

Elbilars roll i elsystemet

Maria Taljegård, Chalmers Tekniska Högskola

NEPP-PM

Juli 2020

Elbilars roll i elsystemet

SAMMANFATTNING

- Omställning av vägtransportsektorn till el är möjlig med/utan kärnkraft och utan en markant ökning av CO₂ eller kostnader för elsystemet.
- Ett nytt elbehov från elfordon i Sverige täcks främst från investering och utökad produktion av vindkraft.
- Laddinfrastruktur i hemmet med låga effekter är viktigast både för flexibilitet i elsystemet och elbilsägaren. ~5% av resorna kräver snabbladdning.
- Laddning av elfordon direkt efter körning och fordon på elvägar kommer öka behovet av toppeffekten i elsystemet (dvs mer investeringar i kapacitet).
- Elvägar för tunga transporter i kombination med självkörande fordon möjliggör att förlägga godstransporter på väg till nattetid.
- Optimerad laddning och V2G kan drastiskt minska investeringar i toppeffekt, exempelvis gasturbiner, och mindre cykling av termisk kraftproduktion.
- Stor kapacitet tillgänglig i elbilsbatterierna alla timmar som kan ingå i effektreserven.
- Autonoma fordon på stor skala kan komma att påverka resultaten drastiskt, t.ex. genom att fler bilar kan komma stå stilla kortare tider under dagen och fungera mer likt taxiverksamhet. Mer av godstransporterna kan då ske nattetid.



Antalet elfordon är idag en mycket liten del av den svenska fordonsflottan (mindre än 1%) men skulle behöva öka drastiskt till år 2030 i och med Sveriges klimatmål om en 70% minskning av CO₂ utsläppen från transportsektorn. En elektrifiering av vägtransportsektorn kan ske genom elbilar som laddas hemma och på publika platser, får el direkt vid körning från elvägar eller genom att producera ett fordonsbränsle så som vätgas eller elektrobränslen med hjälp utav el.

I detta PM, som publiceras inom NEPP, diskuteras körmönster och laddprofiler i personbilsflottan, hur smart laddning kan bidra med flexibilitet för elnätet, möjligheter för elvägar samt indirekt elektrifiering via vätgas och syntetiska bränslen.



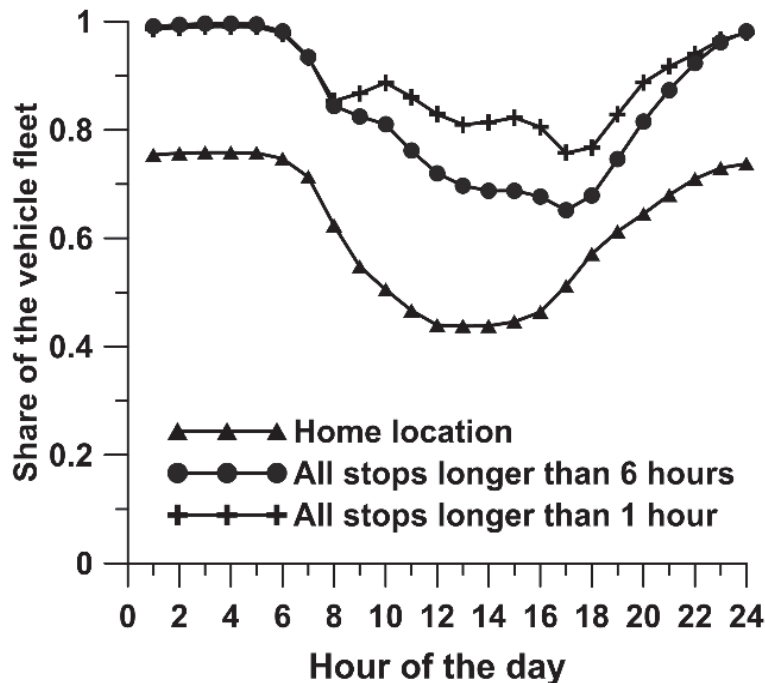
Laddning av batteri-drivna personbilar skulle öka det totala elbehovet i Sverige med ca. 7% och resultat framtagna inom ramen för NEPP visar att elbilar kan både öka eller bidra till att minska elsystemets toppbelastning beroende på laddstrategi, dvs. när och hur mycket el som används vid en viss tidpunkt. Elfordonens batterier kan också utnyttjas för lagring av el genom att batterierna laddas vid tillfällen av låg nettolast och återmatas tillbaka till nätet vid hög nettolast. Nettolast är den last som måste mötas med annat än variabel elproduktion. En elektrifiering av transportsektorn kan därmed påverka elsystemet både med avseende på energi och effekt. Laddning av elbilars batterier kan till exempel ske direkt vid parkering och laddningsprofilen av elbilarna kommer då helt och hållet att styras av körprofilen och tillgängligheten på laddinfrastruktur. Elbilars laddning kan också optimeras, dvs. fördelas i tid, med syfte att minimera kostnad för elsystemet samtidigt som varje elbils individuella körbehov såklart uppfylls. Med så kallad "vehicle-to-grid" (förkortat V2G) kan elbilarna också återmata el tillbaka till nätet i enlighet med vad som är mest fördelaktigt för elsystemet givet att det individuella kör behovet uppfylls.

Körmönster och laddprofiler

För att kunna modellera och analysera hur omfattande elektrifiering av fordonsflottan påverkar elsystemet har körmönster hos dagens fordonsflotta analyserats. Utifrån dagens körmönster har relevanta laddprofiler utvecklats.

Analys av körmönster från ca 430 bensin- och dieslbilar i Västra Götaland tyder på att den genomsnittliga körsträckan är ungefär 50 kilometer per dag, vilket är betydligt mycket kortare än distansen som de flesta elbilar klarar idag. En elbil drar normalt ca 1.5-2 kWh per mil och med Nissan Leaf årsmodell 2019 med 62 kWh batteri innebär det en räckvidd på ca 385 km. Endast ungefär 5% av de analyserade resorna är längre än batteriets räckvidd. Analysen visar att personbilarna i genomsnitt

står parkerade ca. 22 timmar per dygn och endast behöver ladda i ca 1.5 timmar av dessa för att klara sitt dagliga körbehov givet en laddeffekt på 7kW. Därmed är det rimligt att en del av fordonsflottan bör också kunna bidra med flexibilitet över ett eller ett par dygn beroende på individuella körmönster och val av batteristorlek. Endast de 5% av resorna som är längre än batteriets räckvidd kräver tillgång till snabbladdning.



Figur 1. Andel av fordonsflottan som står parkerad hemma, på en parkering längre än 6 timmar och 1 timma för en genomsnittlig dag.

Potentialen för att styra laddningen beror i framtiden på dimensioneringen av batteristorlek i förhållande till det dagliga körbehovet och utbyggnad av laddinfrastruktur. Analys av körmönster visar också att vid dagens körmönster så är alltid minst 30% av fordonsparken parkerade hemma under alla timmar på året. Det ger att även om vi endast har välutbyggd laddinfrastruktur på hemmaparkeringen så räcker det för de flesta (95%) av alla privatresor och ger att elbilar ändå kan bidra med flexibilitet viktiga timmar på året. Laddinfrastruktur i hemmet med låga laddeffekter är viktigast både för flexibilitet i elsystemet och för att tillgodose elbilsägarens körbehov.

Det finns olika sätt att styra laddningen. Den enskilde elbilsägaren kan ha en timer eller välja automatisk laddning vid låga elpriser. På en aggregerad nivå kan en aggregator (en separat aktör) bestämma när olika elbilar får ladda, för att undvika laddning under timmar med hög nettolast och sprida ut laddningen över flera timmar.

Styrning av laddningen och V2G kräver att det finns ekonomiska incitament både för den enskilde elbilsägaren att bidra men även för någon att ta ett helhetsansvar. Det är inte uppenbart vilken aktör som bäst kan ta ett sådant helhetsansvar. Det skulle kunna vara elhandelsbolagen.

I studierna av elbilars laddning och påverkan på elsystemet har körmönster från dessa ca 430 bilar i Västra Götaland använts för att representera individuella körprofiler i modellerna. Individuella körmönster (istället för statistik från en aggregerad bilflotta) är viktiga att inkludera i analyserna för att inte överskatta friheterna hos fordonen att flytta laddningen i tid och att ladda tillbaka till elnätet (V2G). En begränsning med att använda data från dagens körmönster är så klart att elbilar kan köras

annorlunda i framtiden till exempel om det kommer fler autonoma fordon eller att vi använder och äger fordon annorlunda (t.ex. delade fordon).

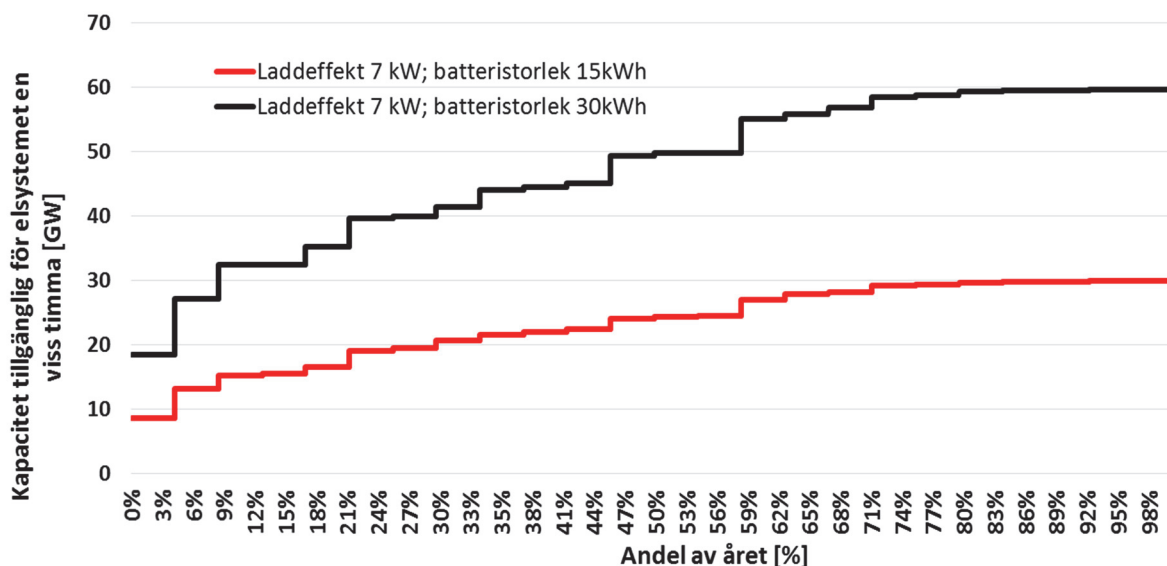
Smart laddning - Flexibilitet för elnätet

Resultatet från studier inom ramen för NEPP visar att en optimerad laddning av elbilar (dvs. styra laddning mot timmar med lågt elpris) och V2G skulle kunna bidra med flera systemnyttor till elsystemet i form av:

- Leverera el från elbilsbatterier mot effekttoppar i elsystemet
- Minska investeringar i annan flexibilitet för systemet (så som stationära batterier, vätgaslagring och gasturbiner)
- Reducera cykling av termisk kraftproduktion
- Bidra till effektreserven

Taljegard m.fl. (2019a, 2019b, 2019c), Taljegard (2019) and Göransson m.fl. (2019) har modellerat effekten av en stor andel elbilar (upp till 100% av personbilsflottan) i det svenska elsystemet. Studien har tillämpat två olika kostnadsminimerande investeringsmodeller och en kraftförsörjningsmodell av elsystemet genom vilka det visas hur laddning av elfordon och lagring av el i elbilsbatterier kan minska effekttopparna i elsystemet. Givet antagandet 3.8 miljoner elbilar i Sverige (dvs. ca 80% av antal personbilar i Sverige idag) så ger det en ökning av elbehovet med ungefär 11 TWh och en batterikapacitet som uppgår till ca 114 GW (givet ett antagande om 30 kWh per batteri). All batterikapacitet är såklart inte tillgänglig samtidigt.

Figur 2 visar vilken maximal kapacitet som kan finnas tillgänglig i batterierna en viss timma i elprisområde SE3. Tillgänglig kapacitet beror såklart på andel elbilar i fordonsflottan, laddningseffekt och batterikapaciteten. Men den beror även på vilken utsträckning som fordon (det vill säga fordonsägarna) är villiga att delta i till exempel effektreserven. Vi kan dock konstatera att även i fallet med 60% elfordon i fordonsflottan och en batteristorlek på 15 kWh (ungefär vad plug-in hybriderna

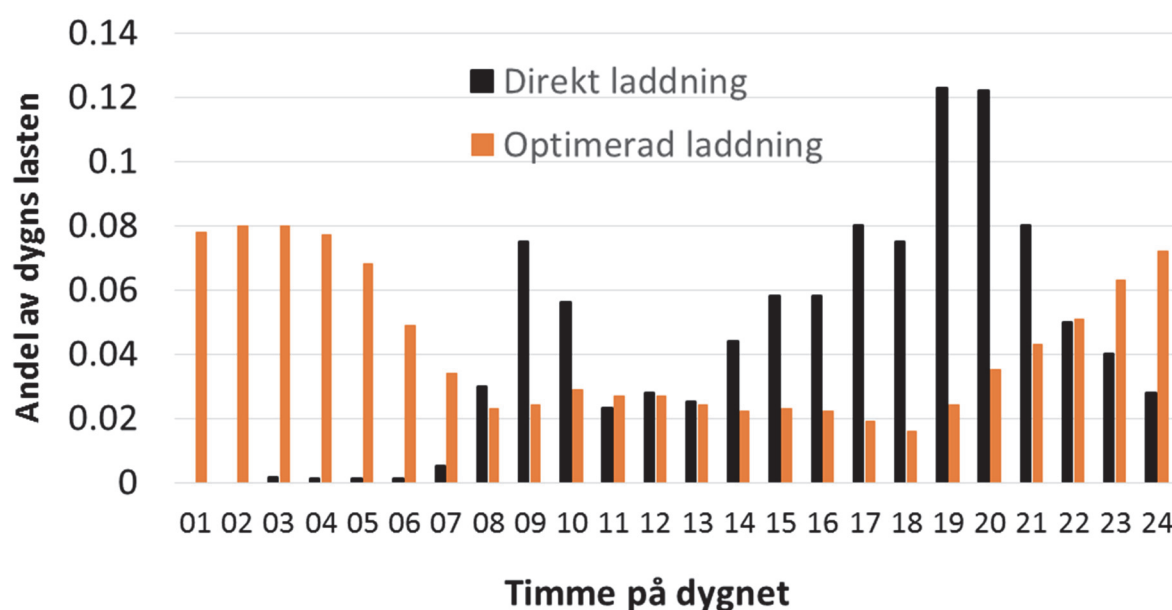


Figur 2. Aggregerad kapacitet tillgänglig i batterierna för fordonsflottan vid 60% elbilar i SE3 (dvs. 2 miljoner elbilar) en specifik timma. Sorterad från timman med lägst till högst kapacitet tillgänglig. Hänsyn har tagits till olika individuella körmönster och att körbehovet alltid måste uppfyllas.

har idag) finns en tillgänglig effekt på mellan 9 MW till 30 GW. Med en batteristorlek på 30 kWh finns hela 18-60 GW (Figur 2). Detta är en enorm kapacitet (även på de timmar där flest bilar är ute och kör) med tanke på att nettolasten ligger maximalt på ca 18 GW i SE3. Elbilsbatterier har därför en stor potential att bidra till effektreserven.

Med ett krav på näst intill noll CO₂-utsläpp från det europeiska elsystemet till år 2050 så visar våra studier att det ökade elbehovet från elfordon i Sverige huvudsakligen möts av en ökad investering i vindkraft. Modellstudierna visar också att en integrering av elfordon där laddningen sker direkt efter körning (alltså vid hemkomst) leder till en förstärkning av effekttopparna i elsystemet, vilket framförallt sker under vintertid.

I figur 3 visas hur direkt laddning vid parkering och en optimerad laddning utifrån målet att minimera totala elsystemkostnaden av elfordon fördelar sig över ett genomsnittsdyn med hänsyn tagen till de individuella körmonstren. I figur 3 är det antaget att laddningen kan ske på alla platser där fordonet står parkerat längre än 1 timma. Den optimerade laddningsstrategin fördröjer laddningen till senare på kvällen/natten samt undviker att ladda fordonen direkt efter varje körning utan istället laddar hela dagsbehovet under nattetid. Det bör dock påpekas att – som syns från figur 1 - vissa fordons körmonster kräver laddning även under timmar på dagen när det inte är optimalt för elsystemet. Dessutom visar figur 1 en genomsnittsdag över ett helt år och vissa dagar kan det vara optimalt att ladda elfordon även dagtid på grund av hög vindkraftsproduktion som ger en låg nettolast.

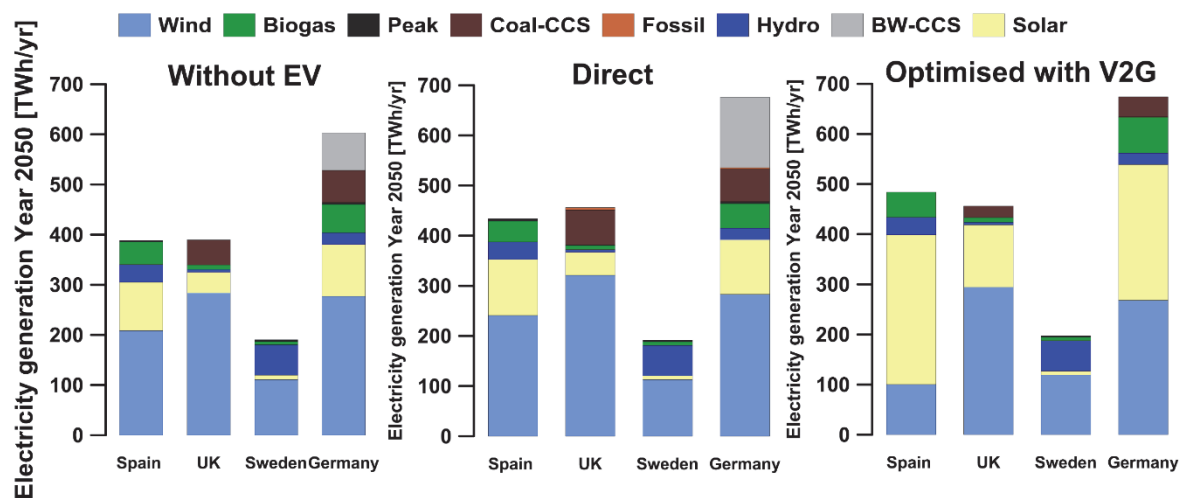


Figur 3. Laddningsprofilen för direkt laddning och optimerad laddning av elfordon i Sverige för ett genomsnittsdyn med hänsyn tagen till olika individuella körmonster.

En optimerad laddningsstrategi kan hjälpa till att minska behovet av topp effekt i elsystemet. Ovan nämnda studier visar att investeringar i gasturbiner som körs ett par hundra timmar per år (dvs de timmar med högst nettolast) och stationära batterier kan minskas till nära noll i det europeiska elsystemet med optimerad laddning av elbilar och möjligheten till V2G (Taljegard, 2019b).

Figur 4 visar elproduktionen år 2050 utan elbilar och med två olika laddningsstrategier för elfordon. I figur 4 kan vi se att elsystemets komponering ser ungefär likadan ut utan elbilar som med direkt laddning av elbilar. I Tyskland och UK möts det nya elbehovet av termisk kraft då värdet på ytterligare sol och vindkraft är lågt. Med optimerad laddningsstrategi och V2G så kan alla länder, inklusive

Tyskland och UK, öka andelen solel och vindkraft i elsystemet jämfört med både utan elbilar och med direktladdning. Det är framför allt andelen solkraft som gynnas av en smart integrering av elfordon.



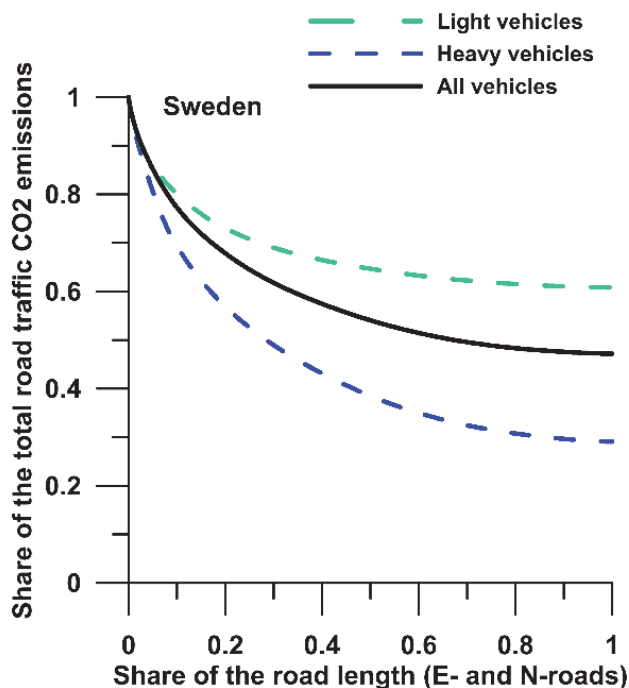
Figur 4. Elproduktion år 2050 för fyra olika länder givet tre olika scenarier (utan elbilar, direkt laddning och optimerad laddning med V2G). I alla scenarier så följs EU:s klimatmål för 2050. Andel elbilar år 2050 antas vara 60% av fordonsflottan.

Våra studier (se Taljegard m.fl. 2019b) visar att förutom öka andelen förnyelsebar energi som utnyttjas i elsystemet så kan elbilarna också minska behovet av annan lagringskapacitet så som stationära batterier och vätgaslager. Ett minskat behov av annan lagring sparar dyrbara investeringar i elsystemet, vilket kommer att minska den totala systemkostnaden. Samtidigt kommer elbilsägarna såklart vilja ha betalt för att ladda på vissa tider och "låna" ut sitt batteri till elsystemet. I en studie av Taljegard m.fl., (2019b) har kostnad för elsystemet med direkt laddning jämförts med kostnaden för elsystemet med smart laddning. Det visar sig då att ett elsystem med direkt laddning är så pass mycket dyrare än smart laddning att skillnaden i total systemkostnad skulle motsvara en betalningen till varje elbilsägare på ca 3000 kr per fordon och år för att ladda smart (beroende på batteristorlek, mängden sol och vindkraft i elsystemet och antal fordon som deltar i V2G).

Elektrifieringen av transportsektorn kan ske genom omfattande elektrifiering av fordonsflottan, vilket beskrivits ovan. Ett alternativ är att elektrifiera vägarna. Ett mer indirekt alternativ är att låta fordonsflottan använda vätgas eller syntetiska bränslen, vilka kräver stora mängder el vid framställandet. Avslutningsvis i detta PM ges därför korta beskrivningar av dessa två alternativa strategier.

Kort om elvägar

Elvägar innebär överföring av el till fordon vid färd. Tekniken är speciellt intressant för tunga vägtransporter där batterier knappast är ett alternativ inom överskådlig tid. Elvägar kräver en utbyggnad av ny infrastruktur men kan å andra sidan minska batteristorleken i varje fordon, även för personbilar. Figur 5 visar på potentialen att minska koldioxidutsläppen i Sverige vid olika andel av Europa och Nationella vägarna som elektrifieras med elväg. Om 25% av de Europa och Nationella vägar med högst trafik (motsvarande ca 2% av hela Sveriges vägnät) elektrifieras skulle det kosta ca 40 miljarder kronor och elvägen kan då minska utsläppen från den totala vägtrafiken med ca 45% för tungtransporter och ca 25% för lätta persontransporter (se Taljegard m.fl. 2019d). Konsekvenserna för elsystemet med en elväg är ungefär detsamma som vid icke-optimerad laddning av personbilar, dvs. ökad last under timmar med redan högst last (Olofsson m.fl. 2019). Om alla Europa och nationella vägar i Sverige skulle elektrifieras innebär det en ökning av nettolasten den värsta timman med ca. 3.5 GW (vilket är ca 10%). Samtidigt möjliggör elvägar och ökad grad av självkörande fordon att tunga vägtransporter kan flyttas till nattetid när lasten i elsystemet är låg. Detta bör även ge andra positiva effekter som minskad kötid under dagtid.



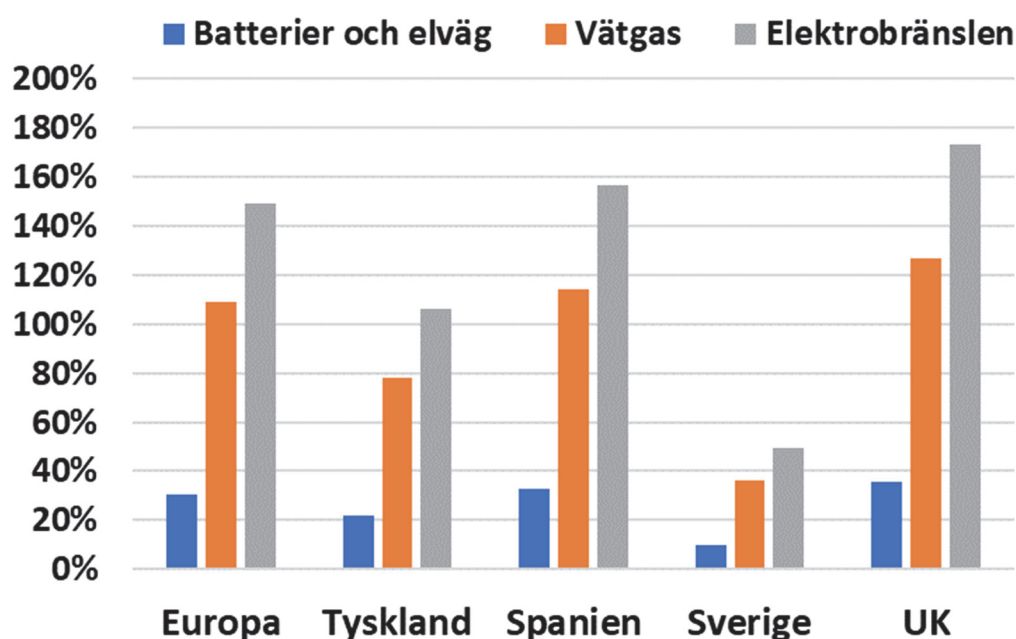
Figur 5. Elvägars potential att minska koldioxidutsläppen i Sverige vid olika andel av Europa och Nationella vägarna som elektrifieras.

Kort om vätgas och syntetiska bränslen

Om man använder en indirekt strategi för elektrifiering av transportsektorn via exempelvis vätgas eller syntetiska bränslen (så kallade elektrobränslen) så skulle det årliga elbehovet öka dramatiskt (med en faktor 4-5) jämfört med statisk eller dynamisk laddning. Vätgas och syntetiska bränslen har dock mycket större möjlighet att distribuera efterfrågan på el i tid, till exempel med ett vätgaslager.

För att producera vätgas med el till alla privatbilar i Sverige krävs i storleksordningen 45 TWh jämfört med 11 TWh om elen används direkt i elbilar med batterier. Om alla vägfordon (personbilar, lastbilar och bussar) i Sverige skulle gå på el med hjälp av batterier och elväg innebär det ett ökat elbehov med ca

30 TWh per år. Vätgas och elektrobränslen däremot innebär en ökning med ca 120-150 TWh, dvs. nästan en fördubbling av dagens elproduktion (Taljegard, 2019). Som nämndes inledningsvis kan det däremot finnas sektorer inom transportsektorn, exempelvis flyget och sjöfart, där vätgas eller syntetiska bränslen kan vara av intresse. Vätgas och/eller syntetiska bränslen skulle också kunna vara ett alternativ utanför elväg för tunga lastbilar. Ytterligare studier behövs för att jämföra elsystemkostnader vid produktion av vätgas till transportsektorn och laddning av elbilar.



Figur 6. Ökning av elbehovet för ett antal länder vid en elektrifiering med statisk och dynamisk laddning, elektrobränslen och vätgas för alla vägtransporter år 2050 under antagande av en elektrifieringsgrad på 60% av fordonen.

Referenser

- Göransson, L., Lehtveer, M., Nyholm, E., Taljegard, M., & Walter, V. (2019). The Benefit of Collaboration in the North European Electricity System Transition—System and Sector Perspectives. *Energies*, 12(24), 4648.
- Olovsson, J., Taljegård, M., Johnsson, F., von Bonin, M., Ernst, B., & Gerhardt, N. (2019) The Impact of ERS on the electricity system—an energy system model comparison for Sweden and Germany.
- Taljegard, M. (2019). *Electrification of road transportation—implications for the electricity system* (Doctoral dissertation, Doctoral Thesis).
- Taljegard, M., Göransson, L., Odenberger, M., & Johnsson, F. (2019a). Impacts of electric vehicles on the electricity generation portfolio—A Scandinavian-German case study. *Applied energy*, 235, 1637-1650.

Taljegard, M., Walter, V., Göransson, L., Odenberger, M., & Johnsson, F. (2019b). Impact of electric vehicles on the cost-competitiveness of generation and storage technologies in the electricity system. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124087.

Taljegard, M., Göransson, L., Odenberger, M., & Johnsson, F. (2019c). Electric Vehicles as Flexibility Management Strategy for the Electricity System—A Comparison between Different Regions of Europe. *Energies*, 12(13), 2597.

Taljegard, M., Thorson, L., Odenberger, M., & Johnsson, F. (2019d). Large-scale implementation of electric road systems: Associated costs and the impact on CO2 emissions. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1-14.