, rymd och resans jämnhet i åtanke. Även staden blir attraktivare om spårväg existerar.
- Spårväg, total anläggning, kostar 110-210 kkr/m jämfört med 30-70 kkr/m för total trådbussanläggning (Landskrona).

Ett flertal remissvar på slutrapporten samlades in, där aktörer såsom Lunds kommun, dåvarande Ban- respektive Vägverket, Svensk handel och Miljönämnden ställde sig positiva till rapportens slutsatser och ville fortsätta arbetet. E.ON ställde sig negativt till en nybyggnation av spårtrafik i Malmö. Dragnings av kraftledningar vid spåren är ofördelaktigt med tanke på att de kan behöva flyttas i framtiden. Spårvägar försvårar även underhåll av gas- och värmeledningar. E.ON ansåg att el- och gashybridbussar var ett bättre alternativ för Malmös framtida kollektivtrafik, då spårbunden trafik ej täcker hela trafiknätet.[53]

5.3.2 Elbussar

Karin Waldén och Peter Andersson på E.ON är involverade i frågan gällande Malmös framtida kollektivtrafik tillsammans med Skånetrafiken och Malmö stad. Enligt Waldén och Andersson finns det i dagsläget inget samarbete mellan Malmö stad och E.ON för utveckling och anläggning av spårväg. Förundersökningar gällande införande av elbussar i Malmö pågår just nu, mars 2016.

Stockholms handelskammare utförde en stor studie 2015 gällande införande av elbussar i Stockholm. Studiens syfte är att ge ett beslutsunderlag till politikerna. Bland annat konstaterar studien att elbussar innebär lägre kostnader vid byggnation av nya körbanor för kollektivtrafik jämfört med spårväg. Det blir mindre ingrepp i vägbanan och kortare byggtider. Elbussar är tystare, flexibla och kräver mindre utrymme än spårvagnar. Landstinget i Stockholm planerar att ersätta busslinje 4 som är 12,3 km lång med spårtrafik. Linjen går från Radiohuset på Östermalm till Gullmarsplan.[55]

De estimerade kostnaderna för de olika lösningarna för linje 4 är följande:[55]

- Årskostnad bana/el/signal
 - Dubbelledad hybrid el plug-in 483 000 SEK
 - Dubbelledad trådbuss 4 800 000 SEK
 - Spårvagn A34 117 000 000 SEK
- Inköpspris fordon
 - Dubbelledad hybrid el plug-in 10 000 000 SEK
 - Dubbelledad trådbuss 10 000 000 SEK
 - Spårvagn A34 25 000 000 SEK

Studien talar för elbussar och kan vara vägledande för kollektivtrafikfrågan i Stockholm.[55]
Liknande analyser sker nu i Malmö och framtiden är oviss.

5.4 Elbilspool

2013 fanns det 60 laddbara bilar registrerade i Malmö. I oktober 2015 uppgick siffran till 254 bilar. Se tabell 3 för fördelningen av ägare och PHEV/BEV.

Tabell 3 - Fördelning EV i Malmö[56]

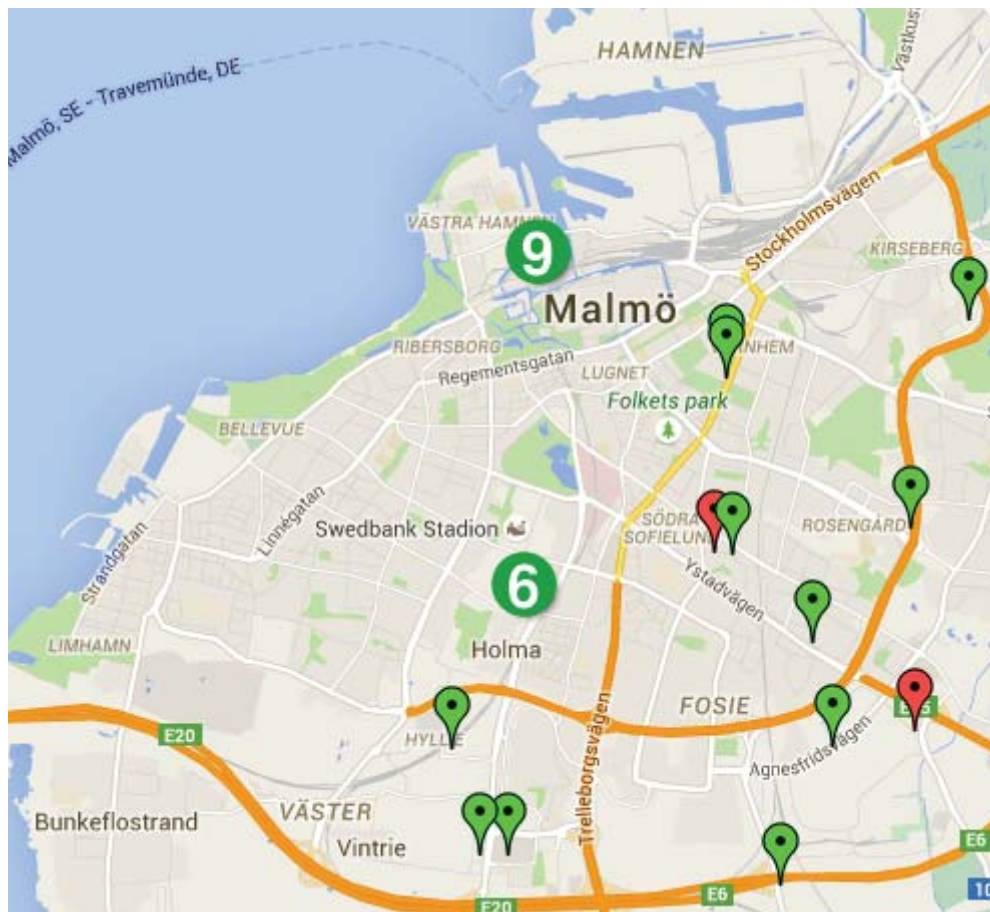
Typ \ Ägare	Man	Kvinna	Organisation	Totalt
BEV	17	2	109	128
PHEV	10	2	114	126
Totalt	27	4	223	254

5.5 Laddinfrastruktur

En omställning från konventionella fordon till elfordon kräver bland annat ett ändrat inköpsbeteende, ökat förtroende för laddinfrastrukturen samt ekonomiska incitament. I dagsläget är laddmöjligheterna på offentliga platser begränsade, vilket får till följd att bilköparna är mer restriktiva till inköp av elbilar. I takt med utbyggnad av laddinfrastruktur ökar således bilköparnas trygghet i att välja en elbil.

5.5.1 Befintlig laddinfrastruktur

Idag (mars 2016) finns det 121 offentliga laddpunkter fördelade på 28 stationer runt om i Malmö, se figur 12. Köpcentret Emporia erbjuder flest laddpunkter (22 st) i Malmö. Fördelningen mellan kontaktstandarderna CCS, Mode 3 Typ 2, CHAdeMO och Schuko är förhållandevis jämn.[57]



Figur 12 - Laddstationsfördelning i Malmö, röd/grön pin - offentliga laddstationer[57]

5.5.2 Malmö stads ståndpunkt och planer

Malmö stads ståndpunkt är att de varken ska bygga, drifva eller äga laddinfrastruktur. Samtidigt är de inte helt avskärmade utan jobbar igenom det kommunala parkeringsbolaget, Parkering Malmö, för att utveckla laddinfrastrukturen. De försöker även få fastighetsägare att bygga laddinfrastruktur för att öka möjligheten till användande av elbilar. Från Malmö stads håll förespråkas en marknadsdriven utveckling och utbyggnad av infrastrukturen, där Malmö stad ska arbeta för att möjliggöra expansionen. Det läggs stor vikt vid att säkerställa att det byggs ett öppet system så att elbilar kan laddas oavsett vilket elbolag man är kund hos.[54]

5.5.3 GREAT-projektet

E.ON är delaktiga i ett större projekt, GREAT, för utbyggnad av infrastruktur med totalt 70 snabbladdare och 3 LNG/CNG-tankstationer. Projektet ska sammanlänka Hamburg med Oslo, via Malmö, och Helsingborg med Stockholm. Den totala budgeten för projektet är satt till 14 miljoner Euro, varav 50 % har finansierats av den Europeiska Unionen.[58]

Av de totalt 70 snabbladdarna ska ett 50-tal placeras i Sverige. Var laddstolparna ska placeras är i skrivande stund inte helt bestämt. Den första svenska laddstationen byggdes utanför E.ON:s kontor på Nobelvägen i Malmö och stod färdig den 10 maj 2016.[59]

5.5.4 Finansiering från Klimatklivet

Klimatklivet är en satsning som Naturvårdsverket administrerar, där knappt två miljarder SEK ska ges i investeringsstöd. Stödet ska ges till lokala klimatinvesteringar, som inte är lönsamma i sig själva men har ett högt samhällsekonomiskt värde, med huvudsyfte att långvarigt minska utsläpp av växthusgaser. För att utnyttja investeringsstödet så effektivt som möjligt ska stödet ges till de investeringar som har störst klimatnytta per investerad krona.[60]

I slutet av februari 2016 hade investeringsstöd beviljats till utbyggnad av laddinfrastruktur för närmare 50 miljoner SEK. E.ON har beviljats 11,4 miljoner för att installera laddstationer i Skåne. Det finns cirka 30 offentliga laddstationer i Skåne i dagsläget.[61] E.ON:s beviljade projekt ska utöka antalet laddpunkter med ytterligare 130 st. Laddstationerna ska byggas under tidsperioden 2016-2018, antalsfördelningen för respektive år samt placeringar är ännu inte fastställda.[62]

6 Elväg - simulering & projektering

Kapitel 6 omfattar fallstudie 1. En framtida elektrifierad fordonsflotta visar sig möjlig i personbilsfallet. Tung trafik präglas dock av långa transportsträckor och korta stopp. Att förse tung trafik med dagens batterier är varken ekonomiskt försvarbart eller praktiskt genomförbart. Att anlägga elväg på europavägar och riksvägar kan därför bli verklighet inom ett par decennier. För att göra elvägen så samhällsekonomisk som möjligt är det viktigt att personbilar, bussar och lastbilar kan nyttja elvägen. Den simulerade elvägen är utformad som en konduktiv överföring i vägbanan, i stil med Elways system, för att inte exkludera bilar. Två scenarier undersöks, scenario 1.1 med 100 % eldrivna lastbilar och 0 % eldrivna bilar. Scenario 1.2 inkluderar 100 % eldrivna lastbilar och 50 % eldrivna bilar. Distributionen till elvägen är utformad efter Malmönätets förutsättningar med matning från en 130/10 kV fördelningsstation.

Simuleringarna är utförda genom ett MATLAB script som är skrivet av Lars Lindgren, forskare vid Industriell Elektroteknik och Automation på LTH. Simuleringsprogrammet återskapar trafiksituationer som uppstår idag, dvs. köbildning, omkörningar och hastighetsanpassning med mera. För djupare beskrivning av mjukvaran se [38]. Elvägen förser fordonen med 400 V AC. Relevant data, som trafikmängder och vägens backighet, förs in för att efterlikna en verklig driftsituation. Resultaten från simuleringarna används sedan för att dimensionera kraftdistributionen för elvägen i programvaran dpPower, som används av E.ON. Utgivare av dpPower är Digpro Solutions AB, programmet är licensbelagt och kan köpas av vem som helst. dpPower är geografiskt baserat där elsystem ritas in på kartan och i schemat för att sedan koppla samman karta med schema. I dpPower utförs även nätberäkningar och kostnadskalkyler för att ge användaren en bild av systemets kapacitet och kostnader.

Det är av intresse att veta hur stor kostnaden är för respektive projekt. Investeringskostnaderna är hämtade från EBR, ElByggnadsRationalisering, katalogen med hjälp av dpPower. För att få en god approximation på den årliga kostnaden och kostnad per kilowattimme utförs annuitetsberäkning på investeringskostnaden. Kalkylräntan som branschen använder är 4,53 % före skatt. Underhållskostnaderna uppgår till 0,5 % per år. Investeringens ekonomiska livslängd antas vara 40 år. Ekvation 6.1 bestämmer annuitetsfaktorn som sedan multipliceras med investeringskostnaden för att bestämma årlig kostnad.

$$k = \frac{p}{1-(1+p)^{-n}} \quad (6.1)$$

Där:

k = Annuitetsfaktor

p = Kalkylränta

n = Ekonomisk livslängd (år)

För att bestämma kostnad per kilowattimme behövs ÅDT (Årsmedeldygnstrafik). Datan hämtas från Trafikverket. ÅDT görs om till årsmedeltimtrafik.

Se formel 6.2 för kostnad per kilowattimme. Andel elektrifierade fordon som färdas i de elektrifierade filerna antas vara 70 % för personbilstrafik och 100 % för lastbilstrafik.

$$W = x \cdot P \cdot \frac{l}{v} \cdot a \quad (6.2)$$

Där:

W = Energitillförsel per timme (kWh/h)

x = Antal elektrifierade fordon av respektive fordonsklass

P = Effekt från väg (W)

l = Elektrifierad sträcka (km)

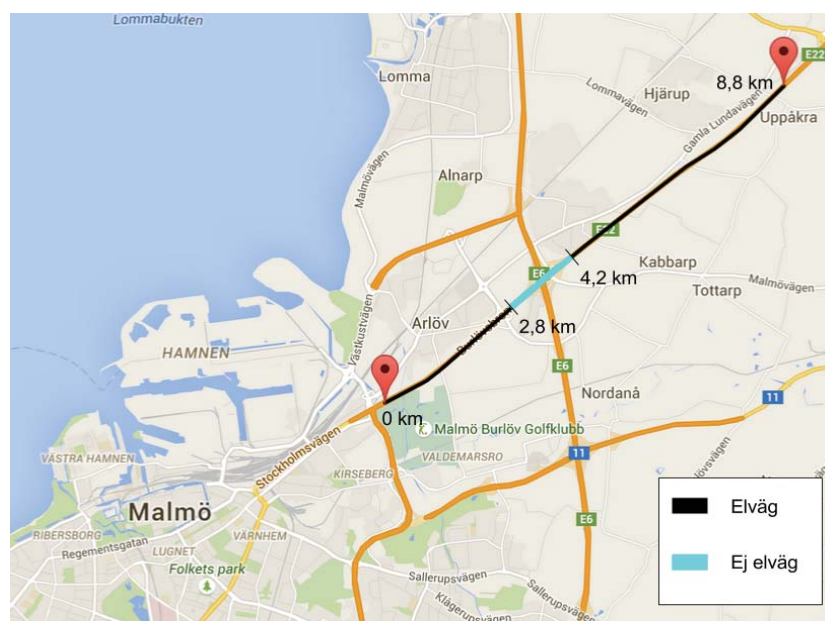
v = Medelhastighet för respektive fordonsklass (km/h)

a = Andel elektrifierade fordon i elektrifierad fil av respektive fordonsklass

Kraftdistributionen har en matningspunkt som är belägen i Segevång. Vid storskalig elvägsanläggning behövs matning från flera punkter längs en längre sträcka. Därför dimensioneras även distributionsnätet utifrån matning från både startpunkt och slutpunkt för att utföra en kostnadsjämförelse. Kraftdistribution med två matningspunkter återfinns näst sist i avsnitt 6.4.1.3 och 6.4.2.3.

6.1 Elvägens placering

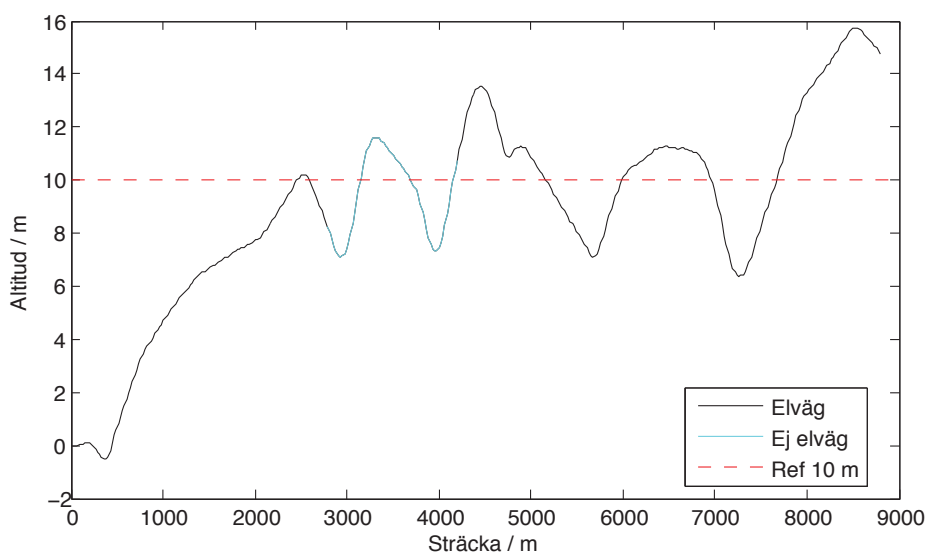
Den simulerade elvägen är en 8,8 km lång sträcka av väg E22, placerad mellan Malmö och Lund enligt figur 13. Mycket tung trafik trafikerar sträckan för att transportera personer och gods till och från Malmö. Sträckan är uppdelad i tre delsträckor, varav en inte är elektrifierad. Den sträcka som inte är elektrifierad är dels en bro över väg E6 och dels av- och påfarter. Vi har därför valt att exkludera den delsträckan, med tanke på de fysiska ingrepp som krävs vid installation av systemet. Hela sträckan befinner sig inom E.ON:s elnätsområde.



Figur 13 - Simulerad elvägssträcka mellan Malmö och Lund

6.2 Indata simulering

Vägprofilen inhämtades från Trafikverkets mätningar av backighet för den valda sträckan. Backigheten mäts i procent i förhållande till 20 m vägsträcka. Mätningarna utfördes 2013 och 2015. För sträckans vägprofil se figur 14. Trafikflöden har uppmätts av Trafikverket under få utvalda dagar. På den valda sträckan har timinformation uppmätts under 6-10 mars, 9-10 juni samt 4-5 september 2015. Timmen med högst antal lastbilar eftersöktes, vilket var 07:00-08:00 den 10 mars 2015. Tidpunktens uppmätta data används i alla simuleringar och står till grund för dimensionering av kraftmatning och elnät.



Figur 14 - Sträckans vägprofil, altitud avser höjd relativt startpunkt[63]

Tabell 4 - Inputvärden: Trafikverket[64]

	Bilar	Lastbilar	Tunga lastbilar
Antal / (h)	4856	495	43
Medelhastighet / (km/h)	98,5	87,3	79,3
Antal / (km)	49,29	5,67	0,54

De flesta lastbilarna, cirka två tredjedelar för respektive viktklass, åker från Malmö mot Lund. Motsvarande siffra för personbilarna är dryga 44 %.[64] Trafikverket delar upp tunga fordon i tung lastbil med eller utan släp och lätt lastbil med eller utan släp. “Tunga lastbilar” i tabell 4 innefattar endast tung lastbil med släp medan “Lastbilar” innefattar resterande.

Tabell 5 - Inputvärden: antaganden

	Bilar	Lastbilar	Tunga lastbilar
Längd / (m)	5	10	20
Vikt / (kg)	1 500	19 000	40 000
Effekt från väg / (kW)	50	175	225
Antal / (km)	49,32	5,69	0,57
Maxhastighet / (km/h)	125	94	79,8
Minsta tidsavstånd / (s)	1,2	1,3	1,4
Effektivitet	0,8	0,9	0,9

Motoreffekten vid en hastighet på 90 km/h är cirka 20 kW för en personbil och 150 kW för en "stor" lastbil.[42] Effekt från väg i tabell 5 utgör motoreffekt och laddeffekt. Låg state of charge (SOC) för samtliga fordons batterier medför energitillförsel till både batteri och motor, därav fullt effektuttag från vägen. Den valda sträckan har två filer i vardera riktning. Högerfilerna i vardera riktning är elektrifierade. Simuleringen motsvarar 30 minuters verkligt trafikflöde med möjlighet till omkörning och köbildning. Lastbilarna initieras alltid i högerfilerna, vilket är en modifikation från ursprungssimulatorens slumpar initieringsfil. Åtskilliga simuleringar utfördes med 1-2 MVA transformatorer men efter diskussion med E.ON framkom information om deras riktlinjer och val. 800 kVA transformator är normalt den största vid lokalnätbyggnation, 10 kV. Parametrar i simuleringsprogrammet, såsom maxhastighet, vikt och minsta tidsavstånd till framförvarande fordon finjusterades för att nå så nära den verkliga trafiksituationen som möjligt.

6.3 E.ON:s riktlinjer för transformatorbelastning

I kapitel 6 och 7 undersöks främst belastningsgraden av transformatorer i lokalnät. Transformatorn i undersökningarna är märkt med 800 kVA, 10/0,4 kV. Den tillåtna belastningsgraden för distributionstransformatorer varierar beroende på omgivningstemperatur, hur belastningscykeln och kylning/ventilation ser ut samt typ av last. En transformator som placeras utomhus kan belastas till 140 % respektive 130 % av märklasten under vintertid respektive sommartid. Överstiger belastningen dessa riktvärden behöver transformatorn bytas alternativt behöver nätstationen utökas med ytterligare en transformator. Redan vid 120 % regelbunden belastning ska man överväga utökning. Vid byte ska den ersättande uppsättningen dimensioneras så att den belastas till 60 % respektive 90 % av märklasten, för den dimensionerande belastningen, för ett expansivt respektive stagnerat område.

6.4 Resultat

Resultaten är baserade på de sista 900 sekunderna, 15 min, i simuleringen, för att trafikflödet först ska stabiliseras. Transformatorerna är numrerade, som T1-Tn, från vänster (Malmö) till höger. Effektivvärdena från transformatorerna räknades fram genom ekvation 6.3.

$$P_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n}(P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2)} \quad (6.3)$$

Där:

$P_{1 \rightarrow n}$ = Momentaneffekt (W)

n = Antal mätningar av momentaneffekten

Tabell 6 - Resultaterande trafikdata

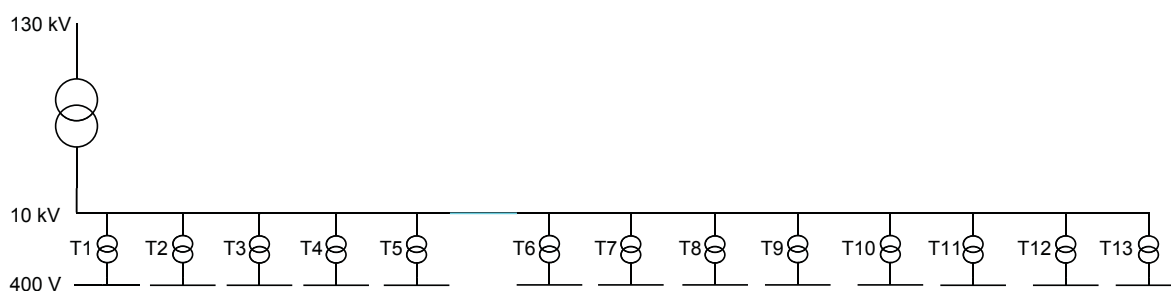
	Bilar	Lätta lastbilar	Tunga lastbilar
Antal / (h)	4843	491	44,7
Medelhastighet / (km/h)	98,2	86,5	78,7

6.4.1 Scenario 1.1

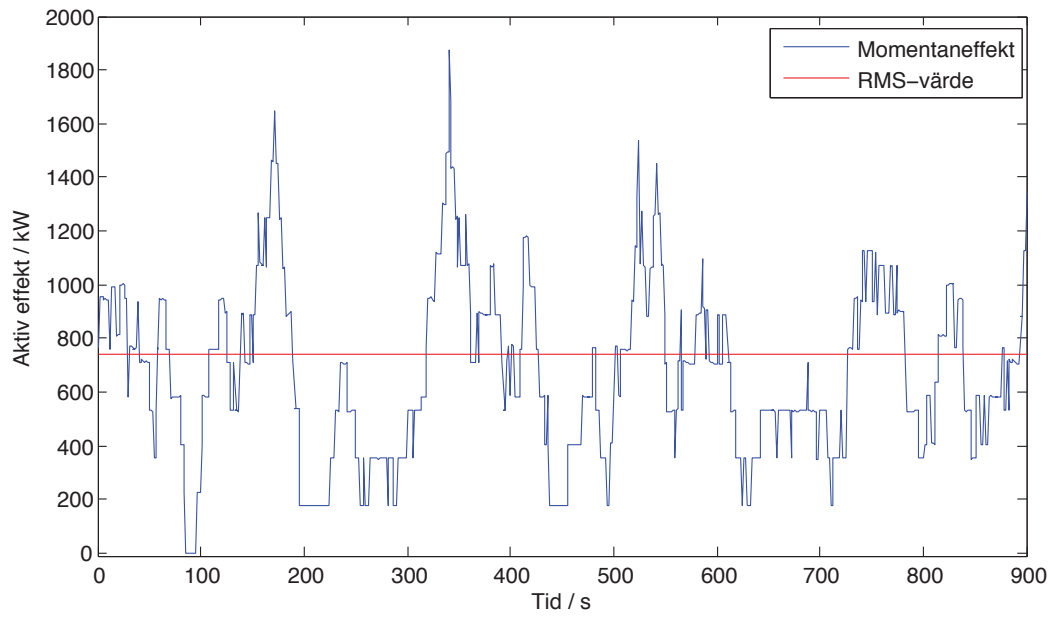
Elvägen i scenario 1.1 förser all tung trafik med energi från vägbanan.

6.4.1.1 Simuleringsresultat

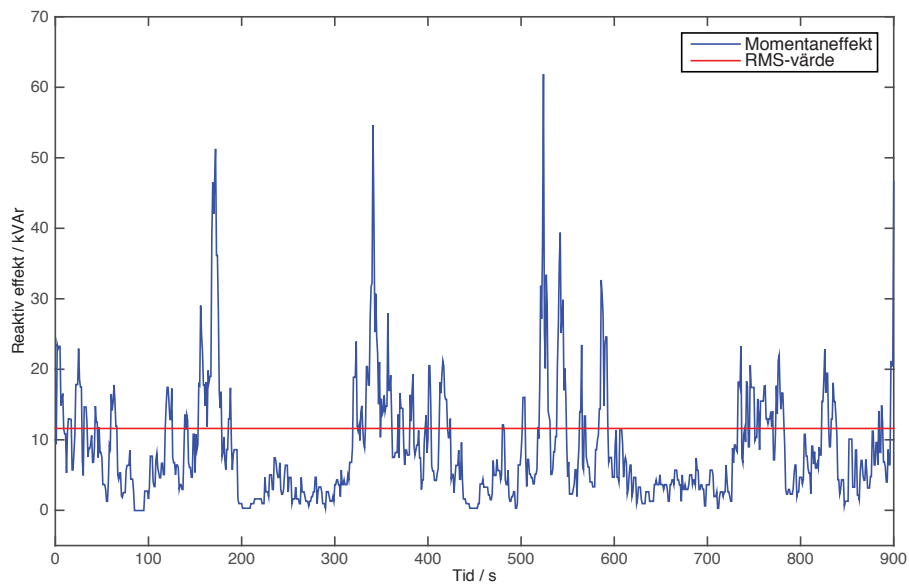
Distributionsnätet består av 13 st 800 kVA transformatorer. Se figur 15 för nätmodell. Figur 16 och 17 visar en slumpmässigt utvald transformators aktiva respektive reaktiva effekt. Figur 18 visar transformatorernas RMS-värden.



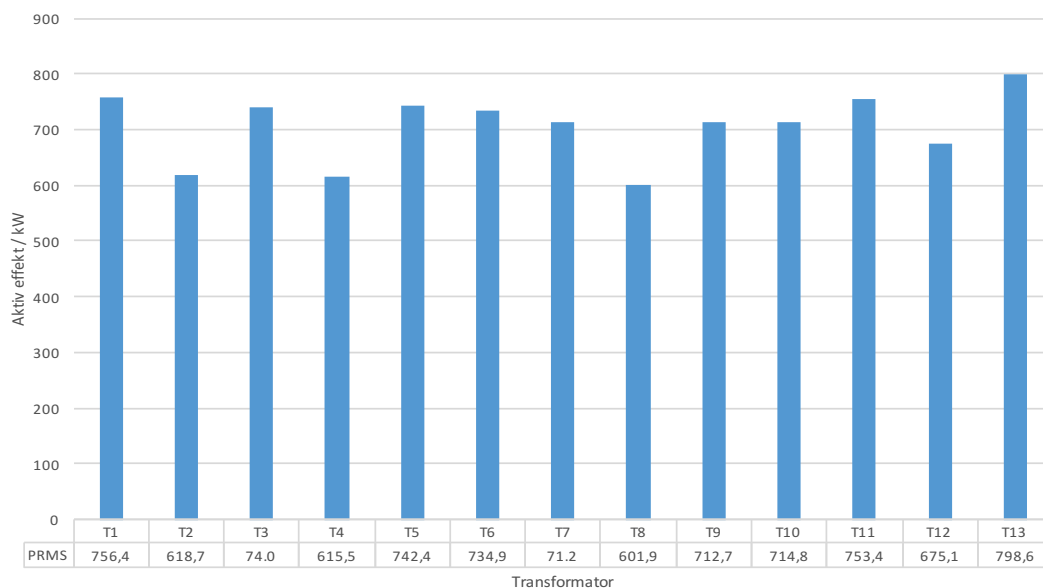
Figur 15 - Nätmodell för scenario 1



Figur 16 - Aktiv effekt på sekundärsidan av T3



Figur 17 - Reaktiv effekt på sekundärsidan av T3



Figur 18 - RMS-värden för samtliga transformatorer i scenario 1.1. P2 - sekundärsida

Transformatorernas placerades enligt följande:
Startpunkt, se 0 km i figur 13

Tabell 7 - Transformatorplacering i scenario 1.1

Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Avstånd / (m)	280	840	1 400	1 960	2 520	4 490	5 060
Ti	T8	T9	T10	T11	T12	T13	
Avstånd / (m)	5 640	6 210	6 790	7 360	7 940	8 510	

Tabell 8 - Energitillförsel längs elvägen, riktning Malmö → Lund, färgad cell indikerar ej elektrifierad sträcka

	0-2,8 km	2,8-4,2 km	4,2-8,8 km	Summa
Bil / (kWh)	0,79	-0,29	1,35	1,85
Lastbil / (kWh)	1,95	-1,75	3,74	3,94
Tung lastbil / (kWh)	2,84	-2,2	5,70	6,34

Tabell 8 visar energitillförseln till respektive fordonets batteri. Siffrorna gäller endast när fordonet förblir i högerfilen under färd. Eftersom altituden för sträckan är ökande med riktning Malmö → Lund blir energitillförseln något lägre än för motsatt riktning.

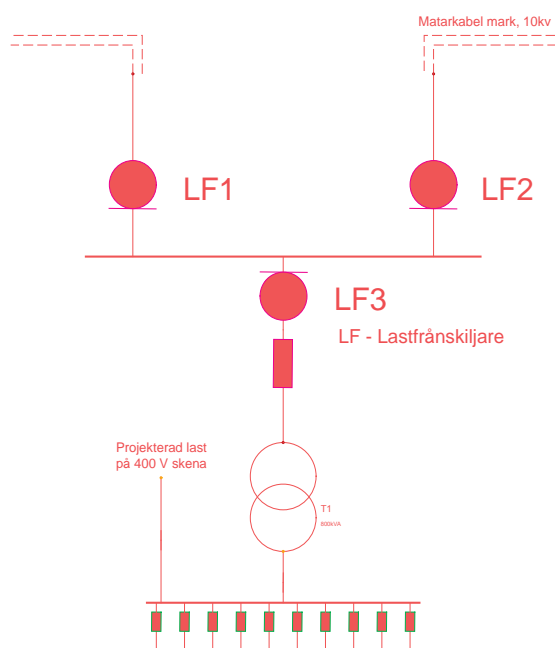
6.4.1.2 Projektering i dpPower

De resultat, i form av aktiv- och reaktiv effekt samt antal och placering av transformatorer, som presenterades i 6.4.1.1 applicerades i dpPower. Appliceringen innebar uppbyggnad av kraftdistribution till elvägen. Elvägens enda matningspunkt valdes till 130/10 kV fördelningsstationen i Segevång. Fördelningsstationen ligger geografiskt nära elvägens startände. Placering av nätstationer utfördes främst från tabell 7 men med visst hänsynstagande till platsens topografi. Se bilaga 2 figur 1 för placering. En grundmodell byggdes upp med en kabel mellan varje nätstation. På varje nätstation projekterades den aktiva- och reaktiva effekten i form av en punktlast på 400 V skenan, se figur 19. Sedan utfördes nätberäkningar med justering av förinställning från 85 % till 100 % sammanlagring. Utifrån resultaten dimensionerades kablar med aluminiumledare för att klara lasten. E.ON:s riktlinjer för ekonomisk dimensionering, 1 A/mm², användes. Tre kabeltyper projekterades. Nominell strömkapacitet anges för 65°C i ledaren vid förläggning i mark med temperatur 15°C.

1. PEX 3x240 12 kV, nominell strömkapacitet 340 A
2. PEX 3x150 12 kV, nominell strömkapacitet 260 A
3. PEX 3x95 12 kV, nominell strömkapacitet 205 A

Tabell 9 - Ledararea och antal parallella kablar för scenario 1.1

Sträcka	Sege-T2	T2-T6	T6-T8	T8-T10	T10-T12	T12-T13
Ledararea / (mm ²)	240	240	150	240	150	95
Antal	3	2	2	1	1	1



Figur 19 - Nätstation med transformator

Nätberäkningsresultat för kraftdistributionen

- Aktiv effekt från 10 kV skenan i fördelningsstationen - 9 438 kW
- Reaktiv effekt från 10 kV skenan i fördelningsstationen - 410 kVAr
- Totala förluster - 262 kW
- Max spänningsfall - 3,2 %, inträffar vid T13, max 5 % i lokalnät
- Strömbelastning i kablage sträcker sig mellan 21 - 62 % av maxströmmen vid 65°C
- Bidrag till jordfelsström (Ic) - 40 A, max 80 A Ic i lokalnät

Det maximala spänningsfallet är baserat på RMS-lasterna i transformatorerna och tar inte hänsyn till de snabba belastningsvariationerna.

6.4.1.3 Kostnad

Den totala investeringskostnaden för kraftdistributionsnätet uppgår till 11,6 miljoner SEK. Kostnaden är uträknad från E.ON:s interna kostnadskatalog i dpPower. Bilaga 2 tabell 1 innehåller detaljerade kostnadsposter, inklusive kabellängd och antal komponenter. De fem översta posterna är tillagda i efterhand för att göra kostnadskalkylen mer verklighetsbaserad. Styrd borring krävs vid korsning av väg och vattendrag som inte får grävas. Styrd borring innebär borring och tryckning av rör under befintlig mark där ytskiktet förblir orört. Längs elvägen krävs etablering av 12 st styrda borrhningar. Plöjningsgrad 0 % innebär grävning 100 % och tillkommer som kostnadspost eftersom kabelläggningen är så pass omfattande i detta fall. Samförläggning innebär parallella kablar i samma kabelgrav, därav avdrag från totalkostnaden.

Annuitetskostnad beräknas på investeringskostnaden för att erhålla årlig kostnad och kostnad per kilowattimme. Årsmedeltimtrafik för sträckan uppgår till 1560 bilar, 134 lastbilar och 13 tunga lastbilar. Den årliga kostnaden uppgår till 691 000 SEK och kostnad per kilowattimme blir 3,5 öre. Kostnaderna inkluderar underhållskostnader men exkluderar skatt och överföringsförluster.

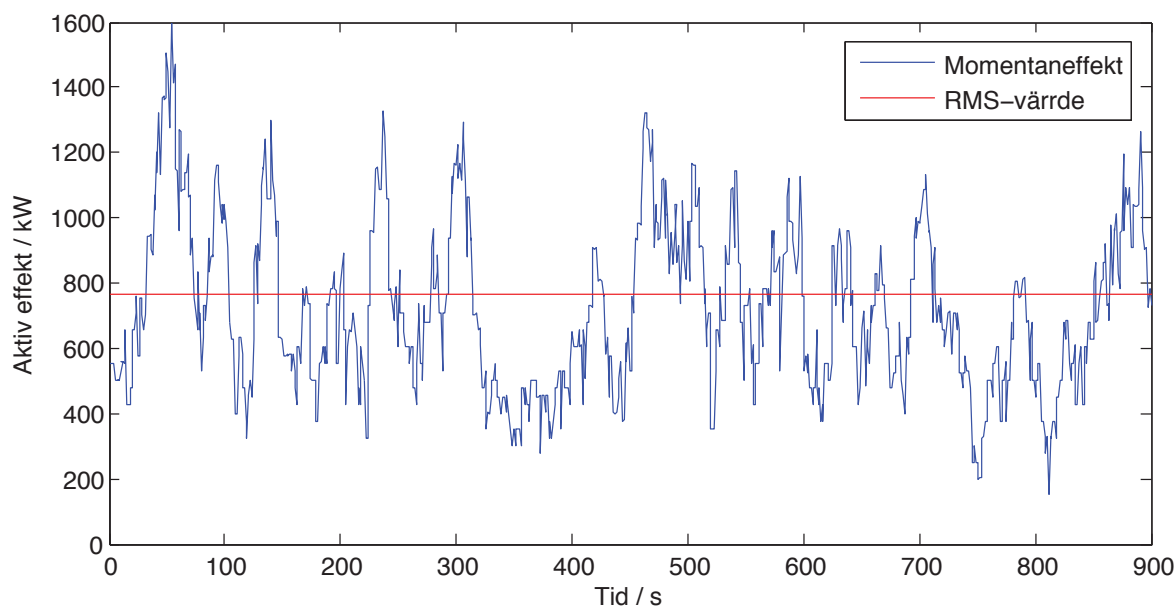
Kraftdistribution med två matningspunkter projekterades i dpPower. Kabeldimensionerna som projekterades mellan T1 och T7, se tabell 9, används nu från T13 till T7. En sådan projektering ger systemet en möjlighet att mata elvägen från båda riktningarna. Den nya anläggningens totala investeringskostnad uppgår till 12,4 miljoner SEK.

6.4.2 Scenario 1.2

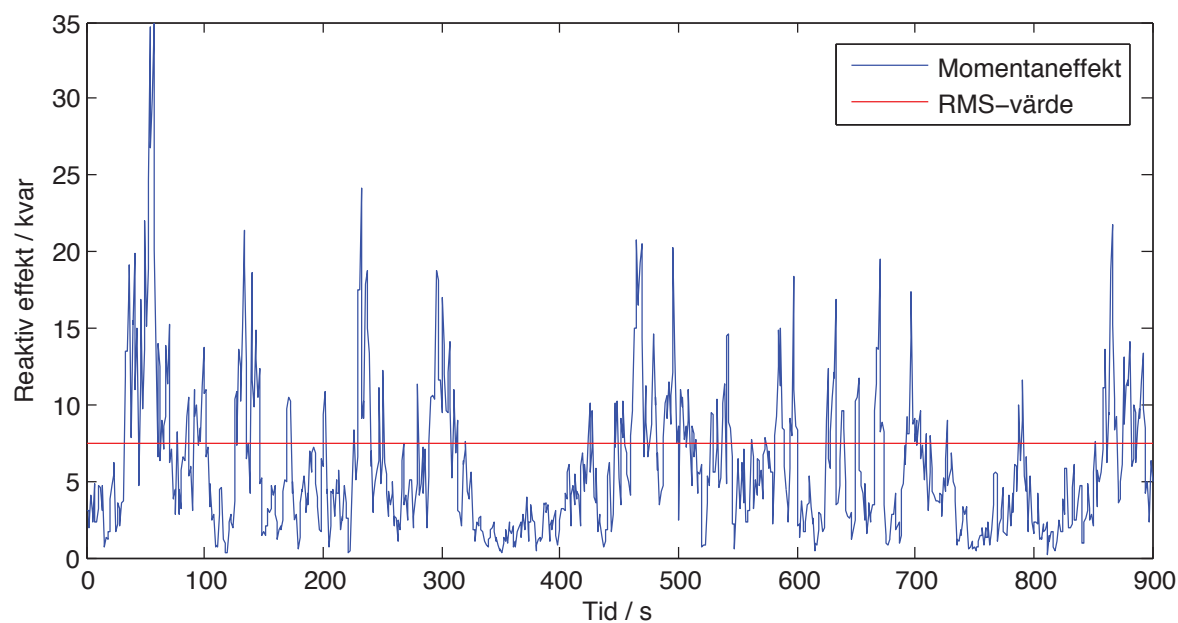
Scenario 1.2 innefattar som tidigare nämnts energitillförsel till 100 % av all tung trafik och 50 % av personbilarna.

6.4.2.1 Simuleringsresultat

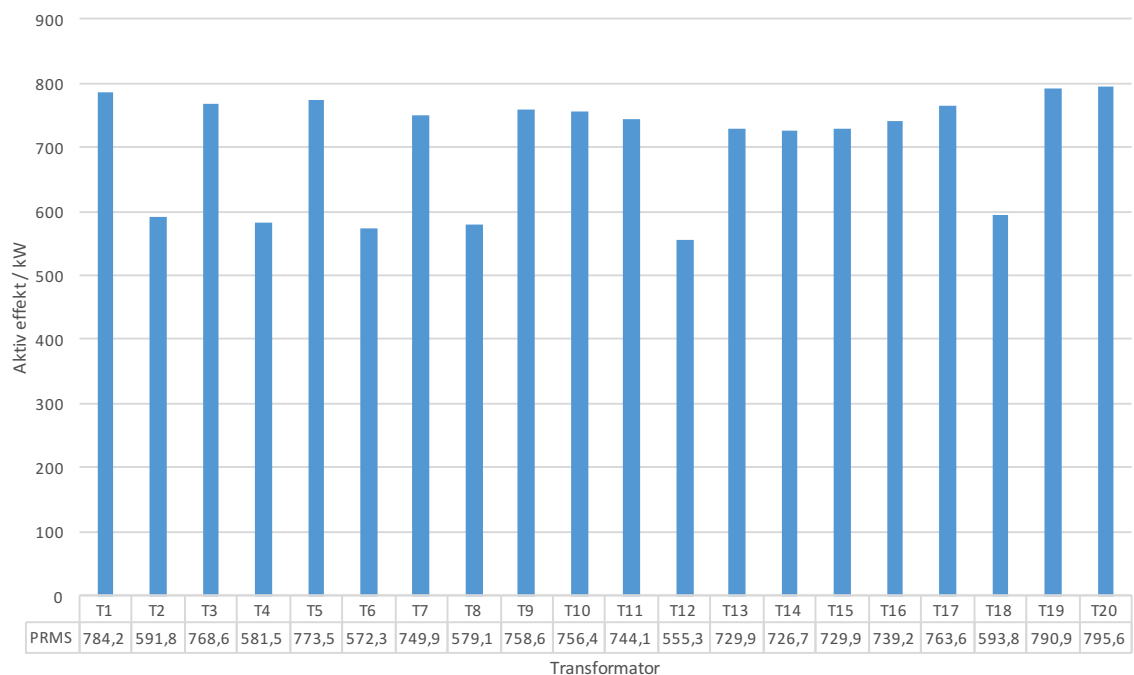
Scenario 1.2 resulterade i 20 st 800 kVA transformatorer med samma struktur som i figur 15.



Figur 20 - Aktiv effekt på sekundärsidan av T17



Figur 21 - Reaktiv effekt på sekundärsidan av T17



Figur 22 - RMS-värden för samtliga transformatorer, P2 - sekundärsida

Tabell 10 - Transformatorplacering i scenario 1.2

Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Avstånd / (m)	180	520	880	1 220	1 580	1 920	2 280
Ti	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
Avstånd / (m)	2 620	4 390	4 780	5 160	5 540	5 930	6 310
Ti	T15	T16	T17	T18	T19	T20	
Avstånd / (m)	6 690	7 080	7 460	7 840	8 230	8 610	

Energitillförsel till batterierna för respektive fordonsklass är samma som i scenario 1.1. Se därför tabell 8 i avsnitt 6.4.1.1.

6.4.2.2 Projektering i dpPower

Projektering i scenario 1.2 utfördes med samma metod som i 6.3.1.2. Se bilaga 3 figur 1 för utplacering av transformatorer i karta. Placeringen härstammar från tabell 10. Schema över nätmodellen för scenario 1.2 liknar bilaga 2 figur 2.

Tabell 11 - Ledararea och antal parallella kablar för scenario 1.2

Sträcka	Sege-T3	T3-T9	T9-T14	T14-T15	T15-T18	T18-T19	T19-T20
Ledararea / (mm ²)	240	240	240	150	240	150	95
Antal	4	3	2	2	1	1	1

Nätberäkningsresultat för kraftdistributionen i dpPower

- Aktiv effekt från 10 kV skenan i fördelningsstationen - 14 490 kW
- Reaktiv effekt från 10 kV skenan i fördelningsstationen - 591 kVAr
- Totala förluster - 405 kW
- Max spänningsfall - 3,2 %, inträffar vid T20, max 5 % i lokalnät
- Strömbelastning i kablage sträcker sig mellan 21 - 64 % av maxströmmen vid 65°C
- Bidrag till jordfelsström (Ic) - 57 A, max 80 A Ic i lokalnät

Det maximala spänningsfallet är baserat på RMS-lasterna i transformatorerna och tar inte hänsyn till dem snabba belastningsvariationerna.

6.4.2.3 Kostnad

Totalkostnaden för kraftdistributionsnätet uppgår till 15,2 miljoner SEK. Se bilaga 3 tabell 1 för detaljerade kostnadsposter, inklusive kabellängder och antal komponenter. För ytterligare beskrivning av kostnader se 6.4.1.3.

Årsmedeltimtrafik för sträckan uppgår till 1560 bilar, 134 lastbilar och 13 tunga lastbilar. Den årliga kostnaden uppgår till 904 000 SEK och kostnad per kilowattimme 2,4 öre. Kostnaderna inkluderar underhållskostnader men exkluderar skatt och överföringsförluster.

Kraftdistribution med två matningspunkter projekterades i dpPower. Kabeldimensionerna som projekterades mellan T1 och T9, se tabell 11, används nu från T20 till T12. Kablaget mellan T9 och T12 förblir oförändrat. En sådan projektering ger systemet en möjlighet att mata elvägen från båda riktningarna. Anläggningens nya investeringskostnad uppgår till 16,6 miljoner SEK.

En alternativ jämförelse mellan energi- och elnätskostnader per personbil och km visas enligt:

Energikostnad - 6 öre/km³

Elnätskostnad - 0,36 öre/km⁴

³ Förbrukning - 0,15 kWh/km, energipris - 40 öre/kWh

⁴ Förbrukning - 0,15 kWh/km, årlig kostnad per kWh - 2,4 öre/kWh

6.5 Diskussion av fallstudie 1

Fallstudierna fokuserar på områden i och omkring Malmö. Valet av elvägssträcka föll på E22 mot Lund, eftersom trafiken är intensiv och vägen är i nära anslutning till industrihamnen i Malmö där import och export av gods sker dagligen. Om elektrifiering av väg sker i framtiden är det i första hand europavägarna i Sverige som anläggs med elväg. Den valda sträckans längd begränsades av E.ON:s elnätsområde för att underlätta kostnadsberäkningar och juridiska frågor som kan uppdagas vid överlapp.

Kraftdistributionen till elvägen dimensionerades utifrån den högst lastbilstrafikerade timmen. En lastbils effektbehov är cirka fyra gånger högre än en bils. Belastningen på systemet är därför mer känsligt för en ökning i antalet lastbilar per timme jämfört med personbilar per timme. För att en elektrifiering av tungtrafik ska gå att genomföra krävs antingen en banbrytande utveckling av batteriteknik, dvs. ökad energidensitet, eller byggnation av elväg. Scenario 1.1 undersöker därför en total övergång från konventionella drivmedel till 100 % eldrift för tung trafik. När i tiden en total övergång kan ske beror i hög grad på framtida politiska beslut. Kraftdistributionsnätet är högt dimensionerat i båda scenarierna. Det kommer dröja lång tid innan alla tunga fordon och hälften av personbilarna är elektrifierade. De antagna effektbehoven för respektive fordonsklass har en hög osäkerhet. Det verkliga utfallet kan antingen bli högre eller lägre. I de utförda simuleringarna förser elvägen fordonen med maximal effekt hela tiden, på grund av låg SOC i samtliga fordon. Det är däremot troligt att elbilarnas effektbehov i större utsträckning kommer utgöras av enbart motoreffekten, då statisk laddning skett innan avfärd. Även lastbilarnas effektbehov kommer främst från motorn, då de färdas långa sträckor på europa- och riksvägar. Den låga SOC:n i fordonen kompenserar därför för en ökande trafik på de svenska vägarna i framtiden.

Ekonomisk dimensionering ligger till grund för antalet nätstationer och kablage. Majoriteten av transformatorerna är nästan fullbelastade vid den simulerade timmen. Figur 16 respektive 20 visar den aktiva momentaneffekten i en av transformatorerna. Momentaneffekter överstiger ibland 200 % av transformatorns märklaster. Det inträffar under korta tidsperioder, vilket inte bidrar till långvarig värmeutveckling som skulle kunna degradera transformatorn. Hög momentanbelastning kan innebära andra påfrestningar som bör undersökas innan implementation. RMS-värdet av effekten hålls under märklaster för alla transformatorer, vilket är att föredra för att inte förkorta transformatorns livslängd. Den reaktiva effekten i transformatorerna och kablarna är låg i förhållande till den aktiva effekten, ca 4 % i båda scenarierna. Marginalen i kablagen blev något större än effektmarginalerna. Den uträknade felströmmen ligger under maxvärdet, dock är det enbart för det projekterade distributionsnätet. Det är viktigt att kontrollera den totala felströmmen som uppstår i hela nätet vid anslutning på fördelningsstationsskenan vid eventuell implementation. Skillnaden i den totala aktiva effekten mellan scenario 1.1 och 1.2 uppgick till drygt 50 %. Viktigt att notera är dock att vägen har en elektrifierad fil i vardera riktning, vilket innebär att fordon i omkörningsfilerna inte kan utnyttja elvägen. Elvägsanpassade fordon kommer med hög sannolikhet utnyttja filerna med elväg i så stor grad som möjligt. Simuleringsprogrammet tar inte hänsyn till sådana preferenser utan simulerar en trafiksituation som finns idag.

Trots att kostnaden för scenario 1.2, 15,2 miljoner SEK, är betydligt högre än för scenario 1.1, 11,6 miljoner SEK, blir det motsatt resultat i kostnad per kilowattimme, 2,4 respektive 3,5 öre. Det innebär att en övergång till elvägsanpassade fordon bör inkludera all vägtrafik. Utöver den lägre kostnaden per kilowattimme innebär det dessutom ett betydligt minskat behov av batterikapacitet. Kostnaden för hela anläggningen kan i framtiden kosta 5 miljoner SEK/km (se avsnitt 4.2.5), vilket är väldigt lågt jämfört med anläggning av trådbusstråk som kostar 30 miljoner SEK/km.

Jämförelsen mellan energi- och elnätskostnader per personbil och km visar att energikostnaden är nästan 17 gånger högre än elnätskostnaden. Det visar att elnätsbyggnationen inte hindrar utvecklingen av elvägar.

6.6 Slutsatser för fallstudien

Ett flertal elvägstekniker är under intensiv utveckling och elväg utgör ett av de bästa alternativen för en omställning från fossilberoende fordon till ett miljövänligare alternativ. Fordonen behöver mindre batterier vilket innebär lättare fordon som förbrukar mindre energi per längdenhet. Dessutom är mindre batterier direkt kopplat till mindre miljöpåverkan vid framställning. Fallstudiens elväg resulterar i följande slutsatser:

- En elvägsanpassad bil kan färdas den 8,8 km långa elvägssträckan och dessutom öka batteriets SOC med energi motsvarande 1 mils färdsträcka. Elvägsanpassade lastbilar erhåller energi som motsvarar ca 2-4 km på batteridrift.
- Systemet belastas som max till 9,4 MW för 100 % tunga fordon och 14,5 MW med påslag för 50 % bilar. Maximalt spänningsfall i systemet uppgår till 3,2 %. Spänningsfallet är framtaget i dpPower baserat på RMS-lasterna i transformatorerna.
- Investeringskostnaden för kraftdistribution för 100 % tunga fordon är 11,6 miljoner SEK och 15,2 miljoner SEK med potential för ytterligare 50 % elvägsanpassade bilar. Kostnaden per kilowattimme blir 3,5 öre för 100 % tunga fordon respektive 2,4 öre för 100 % tunga fordon + 50 % bilar.
- Möjlighet för multipunktsmatning innebär en investering på ytterligare 800 000 SEK för scenario 1.1 och 1,4 miljoner SEK för scenario 1.2. Multipunktsmatning medför redundans till systemet och minskar risken för driftstörningar.
- Totalkostnaden för hela anläggningen uppskattas till 5 miljoner SEK/km vid fullskalig anläggning. Kraftdistributionen kostar 1,7 miljoner SEK/km (scenario 1. 2), vilket motsvarar 34 % av den uppskattade totalkostnaden. Resterande är kostnad för elväg.
- Elnätskostnaden per personbil och km uppskattas till 0,36 öre/km medan energikostnaden uppskattas till 6 öre/km. Elnätskostnaden är låg jämfört med energikostnaden, vilket är önskvärt.
- Elvägen är endast anlagd i en fil i vardera riktning, vilket bidrar till en lägre investeringskostnad. Det är även troligt att motorvägar till en början anläggs med en elektrifierad fil i vardera riktning. Om transport- och logistikföretag övergår till elvägsanpassade fordon ges troligen interna direktiv om att drift via elväg ska ske i största möjliga mån.

7 Konsekvenser av plug-in-laddning

Kapitel 7 omfattar fallstudie 2 och 3. I detta kapitel undersöks plug-in-laddningens effekter på ett befintligt elnät, utifrån ökad belastning i nätstationer. Ett bostadsområde i Åkarp och parkeringshuset Fullriggaren i Västra Hamnen är områden som har valts. Bostadsområdet i Åkarp representerar fallstudien som behandlar hemmaladdning medan Fullriggaren representerar fallstudien om arbetsplatsladdning.

Vid en ökande svensk elbilspool kommer även hemmaladdning öka, eftersom statisk laddning dominerar. Hemmaladdning påbörjas främst i direkt anslutning till hemkomst. När individer med elbil kommer hem vill de inte vänta med laddningen av sin elbil utan ansluter bilen till ett vägguttag direkt. Utan reglering påbörjas laddningen av fordonet automatiskt vid anslutning. Ett troligt framtidsscenario, vid statisk laddning, är en kombination av laddning i hemmet och på arbetsplatsen. Det är därför intressant att undersöka hur belastningen i anslutna nätstationer skulle bli i anslutning till arbetsplatsen. Även här ansluts bilen direkt till ett vägguttag vid ankomst och påbörjar laddningen om ingen reglering utförs.

Reglering kan komma att bli väsentlig i framtiden för att undvika ytterligare belastning vid de befintliga effekttopparna. Elavtal med fast prissättning innebär att elkunderna inte har några incitament till att minska elanvändningen vid effekttopparna. För kunder med rörligt elpris är bristande information gällande det aktuella elpriset det största hindret till en aktiv schemaläggning. Vi ser i dagsläget två olika grundprinciper, centralt respektive lokalt styrd, för reglering av elbilsladdning. Se djupare analys i avsnitt 8.5.1.

7.1 Antaganden & utförande

För att lastberäkningar på en nätstation ska bli mer korrekta görs viktiga antaganden. Vi antar att elbilsägaren ansluter sin elbil direkt vid hemkomst. Det beror främst på bekvämlighet, ökad tillgänglighet och avsaknad av incitament för senare laddning. Av de relevanta anslutna kunderna i nätstationen antas 50 % äga och bruka en elbil för daglig pendling. Anledningen till elbilskvoten är elbilsexpansionens utveckling, där 50 % varken är i början eller i slutet av en möjlig expansion. Hemkomsten på eftermiddagen antas vara normalfördelad runt ett givet medelvärde. Det energibehov som vardera bil behöver antas vara rektangulärfördelat. I vår modell antas laddningen påbörjas direkt med en effekt på 3,7 kW alternativt 11 kW, det vill säga utan reglering. Elbilen antas förbruka 1,5 kWh/mil, vilket är medvetet lågt räknat. Dagens elbilar har redan höga verkningsgrader men det finns fortfarande utvecklingsmöjligheter i reducering av fordonsvikt samt effektivare drivlina. Samtidigt innebär stadskörning med elbil en lägre medelförbrukning jämfört med lands- och motorvägskörning. Om en lägre förbrukning i kombination med en ökad elbilsfloatta orsakar belastningsproblem i nätstationer kommer även det verkliga utfallet medföra problem. Energiöverföringsförluster, från nät till batteri, antas till 5 %.

Fem generella scenarier appliceras på ett valt område för att genomföra en känslighetsanalys med två varierande parametrar, laddeffekt och standardavvikelse (Std) för hemkomsttid. Se figur 23 för en överblick över scenario 2.1-2.5. Mix omfattar 50 % av vardera laddeffekt. Ett egenkonstruerat MATLAB script skapar fordonsobjekt där hemkomst, energibehov och laddeffekt definieras. Sedan ackumuleras energiåtgång efter hemkomst.

	Scenario 2.3 Laddning mix Std - 15 min	
Scenario 2.1 Laddning 3,7 kW Std - 45 min	Scenario 2.4 Laddning mix Std - 45 min	Scenario 2.2 Laddning 11 kW Std - 45 min
	Scenario 2.5 Laddning mix Std - 75 min	

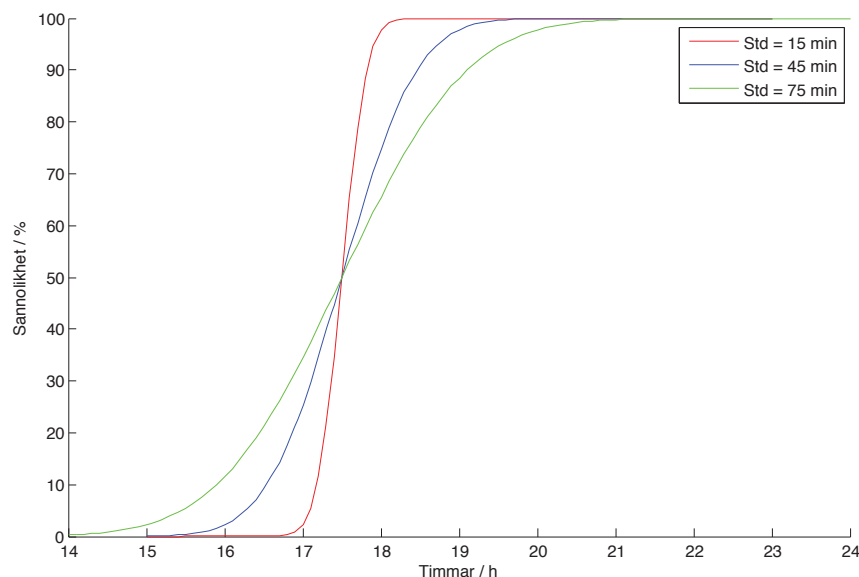
Figur 23 - Hemmaladdning, variation i hemkomst och laddeffekt, fem scenarier. Std - standardavvikelse för hemkomst.

För undersökning av laddning vid arbetsplatsen och i hemmet krävs ytterligare antaganden. Det antas nu att halva energibehovet tillförs vid respektive laddplats. Ankomsttiden till arbetsplatsen varierar troligtvis mindre än för hemkomsten. Här utförs enbart en undersökning, för hemmaladdningen antas i övrigt samma parametrar som i scenario 2.4. För fallspecifika antaganden se delkapitel 7.2, för hemmaladdning, och 7.3, för arbetsplatsladdning.

7.2 Åkarp

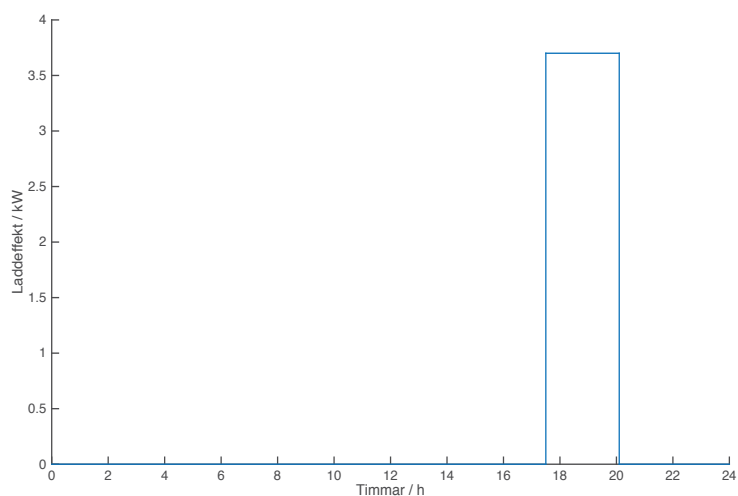
Att införskaffa en elbil innebär en högre investering än vid inköp av en konventionell bil. Därför är det högst troligt att höginkomsttagare kommer vara bland dem första att investera i elbilar. Idag är samhället, till viss del, geografiskt uppdelat efter inkomst, därför kommer vissa bostadsområden innehålla fler elbilar än andra till en början. Tidigt i diskussionen gällande val av bostadsområde omtalades det expanderande bostadsområdet Bunkeflostrand som ligger sydväst om centrala Malmö. Området avfärdades dock på grund av brist på timvärdesmätning av energiförbrukningen i nätstationerna som förser Bunkeflostrand med el. Timvärdesmätning utförs endast i några av E.ON:s över 40 000 nätstationer. Efter samtal med Thomas Pehrsson på E.ON i Malmö framkom det att timvärdesmätning genomförts på några nätstationer i Åkarp, som är beläget cirka en mil nordost om centrala Malmö. Åkarp ligger i Burlöv kommun, som har liknande årsmedelinkomst per förvärvsarbetare jämfört med Malmö kommun, 200 000 SEK (2014).[65] Åkarp valdes därför till området för undersökning av hemmaladdning.

Den genomsnittliga malmöbon reser 46 km per dag, därför antas att den bilkörande åkarpsbon kör 60 km per dag, eftersom cykel- och gångtrafikanter minskar medelreslängden. Åkarpsbon antas börja sitt arbete klockan 08:00 och sluta 17:00. Hemkomsten beräknas därför till cirka 17:30. För en mer korrekt tidpunkt för hemkomst anpassas en normalfördelning med medelvärde 17,5 och standardavvikelse enligt scenario 2.1-2.5 i figur 23. Figur 24 visar spridningen som uppstår vid olika standardavvikelser för hemkomst.

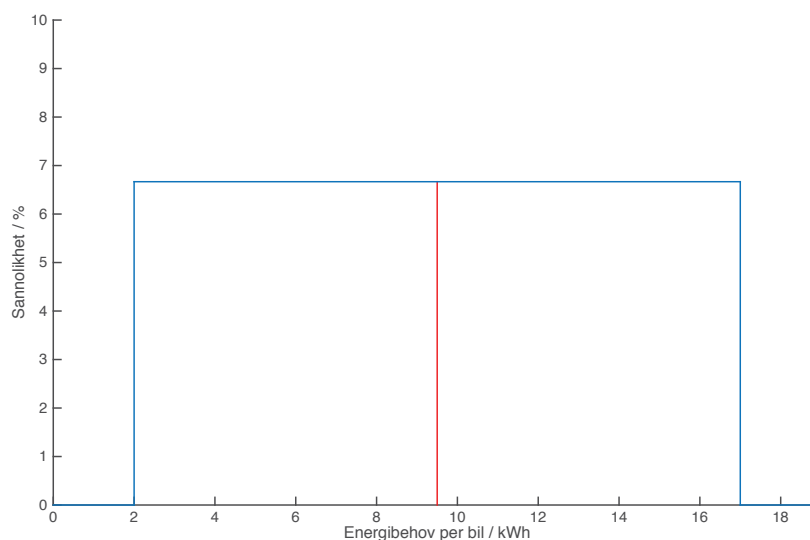


Figur 24 - Sannolikhet för att hemkomst har skett. Std - standardavvikelse för hemkomst

Med våra antagna värden kommer den genomsnittliga åkarpsbon förbruka 9 kWh el under sina dagliga resor. Med 5 % förluster i överföringen krävs därför 9,5 kWh el från nätet. Det innebär 2,6 timmars laddning för att uppnå 100 % SOC i batteriet. Se figur 25 för laddprofil. Färdsträckan (och därmed energiförbrukningen) är, som tidigare nämnts, rektangulärfördelad, se figur 26. Energiförbrukningen är inom intervallet 2-17 kWh, vilket motsvarar ca 1-11 mil färdsträcka.



Figur 25 - Laddprofil för den genomsnittliga åkarpsbon



Figur 26 - Energibehov per bil, rektangelfördelad

7.2.1 Vågmästarevägen

Den valda nätstationen är placerad på Vågmästarevägen 27 och har ID N000730. Nätstationen är försedd med en 800 kVA, 10/0,4 kV transformator. Fördelning av anslutna kunder ges av tabell 12.

Tabell 12 - Antal och typ av kunder anslutna till N000730

Typ av kund	Antal
Typkurvor ren hushållsel	1
Direktel, äldre än ELAK	93
Elpanna, konvertering	8
Värmepump - från luft, vid låga temperaturer nyttjas ej elvärme	13
Värmepump - ytjord, om vp ej klarar värmen nyttjas ej elvärme	3
Flerbostadshus - utan elvärme	178
Offentlig service daghem - utan elvärme	20
Handel och hantverk	2
Totalt antal	318

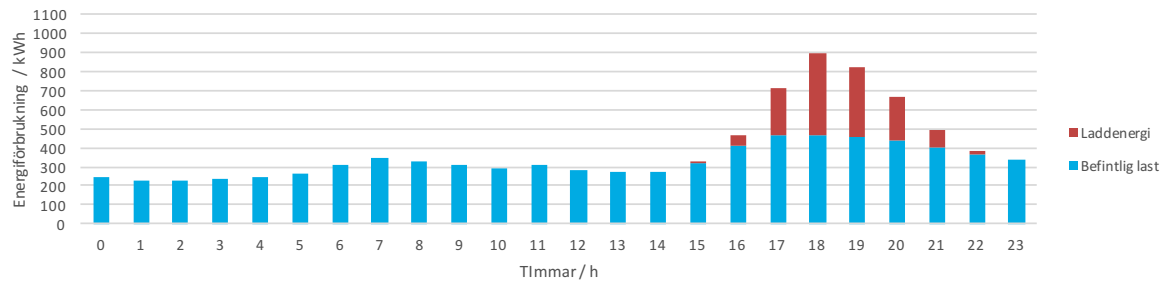
De blåmarkerade kunderna anses vara relevanta för studien. 50 % av dessa beräknas till 148 kunder. Timvärdesdata av nätstationens energiförbrukning för 2015 hämtades från E.ON:s programvara Generis. Vinterdagen den 7 december 2015 utgör befintlig belastning i visning av dygnsresultat i 7.2.1.1. Medeltemperaturen den 7 december 2015 var 5,5 °C.[66] Laddenergin från hemmaladdning adderas även på timförbrukningen över 2015 års mätdata. Adderingen sker på alla måndagar-fredagar, utan hänsyn till röda dagar och semestrar. På lördagar och söndagar sätts laddenergin till noll. Medeltemperaturen för januari-april, maj-september och oktober-december var 4,5 °C, 14,9 °C respektive 7,6 °C.[66] Sist i resultatdelen visas ytterligare ett exempel. Exemplet är ifrån den kalla vintern 2010/2011, 20 december, då många svenska hem var ordentligt utfrusna. Eluppvärmning gick på full effekt, vilket skapade problem hos elleverantörerna. Medeltemperaturen var ca -7 °C i Malmö. Belastning för nätstation N000730 hämtades och laddenergin från scenario 2.4 applicerades.

7.2.1.1 Resultat för scenario 2.1-2.5, endast hemmaladdning

Tabell 13 visar en sammanfattning med nyckelparametrar från de fem scenarierna som undersökts. Figur 27-31 visar resultatet av 148 elbilars laddning tillsammans med befintlig lastkurva för den 7 december 2015.

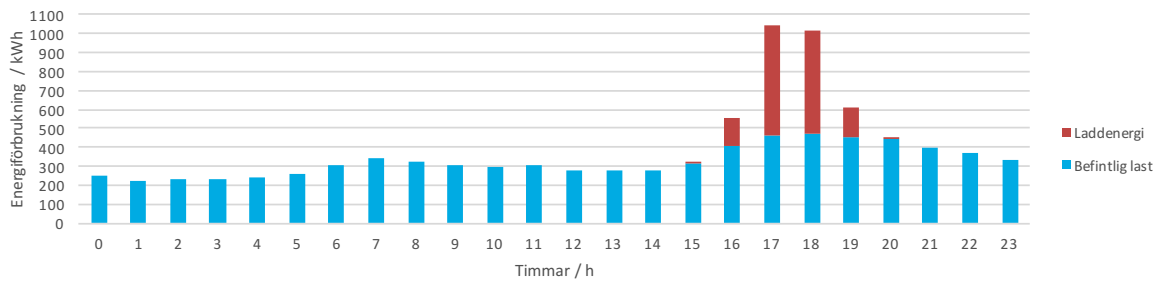
Tabell 13 - Sammanfattning - resultat av hemmaladdning, helår 2015

Scenario	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Högsta energiuttag under en timme / (kWh)	1 020	1 173	1 206	1 083	952
Belastningsgrad för den högst belastade timmen / %	128	147	151	135	119
Antal timmar med medellast över märklast / (h)	181	380	345	237	139
Antal timmar med medellast över 1,2*märklast / (h)	12	177	141	55	0



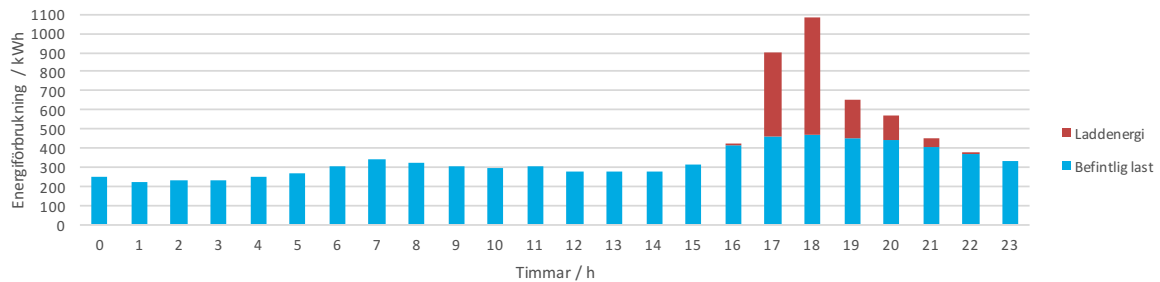
Figur 27 - Lastprofil för 7 december 2015, scenario 2.1: 3,7 kW, Std - 45 min

Med en låg laddeffekt och 45 minuters standardavvikelse för hemkomsten uppgår den högsta medellasten till knappt 900 kW. Laddningslasten är fördelad likt en normalfördelning från klockan 15 till 22.



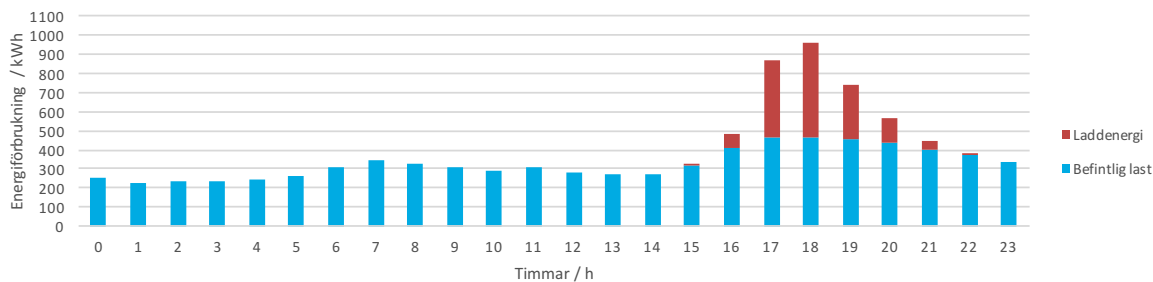
Figur 28 - Lastprofil för 7 december 2015, scenario 2.2: 11 kW, Std - 45 min

En hög laddeffekt ger ett mer koncentrerat energiuttag från nätstationen.



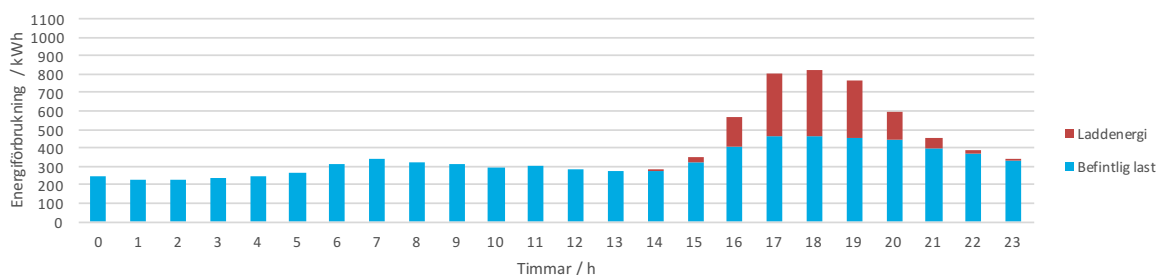
Figur 29 - Lastprofil för 7 december 2015, scenario 2.3: mix, Std - 15 min

Den kortaste standardavvikelsen i kombination med en mix av laddeffekter ger den högsta medellasten under en timme.



Figur 30 - Lastprofil för 7 december 2015, scenario 2.4: mix, Std - 45 min

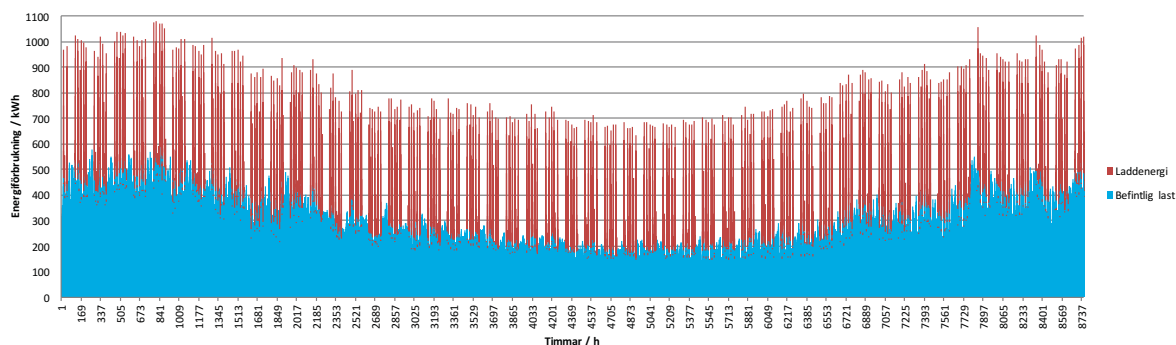
En mix av laddeffekter och 45 minuters standardavvikelse utgör det troligaste utfallet.



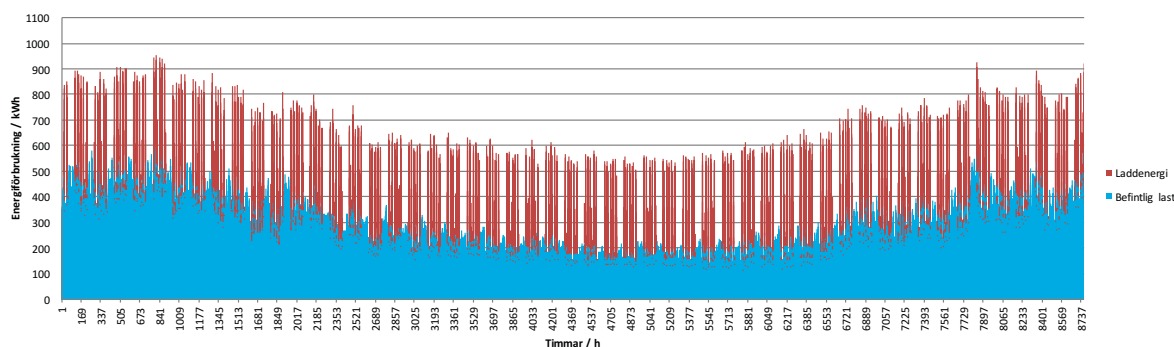
Figur 31 - Lastprofil för 7 december 2015, scenario 2.5: mix, Std - 75 min

En hög standardavvikelse, 75 minuter, ger den lägsta belastningen på nätet.

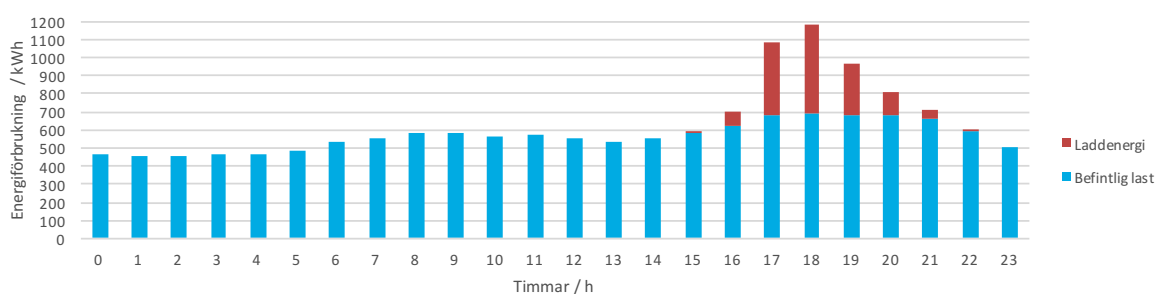
I figur 32-33 redovisas resultatet av adderad laddenergi på befintlig lastprofil från 2015. Sommarperioden räknas från 1 maj - 30 sep, vilket innebär från och med timme 2881 till 6552. Här valdes scenario 2.4 för att visa ett troligt scenario, med en mix av laddeffekter och ett rimligt hemkomstintervall. Figur 33 visar det av våra scenarier som medför minst belastning på det befintliga nätet, vilket visade sig vara scenario 2.5 med en mix av laddeffekter och en stor variation i hemkomsttid.



Figur 32 - Lastprofil för 2015, scenario 2.4: mix, Std - 45 min



Figur 33 - Lastprofil för 2015, scenario 2.5: mix, Std - 75 min



Figur 34 - Lastprofil för 20 december 2010, scenario 2.4: mix, Std - 45 min

Den kalla vintern 2010/2011 innebar högre belastning än vid andra vintrar. En liknande framtida vinter med elbilar kan innebära enorma problem för elnäten. Vid värsta timmen, 18:00, uppgår medelbelastning i transformatorn till 150 % av märklasten.

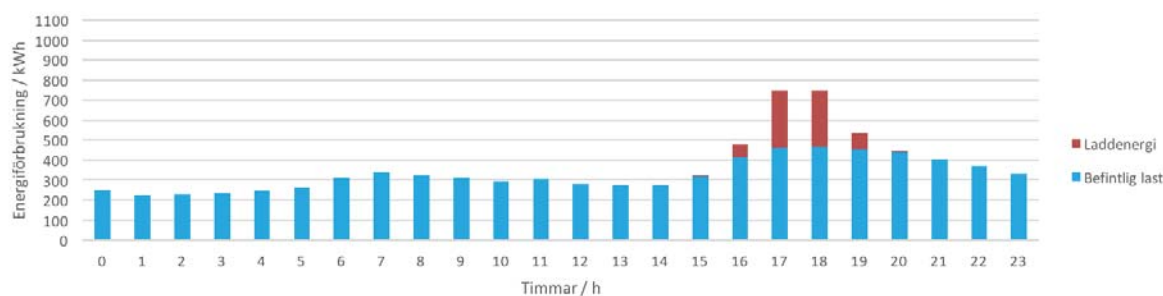
7.2.1.2 Känslighetsanalys

Från de undersökta scenarierna kan några direkta observationer göras. Den resulterade lasten är starkt kopplad till både vilken laddeffekt som används, där en mix är det troligaste utfallet, och hemkomstintervallet. Det högsta energiuttaget som görs under en timme, dvs. medellasten under timmen, överstiger i alla scenarierna den märklaster som transformatorn har. Faktum är att märklaster överstigs mer än 130 timmar i alla undersökta scenarierna. Om transformatorn regelbundet belastas med mer än 120 % av märklaster bör den bytas ut eller förstärkas med ytterligare en. Antal överbelastade timmar visar sig vara känsligt för en ökning i laddeffekt från 3,7 till 11 kW medan högsta energiuttag under en timme är mer stabilt. Det visas tydligt i tabell 13 där antal timmar med medellaster över 1,2*märklaster är 12 respektive 177 timmar för 3,7 respektive 11 kW. Antalet timmar med överbelastning ökar mer mellan scenario 2.4 och scenario 2.2 än mellan scenario 2.1 och scenario 2.4, vilket var väntat. 12 timmars överbelastning kan anses acceptabelt medan 177 timmar innebär snabbare degradering av transformatorn.

Variation i hemkomsttid medför inte lika stor förändring i antalet överbelastade timmar. Däremot varierar det högsta energiuttaget under en timme mycket mer än när laddeffekten varierar. Hemkomst kan inträffa cirka tre standardavvikelser åt vardera sida om medelvärdet. Det innebär att hemkomstintervallet varierar mellan 16:45-18:15 och 13:45-21:15, dvs. hela 6 timmars skillnad. En viktig iakttagelse är att scenario 2.5 inte har några timmar med 120 % belastning, vilket även påvisar vikten av att laddningen regleras.

7.2.1.3 Resultat för scenario 2.4 med laddning i hemmet och på arbetet

En kombination av laddning i hemmet och på arbetsplatsen resulterar i en halvering av energibehovet per laddtillfälle. Figur 35 visar resultatet av hemmaladdning som en lastprofil i nätstationen vid Vågmästarevägen den 7 december 2015. För nätstationspåverkan vid arbetsplatsen se avsnitt 7.3.1.1.



Figur 35 - Lastprofil för 7 december 2015, scenario 2.4: mix, Std - 45 min, halverat energibehov

Antal timmar med medellast över märklaster under år 2015 skulle ha varit 41 timmar. Nätstationen belastas aldrig till 120 % under året. Högsta belastning skulle ha varit 877 kW, ca 110 % av märklaster.

7.3 Västra Hamnen

I området Västra Hamnen finns, bland annat, ett flertal stora arbetsplatser och ett antal bostäder. Området utgör redan idag plats för arbetsgivare som ÅF, Kockums, SVT med flera. Malmö Högskola bedriver även stor del av sin verksamhet i området. Ett flertal nybyggnationer, såsom skolor och parkeringshus, är redan planerade, vilket tyder på en expansiv framtid. Antal förvärvsarbetare i området uppgick till 12 250 personer år 2013.[67] Den kommande expansionen tyder på ett framtida ökat antal förvärvsarbetare. Företagen som valt att etablera sig i Västra Hamnen bedriver främst tjänsteuppdrag, utveckling samt ekonomihantering och administration. Det innebär att de flesta förvärvsarbetarna i området klassas som tjänstemän. Tjänstemäns arbetstider är mer flexibla jämfört med övriga arbetares. Därför beaktas flexitid på ± 1 timme vid ankomsttid till arbetet.

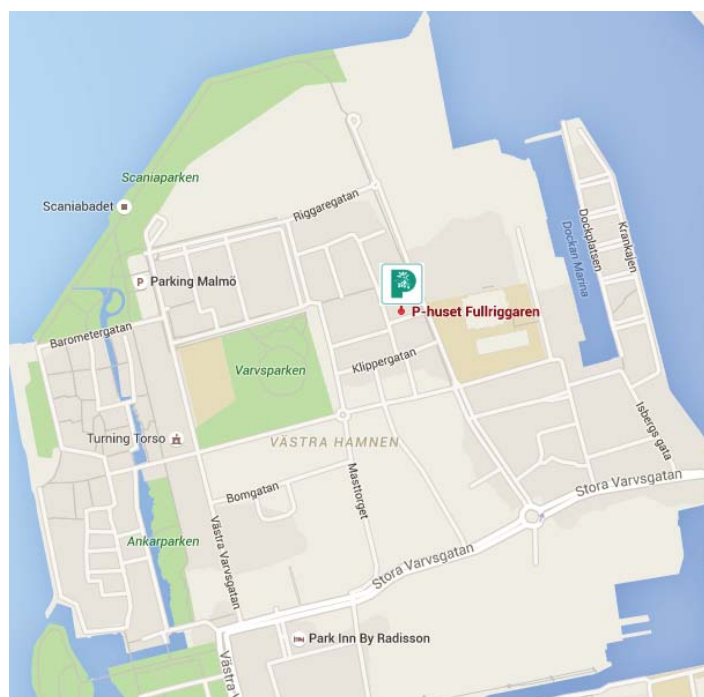
Den stora skillnaden mellan arbetsplatsladdning och hemmaladdning är punktbelastningen på respektive anslutningspunkt. Statisk laddning av många elbilar i ett parkeringshus ger upphov till en hög punktbelastning medan hemmaladdning medför större spridning. Det här delkapitlet fokuserar på ett specifikt parkeringshus, Fullriggaren, där ett flertal förvärvsarbetare parkerar.

Precis som i hemmaladdningsstudien anpassas ankomsttiden till en normalfördelning med medelvärde 08:00 och en standardavvikelse på 20 minuter. Övriga antaganden, såsom förbrukning per mil, förluster och anslutning av elbil, är samma som i 7.1. Energiförbrukningen hos elbilarna var i hemmaladdningsfallet rektangelfördelade med medelvärde 9,5 kWh med ett intervall på 2-17 kWh.

Vid arbetsplatsladdning antas energibehovet halveras eftersom två laddningar sker under ett dygn för respektive bil. Det resulterar i ett rektangelfördelat energibehov med ett intervall på 1-8,5 kWh. I simuleringarna antas en mix med lika andel 3,7 och 11 kW laddare.

7.3.1 P-huset Fullriggaren

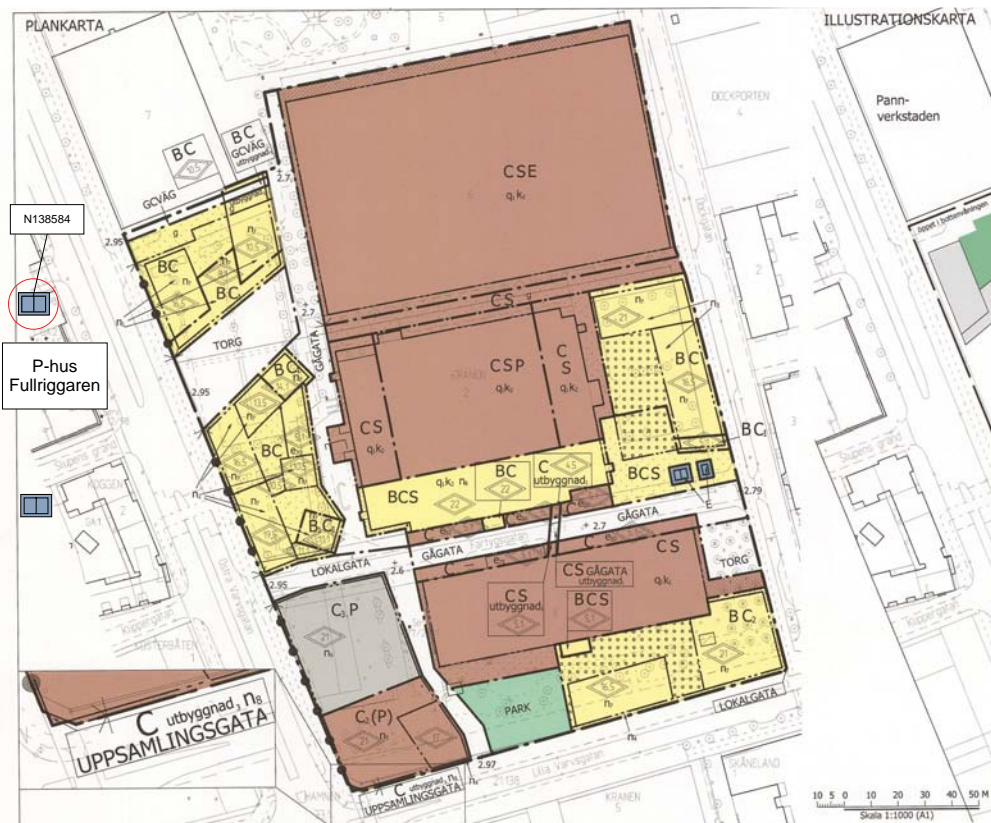
Parkeringshuset Fullriggaren ägs av P-Malmö och är beläget vid Östra Varvsgatan, område 911. Se figur 36 för placering. P-huset har 420 parkeringsplatser fördelade på sju plan. Totalt är 202 platser lämpliga för studien, resterande är antingen boende- eller MC-platser. Av dessa var cirka 130 platser uthyrda under maj 2016.[68] Byggnationen av P-huset färdigställdes 2012 med en ambition om minskad miljöpåverkan under dess livstid. Solceller på cirka 21 kW, hämtat från dpPower, är installerade och plats för vertikala vindkraftverk har förberetts. Det finns också en elbilspool i Fullriggaren som ska uppmuntra dem boende i kvarteret till en livsstil utan egen bil. P-Malmö har även som ambition att i framtiden låta elbilarna fungera som energilagring när byggnaden är nettoproducent av energi.[69]



Figur 36 - P-huset Fullriggaren i Västra Hamnen, Malmö

Nätstationen som försörjer P-huset Fullriggaren med energi är placerad i norra delen av P-huset. Nätstationen har ID N138584 och är kopplad till 82 kunder. P-huset Fullriggaren och en matbutik står för cirka 64 % av förbrukningen. Resterande 36 % förbrukas mestadels i 79 lägenheter, som är anslutna till fjärrvärmenätet.

Expansionen i Västra Hamnen sker även runt P-huset Fullriggaren och därmed nätstation N138584. Detaljplaner från Malmö Stad visar planerade fastigheter i området, se figur 37. Det övre gulmarkerade området till höger om N138584 är planerade bostäder som kommer anslutas till nätstationen. Approximativt handlar det om 24 lägenheter med en årlig samlad energiförbrukning på 36 MWh. På markplan planeras centrumfunktioner.



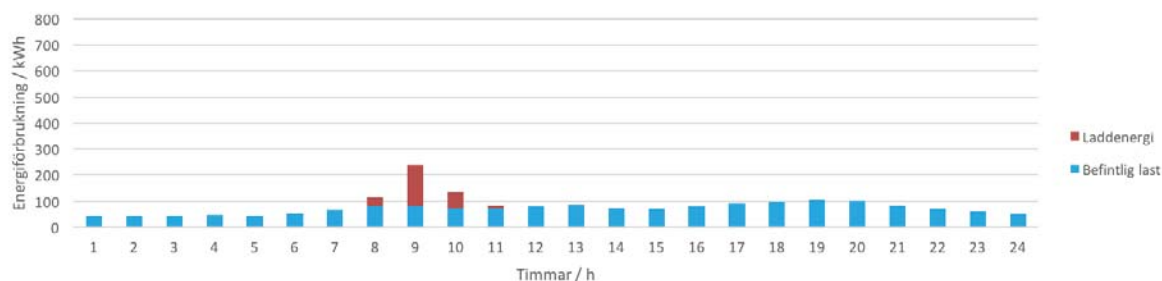
Figur 37 - Detaljplan över området nära P-hus Fullriggaren, B står för bostäder, C står för centrumfunktion, P står för parkering, S står för skola.

Dygnets baslastkurva konstruerades med hjälp av två olika metoder. Baslasten från Fullriggaren och matbutiken hämtades direkt från Generis i form av timvärden för helåret 2015. Timmätningar för de 79 lägenheterna fanns inte att tillgå. Genom att anpassa timmätningar från 72 lägenheter i Hyllie kunde en approximativ baslast beräknas. Lägenheterna i Hyllie är också anslutna till fjärrvärmenätet.

En ökning av antalet elbilar kommer ske successivt i samhället, där höginkomsttagare och företag kommer leda övergången. Elbilar blir alltmer populära när det kommer till val av förmåns- och tjänstebil för företag. Därför är det troligt att Västra Hamnen kommer ha en högre andel elbilar än andra områden. I denna fallstudie antas ett stegrande antal, 50, 150 respektive 200, elbilar ankomma till P-huset Fullriggaren på morgonen.

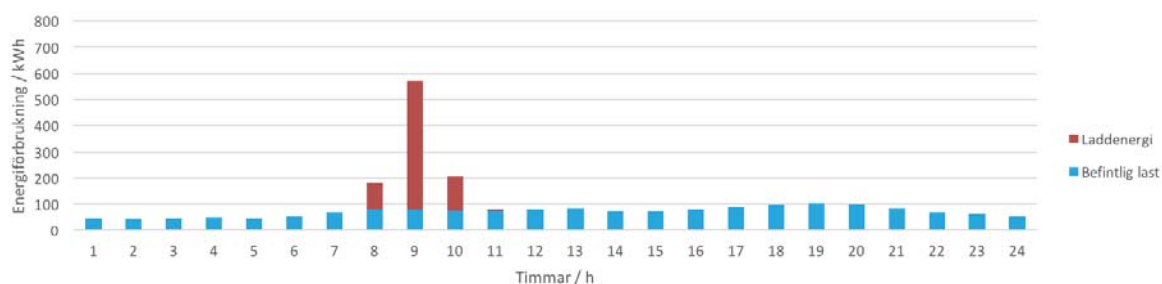
7.3.1.1 Resultat

Resultatet visar att den befintliga lasten är väldigt låg. Den maximala belastningen för nätstation N138584 under 2015 uppgick endast till ca 15 %. Figur 38-40 visar resultatet av 50, 150 respektive 200 elbilars laddning tillsammans med befintlig lastkurva för den 7 december 2015.



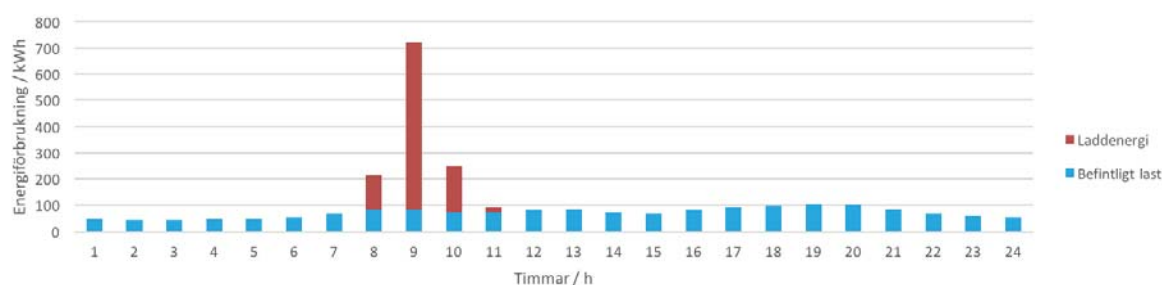
Figur 38 - Lastprofil för 7 december 2015, 50 bilar, mix, Std - 20 min

Själva laddningen av 50 elbilar bidrar till en belastning med maximalt 20 procentenheter av märklasten under den högst belastade timmen, se timme 9 i figur 38.



Figur 39 - Lastprofil för 7 december 2015, 150 bilar, mix, Std - 20 min

Genom att ladda 150 elbilar belastas nätstationen med maximalt 60 procentenheter av märklasten under den högst belastade timmen, se timme 9 i figur 39, utöver baslasten.



Figur 40 - Lastprofil för 7 december 2015, 200 bilar, mix, Std - 20 min

Av nätstationens märklast utnyttjas maximalt 80 procentenheter till laddning av 200 elbilar, under den högst belastade timmen.

7.4 Diskussion av fallstudie 2 & 3

I kapitel 7 har modeller för möjlig statisk laddning introducerats. Modellerna för hemmaladdning och arbetsplatsladdning bygger till stor del på genomtänkta antaganden. Målet med fallstudierna var att avgöra nätstationers kapacitetsbegränsningar om en given andel elbilar laddas statistiskt. I vår modell har vi medvetet valt låga antaganden gällande elbilarnas förbrukning, ankomsttider och antal elbilar. Elbilarnas förbrukning antogs i fallstudierna vara 1,5 kWh/mil, vilket tillhör minimigränsen för dagens elbilar. Avsnitt 3.3 vittnar om en allmänt erkänd förbrukning på 2,0 kWh/mil. På vintern är förbrukningen ännu högre, på grund av sämre körförhållanden och uppvärmning av kupén. Vi valde den låga förbrukningen, 1,5 kWh/mil, för att försäkra resultatet mot orimligt höga värden. Den totala förbrukningen beror på färdsträckan för respektive fordon. Vår approximation med en rektangelfördelad färdsträcka, där medelvärdet till viss del speglar faktisk uppmätt data, är god men inte optimal. Hur färdsträckan är fördelad återspeglas inte i den uppmätta datan. För att skapa en bättre modell bör en specifik resvaneundersökning för bilkörande personer göras och därigenom fastställa fördelningen. En alternativ approximation kan vara en Poisson-fördelning. Då uppmätt reslängdsdata gäller för den genomsnittliga malmöbon utökades den något eftersom Åkarp inte ligger centralt och bilkörande personer resor längre än genomsnittet. Ankomsttiden till hemmet respektive arbetet är normalfördelad, vilket är en god approximation eftersom en hög andel bilägare är förvärvsarbetare. Med hjälp av känslighetsanalysen i 7.2.1.2 ökar trovärdigheten ytterligare tack vare olika standardavvikelser. Antalet elbilar i 7.2 utgick direkt ifrån hur många kunder som var anslutna till den valda nätstationen. Av de 295 relevanta anslutna kunderna antogs 148 kunder äga och köra en elbil. Ett sådant scenario är troligt inom 10 år, då elbilpriserna har reducerats och det allmänna intresset ökat. En ansluten kund kan antingen vara en villa, lägenhet, ett företag eller flerbostadshus. Det innebär att flera personer kan hamna under "en kund". Därför anses även antalet elbilar i studien lågt.

Resultatet från fallstudie 2, hemmaladdning i Åkarp, visar på att nätstationen har god belastningsmarginal i dagsläget. Trots detta belastas nätstationen till minst 120 % i scenario 2.1-2.4, vilket indikerar ett förstärkningsbehov i området. Scenario 2.5, mix av laddningseffekter och 75 minuters standardavvikelse, och scenariot med ett halverat energibehov, tack vare kombinationen med arbetsplatsladdning, påvisar hög nätstationsbelastning men utan förstärkningsbehov. Huvudproblemet som uppstår är sammanfallande effekttoppar i systemet. Vid hemkomst påbörjas flera energikrävande aktiviteter, såsom matlagning och tvättning. Samtidigt påbörjas laddningen av elbilen av bekvämlighet och snabb tillgänglighet. Energimängden i studien är inte särskilt påtaglig utan endast koncentrerad. Det visar på vikten av reglering och styrning för att jämna ut de sammanfallande effekttopparna, vilket även påvisas i scenario 2.5 där spridningen är högre. Om all laddning kan fördelas jämnt, så att laddning sker mellan 22:00 och 06:00, skulle medellasten för laddningen uppgå till cirka 180 kW. Vid jämförelse med scenario 2.4 och 2.5, maximalt 490 respektive 360 kW, inses möjligheterna med en välfungerande reglering.

Vid jämförelse mellan scenario 2.4 och scenariot med halverat energibehov noteras att timmen med högst laddningsbelastning inte är samma, klockan 18 respektive 17. Samtidigt som den högst belastade timmens medellast sjunkit från 490 till 280 kW, cirka 43 %. Slutsatsen som kan dras är att halverat energibehov inte innebär halverat effektbehov.

Baslasten i fallstudie 2 utgörs av uppmätt data från 2015. Nätstationen är en av få som är utrustad med timvärdesmätning av energi. Området präglas av en hög andel fastigheter med elvärme. Elförbrukningen i fastigheter med elvärme är starkt kopplad till utetemperaturen. 2015 var ett ovanligt varmt år, vilket återspeglas av den låga baslasten. Vintern 2010/2011 är klassad som en tioårsvinter. Låga medeltemperaturer under långa perioder ledde till höga belastningar i elnäten. Figur 34 visar på den höga baslasten under en dag i december 2010. Nätstationen vid Vågmästarevägen belastades till nästan 90 %. En sammanfallande laddning av elbilar resulterar i extrem överbelastning.

Fallstudie 3, arbetsplatsladdning, behandlar ett troligt framtidsscenario där laddning sker i hemmet och på arbetsplatsen. I fallstudie 3 varierar antalet elbilar för att se belastningspåverkan på ansluten nätstation. Energiförbehovet för respektive fordon halveras, jämfört med scenario 2.4, för att återskapa laddning på två skilda platser och tidpunkter. Den undersökta nätstationen N138584 byggdes för kraftförsörjning i samband med byggnation av P-hus Fullriggaren. Det innebär att nätstationen idag är överdimensionerad, därav låg baslast, men har planerade anslutningar i framtiden. Simuleringarna påvisar hur stort påslag som en ökad elbilsflotta skulle innebära. De scenarier som simulerats ger en belastningsökning motsvarande 20, 60 respektive 80 % av märklasten. Vi anser att det första scenariot har en möjlig realiseringstid inom 5 år, vilket grundas i områdets företag och deras värdering samt att många förvärvsarbetare är höginkomsttagare. För att förbättra modellen ytterligare kan man ta hänsyn till skillnaderna i färden till arbetet respektive hemfärden. Hemfärd kan antas vara något längre, då ärenden oftast utförs i samband med hemfärd. Reglering av laddning på arbetsplatsen kan bli mer problematisk, jämfört med hemmaladdning, om elbilen även nyttjas i arbetet. Schemalagd laddning kan därför utebli. Det är troligt att fler elbilar behöver laddas med full effekt för att utnyttjas i arbetet, vilket förhindrar reglerad laddning av berörda fordon.

7.5 Slutsatser för fallstudie 2 & 3

Hemmaladdning i Åkarp:

- Trots låga antaganden och låg baslast överbelastas nätstationens transformator ett flertal timmar under 2015. Förstärkning krävs i fyra av fem undersökta scenarier
- Låg men koncentrerad total energimängd. Med reglering kan sammanfallande effekttoppar undvikas.
- Områden med elvärmen är i riskzonen vid en framtida elbilsexpansion. Högre energibehov från elfordon och uppvärmning under vinterhalvåret innebär ökad total energimängd.

Arbetsplatsladdning i Västra Hamnen, Malmö:

- Ankomsttid till arbetet varierar mindre än till hemmet, vilket ger högre belastning i nätstationen.
- Laddning av elbilar i ett parkeringshus med totalt 400 platser, varav 200 elbilsplatser, skulle belasta en 800 kVA transformator till 80 % av märklasten.
- Arbetsplatsladdning utgör en stor punktlast, till skillnad från hemmaladdning som är utspridd över ett större område.
- Elbilar som tjänstebilar innebär försämrade regleringsmöjligheter av laddning.

8 Diskussion

8.1 Marknad, tekniker och Malmös förutsättningar

I början av 2000-talet började människors miljömedvetenhet öka efter studier som bland annat påvisade höga koldioxidhalter i atmosfären. Trots detta har elbilen precis lämnat introduktionsfasen. Den långsamma utvecklingen beror på flera faktorer. De ekonomiskt starka oljebolagen har sett elbilen som ett hot och därför motarbetat dess utveckling. Biltillverkarna har hållit fast vid inarbetade förbränningsmotorer, eftersom efterfrågan varit hög och utvecklingskostnader för elbilar varit höga. Batterier för drivning har länge tappats med problem som låg energitäthet och höga kostnader. Idag är läget betydligt bättre. Med ett litium-jon-batteri på 400 kg med en energidensitet på 140 Wh/kg kan en elbil färdas ca 28 mil.

För att stimulera elbilsmarknaden är politiska beslut essentiella. Sverige har tagit flera initiativ, såsom mål om en fossiloberoende transportsektor 2030 och fossilfri transportsektor 2050. Det nya bonus-malus-systemet som förhoppningsvis träder i kraft 2018 visar tydligt var politikerna står i frågan. Marknadsutvecklingen för elbilar är idag exponentiell med en prognos på 32 000 elbilar i slutet av 2016. Idag säljs det fler plug-in hybrider jämfört med rena elbilar, vilket kan bero på begränsad räckvidd och laddinfrastruktur samt prisskillnader. I Sverige är det främst företag, kommuner och myndigheter som satsar på elbilar, i form av tjänste- och förmånsbilar. Elbilarnas pris och räckvidd tilltalar inte privatpersoner i lika stor utsträckning, vilket leder till en mindre andel privatregistrerade elbilar. Det är högst oklart hur försäljningen för BEV och PHEV utvecklas i framtiden. De största barriärerna idag är inköpspris och den begränsade räckvidden. Många andra faktorer spelar också in, såsom pris på el och fossila bränslen, batteriutveckling och laddinfrastruktur. Politiska styrmedel är väsentliga för att driva utvecklingen framåt. Eftersom styrmedel ändras från år till år gäller det att politikerna står fast vid den långsiktiga visionen om ett fossilfritt 2050. Med 16 000 laddbara bilar i januari 2016 och det estimerade antalet 2050 (630 000) krävs en genomsnittlig årlig försäljning av 18 000 laddbara bilar. Som tidigare nämnts kommer inte oljetoppen förrän senast 2035, därför är det troligt att fordon som drivs med fossila bränslen fortsätter vara kostnadseffektiva ett antal år till. Dock tror vi att regeringens prognos på 630 000 elbilar år 2050 är för låg, med tanke på dagens starka utveckling i teknik och marknad. I Norge äger privatpersoner den högsta andelen av elbilarna i samhället, vilket beror på landets goda ekonomi, skattelättnader och andra förmåner. Norge framstår som ett föredöme i övergången till fossilfri vägtrafik.

För att möjliggöra övergången från fossilbränslen till eldrift krävs elfordon och laddinfrastruktur som kan konkurrera med dagens transportsystem. Det är troligt att övergången sker i etapper med olika lösningar. Under en tid ville ingen köpa elbil, då det inte fanns någon laddinfrastruktur, samtidigt ville ingen investera i laddinfrastruktur, eftersom ingen hade elbil. Malmö stad uppmuntrar andra aktörer att bygga laddstolpar och därigenom skapa möjligheter för elbilar. Vi tror att statisk laddning, i form av publika laddstolpar och hemmaladdning, utgör den första etappen i utvecklingen. Batteribyteteknik är en god tanke men för att en infrastruktur med batteribytesstationer ska fungera krävs en standardisering av batteripaket och bytesteknik.

Vi tror att en sådan standardisering är svåruppnådd, eftersom olika biltillverkare är konkurrenter och batteriprestanda innebär konkurrenskraft. Tunga fordon skulle behöva stora batteripaket, vilket inte är applicerbart, för att transporteras acceptabla sträckor. En byggnation av elväg skulle möjliggöra elektrifiering av tunga fordon. Vi tror därför att byggnation av elväg kommer i en framtida etapp, eftersom utveckling, tester och byggnation innebär tidsåtgång.

Malmös förutsättningar för en omställning till elfordon är väldigt goda. Malmö stad jobbar mycket för en energieffektivare stad, färre bilar i centrum samt fler transportmöjligheter med cykel och kollektivtrafik. Miljöanpassningarna ska samtidigt främja ekonomin och sociala förhållanden i staden. Trots att Malmö ligger i framkant gällande miljöarbete anser vi att det goda arbetet inte förmedlas tillräckligt utåt. Elnätet i Malmö är dimensionerat för en generellt högre belastning jämfört med idag. Det beror på att flera fabriker och industrier tidigare bedrev verksamhet i Malmö. Idag har en stor del av den verksamheten flyttat eller lagt ner. Det har frigjort reserver i elsystemet som idag kan utnyttjas av nybyggnation eller laddning av elfordon. Kollektivtrafiken i Malmö kan också utnyttja elnätet i större utsträckning i framtiden. Diskussionen om vilken riktning staden ska ta, spårväg eller elbussar, är het bland politiker, Skånetrafiken och insatta personer. Vi anser att spårvagn är alldeles för dyrt och opraktiskt i vissa aspekter. Spårvagnar har högre resenärskapacitet än bussar men nackdelarna, såsom de tunga ingreppen som krävs i vägbanan, etablering av trafikcentraler och blockering av spår vid driftstörningar, överväger resenärskapaciteten. Vi anser att elbussar kan vara den bästa lösningen för en grön kollektivtrafik i framtidens svenska städer.

För att en övergång till elfordon ska fungera felfritt behöver resmönster och befolkningens attityder studeras och beaktas. Malmöborna är duktiga på att resa kollektivt och med cykel men en hel del korta arbetsrelaterade resor görs med bil. Det är inte optimalt att ersätta dessa arbetsrelaterade resor med elbilar eftersom trängselproblematiken i staden då kvarstår. Invånarna i Malmö önskar ett lägre trafiktempo och gator som är mer anpassade för cyklister och kollektivtrafik. Vi som författare håller med och anser även att fler miljözoner bör etableras i centrumdelar för att minimera buller och utsläpp och öka framkomligheten. Avsnitt 5.2.2 behandlar attityder till elfordon. Studien visade på positiva attityder till byte från konventionell bil till elbil. Trots att det var en elbil som hade kort räckvidd och problem med uppvärmningen av kupén valdes den framför en konventionell bil. Utslaget indikerar positiva attityder till elbilar. Framtidens elbilar kommer ha längre räckvidd, lägre ljudnivå, fler möjligheter till laddning och lägre inköpspris än idag samt lägre driftkostnader jämfört med fossildrivna bilar. Elbilens fördelar överväger de konventionella bilarnas vilket bör vara nog för att omvända marknaden.

8.2 Elväg

En fullständigt fossilfri transportsektor kan åstadkommas på ett flertal olika sätt. Det finns biodrivmedel, såsom HVO och biogas, som fungerar för såväl tunga som lätta fordon. En elektrifiering av vägtrafiken skulle medföra stora besparingar inom såväl miljöfarliga utsläpp som ekonomi. Import och distribution av fossila bränslen är kostsamt och en elektrifierad vägtrafik skulle minska dessa kostnader. Tung fordon kräver en mer kontinuerlig tillförsel av energi för att köra längre sträckor utan att överlastas med tunga batteripaket.

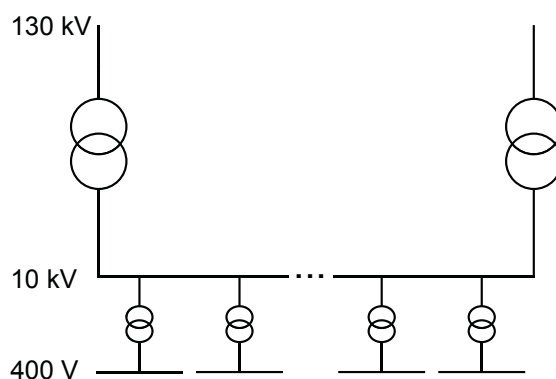
Vi anser att en 50 km lång färdsträcka, se avsnitt 4.2.5, bör vara rimligt att uppnå med batteridrift i tunga fordon, vilket skulle innebära cirka 720 kg batterier⁵.

För att säkerhetsställa att elfordon har en lägre miljöpåverkan än fossildrivna fordon krävs fler och mer standardiserade livscykelanalyser. Ett elfordons miljöpåverkan sker i största del under produktionsfasen.[70] Brytning av litium till batterierna utgör en stor del och sker ofta under förhållanden som är mycket miljöförstörande. Återvinning av batterier är därför av stor vikt, men en vedertagen lösning för återvinning finns inte.[71] Ett storskaligt införande av elväg skulle kunna minska behovet av batterimängd med 83 %⁶ för en personbil. En sådan minskning innebär lägre totalkostnad för fordon samtidigt som miljöpåverkan minskar. Elfordonens energiförbrukning skulle dessutom bli lägre till följd av en minskad fordonsvikt.

I dagsläget är ingen standard för elväg fastställd. Det finns testsystem som delfinansieras av energimyndigheten. Det slutliga utfallet är idag okänt. Olika tillverkare använder olika tekniker för energiöverföringen från skena till bil, AC eller DC. Fördelen med AC är att nät- och elvägsägarna inte behöver finansiera likriktare vid byggnation, systemet är därför billigare att bygga. Nackdelen är dock högre kostnad för elfordonen, eftersom likriktning måste ske ombord. DC skulle visserligen ge en högre byggnationskostnad men installation av likriktare i samtliga fordon skulle totalt sett bli dyrare. Vi anser därför att DC är ett bättre alternativ för implementation i elväg. Det är troligt att specifika transformatorer kommer utvecklas med syfte att förse elvägen med energi. De transformatorer, 800 kVA, som användes i kapitel 6 är troligtvis inte det optimala valet vid storskalig byggnation av elväg. I kapitel 6 nämns att vi till en början valde att simulera med 1-2 MVA transformatorer, till stor del för att begränsa antalet. En storskalig byggnation skulle innebära många transformatorer och fysisk plats kan vara begränsad. Kabelförläggning vid byggnation av elväg utgör en stor del av den totala investeringskostnaden. I våra scenarier valdes ekonomisk dimensionering med en matningspunkt. Multianslutning är att föredra vid storskalig byggnation, främst för reservmatningsmöjligheter. Se figur 41.

⁵ Beräknat med batteridensitet 140 Wh/kg och en förbrukning på 2 kWh/km

⁶ Jämförelse mellan 30 och 5 miles räckvidd för en personbil som drivs på el.



Figur 41 - Multipunktanslutning av kraftdistribution till elväg

Vid en eventuell tillfällig överbelastning behöver effektuttaget begränsas. Det kan ske på olika sätt. Ett sätt är att direkt begränsa laddeffekten till respektive fordon, så att enbart framdrivningsenergin förses från elvägen. En alternativ lösning är att laddning av tunga fordon prioriteras högre än personbilar. Vissa delsträckor behöver inte, eller kan inte elektrifieras. Nedförsbackar med tillräckligt stor lutning ger så hög regenereringseffekt att elväg är ofördelaktig att anlägga. Det är även möjligt att varva elektrifierade och ej elektrifierade delsträckor, precis som vi gjort i kapitel 6, för att minska investeringskostnaderna men ändå tillgodose trafikens energibehov. Det finns delsträckor som inte är lämpliga att elektrifiera, såsom broar, sträckor i tätort och nedförsbackar, vilka naturligt fungerar som ej elektrifierade delsträckor.

För att inte utesluta personbilstrafik, anser vi att en framtida elväg bör utformas med energiöverföring från vägbanan istället för luftledningar. En konduktiv lösning är idag den mest fördelaktiga om man ser till pris och effektivitet.

8.3 Statisk laddning

Statisk laddning, både konduktiv och induktiv, omfattar laddning i hemmet, på arbetsplatsen eller i offentliga miljöer. Konceptet har börjat slå igenom och ett flertal projekt för byggande av statisk laddinfrastruktur har godkänts. Konduktiv statisk laddning dominerar idag över induktiv laddning. Anledningarna är flera. Konduktiv laddning är en beprövad teknik som är relativt billig och har små överföringsförluster. Induktiv laddning kräver större ingrepp vid installation, är dyrare och har större överföringsförluster. Vid statisk induktiv laddning kan avståndet mellan primär- och sekundärspolen minskas, vilket leder till minskade överföringsförluster. Dock är förlusterna fortfarande högre än för konduktiv laddning. Statisk induktiv laddning har däremot andra fördelar, såsom kontaktfri laddning och möjligheten att placeras vid rödljus och busshållplatser med mera. Dessutom ökar bekvämligheten, jämfört med konduktiv laddning, eftersom parkeringsmomentet utförs som idag och laddning sker automatiskt. Två kontaktstandarder dominerar, typ 2 Mennekes och Combo 2 (CCS), främst för deras höga laddeffekter och säkerhet. CCS-kontakten har en fördel över Mennekes-kontakten, CCS är kompatibel med både likströms- och växelströmsladdning.

Laddeffekten i hemmet respektive offentliga miljöer kommer troligtvis skilja sig åt. I hemmet kan man acceptera lägre effekter eftersom ett längre tidsspänn för laddning finns tillgängligt och abonnemangskostnaderna förblir likvärdiga. De valda laddeffekterna, 3,7 kW och 11 kW, i kapitel 7 kan vara felaktiga i dagens läge, eftersom huvudsäkring i flera svenska hushåll är 16 A. När laddning med 3,7 kW enfas utförs, belastas en fas till max. Andra hushållsapparater bör därför kopplas in på någon av de andra faserna. Vid trefasladdning på 11 kW måste man uppgradera huvudsäkring, eftersom 11 kW innebär maxlast för 16 A huvudsäkring. Snabbladdning hemma, upp till 63 A, kan bli populärt i bostadsrättsföreningar. Att ett flertal hushåll har tillgång till en eller två snabbladdare vid behov kan bli ekonomiskt och tidsmässigt fördelaktigt för dem boende. De flesta villaägare kommer troligtvis inte installera snabbladdare i sina hem, på grund av högre kostnader och låg utnyttjandegrad.

Hur elnäten påverkas om ett stort antal elbilar laddar statistiskt är svårt att veta idag, främst på grund av den låga andelen elbilar i Sverige. Frågor gällande elkvalité, spänningsfall, övertoner och flimmer kan besvaras om noggranna mätningar och undersökningar utförs. Frågor gällande effektbegränsning och kostnad för implementation av laddinfrastruktur kan besvaras genom simuleringar och marknadsundersökningar. Vårt arbete visar hur en relativt liten andel elbilar kan skapa belastningsproblem i vissa områden. Vi tror att 50 % av de anslutna privatkunderna i ett område med höginkomsttagare har en elbil är ett scenario som kan förverkligas inom 10 år. Sammanfallande statisk laddning innebär ett högt koncentrerat energiuttag. Reglering av laddning blir därför väsentlig i framtiden.

8.4 Felkällor

8.4.1 Fallstudie 1 - Elväg

Vid simulering och modellering av elväg i kapitel 6 finns flera felparametrar eftersom stora delar bygger på kvalificerade antaganden. Felparametrar att ta hänsyn till är följande:

- Trafikdata för värsta timmen på vald sträcka. Endast mätdata från sju dygn, utspridda över 2015, fanns att tillgå. Det är önskvärt med kontinuerlig mätdata över ett år, för att avgöra trafikmängder.
- ÅDT för respektive fordonsklass kan vara felaktig på grund av mätutrustningens referenser. Fordon med ett första axelavstånd på över 3,3 m räknas som en lastbil.
- Motor- och laddeffekter för respektive fordonsklass är inte grundade i produktdatablad från tillverkare. Våra värden är antagna från approximationer gjorda av forskare och i diskussion med vår handledare.
- Elsystemet i simuleringsmjukvaran och dpPower är inte precis likadana, vilket kan leda till variationer i resultaten.
- Vikter och medelhastigheter är antagna för att återskapa verklig trafiksituation i simuleringsmjukvaran. Verkliga värden kan avvika från dessa.
- De beräknade kostnaderna är framtagna från EBR katalogen som är branschstandard. Verkliga kostnader kan variera.
- De beräknade kostnaderna tar inte hänsyn till avbrottskostnader, plats specifika åtgärder, åtkomst till plats för underhåll och upphandling av mark.
- Kostnaden för elvägsinstallationen är uppskattad för storskalig implementation och osäkerheten är stor.

8.4.2 Fallstudie 2 & 3 - Hemmaladdning & arbetsplatsladdning

Felparametrar i kapitel 7 är följande:

- Energiförbrukning för elbilar. Medvetet lågt räknat som tidigare nämnts. Energiförbrukning per mil skiljer sig mellan fordon, körstil och vägprofil. Utetemperatur och årstid påverkar även energiförbrukningen, vilket vi inte tagit hänsyn till.
- Färdsträckan och därmed total energiförbrukning för respektive bil är baserad på vidare antaganden från en resvaneundersökning i Malmö. En rektangulärfördelning är kanske inte den bästa approximationen.
- Antal elbilar i respektive fallstudie är direkta antaganden.
- Ankomsttiden är baserad på generella arbetsförhållanden i det svenska samhället, lokala variationer kan förekomma.
- Diskret tidsuppdelning i simuleringsmjukvaran bidrar till små felberäkningar i medellasterna.
- Laddeffekterna är antagna utifrån dagens preferenser, framtida laddeffekter kan vara annorlunda.
- I fallstudie 3 är baslasten delvis baserad på lägenhetsförbrukning i Hyllie, på grund av brist på timvärdesmätning i Västra Hamnen.

8.5 Nya produkter och tjänster

Avsnitt 8.5 behandlar potentiella nya produkter och tjänster som kan komma att bli väsentliga om andelen elbilar ökar i det svenska samhället. Tankarna är grundade på egna funderingar som uppkommit under arbetets gång. Förslagen som framhävs i 8.5 bör undersökas vidare. Tekniska, affärsmässiga och juridiska aspekter måste beaktas vid vidare undersökningar av förslagen för att nå realiserbara lösningar.

8.5.1 Mätning och reglering

En kommande elbilsexpansion innebär flera möjligheter och svårigheter. Eftersom en elbil innebär en belastning för elnätet är bevakning och reglering av laddningen av högsta prioritet. Vi föreslår att elnätsbolagen inför timvärdesmätning i samtliga nätstationer. Det kan innebära högre driftsäkerhet om systemet varnar innan diverse system- och kapacitetsproblem uppstår. Smarta mätare i hushåll är på väg att introduceras, vilket är positivt. Men mätning och datainsamling från nätstationer är också av intresse. För att underlätta och effektivisera hanteringen av mätdata bör allt samlas i ett användargränssnitt, där koppling mellan kunder och nätstationer är synlig. Ett användargränssnitt med koppling mellan nätstation och kund kan påvisa avvikelser mellan kundernas totala förbrukning och överförd energi i nätstationen. I nätstationen kan mätning och loggning av diverse parametrar göras, såsom effekt, felströmmar med mera. För att minimera insamling av överflödigt information bör smarta algoritmer utvecklas, som väljer ut nödvändig information för insamling.

En välfungerande mätutrustning är ett krav för en lyckad överordnad reglering, dvs. centralstyrd reglering från till exempel en nätstation. I områden med hög andel elbilar kan kunder uppmuntras, genom ekonomiska incitament, att ange avfärdstid och önskad laddningsnivå för att förbättra regleringen. Med denna information kan styrsystemet bestämma prioritet, effekt och laddtid för respektive kund. Att utveckla ett centralstyrt regleringssystem innebär en hög investeringskostnad för elbolagen, dock utnyttjas nätet smartare och dyra förstärkningsåtgärder kan undvikas. En lokal variant av reglering kan vara ett smart första steg, se avsnitt 8.5.3 för ytterligare information.

8.5.2 Tariffer

Publika laddstationer med strömmar över 63 A måste ha ett så kallat effektabonnemang. Det innebär att laddstationsägaren betalar en viss abonnemangskostnad. E.ON:s abonnemangskostnad beräknas månadsvis och beror på det högsta timvärdet av uttagen aktiv effekt.[72] Den energi som levereras utgör en liten del av den totala kostnaden. Elbilsägare får därför betala mycket för den energi som tillförs under laddningen, priset sätts ofta per tidsenhet istället för energienhet. Effektabonnemang kan missgynna utvecklingen av marknaden eftersom priset blir för högt för slutkunden om utnyttjandegraden är låg. Det är viktigt att undersöka om abonnemangskostnaderna återspeglar potentiella nätförstärkningskostnader. För att elbolagen ska kunna ansluta stora laddstationer som är konkurrenskraftiga kan andra prissättningsmodeller behövas. En lösning för att minska effektuttaget från nätet kan vara komplettering med batteribankar som laddas med låg effekt under lång tid för att sedan hjälpa till med effektbehovet vid laddning av elbilar.

De vanligaste elabonnemangen i de svenska hushållen är något av följande:

1. Fast elpris, med varierad bindningstid
2. Rörligt elpris, månadens elpris sätts till ett viktat medelvärde av varje timmes elpris från Nord Pools spotmarknad. Det innebär att elpriset är samma under dygnets alla timmar.
3. Rörligt elpris, baserat på Nord Pools spotmarknads timpris, som bestäms dagen innan.[73]

Elabonnemang 1 och 2 förekommer i högst utsträckning. Elspotpriset är ofta lägre under nattetid, då belastningen är låg och produktionspotentialen oförändrad. Om laddning sker nattetid sänks det viktade medelvärdet och elpriset blir generellt lägre. För att elbilsägare ska se fördelen behövs lättillgänglig information om prismodellen för rörligt elpris. Ett rörligt elpris innebär dock en risk för privatkunder, då priset kan fluktuera kraftigt. Därför binder många elkunder sitt elpris för att undvika dessa prisvariationer. För att kunder med elbil ska schemalägga sin laddning krävs tillräckliga incitament. De kunder som har fast elpris har i dagsläget inga ekonomiska incitament att ladda nattetid. Många kunder med rörligt elpris är inte tillräckligt medvetna om prisskillnaderna under dygnet och ser därför inte fördelen med schemaläggning. Om fler kunder väljer abonnemang 3 kan incitamenten för schemaläggning av laddning öka. Det krävs bättre kommunikation, direkt till kunden, angående gällande elpris alternativt att installerade laddboxar kan programmeras att avbryta laddning vid priser över en viss nivå. Dagens tariffer ger inte tillräckliga fördelar för att stimulera elkundernas vilja att aktivt styra laddningen av elbilar.

8.5.3 Helhetslösningar och debitering

Framtiden öppnar upp för nya marknader inom laddinfrastruktur, kommunikation och debiteringslösningar. Idag erbjuder många småbolag smarta lösningar, mestadels i form av hårdvara och installation, för offentlig laddning och laddning i hemmet. Energibolagen besitter mängder med kunskap inom affärsverksamhet och distribution av el. De nya marknaderna innebär nya möjligheter att tjäna pengar, därför kan elbolagen satsa på helhetslösningar till kunder med elbilar. Idag bör en privatkund anmäla ett inköp av värmepump till sitt elbolag, eftersom det innebär en förändrad lastprofil hos kunden. Samma sak kan göras vid inköp av en elbil, eftersom den också innebär en förändrad lastprofil. Här borde energibolagen direkt se affärsmöjligheten som uppenbarar sig. Om en privatkund köper en elbil kan energibolaget direkt erbjuda en laddboxlösning, en eventuell uppgradering av säkring samt kontroll av lämplig fas om bilen ska laddas via enfas. Det bör dock noteras att det finns juridiska aspekter som måste kontrolleras. Eftersom överordnade regleringssystem inte är utvecklade idag kan elbolagen utveckla smarta laddboxar som utför reglering lokalt, dvs. hemma hos vardera kund. Laddboxen säljs som en helhetslösning och är fördelaktig både för kund och för energibolag. Laddboxen har möjlighet att schemalägga laddning under nattetid, vilket blir billigare för kunden och energibolagen behöver inte förstärka näten. Smart kommunikation i laddboxen är till allas fördel, möjlighet att hämta elprisedata och sända värdefull mätinformation ökar möjligheterna till reglering.

Offentliga laddstolpar är ett nödvändigt steg i övergången till elektrifierade fordon. Elbolagens prissättning på anslutningar är hårt reglerade, däremot finns stor vinstpotential i drift och underhåll av laddstolparna. Genom att erbjuda en helhetslösning av offentliga laddstolpar exponeras företagen, via logotyper, mot kunder. Dessutom ökar kunskapen inom företaget om drift och underhåll sköts av bolaget, då laddstolpar ger stora möjligheter gällande insamling av diverse data. En välfungerande debiteringslösning är av stor vikt för kundernas allmänna förtroende och intryck av laddinfrastrukturen. Vi anser att ett liknande system som används på dagens tankstationer, betalning med specifikt tankkort eller bankkort, kan fungera vid laddning av elbilar. Systemet är välutvecklat, driftsäkert och allmänt accepterat av kunderna. Det specifika tankkortet bör, till skillnad från dagens tankkort, fungera på samtliga offentliga laddstationer, oavsett märke och ägare, och kan vara kopplat till en elleverantör. Om man har samma elleverantör vid laddning och i hemmet bör det debiteras på samma faktura, för att förenkla vardagen. Det är dock rimligt att laddstationer som inte ägs av den valda elleverantören har en extra avgift vid laddning.

Elvägar kan bli aktuella inom 30 år. Det skulle innebära att byggnationen av ny kraftdistribution skulle öka enormt. Här finns potential för energibolagen att erbjuda en kostnadseffektiv lösning för köparen. Köparen kommer troligtvis vara det statliga Trafikverket som äger och underhåller Sveriges väginfrastruktur. Teknikutvecklingen för elväg är god och marknaden är öppen. Energibolagen kan bli en viktig medspelare om elväg blir aktuellt, därför vill vi framhäva vikten av deras engagemang i utvecklingen.

Framtidens bilar kommer troligtvis bli uppkopplade och tillhöra IoT, Internet of Things. Det innebär att debitering av energitillförseln från vägbanan kan ske relativt enkelt. Bilen är utrustad med en elmätare som regelbundet sänder förbrukningsdata till en central för att sedan debitera kund. Ett liknande tankkort, som vid offentlig laddning, kan vara fördelaktigt även för en elväg. Det skulle dessutom underlätta för uthyrning och utlåning av fordon.

8.5.4 Sammanfattning

Möjliga produkter och tjänster som kan bli aktuella i framtiden:

- Mätutrustning i nätstationer och hushållen.
- Ett användargränssnitt för uppsamling och behandling av mätdata.
- Regleringsalternativ vid statisk laddning, centralstyrd och lokal.
- Nya prissättningsmodeller för offentliga laddstationer.
- Nya tariffer för hemmaladdning av elbil.
- Helhetslösningar för offentliga laddstationer.
- Erbjuder elväglösningar.
- Debiteringslösningar för offentlig laddning och elvägar.

8.6 Framtida arbete

Framtida arbeten kan undersöka följande:

- Reglering av statisk laddning för att undvika sammanfallande effekttoppar.
- Praktiska mätundersökningar av elkvalité och snedbelastning av fas.
- Nya prismodeller och debiteringslösningar.
- Incitament för statisk laddning på natten.
- Juridiska frågor kring byggnation och ägande av elväg.
- Transformatorsval för elväg.
- Påkopplingsmöjligheter för distributionsnät till elväg på befintliga fördelningsstationer.

9 Slutsatser

Slutsatserna i detta kapitel besvarar problemformuleringarna i avsnitt 1.2. För fallstudiernas specifika slutsatser se avsnitt 6.6, för elväg, respektive 7.5, för hemma- och arbetsplatsladdning.

- Marknadsandelen för elbilar är låg men försäljningen dubblas årligen. De flesta sålda elbilarna är plug-in hybrider. I dagsläget säljs flest elbilar till företag, organisationer och myndigheter.
- Det finns ett flertal olika laddningstekniker, där statisk konduktiv laddning är dominerande. Elvägar visar störst potential, med avseende på miljö, tids- och ekonomiska besparingar, vid en omställning till elektrifierad vägtrafik. I övrigt finns statisk induktiv laddning samt batteribytestekniker.
- Malmö stad har goda förutsättningar för en omställning till elfordon. Kommunen har satt upp hårda miljömål samt uppvisar en stark vilja att uppnå ett fossilfritt Malmö.
- En elektrifiering av en 7,4 km lång delsträcka på E22 från Malmö mot Lund kan dimensioneras med 20 stycken 800 kVA transformatorer. Det möjliggör att 100 % av tung trafik och 50 % av personbilar kan tillgodoses med energi, vilket är det mest fördelaktiga scenariot. Kostnaden för kraftdistributionsnätet blir då 15,2 miljoner SEK, motsvarande 2,4 öre per kilowattimme.
- Ett relativt lågt antal elbilar kan medföra överbelastning i befintliga nätstationer. Vid hemmaladdning sker överbelastningen mestadels på kvällstid medan nätstationer vid arbetsplatser överbelastas när personalen ankommer till arbetet. Problemet kan ofta undvikas med reglering.
- Marknadspotentialen för helhetslösningar av laddboxar till hushållen är stor. Därför bör energibolagen erbjuda en sådan lösning. Helhetslösningar av offentliga laddstationer bör också erbjudas. Slutligen anser vi att debiteringen av laddning vid offentliga laddstationer bör standardiseras, där ett tankkort eller bankkort kan användas överallt. Det förenklar för kunden och innebär besparingar inom utveckling för energibolagen.

Referenser

1. Regeringskansliet. Klimatavtal klubbat i Paris [Internet]. 2015 [citerad 02 juni 2016]. Hämtad från: <http://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2015/12/klimatavtal-klubbat-i-paris/>
2. Hellgren J. Nya tider - nya fordon: Teknik för framdrivning av morgondagens fordon [Bok]. 2011. ISBN 978-91-44-06892
3. AB Volvo. Dieselmotorns historia [Internet]. [citerad 04 februari 2016]. Hämtad från: http://www.volvogroup.com/group/sweden/sv-se/sustainability/envdev/alt_drivelines/new_diesels/pages/dieselmotorns_historia.aspx
4. Persson A, Persson P-H. Fordon - Principer/ El- och hybridfordon [Bok]. 2013. ISBN 978-91-47-08528-6
5. Larsson Ö. Ladda för nya marknader – Elbilens konsekvenser för elnät, elproduktionen och servicestrukturer [Internet]. 2010. Hämtad från: <http://www.vinnova.se/upload/EPiStorePDF/va-10-01.pdf>
6. On electric cars. Fact sheet : Nissan Leaf [Internet]. [citerad 08 februari 2016]. Hämtad från: <http://www.onelectriccars.com/fact-sheet-nissan-leaf/771/>
7. Statens energimyndighet. Energiutblick - transporter [Internet]. 2010. Hämtad från: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=2495>
8. AB Volvo. Volvo Lastvagnar inleder försäljning av tunga hybridlastbilar [Internet]. Volvo Lastvagnar. 2011 [citerad 10 februari 2016]. Hämtad från: <http://mag.volvotrucks.com/sv-se/sweden/article/?art=2358&ref=1>
9. Laddaelbilen.se. Elektriska lastbilar över 3,5 ton gör entré [Internet]. 2013 [citerad 10 februari 2016]. Hämtad från: <http://www.laddaelbilen.se/2013/06/27/elektriska-lastbilar-%C3%B6ver-3,5-ton-g%C3%B6r-entr%C3%A9-17366221>
10. AB Volvo. Volvos första elbuss rullar i Göteborg [Internet]. Volvo Bussar. 2015 [citerad 10 februari 2016]. Hämtad från: http://www.volvobuses.com/bus/sweden/sv-se/newsmedia/press%20releases/_layouts/CWP.Internet.VolvoCom/NewsItem.aspx?News.ItemId=150010&News.Language=sv-se
11. Lotta Göthe, Ecoplan. ElectriCity resultat. Energirelaterad fordonsforskning 2016 [Presentation]; 2016 apr 5; Göteborg.
12. Power Circle AB. Elbilen i Sverige [Internet]. [citerad 08 februari 2016]. Hämtad från: <http://elbilsstatistik.se>
13. Mitsubishi Motors. Outlander PHEV [Internet]. [citerad 08 februari 2016]. Hämtad från: <http://mitsubishimotors.se/bilar/outlander-phev-2016#!teknik>
14. Volvo Car Corporation. Volvo V60 laddhybrid [Internet]. [citerad 08 februari 2016]. Hämtad från: <http://www.volvocars.com/se/om-volvo/innovationer/drive-e/laddhybrider>

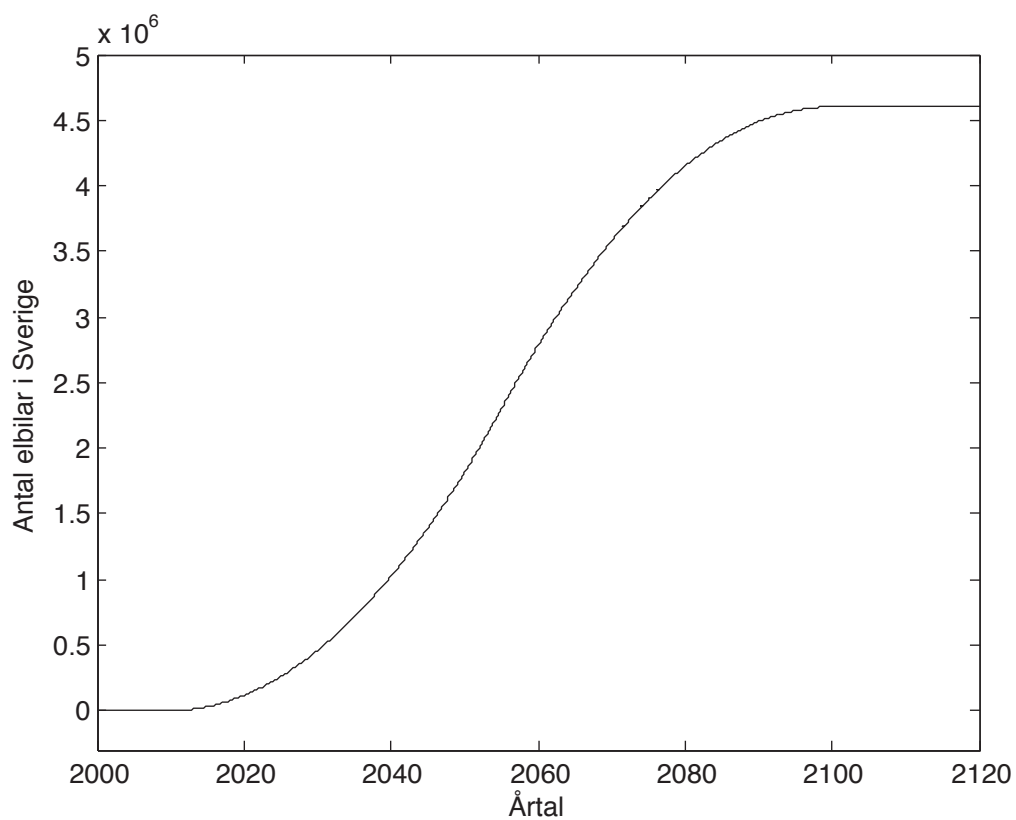
15. SCB. Fordonstatistik [Internet]. [citerad 09 februari 2016]. Hämtad från: http://www.scb.se/sv/_/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Transporter-och-kommunikationer/Vagtrafik/Fordonsstatistik/#c_undefined
16. Kindstrand D. Barriärer för elbilsintroduktionen i Sverige, Attityder, ekonomi och teknik [Internet]. 2015 [citerad 01 februari 2016]. Hämtad från: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=5367632&fileOid=5367650>
17. Registered passanger cars in France 2004-2014 [Internet]. Statista. [citerad 04 mars 2016]. Hämtad från: <http://www.statista.com/statistics/455887/passenger-cars-registered-in-france/>
18. Regeringskansliet. Fossiloberoende fordonsflotta - ett steg på vägen mot nettonollutsläpp av växthusgaser [Internet]. 2012 [citerad 10 februari 2016]. Hämtad från: <http://www.regeringen.se/rattsdokument/kommittedirektiv/2012/07/dir.-201278/>
19. Alestig P. Regeringen miljösatsar på elbilar och elbussar [Internet]. Svenska Dagbladet. 2015 [citerad 10 februari 2016]. Hämtad från: <http://www.svd.se/regeringen-miljonsatsar-pa-elbilar-och-elbussar/om/hallbar-motor>
20. Statens offentliga utredningar. Ett bonus–malus-system för nya lätta fordon [Internet]. 2016 [citerad 26 maj 2016]. Hämtad från: http://www.regeringen.se/contentassets/e38bb79787714469bc0a1a519669cf7a/sou-2016_33-webb.pdf
21. SOU. Fossilfrihet på väg - Del 1 [Internet]. 2013 [citerad 10 februari 2016]. Hämtad från: <http://www.regeringen.se/contentassets/7bb237f0adf546daa36aaf044922f473/fossilfrihet-pa-vag-sou-201384-del-12>
22. Model 3 [Internet]. Tesla Motors. [citerad 06 maj 2016]. Hämtad från: https://www.teslamotors.com/sv_SE/model3
23. Fehrenbacher K. Tesla's Model 3 Reservations Rise to Almost 400,000 [Internet]. 2016 [citerad 06 maj 2016]. Hämtad från: <http://fortune.com/2016/04/15/tesla-model-3-reservations-400000/>
24. Rabe M. Ny billig batteriteknik ger elbilar dubbelt så lång räckvidd [Internet]. Teknikens värld. 2014 [citerad 09 februari 2016]. Hämtad från: <http://teknikensvarld.se/ny-billig-batteriteknik-ger-elbilar-dubbelt-sa-lang-rackvidd-156966>
25. Höjevik P. Informationsbehov rörande elsäkerhet kring laddinfrastrukturen för elbilar [Internet]. Elsäkerhetsverket; 2014 [citerad 01 februari 2016]. Hämtad från: http://www.elsakerhetsverket.se/globalassets/pdf/rapporter/laddningsstationer_2014/informat ionsbehov_laddningsinfrastruktur-version-1-0.pdf
26. Laddningslösningar [Internet]. Elbilsexperten. [citerad 24 maj 2016]. Hämtad från: <http://elbilsexperten.se/index.php/laddningsloesningar>
27. Elnätsabonnemang i villa [Internet]. E.ON. [citerad 24 maj 2016]. Hämtad från: <https://www.eon.se/content/dam/eon-se/swe-documents/swe-prislista-villa-fritidshus-syd.pdf>
28. CLEVER laddbox bas, typ 2 - 11 kw [Internet]. clever.nu. [citerad 24 maj 2016]. Hämtad från: <http://webbshop.clever.nu/shop/product/clever-laddbox-bas-typ-2---11-kw?tm=&sm=>

29. Supercharger [Internet]. Tesla Motors. [citerad 12 februari 2106]. Hämtad från: https://www.teslamotors.com/sv_SE/supercharger
30. Englesson H, Bösch S. Elbussar i Malmö - Genomlysning av möjliga lösningar för pilotprojekt. 2015.
31. AB Volvo. Nya Volvo 7900 Elbuss – tar människor dit de vill [Internet]. Volvo bussar. [citerad 15 februari 2016]. Hämtad från: http://www.volvobuses.com/bus/sweden/sv-se/products_services/bussar/City%20buses/volvo_7900_electric/Pages/introduction.aspx
32. Volvo Bus Corporation. Volvo electric concept bus [Internet]. Goteborgelectricity.se. [citerad 15 februari 2016]. Hämtad från: http://www.goteborgelectricity.se/sites/default/files/content/PDF/volvo_electric_concept_buss_se.pdf
33. Nilsson S. Elbussen rullar nu i Kalmar [Internet]. GreenCharge. 2014 [citerad 15 februari 2016]. Hämtad från: <http://greencharge.se/nyheter/elbussen-rullar-nu-i-kalmar/>
34. Power Circle. Elbussar förstärker pendeltrafiken under skid-VM [Internet]. 2015 [citerad 15 februari 2016]. Hämtad från: <http://powercircle.org/nyhet/elbussar-forstarker-pendeltrafiken-skid-vm/>
35. Björk J, Eriksson D, Forsberg G, Kempe L, Nilsson T, Nordqvist O. Konduktiv laddning av elfordon [Internet]. Chalmers Tekniska Högskola; 2012 [citerad 01 februari 2016]. Hämtad från: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/159514.pdf>
36. Elways. Elväg vid Arlanda inom två år [Internet]. 2015 [citerad 16 februari 2016]. Hämtad från: <http://elways.se/pressmeddelanden/2015-06-04-elveg-vid-arlanda-inom-tva-ar/#comments>
37. Luthman C. ElonRoad [Internet]. 2015 [citerad 21 mars 2016]. Hämtad från: <http://luopen.lu.se/project/elvagar/>
38. Victoria Swedish ICT. Slide-in Electric Road System, Conductive project report [Internet]. 2013. Hämtad från: https://www.viktoria.se/sites/default/files/pub/www.viktoria.se/upload/publications/slide-in_conductive_project_report_draft_phase_1_2013-10-18.pdf
39. Scania. Scania testar eldrivna lastbilar i verklig trafik [Internet]. 2015 [citerad 16 februari 2016]. Hämtad från: <http://www.scania.se/om-scania/nyheter/arkiv/2015/q2/eldrivna-lastbilar.aspx>
40. Sou N-P. Application of Shaped Magnetic Field in Resonance (SMFIR) Technology to Future Urban Transportation [Internet]. 2010 [citerad 17 februari 2016]. Hämtad från: <http://olevtech.com/wp-content/uploads/2012/08/CIRP-Design-2011-Paper33.pdf>
41. Alaküla M, Bängtsson H. Cost Analysis of Electric Land Transport [Internet]. SHC; 2015 [citerad 07 mars 2016]. Hämtad från: http://hybridfordonscentrum.se/wp-content/uploads/2016/01/T2_11-Cost-Analysis-of-Electric-Drive-System_IV_Final-report.pdf
42. Vanliga frågor Elways [Internet]. [citerad 12 maj 2016]. Hämtad från: <http://elways.se/vanliga-fragor/>

43. Bombardier. E-bus [Internet]. 2016 [citerad 18 mars 2016]. Hämtad från:
<http://primove.bombardier.com/en/applications/e-bus.html>
44. Bombardier. E-car [Internet]. Primove. 2016 [citerad 17 februari 2016]. Hämtad från:
<http://primove.bombardier.com/applications/e-car.html>
45. Chafkin M. A Broken Place: The Spectacular Failure Of The Startup That Was Going To Change The World [Internet]. 2014 [citerad 21 mars 2016]. Hämtad från:
<http://www.fastcompany.com/3028159/a-broken-place-better-place>
46. The Tesla Motors Team. Battery Swap Pilot Program [Internet]. 2014 [citerad 16 februari 2016]. Hämtad från: <https://www.teslamotors.com/blog/battery-swap-pilot-program>
47. Korosec K. Tesla's battery swap program is pretty much dead [Internet]. 2015 [citerad 16 februari 2016]. Hämtad från: <http://fortune.com/2015/06/10/teslas-battery-swap-is-dead/>
48. Sten Corfitsen, VD PowerSwap AB. Demonstrationssystem för automatiskt batteribyte. Energirelaterad fordonsforskning 2016; 2016 apr 5; Göteborg.
49. Miljöförvaltningen Malmö stad. Miljöprogram för Malmö stad 2009-2020 [Internet]. 2009 [citerad 19 februari 2016]. Hämtad från:
<http://malmo.se/download/18.76105f1c125780a6228800031254/1383643803211/Milj%C3%B6program+f%C3%B6r+Malm%C3%B6+stad+2009-2020.pdf>
50. Wahl C, Svensson H. Resvaneundersökning i Malmö 2013 [Internet]. 2014 [citerad 07 mars 2016]. Hämtad från:
http://malmo.se/download/18.12e2278a148980ba13a41915/1411719716748/RVU2013_Malmö_slutversion.pdf
51. Kröyer HRG, Johansson K. Elfordon i Malmö i familjen och på arbetet [Internet]. Lunds universitet; 2013 [citerad 01 februari 2016]. Hämtad från:
<http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=8&sid=abc939e2-e37b-4f45-80e2-bd5f82730328%40sessionmgr111&hid=113&bdata=JnNpdGU9ZWRzLWxpdmUmc2NvcGU9c2l0ZQ%3d%3d#db=edsswe&AN=edsswe.oai.lup.lub.lu.se.8194830>
52. Henriksson P, Svensson T. Invånarnas syn på den framtida trafiken i Malmös innerstad – resultat från en enkätundersökning [Internet]. 2014 [citerad 19 februari 2016]. Hämtad från:
<http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:725962/FULLTEXT01.pdf>
53. Malmö stad. Framtidens kollektivtrafik i Malmö [Internet]. 2008 [citerad 19 februari 2016]. Hämtad från:
http://malmo.se/download/18.76105f1c125780a6228800027769/1383643984876/slutrapport090921_tryckt.pdf
54. Marcus Ljungqvist [Intervju]. Miljöförvaltningen Malmö. 2016.
55. Stockholms Handelskammare. Framtidens buss är elektrisk [Internet]. 2015 [citerad 19 februari 2016]. Hämtad från: <http://www.chamber.se/cldocpart/3273.pdf>
56. Power Circle AB. ELIS (Data från 20151031).
57. Uppladdning.nu [Internet]. [citerad 16 mars 2016]. Hämtad från:
<http://uppladdning.nu/Map.aspx#>

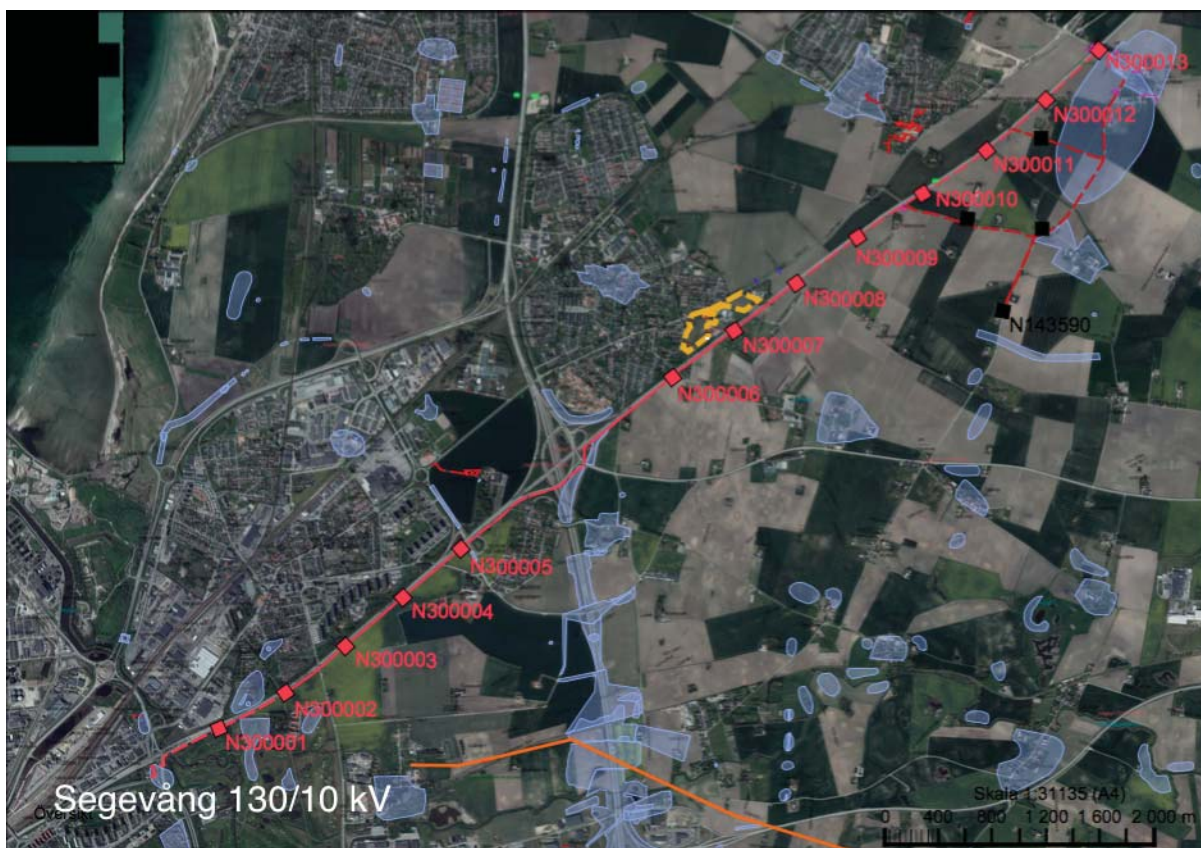
58. GREAT Region. The GREAT project [Internet]. 2016 [citerad 02 mars 2016]. Hämtad från: <http://www.great-region.org/>
59. Peter Andersson [Intervju]. E.ON Elnät Sverige AB. 2016.
60. Strauss CM. Klimatklivet - lokala klimatinvesteringar [Internet]. Naturvårdsverket. 2016 [citerad 04 mars 2016]. Hämtad från: <http://www.naturvardsverket.se/klimatklivet>
61. Ödahl A. Eon får elva miljoner av Klimatklivets två miljarder [Internet]. 2016 [citerad 04 mars 2016]. Hämtad från: <http://www.tjanstebilsfakta.se/eon-far-elva-miljoner-av-klimatklivets-tva-miljarder>
62. Karin Waldén [Intervju]. E.ON Sverige AB. 2016.
63. Trafikverket Urval Sträcka [Internet]. [citerad 24 april 2016]. Hämtad från: <https://pmsv3.trafikverket.se/Pages/StrackaUrval/StrackaUrvalView.aspx>
64. Trafikverket Trafikflöden [Internet]. [citerad 25 april 2016]. Hämtad från: <http://vtf.trafikverket.se/SeTrafikfloden>
65. SCB. Nettoinkomster 2014 kommun [Internet]. 2016 [citerad 06 maj 2016]. Hämtad från: http://www.scb.se/sv_/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Hushallens-ekonomi/Inkomster-och-inkomstfordelning/Inkomster-och-skatter/#c_li_303216
66. Meteorologiska observationer Malmö A [Internet]. SMHI Temperatur. [citerad 10 maj 2016]. Hämtad från: <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/>
67. Malmö stadsbyggnadskontor. Västra Hamnen i siffror 2015 [Internet]. 2015 [citerad 10 maj 2016]. Hämtad från: <http://malmo.se/download/18.5f3af0e314e7254d70e7a5f4/1444379039112/Vastra+Hamnen+i+siffror+2015.pdf>
68. Päivi Wasenius [E-post], Förvaltarassistent P-Malmö. 2016.
69. P-Huset Fullriggaren [Internet]. [citerad 12 maj 2016]. Hämtad från: <http://www.pmalmo.se/Tjanster/Parkeringsalternativ/Vastra-hamnen/Fullriggaren/>
70. Power Circle AB. Elbilen och klimatet [Internet]. 2016 [citerad 08 juni 2016]. Hämtad från: <http://emobility.se/startside/elfordon/elbilen-och-klimat/>
71. Kellner J. "Elbilen blir miljövänlig först när elsystemet är fossilfritt" [Internet]. 2015 [citerad 08 juni 2016]. Hämtad från: <http://www.nyteknik.se/opinion/elbilen-blir-miljovanlig-forst-nar-elsystemet-ar-fossilfritt-6395775>
72. E.ON Elnät. Effektabonnemang E.ON [Internet]. 2016 [citerad 07 juni 2016]. Hämtad från: <https://www.eon.se/foeretag/nattjanster/elnat/elnatsavgiften.html#/effektabonnemang>
73. E.ON Försäljning. Rörligt elpris E.ON [Internet]. 2016 [citerad 08 juni 2016]. Hämtad från: <https://www.eon.se/rorligtelpris#/variantersavsrrligtsepris>

Bilaga 1

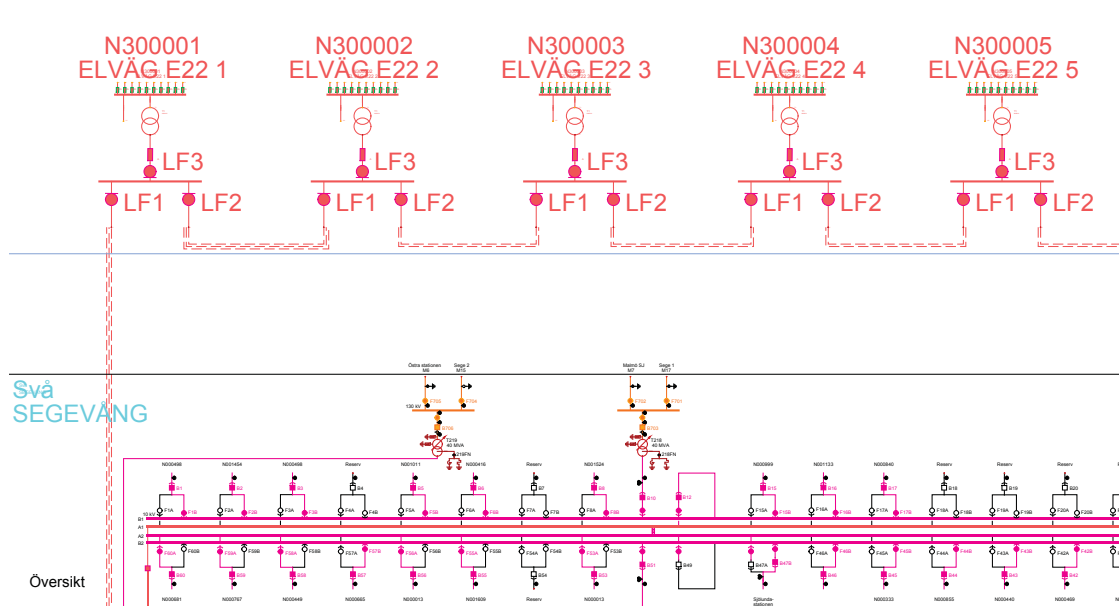


Möjligt scenario för elbilens genombrott i Sverige. Exemplet ska ses som just ett exempel, då det är löst baserat på eget omdöme och framtidsdata. Årtalen 2000-2025 är missvisande eftersom elbilsmarknaden är större än 0 elbilar. Framtagen i MATLAB.

Bilaga 2



Figur 1 - Karta nätstationplacering, scenario 1.1 elväg, 100 % tung trafik



Figur 2 - Nätchema, fem första nätstationerna, scenario 1.1 elväg, 100 % tung trafik

Beskrivning	Antal	Enhet	Summa (SEK)	Arbete (SEK)	Material (SEK)	Maskin (SEK)	Övrigt (SEK)	Beredare (h)	Montör (h)	Maskin (h)	
Tillkommande rör 110, styrd borrhning	1430,0	m	559130,0	20020,0	0,0	0,0	0,0	539110,0	28,6	0,0	0,0
Rör 110 - Styrd borrhning	1220,0	m	904020,0	86620,0	0,0	0,0	0,0	817400,0	122,0	0,0	0,0
Etablering styrd borrhning	12,0	st	72756,0	3936,0	0,0	0,0	0,0	68820,0	5,5	0,0	0,0
Samförläggningssavdrag hsp	5,9	km	-1230196,0	-365641,0	-234346,5	-271721,7	-358486,8	-144,9	-367,9	-373,3	
Plöjh 0 %	7,8	km	501384,3	241265,5	124939,5	262951,1	-127771,8	16,1	322,2	376,2	
PEX 3x240 12KV	12,1	km	4985875,6	986891,2	2645539,1	611898,8	741546,5	329,3	1054,6	842,0	
Nätstation 800 KVA (E.ON justerad utan lastfrånskijjare)	13,0	st	1815268,0	268346,0	1357798,0	45942,0	143182,0	130,0	246,2	64,2	
Tillk lastfrånskijjare (x:a kostnad för LF vid nybest. av kiosker)	26,0	st	260000,0	0,0	260000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
12/0,4kV Trafo 800KVA	13,0	st	1308762,0	0,0	1308762,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
PEX 3x150 12 KV	3,3	km	1234679,4	272652,3	588540,4	170517,9	202968,7	89,8	292,5	234,7	
PEX 3x95 12 kv	0,5	km	187832,2	44888,9	81356,5	27928,4	33658,3	14,9	48,1	38,4	
PEX 3x240 12 kv	0,6	km	450062,6	104121,0	126728,8	56649,2	162563,7	22,8	123,2	79,2	
PEX 3x150 12 kv	0,8	km	542950,7	132621,3	131112,9	72155,4	207061,1	29,0	156,9	100,9	
Summa			11592524,7	1795721,1	6390430,8	976321,1	2430051,6	643,1	1875,9	1362,5	

Tabell 1 - Kostnader, scenario 1.1 elväg, 100 % tung trafik

Bilaga 3



Figur 1 - Karta nätstationplacering, scenario 1.2 elväg, 100 % tung trafik & 50 % personbilar

Beskrivning	Antal	Enhet	Summa (SEK)	Arbete (SEK)	Material (SEK)	Maskin (SEK)	Övrigt (SEK)	Beredare (h)	Montör (h)	Maskin (h)
Samförläggningsavdrag hsp	10,7	km	-2224166,3	-661070,5	-423693,2	-491266,6	-648135,9	-261,9	-665,1	-674,9
Tillkommande rör 110, styrd borring	2550,0	m	997050,0	35700,0	0,0	0,0	961350,0	51,0	0,0	0,0
Rör 110, Styrd borring	1280,0	m	948480,0	90880,0	0,0	0,0	857600,0	128,0	0,0	0,0
Etablering styrd borring	12,0	st	72756,0	3936,0	0,0	0,0	68820,0	5,5	0,0	0,0
Plöjn 0 %	7,7	km	497904,7	239591,1	124072,4	261126,2	-126885,1	16,0	320,0	373,6
PEX 3x240 12kv	20,4	km	8363232,5	1655396,4	4437587,4	1026389,8	1243858,9	552,3	1769,0	1412,4
Tillk lastfrånskyljare (x:a kostnad för LF vid nybest. av kiosker)	40,0	st	400000,0	0,0	400000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12/0,4KV Trafo 800kVA	20,0	st	2013480,0	0,0	2013480,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nätstation 800 kVA (E.ON justerad utan lastfrånskyljare)	20,0	st	2792720,0	412840,0	2088920,0	70680,0	220280,0	200,0	378,8	98,8
PEX 3x240 12 kv	1,0	km	752564,7	174104,2	211907,4	94725,0	271828,1	38,1	206,0	132,5
PEX 3x150 12 kv	1,2	km	435603,2	96193,6	207641,0	60159,9	71608,7	31,7	103,2	82,8
PEX 3x95 12 kv	0,4	km	132190,2	31591,3	57256,1	19655,1	23687,7	10,5	33,8	27,1
Summa			15181815,1	2079162,1	9117171,2	1041469,4	2944012,4	771,2	2145,7	1452,3

Tabell 1 - Kostnader, scenario 1.2 elväg, 100 % tung trafik & 50 % personbilar