

Vätgasdrivna fordons roll i den framtida svenska fordonsflottan

En jämförande analys av FCEV, BEV och CBGV med avseende på total ägandekostnad och klimatpåverkan



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Tomas Tengberg

Examinator: Kerstin Sernhed

Handledare: Övind Andersson

Lund
5 april 2024

Examensarbete för civilingenjörsexamen

Lunds Tekniska Högskola vid Lunds universitet
Institutionen för Energivetenskaper
Avdelningen för Förbränningsmotorer

Box 118, 221 00 Lund

ISRN LUTMDN/TMHP-24/5569-SE
ISSN 0282-1990

Abstract

This work has been written in collaboration with Kraftringen and the project "Vätgas i tanken". The purpose of this report is to identify the role of hydrogen-powered vehicles in Sweden's future vehicle fleet. The report will therefore investigate where hydrogen-powered vehicles can complement battery electric vehicles, BEVs and compressed biogas vehicles, CBGVs, particularly when it comes to their areas of use. Additionally, the report aims to analyze how fuel cell electric vehicles, FCEVs compare to BEVs, in both total cost of ownership and climate emissions. Finally, the report will identify some of the obstacles and opportunities associated with the implementation of hydrogen as an alternative fuel.

The work consists of an interview study, where 10 representatives from municipalities, public transport companies and the automotive industry were interviewed. They have contributed with expert knowledge, experiences and thoughts on the use and implementation of hydrogen-powered vehicles. Two calculations were also made where FCEVs, BEVs and CBGVs were compared. A total cost of ownership calculation was also made to compare the costs of owning and operating the vehicles. Additionally, a life cycle analysis was made to compare the emissions from both the production and use phase of the vehicles. Finally, a sensitivity analysis was made where costs and emissions were changed to examine how these factors affect the calculations.

The findings showed that the different drivetrains complement each other by having different strengths. Therefore, fulfilling different needs. The Swedish vehicle fleet is therefore likely to consist of several different environmentally friendly drivetrains in the future.

FCEVs are particularly preferred for heavy trucks carrying heavy loads, needing to cover longer distances. In applications where it is problematic for the vehicle to remain stationary for extended periods for charging, FCEVs can be suitable for both passenger cars and heavy trucks. Within a bus fleet, FCEVs will primarily serve as a complement to BEVs in situations where routes cannot be electrified, or when the distance to charging infrastructure is significant.

For all drivetrains, the factor with the greatest impact on total cost of ownership is fuel cost. In cases where public fast charging is used for BEVs, the total cost of ownership for FCEVs and BEVs are equivalent. The total cost of ownership decreases as daily driving distance increases. This can be seen as a strength for both FCEVs and CBGVs, since their refueling times are considerably shorter than the charging time for BEVs.

The factor with the greatest impact on emissions for BEVs are emissions from battery manufacturing. If a Swedish-manufactured battery is used, the climate impact of BEVs can decrease by around 20 %. The most impactful factor for emissions related to FCEVs are the emissions from fuel consumption. If the electricity generated from wind power is used in the production of hydrogen, the total emissions for FCEVs can be lower than for BEVs. The factor with the greatest impact on emissions for CBGVs are the emissions from fuel consumption. Emissions from the vehicle manufacturing for CBGVs are significantly lower compared to both BEVs and FCEVs.

A significant potential obstacle that hydrogen implementation faces is insufficiently developed refueling infrastructure. Hydrogen can fulfill more functions than its use as a fuel. The possibility of using hydrogen for energy storage, and as a balancing tool for the power grid, can both contribute to increased interest in hydrogen use. This can also have a positive effect on the use of hydrogen in the transportation sector. The increased robustness that hydrogen as a fuel provides can also accelerate implementation.

Sammanfattning

Detta arbete har skrivits i samarbete med Kraftringen och projektet "Vätgas i tanken". Syftet med denna rapport är identifiera vätgasdrivna fordons roll i den framtida svenska fordonsflottan. Rapporten kommer därför undersöka när vätgasdrivna fordon kan komplettera batteridrivna fordon, BEV och biogasdrivna fordon, CBGV, framför allt när det gäller användningsområde. Rapportens syfte är också att analysera hur bränslecellsfordon, FCEV står sig i jämförelse med BEV och CGBV med avseende på total ägandekostnad och klimatutsläpp. Rapporten kommer också identifiera några av de hinder och möjligheter som finns vid implementering av vätgas som ett alternativt drivmedel.

Arbetet består av en intervjustudie där 10 aktörer från kommuner, kollektivtrafikbolag och fordonsindustrin har intervjuats. Dessa har bidragit med expertkunskap, erfarenheter samt tankar inför användning och implementering av vätgasdrivna fordon. Det gjordes även två kalkyler där FCEV, BEV och CBGV jämfördes. En total ägandekostnadskalkyl gjordes för att jämföra kostnaderna för att äga och driva fordonen. Det gjordes även en livscykelanalys där utsläppen för tillverkning och användning av fordonen jämfördes. Slutligen gjordes en känslighetsanalys där kostnader och utsläpp ändrades för att undersöka hur dessa faktorer påverkar kalkylerna.

Från arbetet framkom att de olika drivlinorna kompletterar varandra genom att de har olika styrkor och därmed fyller olika behov. Den svenska fordonsflottan kommer därför sannolikt att i framtiden bestå av flera olika miljövänliga drivlinor.

FCEV är framför allt att föredra för tunga lastbilar med tunga laster som behöver kunna köra längre sträckor. I applikationer där det är ett problem att fordonet står stilla en längre period för laddning kan FCEV, utöver tunga lastbilar, även vara lämpligt för personbilar. Inom en bussflotta kommer FCEV framför allt fungera som ett komplement till BEV i de fall då rutter inte kan elektrifieras eller då de är långt till laddinfrastruktur.

För samtliga drivlinor är bränslekostnaden den faktor som har störst påverkan på den totala ägandekostnaden. I de fall då publik snabbbladdning används för BEV är de totala ägandekostnaderna för FCEV och BEV likvärdiga. Den totala ägandekostnaden blir lägre ju högre den dagliga körsträckan är. Detta kan ses som en styrka för FCEV och CBGV då deras tanktider är betydligt kortare än laddtiden för BEV.

Den faktor som har störst påverkan på utsläppen för BEV är utsläppen från batteritillverkningen. Ifall ett svensktillverkat batteri används kan klimatpåverkan för BEV minska med runt 20 %. Den största påverkande faktorn för utsläppen, relaterade till FCEV, är utsläppen från bränsleförbrukningen. Ifall el producerat från vindkraftverk används vid produktionen av vätgas kan de totala utsläppen för FCEV bli lägre än för BEV. Den faktor som har störst påverkan på utsläppen för CBGV är utsläppen från bränsleförbrukningen. Utsläppen från fordonstillverkningen för CBGV är betydligt lägre jämfört med både BEV och FCEV.

Ett stort potentiellt hinder som vätgasimplementering står inför är otillräckligt utbyggd tankinfrastruktur.

Vätgas kan fylla fler funktioner än som drivmedel. Möjligheten att använda vätgas för energilagring och balansverktyg för elnätet kan båda bidra till ett ökat intresse för användning av vätgas. Detta kan också ha en positiv effekt på användning av vätgas inom transportsektorn. Den ökade robusthet som vätgas som drivmedel bidrar med kan också påskynda en implementering.

Förord

Detta examensarbete är utfört av Tomas Tengberg på Lund Tekniska Högskola vid institutionen för energivetenskaper under delar av hösten 2023 och våren 2024 och är skrivet i samarbete med Kraftringen.

Ett stort tack till min handledare, professor Öivind Andersson, för all värdefull hjälp, kunskap och alla intressanta diskussioner. Jag vill också tacka Ulrica Johansson på Kraftringen för möjligheten att få delta i projektet och värdefulla bidrag under arbetets gång.

Jag vill också rikta ett stort tack till Ann Kull för alla goda råd och fint stöd under min tid på LTH.

Till sist vill jag rikta ett stort tack till min sambo och övriga i familjen för ett otroligt fint stöd under hela min studietid. Jag vet att ni delar min glädje över att jag nu blir klar med utbildningen och kan se fram emot allt spännande som väntar.

Förkortningar

- BEV = Battery electric vehicle
- PHEV = Plug-in hybrid electric vehicle
- HYB = Hybrid
- HEV = Hybrid electric vehicle
- FCEV = Fuel cell electric vehicle
- CBGV = Compressed biogas vehicle
- ICE = Internal combustion engine
- H2ICE = Hydrogen internal combustion engine
- CNG = Compressed natural gas
- CBG = Compressed biogas
- H₂ = Vätgas
- CO₂ = Koldioxid
- GHG = Green house gases
- TCO = Total cost of Ownership
- LCA = Life cycle analysis

Begrepp

Drivlina – Beskriver de tekniska system av komponenter som driver fordonet.

Eldrivna fordon – Samlingsnamn som inkluderar BEV och FCEV

Elmix – Sammansättning av el som framställts från flera olika energikällor

HVO100 – Står för hydrerad vegetabilisk olja och är ett förnybart drivmedel för dieselmotorer

Laddbara fordon – Samlingsnamn som inkluderar BEV och PHEV

Stordriftsfördel – Beskriver att genomsnittskostnaden ofta minskar för en vara eller tjänst genom storskalig produktion

Innehållsförteckning

Abstract	3
Sammanfattning	4
Förord	5
Förkortningar	6
Begrepp	6
1. Introduktion	9
2. Inledning	10
2.1 Syfte och frågeställning	12
3. Bakgrund	13
3.1 Vätgas	13
3.1.1 Ångmetanreforming	13
3.2 Elektrolys	14
3.3 Eldrivna fordon	15
3.3.1 Bränslecell i fordon	15
3.3.2 Vätgaslagring	16
3.3.3 Verkningsgrad	17
3.3.4 Livslängden för batteri och bränslecell i eldrivna fordon	18
3.4 H2ICE	18
3.5 Fordonsgasdrivet fordon	19
3.6 Tank/laddtider, infrastruktur och räckvidder	20
3.6.1 Laddbara fordon	20
3.6.2 FCEV	21
3.6.3 Gasdrivna bilar	23
4. Metod	24
4.1 Intervjustudie	24
4.1.1 Syfte	24
4.1.2 Deltagare och urval	24
4.1.3 Intervjuernas utformning och genomförande	24
4.1.4 Databearbetning och analys	25
4.2 Total ägandekostnad	26
4.2.1 Fordonskostnaden	26
4.2.2 Livslängd och restvärde	28
4.2.3 Bränslekostnad	29
4.2.4 Underhållskostnader	30
4.2.5 Beräkningen	30

4.3 Livscykelanalys.....	31
4.3.1 Vagga-till-grind för fordonet	31
4.3.2 Källa-till-hjul för drivmedel	33
4.3.3 Livscykelutsläpp.....	34
5. Resultat	35
5.1 Intervjusammanställning	35
5.1.1 Kommuner.....	35
5.1.2 Kollektivtrafikbolag.....	37
5.1.3 Fordonsindustrin	38
5.2 Total ägandekostnad	40
5.3 Livscykelanalys.....	40
6. Känslighetsanalys	41
6.1 Totalkostnadsanalys	41
6.1.1 Energi och bränsleprisernas påverkan	41
6.1.2 Dagliga körsträckans påverkan	42
6.1.3 Komponenters kostnadspåverkan.....	43
6.2 Livscykelanalys.....	43
6.2.1 Fordonsutsläppen.....	43
6.2.2 Bränsleutsläppen.....	44
6.2.3 Bästa utfallet	44
6.2.3 Sannolikt scenario	45
7. Diskussion.....	46
8. Felkällor och framtida studier	50
8.1 Felkällor	50
8.2 Framtida Studier	50
9. Slutsats	50
10. Källhänvisning.....	51
11. Appendix	60
11.1 Intervjumall 1 – kommun	60
11.2 Intervjumall 2 – kommun	60
11.3 Intervjumall 3 – Kollektivtrafikbolag	61
11.4 Intervjumall 4 – Kollektivtrafikbolag	61
11.5 Intervjumall 5 – Fordonsindustri	62
11.6 Intervjumall 6 – Fordonsindustri	62
11.7 Intervjumall 7 – Fordonsindustri	63

1. Introduktion

Detta arbete är skrivet i samarbete med Krafringen. Krafringen driver ett Vinnovafinansierat projekt "Vätgas i tanken". Projektets syfte är att identifiera, och i möjligaste mån, undanröja hinder för en övergång till vätgasdrift inom de transportsektorer där det inte är lämpligt att elektrifiera. Lunds kommun, huvudägare i Krafringen, ska vara klimatneutrala år 2030 som en av de 100 europeiska städer inom programmet Viable Cities. Den absolut största utmaningen för att nå klimatneutralitet är transporter, och då i synnerhet personbilar och tunga fordon.

"Vätgas i tanken" har som mål att skapa en kostnadseffektiv och trygg värdekedja för förnybar vätgasproduktion och -distribution för att därigenom öka incitamenten för användning av vätgas som drivmedel inom transportsektorn. Detta innebär bl.a. att sondera marknaden avseende vätgasfordon, men också belysa vilka fossilfria drivmedel som är lämpade för vilka transporter. Detta examensarbete är en del i den jämförelsen och eftersom fossilt inte är ett alternativ i omställningen har dessa drivmedel inte tagits med.

Det förväntade resultatet av projektet "Vätgas i tanken" är:

- Framtagning av en optimal vätgasproduktionsanläggning baserat på lokala förutsättningar (storlek, lokalisering, flexibel styrning) för att minimera produktionskostnaden för lokal, förnybar vätgas.
- Framtagande av en kalkyl och finansiering samt samarbetskluster för att uppföra, driftsätta och äga en demonstrationsanläggning i Skåne.
- Kartlägga behov av och planer för närliggande tankstationer samt distribution av vätgas till dessa för en tryggad bränsletillgång.
- Definiera plan för inköp av vätgasdrivna fordon till kommuner och regionen.
- Spridning av resultatet för att implementera liknande installationer nationellt och internationellt.

2. Inledning

Det finns idag en rad olika typer av drivlinor i Sveriges fordonsflotta. Majoriteten av fordonen drivs på fossila drivmedel som diesel och bensin men mer miljövänliga alternativ som fordonsgas, etanol och förnyelsebar diesel, HVO100 är också väl etablerade. Laddbara fordon har det senaste årtiondet sett en markant ökning och laddinfrastrukturen för dessa fordon har också genomgått en kraftig utbyggnad. Ett drivmedel som ännu inte har etablerats ordentligt i den svenska fordonsflottan är vätgas (Trafikanalys 2024b). Denna rapport kommer att undersöka vätgasdrivna fordons roll i den framtida svenska fordonsflottan och kommer att jämföras med batteridrivna (battery electric vehicles, BEV) och biogasdrivna (compressed biogas vehicle, CBGV) fordon.

Information kring de vätgasdrivna fordonens egenskaper, såsom räckvidd och tanktid, finns tillgänglig. Däremot finns det begränsad information kring erfarenheter av vätgasdrivna fordon samt information angående de situationer då det framför allt är lämpligt att använda dem. Det är flera faktorer som spelar roll vid val av fordon. Kostnaden för inköp och drift för fordonet kan vara en faktor. En annan kan vara hur fordonet ställer sig gentemot andra alternativ ur ett utsläppsperspektiv för tillverkning och drift av fordonet. Jämförelsen kommer därför att göras med avseende på total ägandekostnad och klimatpåverkan för de olika drivlinorna.

Det kan också finnas unika styrkor och svagheter med olika drivlinor som kan påverka val av drivlina vid inköp. Att undersöka erfarenheter kring andra drivlinor kan därför vara ett värdefullt verktyg när rollen för vätgasdrivna fordon ska identifieras. För att förstå de krav och behov som olika aktörer har kommer intervjuer genomföras med kommuner, kollektivtrafikbolag och fordonsindustrin. Dessa kan också vara mottagare av resultaten som presenteras denna rapport.

I rapporten Wang m.fl. (2024) beräknas de totala kostnaderna för att äga och driva lastbilar med olika typer av drivlinor. De typer av drivlinor man jämför är batteridrivna lastbilar (battery electric vehicles, BEV), bränslecellsdrivna (fuel cell electric vehicle, FCEV) och dieseldrivna. Resultatet av beräkningarna i rapporten visar att den totala ägandekostnaden, TCO för både BEV och FCEV är högre än ägandekostnaden för en dieseldriven lastbil. Kostnaden för en BEV är mellan 11–33 % högre jämfört med ägandekostnaden för en dieseldriven. Skillnaden i ägandekostnad mellan FCEV och dieseldriven är ännu större. Rapporten redovisar ett spann på 37–78 % högre kostnad för FCEV jämfört med en dieseldriven lastbil.

Av beräkningarna som görs framgår att det framför allt är dyrare komponenter i fordonet som bidrar till de högre kostnaderna. Då skillnaden i kostnad trots allt är mindre för en BEV än FCEV, anses BEV vara ett alternativ till dieseldriven lastbil sett till den totala ägandekostnaden. Däremot har FCEV en fördel när det gäller att uppfylla högre krav på körsträcka och kan i de fallen ses som ett alternativ trots de högre ägandekostnaderna.

Rapporten utgår ifrån Storbritanniens perspektiv och använder därför också t.ex. de bränslepriser som gäller där. I rapporten nämns att den näst största påverkande faktorn för totala ägandekostnaden, efter batterikostnaden, för BEV är kostnaden för laddning. Rapporten fokuserar dock endast på kostnaden för elektriciteten och tar inte med kostnaden för laddinfrastruktur i sina beräkningar.

I denna rapport kommer bränslepriser som representerar den svenska marknaden att användas. Dessutom tas kostnaden för att använda publika snabbbladdare med i kalkylen. Detta gör det möjligt att närmare undersöka hur den totala ägandekostnaden för BEV påverkas ifall körmönstret kräver tillgång till snabbbladdning. Dessutom kommer kalkylerna att i stället för en dieseldriven lastbil,

inkludera en biogasdriven lastbil för att också kunna jämföra FCEV med ytterligare ett fossilfritt alternativ.

Livscykelanalys undersöker utsläppen relaterade till tillverkning och användning av ett fordon. Detta arbete kommer använda samma tillvägagångssätt som rapporten Wolf m.fl. (2020) vid beräkning av fordonens utsläpp. Tillvägagångssättet som används innebär att fordonen delas upp i dess komponenter och utsläpp beräknas per komponent. Beräkningen innefattar också transport av komponenter och utsläppen från dessa ingår därför i analysen. I rapporten jämförs utsläppen för ICEV, BEV, PHEV och HEV.

Detta arbete kommer i stället jämföra utsläppen för tillverkning och användning av tunga lastbilar med de fossilfria drivlinorna BEV, FCEV och biogas. Hur bränslet är framtaget och var det produceras, har en stor påverkan på dess utsläpp. Denna rapport kommer därför räkna med bränslen som är producerade i Sverige för att representera användning av fordonet här.

2.1 Syfte och frågeställning

Syftet med denna rapport är identifiera vätgasdrivna fordons roll i den framtida svenska fordonsflottan. Rapporten kommer därför undersöka när vätgasdrivna fordon kan komplettera BEV och CGBV, framför allt när det gäller användningsområde. Rapportens syfte är också att analysera hur FCEV står sig i jämförelse med BEV och CGBV med avseende på total ägandekostnad och klimatutsläpp. Rapporten kommer också identifiera några av de hinder och möjligheter som finns vid implementering av vätgas som ett alternativt drivmedel. Följande frågeställningar kommer därför att belysas i rapporten.

1. Hur kan FCEV komplettera BEV och CGBV-fordon avseende användningsområde?
2. Vilka faktorer spelar störst roll för den totala kostnaden för att äga och driva de olika fordonen?
3. Vilka faktorer spelar störst roll för de olika fordonens klimatpåverkan, avseende tillverkning och drift?
4. Vilka potentiella möjligheter och hinder finns vid implementering av vätgas som ett alternativt drivmedel inom transportsektorn?

3. Bakgrund

Syftet med detta avsnitt är att ge förståelse för de begrepp som kommer användas i rapporten. Avsnittet inleds med en förklaring av vad vätgas är samt hur det produceras. Hur bränslecellsfordon, FCEV fungerar och hur dessa skiljer sig från batterieldrivna fordon, BEV. Biogasdrivet fordon, CBGV kommer också beskrivas samt hur dessa tre drivlinors fordonsflottor ser ut i Sverige idag. Därefter görs även en beskrivning av livslängderna för viktiga komponenter i fordonen och hur dessa kan påverkas beroende på hur användningen av dem ser ut. Bakgrundsavsnittet kommer avslutas med en kortare beskrivning av ytterligare två drivlinor, dels biogasfordon som använder flytande biogas, LBGV, dels vätgasförbränningsfordon H2ICEV.

3.1 Vätgas

Vätgas består av två väteatomer (H) och har den kemiska beteckning (H₂) (Vätgas Sverige u.å. a).

Vätgas är likt elektricitet en energibärare och kan användas för att lagra, transportera och ge energi (Energigas Sverige 2024a). Vätgas har också många andra användningsområden. I den kemiska industrin kan den till exempel med hjälp av *Haber Processen* användas för framställning av ammoniak vilket sen kan användas som gödslingsmedel inom jordbruket (Royal Society of Chemistry 2024).

Det behövs energi för att producera vätgas. Hur pass miljövänlig vätgasen är beror på vilken typ av energi som används vid produktion. (Energy Education u.å. a) Vätgas kan produceras på flera olika sätt. Ett sätt är att producera vätgas från bränslen som naturgas, kol och biogas genom processen *ångmetanreforming* (steam methane reforming). Vätgas kan också framställas från biomassa med metoden *biomassaförgasning* (biomass gasification). En tredje metod är genom *elektrolyprocess* där vattenmolekyler spjälkas för att producera vätgas (Energy.gov u.å.). I avsnitten nedan kommer den vanligaste metoden *ångmetanreforming* beskrivas närmare samt *elektrolyprocessen* som är den metod som lyfts fram i projektet "Vätgas i tanken" och är därför aktuell i denna rapport.

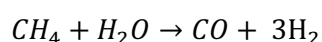
3.1.1 Ångmetanreforming

I dagsläget är ungefär 95 % av all vätgas i Europa producerad genom ångmetanreforming. Metoden använder vattenånga med en temperatur på mellan 700 – 1000 °C som producerar vätgas från en metankälla (CH₄) som naturgas, biogas eller kol. Ångan och metanet blandas i en reaktor med en katalysator vid trycket 3–25 bar och genererar då kolmonoxid (CO), koldioxid (CO₂) och vätgas (H₂).

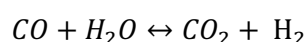
Nästa steg i processen kallas för *vattengasskiftreaktion* och är en process för att öka mängden vätgas ytterligare. Vattenånga och kolmonoxiden (CO) reagerar här också i en katalysator och genererar då vätgas (H₂) och koldioxid (CO₂).

Processens kemiska omvandling beskrivs nedan.

Ångmetanreforming



Vattengasskiftreaktion



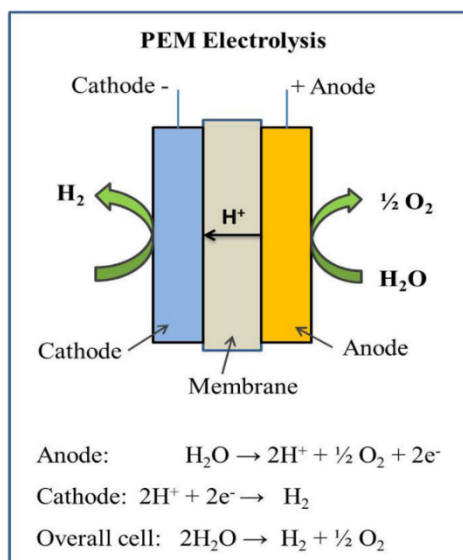
Ångmetanreforming anses vara en effektiv metod men med höga koldioxidutsläpp. Vätgas som produceras från fossilt bränsle kallas för *grå vätgas* och är som tidigare nämnts den vanligaste typen av vätgas. Vätgasen kan betecknas som *blå vätgas* om "koldioxidavskiljning och lagring (carbon capture and storage, CCS)" används. *Blå vätgas* är betydligt bättre för miljön men kräver också ytterligare infrastruktur och energi och därmed ökade kostnader (Demaco 2024).

3.2 Elektrolys

Ett annat sätt att producera vätgas är genom elektrolys. Processen använder elektricitet för att dela på vattenmolekyler (H_2O) till vätgas (H_2) och syrgas (O_2) (Energy.gov u.å. b). I dagsläget är ungefär 4 % av världens vätgas producerat med elektrolys (Irena u.å.). De två vanligaste typerna av elektrolyser är *protonutbytesmembran (proton exchange membrane, PEM)* och *alkalisk elektrolys (ALK)* (Vätgas Sverige u.å. b).

Protonutbytesmembranelektrolys (PEM)

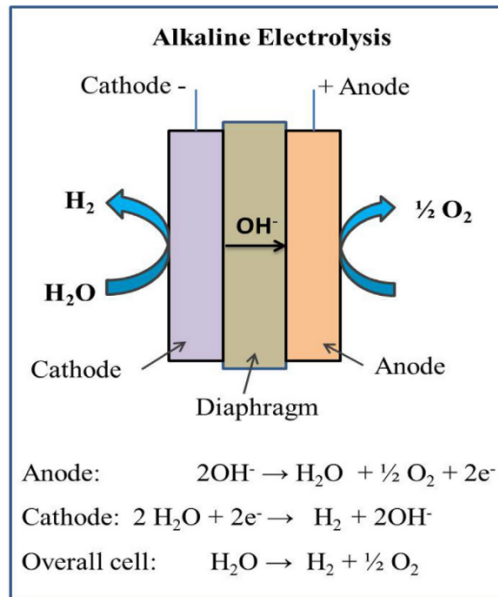
I en PEM-elektrolys delas vattenmolekylerna till vätgas och syrgas i de två elektroderna, katoden och anoden. Elektrolysen fungerar genom att vatten pumpas in i anoden där den delas till syrgas (O_2), positivt laddade väteatomer, protoner (H^+) och elektroner (e^-). Vätejonerna passerar sedan genom protonmembranet, som bara tillåter positivt laddade atomer att passera till katodsidan. Elektronerna lämnar anodsidan via en extern krets för att förse reaktionen med den nödvändiga spänningen. Om det inte läggs en spänning över elektroderna kommer reaktionen att gå åt motsatt håll. Kortfattat beskriver detta en *PEM-bränslecell* vilken beskrivs närmare i avsnitt 3.3.1.



Figur 1. Beskrivning av en PEM-elektrolys (Shiva Kumar & Himabindu 2019)

Alkalisk elektrolys (ALK)

För en alkalisk elektrolyt används en alkalisk lösning, ofta en blandning av kaliumhydroxid (KOH) och natriumhydroxid (NaOH) i stället för protonmembranet i PEM-elektrolysen. Processen börjar vid katodsidan där den alkaliska lösningen är reducerad till en vätgasmolekyl (H_2) och två hydroxidjoner (OH^-). Den producerade vätgasmolekylen lämnar katodytan och hydroxidjonerna passerar över till anodsidan genom att en spänning läggs över elektroderna. Väl på anodsidan blir hydroxidjonerna till syrgas och vatten.



Figur 2: Beskrivning av Alkalisk elektrolys. (Shiva Kumar & Himabindu 2019)

Om elektriciteten som används vid elektrolys är förnyelsebar så kan den producerade vätgasen anses som *grön vätgas*. I detta arbete kommer det vara grön vätgas som antas användas vid de beräkningar som genomförs. Alla antaganden kring vätgas kommer också göras med *grön vätgas* som referens. Skälet till detta är att då processen att framställa grön vätgas endast kräver vatten och förnyelsebar el har denna typ av vätgas lägst klimatpåverkan.

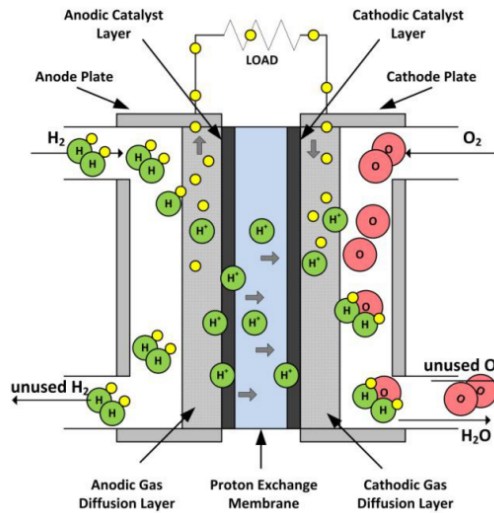
Alkalisk elektrolys är en etablerad teknik som har en verkningsgrad på runt 70–80 % och dess kostnad är lägre än PEM-elektrolysen. En av anledningen till den högre kostnaden för PEM är att ädelmetaller som platina, palladium, iridium och rutenium används. PEM-elektrolysen har dock en högre verkningsgrad på kring 80–90 % och vätgasen som produceras är också renare (Shiva Kumar & Himabindu 2019).

3.3 Eldrivna fordon

Eldrivna fordon använder elektricitet för att driva en elmotor. Skillnaden mellan ett bränslecellsdrivet (fuel cell electric vehicle, FCEV) och ett batteridrivet (battery electric vehicle, BEV) fordon är var elektriciteten kommer ifrån. I en BEV drivs elmotorn med elektriciteten som är lagrad i fordonets batteri. Batterikapaciteten avgör räckvidden som fordonet kan köra. En FCEV driver också sin elmotor med elektricitet men i stället för att den är lagrad i ett batteri används en *bränslecell* för att omvandla vätgas till elektricitet som driver elmotorn. En FCEV har likt BEV även ett batteri, dess uppgift handlar mer om att jämna ut belastningen på bränslecellen vid exempelvis acceleration och inbromsning samt möjliggöra regenerativ bromsning (U.S Department of energy u.å. a). I avsnitten 3.3.1 och 3.3.2 nedan kommer bränslecellen i en FCEV beskrivas närmare och även hur vätgas lagras i fordonet.

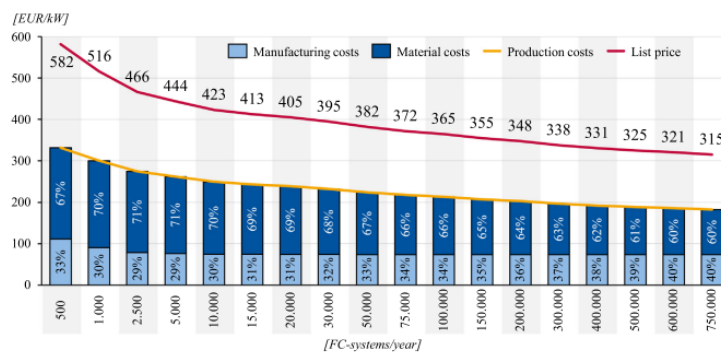
3.3.1 Bränslecell i fordon

Den vanligaste typen av bränslecell i fordonapplikationer är PEM-bränslecellen (U.S Department of energy u.å. b). Bränslecellen fungerar på liknande sätt som har beskrivits i avsnittet om elektrolys fast i motsatt riktning. Vätgasens protoner färdas genom anoden till katoden genom elektrolytmembranet medan dess elektroner överförs via en extern krets. Väl vid katodsidan reagerar protonerna med syrgas och bildar vatten och spillvärme. Processen genomförs om det finns en last över den externa kretsen, exempelvis från elmotorn (Alswad m.fl. 2016).



Figur 3. PEM-bränslecellens process. (Färçaş & Dobra 2014)

En av de största kostnaderna för det vätgasdrivna fordonet är dess bränslecell. Uppgifterna om kostnaden för en bränslecellstack i SEK/kW effekt skiljer sig mycket mellan olika rapporter och källor. Kostnaden är ofta en *förväntad* kostnad eller en *prognos* för hur priset kommer att utvecklas. En anledning till detta är att kostnaden är nära kopplad till produktionsvolymen. I rapporten Kampker m.fl. (2023) tas kostnader fram för bränslecellen som är baserade på hur många enheter som produceras i en fabrik per år. Rapporten visar på en tydlig minskning av kostnaden mellan 500 – 2500 producerade enheter per år men att denna skillnad snabbt avtar efter 2500 enheter. De menar att vid relativt låga produktionsvolymen följer kostnaden en typisk stordriftsfördel (Economies of scale) medan kostnaden efter dessa intervaller är relativt konstant. En anledning till detta som tas upp i rapporten är att fabriker i dagsläget är begränsade vid 2500 producerade enheter per år och att ytterligare tillverkningsresurser skulle krävas för att ytterligare sänka produktionskostnaderna. Den presenterade kostnaden för bränsleceller utifrån dess produktionsvolym visas i figur 4 nedan.



Figur 4. Bränslecellskostnader baserat på tillverkningsvolym. (Kampker m.fl. 2023)

3.3.2 Vätgaslagring

Energitäthet för ett ämne kan beskrivas som dess lagrade energi per volym- eller massenhet (Energy Education u.å. b). Vätgas har en relativt hög energitäthet per massenhet på 39,39 kWh/kg (Manoharan m.fl. 2019). Detta kan jämföras med energitätheten för ett litium-jonbatteri för BEV som har ett betydligt lägre värde på 0,207 kWh/kg (Aguilar & Gross 2022). Energitätheten för vätgas

och litium-jonbatteri skiljer alltså med en faktor på runt 200. Vätgasens energitäthet per volymenhet är däremot väldigt låg. Vid atmosfäriskt tryck (1 bar) ligger energitätheten på 0,003 kWh/liter. Detta kan jämföras med bensin och diesel som har en energitäthet på 34,2 respektive 34,6 kWh/liter (Mazloomi & Gomes 2012). Då energitätheten avgör storleken på den bränsletank som krävs samt hur mycket bränsle fordonet kan bära med sig, innebär det att energitätheten direkt är kopplad till fordonets räckvidd. Det belyser verkligen vikten av att öka vätgasens energitäthet per volymenhet.

Genom komprimering av vätgasen ökar dess energitäthet. I dagens vätgasdrivna fordon är vätgasen ombord komprimerad till mellan 350 – 700 bar vilket leder till att vätgasens energitäthet per volymenhet ligger mellan 0,92 – 1,55 kWh/liter (Cheng m.fl. 2024). För att kunna transportera den komprimerade vätgasen lagras den i vätgastankar som klarar högt tryck.

Dessa cylindriska tankar kategoriseras i fyra olika typer.

Typ I som är den vanligaste typen är gjord av aluminium eller stål. Detta resulterar i att vikten på tanken är hög men kostnaden är relativt låg. Tankar av typ I klarar tryck upp till 50 bar.

Typ II är gjord av stål men dess långsidor är inlindade i ett *glasfiberkompositöverdrag*, vilket resulterar i att den klarar ett högre tryck samtidigt som vikten för tanken minskar med 30–40 %. Kostnaden för en typ II cylinder är runt 50 % högre än för typ I.

Typ III är gjord av aluminium men är helt inlindad i ett *kompositöverdrag* och klarar därför tryck upp till 450 bar. Vikten är halverad jämfört med typ II, men kostnaden är dubbelt så hög.

Typ IV är gjord helt av kompositer, där de andra typerna har en stål- eller aluminiumcylinder är typ IV gjord av en *högdensitetspolymer* som är inlindad i ett *kolfiberkompositöverdrag*. Detta resulterar i att tankar av typ IV kan klara tryck upp till 1000 bar. Detta är dock ofta det dyraste alternativet (Hosseini 2023).

Vätgas kan också vara i flytande form genom att vätgasen kyls ned till väldigt låga temperaturer runt -253°C vilket ökar dess energitäthet per volymenhet ytterligare till runt 2,76 kWh/liter (Cheng m.fl. 2024). Detta är framför allt användbart vid transporter av mycket vätgas, exempelvis för en tankbil.

Processen för nedkylning är dock väldigt energikrävande och den behövda energin är ekvivalent med ungefär 40 % av vätgasens energiinnehåll, jämförelsevis är den behövda energin för komprimering till 700 bar ekvivalent med ungefär 10 % av vätgasens energiinnehåll. Utöver nedkylningsprocessen behövs även energi för att hålla vätgasen nerkyld (Hosseini 2023).

Vätgasen behöver också lagras i isolerade tankar för att minimera eventuella värmeförluster. Dessa förluster är dock oundvikliga trots en isolerande tank. Förlusterna är i form av avkokad vätgas och beror på tankens design och storlek. I vissa fall kan förlusten vara upp till 0.4 % av vätgasen per dag (Langmi m.fl. 2022). När temperaturen i tanken stiger, ökar också trycket i den. När ett maxtryck har nåtts behöver tanken ventileras för att få ner trycket (Ghaffari-Tabrizi, Haemisch & Lindner 2022). Detta kan utgöra en säkerhetsrisk ifall ventileringen inte kan genomföras. På grund av energibehovet för nedkylningen, samt den oundvikliga avkokningen har flytande vätgas ett begränsat användningsområde i dagsläget (Langmi m.fl. 2022).

3.3.3 Verkningsgrad

Vid jämförelse mellan de eldrivna fordonstyperna har BEV en bättre verkningsgrad om man utgår ifrån perspektivet "källa-till-hjul" som tar hänsyn till produktionen av bränslet och eventuella förluster tills det att elmotorn får fordonet att rulla vid hjulen. Verkningsgraden för BEV-personbil är runt 70 % medan verkningsgraden för en FCEV är runt 20 %. Anledningen till detta är att BEV

använder elektriciteten direkt från nätet medan FCEV först behöver omvandla elektriciteten till vätgas genom elektrolysprocessen för att sedan omvandla vätgasen tillbaka till elektricitet i bränslecellen. Båda processerna har förluster som bidrar till den lägre verkningsgraden (IEA u.å.). Ur ett energianvändningsperspektiv kan därför BEV antas vara mer energieffektivt och därmed föredras. Det finns dock applikationer där FCEV är mer tekniskt lämpligt vilket visar på att de olika drivlinorna kan komma att *komplettera* varandra beroende på hur fordonet kommer att användas. Detta kommer diskuteras närmare, senare i rapporten.

3.3.4 Livslängden för batteri och bränslecell i eldrivna fordon

Livslängden för ett batteri beskrivs med antal laddcykler, där en laddcykel är en full laddning av batteriets kapacitet. Om ett batteri är 50 % laddat och därefter laddas till fullt, har en halv laddcykel genomförts. När batteriet i en BEV genomgår en laddcykel förlorar det lite av sin lagringskapacitet. Batteriets livslängd mäts genom det antal laddcykler det kan genomgå tills dess att batterikapaciteten är 80 % av ursprunglig kapacitet (Ou 2023).

En del faktorer kan påverka livslängden för batteriet. Ladd- och urladdningshastigheten, C är en sådan faktor. C_{laddning} beskrivs som laddeffekten dividerat med batteriets kapacitet och $C_{\text{urladdning}}$ beskrivs som urladdningseffekten dividerat på batterikapaciteten. Om en BEV har ett batteri med kapaciteten 50 kWh och laddar det med en effekt på 100 kW är laddhastigheten $2 C_{\text{laddning}}$.

I rapporten Faria m.fl. (2014) gjordes ett experiment med olika körstilar. En körstil var en ekonomisk körstil där fordonets luftkonditionering även var avstängd och hade därför en låg urladdningshastighet på $0.4 C$. En annan stil var en aggressiv körstil och där luftkonditioneringen var på och hade därför en högre urladdningshastighet på $0.8 C_{\text{urladdning}}$. I deras exempel åldrades batteriet mycket snabbare vid ett högre C -värde. Fordonet med batteriet som laddades ur med $0.8 C$ kunde köra 42–50 % kortare totalt sträcka under sin livslängd jämfört med fordonet vars batteri hade $0.4 C$. Rapporten Du m.fl. (2019) kom fram till att takten som batteriet förlorar kapacitet ökar drastiskt om laddhastigheten är högre än $3C$.

Kallt klimat kan påverka litiumbatteriets prestanda då temperaturen påverkar den hastighet som litiumjonerna kan förflyttas mellan elektroderna (Ma m.fl. 2018). För att motverka detta installeras elektriska värmare för att höja batteriets temperatur. Uppvärmningen förbrukar energi vilket leder till att fordonets energiförbrukning ökar. Detta kan leda till att fordonets räckvidd minskar med upp till 30 % (Steinstraeter, Heinrich & Lienkamp 2021).

Liksom för batterier finns det faktorer som påverkar bränslecellens livslängd. Man bedömer att livslängden för bränslecellsstacken kommer nå målen på 25 000 timmar i tunga lastbilar. Alla faktorer som minskar livslängden för bränslecellen är kopplade till hur belastningen på bränslecellen sker. De två största påverkande faktorerna är belastningscykeln på bränslecellen samt antalet start och stopp som bränslecellen utsätts för. Som tidigare nämnt kan FCEV-fordonets batteri hjälpa till att jämna ut dessa belastningar för att minska påverkan av dessa faktorer samt öka bränslecellens verkningsgrad (Dirkes m.fl. 2023).

3.4 H2ICE

H2ICE betyder hydrogen internal combustion engine. Ett H2ICE-fordon använder alltså en förbränningsmotor som drivs med vätgas. Det är en relativt ny teknik som både har fördelar och nackdelar jämfört med ett FCEV. Som beskrevs i ett tidigare avsnitt består utsläppen från ett FCEV endast av vatten. Förutom vatten släpper ett H2ICE-fordon ut lite koldioxid och dessutom kväveoxider (Srna u.å.). Koldioxidutsläppen kan tyckas förvånande då vätgas inte innehåller något kol, men utsläppen uppstår dels vid förbränning av små mängder smörjolja i cylindern, dels vid avgasreningen. Avgas efterbehandlingssystemet använder nämligen AdBlue för att reducera

kväveoxider, vilket innehåller kolväten. H2ICE-fordon kan även ibland använda lite diesel för att antända vätgasen i cylindern, vilket också kan bidra till de små utsläppen (Westport u.å.). Demonstrationsfordon har visat att man med tekniska lösningar i dagsläget nästan kan minska dessa utsläpp till noll. Detta skulle kunna möjliggöra att H2ICE-fordon kan bli klassade som nollutsläppsfordon (zero-emission vehicle, ZEV).

I dagsläget är verkningsgraden för FCEV ofta högre jämfört med H2ICE vilket i så fall leder till att H2ICE får högre bränsleförbrukning. Kostnaden för fordonet är dock lägre och en dieselmotor skulle kunna anpassas för att förbränna vätgas. H2ICE har också visat på en lägre känslighet för vibrationer jämfört med FCEV. Detta kan vara en styrka för H2ICE i exempelvis industrifordon, där vibrationer skulle kunna utgöra ett problem för bränsleceller (Srna u.å.).

3.5 Fordonsgasdrivet fordon

Begreppet fordonsgasdrivet fordon inkluderar fordon som drivs på antingen biogas eller naturgas. I Sverige idag består 95 % av den komprimerade fordonsgasen av biogas, CBG och för flytande fordonsgas består 78 % av flytande biogas, LBG (Energigas Sverige 2024b). Utsläppen från ett CBG fordon har ca 90 % lägre utsläpp jämfört med bensin och dieselfordon och cirka 25 % lägre än naturgasfordon CNG. Likt vätgas är biogasen i fordonen komprimerad för att öka dess energitäthet. Fordonen behöver därför gastankar för att transportera bränslet. Idag är biogas komprimerad till 200 bar (Energigas Sverige 2023a).

Ett fordonsgasdrivet fordon är likt ett bensindrivet fordon på så sätt att det ofta använder samma förbränningsprocess av bränslet. Det finns också fordon som har en mindre bensintank och kan drivas på både fordonsgas och bensin som förvaras i separata bränsletankar (U.S Department of energy u.å. c).

I denna rapport kommer det fokuseras på biogasdrivna fordon och vidare i rapporten kommer biogasdrivna fordon betecknas som CBGV.

3.6 Tank/laddtider, infrastruktur och räckvidder

När det kommer till ladd- och tankinfrastruktur finns det möjligheter och hinder för både eldrivna och vätgasdrivna fordon. I avsnittet nedan kommer dessa möjligheter och hinder rörande ladd- och tankstationer, ladd- och tanktid samt räckvidden att presenteras från drivlinornas perspektiv för att underlätta förståelsen kring deras styrkor och svagheter. *Avsnitten 3.6.1 – 3.6.3* beskriver dagens samt en tänkt framtida situation för de olika drivlinorna.

3.6.1 Laddbara fordon

Utvecklingen för den laddbara fordonsflottan i Sverige det senaste året kan beskrivas som starkt där 58 % av nyregistrerade personbilar var antingen el eller laddhybridbilar. Under 2023 ökade antalet laddbara fordon med ett genomsnitt på 11 766 per månad vilket låg i linje med den genomsnittliga ökningstakten för 2022, vilket var 11 712. Detta tyder på att den tidigare trenden där det varit en ökning i elektrifieringstakten har avtagit under 2023. Anledningar till denna inbromsning kan bero på flera faktorer, geopolitiska oroligheter och osäkerheter kring den nationella och internationella ekonomin samt att klimatbonusen för personbilar upphörde hösten 2022 (PowerCircle 2024).

Antalet laddbara lastbilar ökade under 2023 med 123 % för tunga lastbilar och 59 % för lätta lastbilar (PowerCircle 2024). Totalt var det 511 tunga eldrivna lastbilar i drift 2023 varav 482 var enbart eldrivna (Trafikanalys 2024a). Denna ökning skulle kunna vara ett resultat av den klimatpremie som Energimyndigheten har vid inköp av lastbilar och bussar. Premien gäller:

- Bussar som drivs av el med ett batteri, en bränslecell och hybridbussar som använder förnyelsebart bränsle.
- Lätt eldriven lastbil som drivs enbart av el från batterier eller bränslecell
- Tung lastbil som drivs enbart på el från batteri eller bränslecell. Hybridlastbil som drivs med el samt ett förnybart bränsle. Fordonsgaslastbil som drivs med biogas. (Energimyndigheten 2023a)

I dagsläget finns det ungefär 4 700 publika laddstationer med 34 400 laddpunkter för laddbara fordon i Sverige. Om laddeffekten är över 22 kW klassas det som snabbaddning och av Sveriges laddpunkter är 13 % i den kategorin (PowerCircle 2024).

Nedan visas de olika typerna av laddeffekter vilket kan delas in i tre olika typer. Uppskattad laddtid till 80 % kapacitet presenteras också för en BEV med en batterikapacitet på 60 kWh.

- Nivå 1: 1kW
Laddning sker genom en AC-kontakt, vanligtvis i ett hem och tar mellan 40 – 50 timmar för en full laddning.
- Nivå 2: 7kW – 19kW
Är vanligt vid hem, arbetsplatser och publika laddstationer. En full laddning tar mellan 4 – 10 timmar. Estimerat till 15 – 30km räckvidd per timme laddat.
- DC Snabbaddning: 50 – 350kW
Endast vid publika laddstationer. En full laddning tar mellan 20 minuter – 1 timme. Laddeffekten varierar mellan laddstationer och vilket typ av BEV som laddas. Estimerat till 290 – 390 km räckvidd per timme laddat (U.S Department of Transportation 2023).

Räckvidden för BEV skiljer sig åt beroende på bilmodell och batteristorlek. Den genomsnittliga räckvidden för en BEV-personbil år 2021 var 349 km (IEA 2022).

Majoriteten av de laddstationer som finns för tillfället är anpassade för personbilar men det sker investeringar för laddpunkter för lastbilar. Energimyndigheten har haft ett program som kallats för *regionala elektrifieringspiloter för tunga transporter* vars syfte har varit att bygga upp en strategisk planerad publik ladd- och tankstationer för el och vätgas som är anpassade för godstrafik. Hittills har det beviljats stöd för;

- 237 laddstationer
- 12 vätgastankstationer
- En kombinerad ladd- och vätgasstation (Energimyndigheten 2024).

Volvo Trucks menar att lastbilar som drivs el med ett batteri inledningsvis kommer att behöva laddas över natten vid hemmabasen. Med en AC-laddare på 43kW skulle de ta tio timmar att ladda batteriet från tomt till fullt men att man med en DC-laddare på 250kW skulle kunna reducera denna tid till endast två timmar (VolvoTrucks 2022a). Denna laddtid beror självklart på storleken på batteriet.

En rapport från Trafikverket menar att för *snabbladdning* av en eldriven lastbil så behövs en effekt på mellan 300 – 1000 kW och en sådan publik laddpunkt skulle uppskattningsvis kosta runt 5 000 SEK/kW. En rekommenderad laddpunkt på 1MW skulle då kosta runt 5 miljoner SEK och inkluderar då kostnader för förstärkning av elnät och övriga kostnader som betallösning. Det tas dock upp i rapporten att det ofta installeras fler laddpunkter under samma period och att det skulle kunna reducera den totala kostnaden. Det tas även upp att laddinfrastrukturen för tunga lastbilar inte är välutvecklad och att kostnadsbilden är därför fortfarande oklar. Den presenterade kostnaden inkluderar inte heller kostnaden för marken där laddpunkterna kommer installeras.

Listan nedan visar de potentiella räckvidderna för de olika lastbilstyper som tas upp i rapporten. Räckvidderna beror på batteristorleken och bränsleförbrukningen. De utgick från att 80 % av batteriets kapacitet används.

- 1. *Citylastbil* med batterikapacitet på 150 – 250kWh. Förbrukning på 0,8–1,0 kWh/km med räckvidd mellan 150–200 km.
- 2. *Regionallastbil* med batterikapacitet på 375 – 600 kWh. Förbrukning på 1,0–1,2 kWh/km med räckvidd mellan 300–400 km.
- 3. *Fjärrtranssportlastbil* med batterikapacitet på 600 – 1050 kWh. Förbrukning på 1,2–1,4 kWh/km med räckvidd mellan 400–600 km (Karlström 2020).

3.6.2 FCEV

Antal vätgasdrivna personbilar i Sverige idag är få. För tillfället hamnar vätgasdrivna fordon under kategorin *Övrigt* i Trafikanalys fordonsdeklaration för 2023 tillsammans med bränslen som gasol och okända bränslen. Antalet personbilar i kategorin *Övrigt* var år 2023 totalt 271 och har varit relativt konstant de senaste 10 åren. Antalet lätta lastbilar i kategorin var 43 och tunga lastbilar stod för 18 (Trafikanalys 2024b).

Idag finns det endast 6 tankstationer för vätgas i Sverige vilket är en stor skillnad i jämförelse med antalet laddstationer (Vätgas Sverige u.å. c). Det finns planer på att bygga ut antalet vätgastankstationer i Sverige de kommande åren med hjälp av olika stöd.

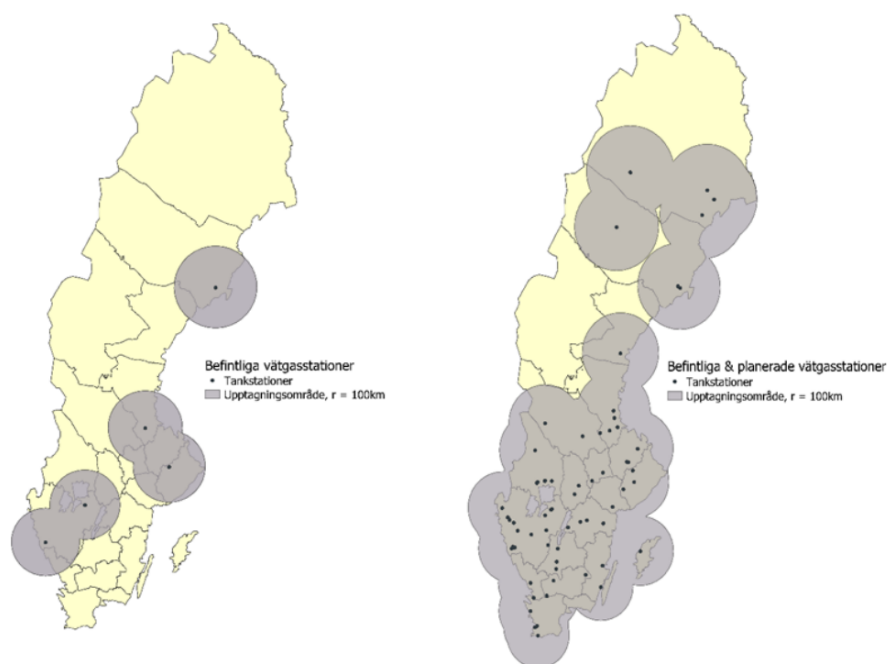
Som nämnt i tidigare avsnitt så har det beviljats stöd för anläggning av 13 vätgastankstationer som skall vara anpassade för godstrafik genom programmet *elektrifieringspiloter för tunga transporter* (Energimyndigheten 2024).

Naturvårdsverket har också haft program för investeringsstöd till vätgastankstationer genom Klimatvalet och kriterier för att få det stödet har varit att:

- Tankstationen ska minst ha kapacitet för att leverera 2000 kg vätgas / dag. Detta är ekvivalent med 40 tunga lastbilar med 50kg vätgastank.
- Det får inte upprepade gånger ske att ett fordon som önskar att tanka vätgas inte kan erbjudas tankning.
- Tankstationerna ska fram tills 2035 erbjuda något eller en kombination av följande:
 - Vätgas som producerats med förnybar el i en elektrolysör
 - Vätgas som producerats genom reformering av biogas
 - Vätgas som producerats genom förgasning av biomassa
- Efter 2035 skall endast vätgas som producerats med förnybar el i en elektrolysör erbjudas vid tankstationerna.

Vätgastankstationerna skall också följa standarder som finns vid tankning samt möjliggöra för tunga fordon att tanka. Hittills har 39 vätgasprojekt beviljats detta stöd (Naturvårdsverket 2024).

Det finns också stöd från EU genom programmen Greater 4H och Nordic Hydrogen Corridor. Totalt har 12 vätgastankstationer beviljats stöd via dessa EU-program. Figur 5 nedan visar befintliga tankstationer (vänster) med en uppskattad täckningsgrad på 100 km samt de planerade tankstationerna (höger) och dess täckningsgrad (Trafikverket 2023).



Figur 5. Befintliga vätgastankstationer (vänster) och planerade vätgastankstationer (höger) (Trafikverket 2023)

Räckvidden för vätgasdrivna personbilar, likt laddbara personbilar skiljer sig beroende på fordonmodell och bränsletanksstorlek. Toyota Mirai en av de populäraste vätgasdrivna personbilarna i världen har en räckvidd på ca 650 km men sin bränsletank på 5,6 kg vätgas. Fordonstillverkaren menar också att en full tankning tar mellan 4–5 minuter (Toyota 2024).

Volvo Trucks har kört tester på sina vätgaslastbilar och menar att räckvidden är upp till 1000 km med en tanktid på mindre än 15 minuter. Det är fortfarande tidigt att säga mer exakt då testerna ute i kommersiell trafik kommer att starta först år 2025 (VolvoTrucks 2022b).

3.6.3 Gasdrivna bilar

Antalet gasdrivna personbilar har de senaste åren sjunkit från ett högsta antal på 43 706 år 2017 till ett lägsta år 2023 på 36 528 st. När det kommer till lastbilar har antalet lätta gasdrivna lastbilar i Sverige varit relativt konstant de senaste åren med en mindre minskning år 2023 till totalt 7 975. Den fordonskategorin där det har varit en ökning har varit för tunga lastbilar. Mellan åren 2022 och 2023 ökade antalet tunga lastbilar som är drivna på fordonsgas med nästan 38 %. Bland tunga lastbilar är fortfarande diesel det vanligaste drivmedlet i fordonsflottan men fordonsgas var det näst vanligaste med totalt 2 568 (Trafikanalys 2024b).

Idag finns det runt 200 publika tankstationer för fordonsgas (Energigas Sverige 2024c) och 29 för flytande fordonsgas (Energigas Sverige 2024d). Räckvidden för gasdrivna personbilar varierar beroende på storleken på tankarna. Räckvidden ligger mellan 200 – 500 km om enbart gas används. Denna räckvidd kan förlängas med användning av bensintank som kan ge ytterligare 100–500 km beroende på tankstorleken. Det är vanligare att bensintanken är av mindre storlek. Tyngre lastbilar har ofta ingen bensintank utan endast gastankar. Lastbilarnas räckvidd ligger mellan 400–1600 km beroende på antalet tankar fordonet har och om det är komprimerad eller flytande fordonsgas (Svensk Biogas 2020).

4. Metod

För att besvara rapportens frågeställning gjordes en intervjustudie, en total ägandekostnadskalkyl och en livscykelanalys för de tre drivlinorna BEV, FCEV och CBGV. I avsnitt 4.1 nedan kommer intervjustudien att beskrivas närmare. I avsnitten 4.2 och 4.3 beskrivs genomförandet av de två kalkylerna.

4.1 Intervjustudie

4.1.1 Syfte

Syftet med intervjuerna var framför allt att få en fördjupad förståelse för hur de olika aktörerna ser på vätgasdrivna fordon men också hur de ser på vätgas i allmänhet. I avsnitt 4.1.3 nedan beskrivs närmare de specifika syftena med de olika aktörsgруппerna samt de frågeställningar som intervjuerna fokuserade på.

4.1.2 Deltagare och urval

Majoriteten av aktörerna som intervjuades var med i projektet "Vätgas i tanken för klimatneutralitet 2030". Resterande aktörer arbetar för tillfället med vätgasdrivna fordon eller har visat ett intresse för dessa och ansågs därför intressanta för arbetet. Totalt skickades 12 förfrågningar ut och av dessa tackade 10 aktörer ja.

Aktörerna kan delas upp i tre grupper. Kommuner, kollektivtrafikbolag, samt aktörer från fordonsindustrin. Alla kommuner som intervjuades ligger i Skåne och de personer som intervjuades var antingen miljö- och energiplanerare eller ansvariga för inköp och planering för kommunernas fordonsflottor. De två som intervjuades från olika kollektivtrafikbolag var dels en fordonsspecialist dels en drivmedelsstrateg. Fordonsindustrin representerades av tre bolag där två fokuserar på utveckling av tunga fordon och det tredje företaget verkar inom bränslecellsutveckling. De personer som intervjuades är alla kunniga inom området och har strategiska positioner på företagen.

4.1.3 Intervjuernas utformning och genomförande

För att få en bred och fördjupad bild av aktörernas inställning valdes en intervju i halvstrukturerad form med kvalitativ analys (Lantz 2013a). Intervjuerna innehöll en kombination av riktade frågor kopplade till respektive aktörs verksamhet, och mer öppna utforskande frågor kring inställning och erfarenheter. Frågorna ställdes utifrån en på förhand bestämd intervjumall och möjlighet fanns att ställa kompletterande följdfrågor baserat på vad som framkom under samtalet. Intervjumallen var i stort sett samma för aktörerna inom respektive intervjugrupp men anpassades för att fånga unika faktorer hos aktörerna. Intervjumallen skickades ut till aktörerna innan intervjun i de fall då detta efterfrågades. Se *appendix* för intervjumallar.

Kommuner: Intervjuerna syftade till att få en inblick i beslutsprocessen kring valet av drivlina ur fordonsanvändarens perspektiv. Vid intervjuer med kommuner diskuterades framför allt vilka fordon de använder i dagsläget, hur dessa fordon används och erfarenheten kring användandet. Vidare undersöktes hur inköpsprocessen ser ut och hur olika faktorer spelar roll vid inköp. Några frågor handlade även om inställningen till vätgas och de eventuella hinder och möjligheter man ser vid en eventuell implementering av vätgasfordon. Även frågor kring infrastruktur för BEV, vätgasdrivna och biogasdrivna fordon lyftes.

Kollektivtrafikbolag: Intervjuerna med kollektivtrafikbolagen syftade till att undersöka erfarenheter av användning av olika drivlinor. Kollektivtrafikbolag är ofta tidiga med implementering av nya typer av fordonsdrivlinor så stort fokus lades på detta. Det handlade bland annat om hur deras infrastruktur ser ut för BEV och biogasdrivna fordon och skälet till hur det ser ut. Stort fokus lades på

att fånga upp erfarenheter kring de olika drivlinorna. Frågor ställdes även om deras strategi för framtida fordonsflotta samt om vätgasdrivna fordon är en del av denna.

Fordonsindustrin: Intervjuerna syftade till att få en bild av fordonsindustrins inställning till vätgasdrivna fordon. De frågor som ställdes under intervjuerna handlade framför allt om hur denna utveckling går, hur deras syn på vätgasdrivna fordon är samt hur de tänker att BEV, vätgasdrivna och biogasdrivna fordon kan komplettera varandra.

Alla intervjuer genomfördes digitalt via Teams förutom en intervju som genomfördes på plats hos aktören. Intervjuerna varade mellan 30 – 60 minuter. I början av intervjuerna inhämtades medgivande till ljudinspelning från intervjupersonen, ljudinspelningarna raderades efter transkribering.

4.1.4 Databearbetning och analys

Intervjuerna transkriberades från ljudinspelningarna. Sammanställningarna från intervjuerna bearbetades utifrån en kvalitativ analys (Lantz 2013b). Detta innebär att materialet analyserades för att identifiera centrala teman och slutsatser från respektive aktör. Utifrån det jämfördes svaren för att identifiera såväl likheter som unika erfarenheter och åsikter. Avsikten var att behålla en bredd i materialet för att svara på frågeställningen på ett så nyanserat sätt som möjligt.

4.2 Total ägandekostnad

Totala ägandekostnad, TCO för ett fordon är en kostnadskalkyl som omfattar kostnaden av att äga och driva ett fordon under en specifik tidsperiod. En TCO kan fungera som ett användbart verktyg när en jämförelse mellan olika typer av fordon görs för att kunna se hur kostnaden för att äga fordonet skiljer sig. (IEA 2022b)

I denna rapport kommer analysen att fokusera på hur den totala ägandekostnaden skiljer sig åt mellan de olika drivlinorna. Kostnader som antas vara lika för de olika drivlinorna har inte inkluderats.

I detta avsnitt görs en beräkning av total ägandekostnad för BEV, FCEV och CBGV. Beräkningen görs utifrån tre huvudkostnader; **fordonskostnaden**, **underhållskostnaden** och **driftkostnaden** för fordonet. Alla beräkningar görs utifrån ett tungt fordon med en totalvikt på 44 000 kg. Dessa kostnader beskrivs närmare i avsnittet och utgör ett standardfall. Beräkningen använder följande ekvation,

$$TCO_{km} = \frac{\text{Fordonskostnaden} - \text{Restvärdet}}{\text{Körda km}} + \text{Underhållskostnad} + \text{Bränslekostnad} \quad (1)$$

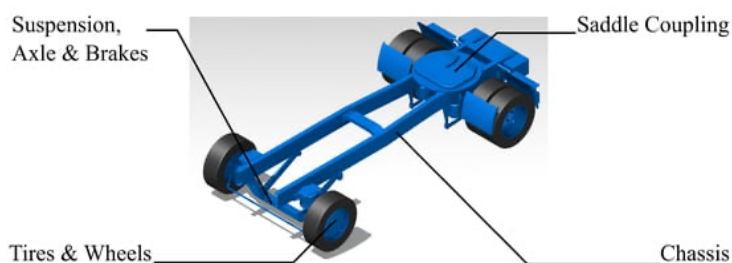
4.2.1 Fordonskostnaden

De tre olika fordonen skiljer sig mycket i hur de är uppbyggda. För kalkylen valdes det att dela upp fordonskostnaden i olika komponenter. Komponenterna var **glider**, **bränslecell**, **vätgastank**, **batteri**, **biogastank**, **elektrisk drivlina** och **förbränningsmotor**. De totala fordonskostnaderna för de olika drivlinorna summerades sedan utifrån komponentkostnader samt valda specifikationer för fordonen. Kostnaderna presenteras mer i detalj nedan är baserad utifrån tillverkarens kostnader för komponenterna. Även de valda specifikationerna för fordonen presenteras nedan. I de fall då kostnader i andra valutor har använts har följande valutaomvandling gjorts,

(1 USD = 10.29 SEK, 1 BGP = 13.04 SEK, 1 EURO = 11.16)

Glider

Glider beskrivs som fordonet utan dess drivlina och energilager och kan ses som fordonets stomme som chassit, stötdämpare, hjul och förarhytten



Figur 6. Beskriver en lastbils glider (Wolff m.fl. 2020)

Vid framtagandet av kostnaden för fordonens glider k_G användes Wang m.fl. (2024). Det antogs att denna kostnad var densamma oavsett drivlina.

$$k_G = 652000 \text{ SEK}$$

Bränslecell

Vid framtagningen av kostnaden för bränslecellen k_{BC} användes data från tre källor. Eftersom kostnaden kan variera mycket beroende på hur den är uträknad samt andra parametrar så som produktionsvolym var det viktigt att ta fram en kostnad som representerar bränslecellskostnaden rättvist. Då bränslecellskostnaden står för en stor andel i den totala fordonskostnaden för en FCEV togs ett medelvärde fram utifrån de tre källorna. Detta gjordes för att minska risken för att en enskild källa viktat kostnaden antingen för mycket eller för lite. Från rapporten Wang m.fl. (2024) användes kostnaden som presenterades som *mest trolig* i deras rapport, vilket var **3484** SEK/kW. Från rapporten Kampker m.fl. (2022) presenterades kostnader utifrån 500 – 750 000 producerade enheter. Här valdes kostnaden vid 2 500 producerade enheter per år vilket var **5201** SEK/kW. Kostnaden vid 2 500 ansågs mer realistisk med tanke på fabrikers tillverkningskapacitet i dagsläget. Den sista rapporten som användes var Kleen, Gibbons & Fornaciari (2023) som presenterade en projekterad framtida lägre kostnad på **1842** SEK/kW. Detta var vid en tillverkningsvolym på 50 000 enheter per år. Ett medelvärde av dessa kostnader gjordes och den resulterande kostnaden blev,

$$k_{BC} = 3509 \text{ SEK/kW}$$

Vätgastank

Vid framtagningen av kostnaden för vätgastanken k_{VGT} användes data från två källor. Rapporten Shin & Ha (2023) presenterade olika kostnader beroende på vilken typ av tank samt trycket på den lagrade vätegasen. Kostnaden som valdes var för den vanligaste tanktypen som presenterades i rapporten vid det vanligaste trycket för lastbilar, vilket var 350 bar. Kostnaden för tanken var **6514** SEK/kg lagringskapacitet. Den andra källan som användes var Wang m.fl. (2024) som presenterade den *mest troliga* kostnaden för en 350 bar tank vilket var **343** SEK/kWh lagringskapacitet. För att få kostnaderna med samma enhet gjordes en enhetsomvandling med vätegasens energidensitet på **39,39** kWh/kg (Manoharan m.fl. 2019). Det resulterade i en kostnad på **13 511** SEK/kg lagringskapacitet vilket tillsammans med kostnaden från Shin & Ha (2023) gav en medelkostnad på,

$$k_{VGT} = 10013 \text{ SEK/kg}$$

Batteri

Vid framtagningen av batterikostnaden användes två källor. Källorna som användes var rapporten Wang m.fl. (2024) samt Statista (2023a). De presenterade kostnaderna var **2073** SEK/kWh respektive **1430** SEK/kWh. En genomsnittskostnad gjordes och gav kostnaden,

$$k_B = 1752 \text{ SEK/kWh}$$

Elektrisk drivlina

Vid framtagningen av kostnaden för den elektriska drivlinan k_E som inkluderar elmotor, kraftelektronik, växelriktare och DC/DC -omvandlare användes två källor. Rapporten Burke m.fl. (2023) presenterade en kostnad på **463** SEK/kW motoreffekt för den elektriska drivlinan. I totalkostnadsanalysen i Wang m.fl. (2024) användes en kostnad för kraftelektronik på **8,80** SEK/kg tjänstevikt för fordonet och tillsammans med tjänstevikten för de tunga lastbilarna i deras kalkyl blev

kostnaden **164 102 SEK**. Denna kostnad dividerades sedan på motoreffekten för fordonet och blev då **365 SEK/kW** motoreffekt. En genomsnittlig kostnad togs fram till,

$$k_E = 414 \text{ SEK/kWh}$$

I vissa fall inkluderas det i kostnaden för drivlinan även kostnaden för andra mekaniska delar såsom drivaxlar och växellåda. Då detta var komponenter som alla de olika drivlinorna hade samt att kalkylens syfte främst var att se skillnaden i kostnader mellan de olika drivlinorna valdes det att inte inkludera dessa kostnader. De ansågs även som låga i jämförelse med de dyrare elektriska komponenterna i både BEV och FCEV.

Förbränningsmotor

Det gjordes ett antagande i kalkylen att kostnaden för en biogasdriven förbränningsmotor och en dieseldriven förbränningsmotor är lika. Med detta antagande användes rapporterna Wang m.fl (2024) som presenterade en kostnad på **786 SEK/kW** motoreffekt för en dieseldriven förbränningsmotor samt Hunter m.fl. (2021) som presenterade en kostnad på **566 SEK/kW** motoreffekt för en biogasdriven förbränningsmotor. En genomsnittskostnad från de två rapporterna gjordes och gav,

$$k_{FM} = 676 \text{ SEK/kW}$$

Biogastank

Kostnaden för biogastanken k_{BGT} togs från rapporten (Hunter m.fl 2021) som presenterade kostnaden som **48 SEK/kWh**. Tillsammans med det rekommenderade riktvärdet för fordonsgas på **13 kWh/kg** från Energigas (2023)^b gjordes enhetsomvandlingen till,

$$k_{BGT} = 624 \text{ SEK/kg}$$

4.2.2 Livslängd och restvärde

Vid beräkning av fordonens livslängd gjordes en del antaganden. Kalkylen utgick först ifrån att fordonens livslängd var 10 år eller 1 000 000 km (Wang m.fl. 2024) (Rout m.fl. 2022). Den biogasdrivna förbränningsmotor förväntades åldras i samma takt som fordonens glider och hade därför livslängden på 10 år. Ett annat antagande var att en del komponenter kunde få fordonet att åldras *snabbare* beroende på hur fordonet användes. Dessa *livslängdskänsliga* komponenter var *bränslecellen* och *batteriet*.

Bränslecellens livslängd valdes att vara **25 000** timmar vilket presenterades i rapporten Dirkes m.fl. (2023). Livslängden var i rapporten baserad på en förväntad livslängd för bränsleceller i tunga lastbilar. Vid antagandet att fordonet används 8 timmar om dagen 5 dagar i veckan 48 veckor per år blir det årliga användandet i timmar **1 920**. Detta gav **19 200** timmar på 10 år, det antogs därför att bränslecellens livslängd inte är kortare än ett konventionellt fordons förväntade livslängd och därför inte behöver bytas ut under fordonets livslängd.

Den andra livslängdskänsliga komponenten var batteriet. Från rapporten Wang m.fl. (2024) presenterades batteriets livslängd till 2 500 laddcykler. Batteritekniken som användes i rapporten var *lithiumjärnfosfat*. Denna ansågs ha en längre livslängd jämfört med annan *litiumbatteriteknik* som användes i denna rapport, vilket därmed ledde till att en kortare livslängd på **2 000** laddcykler valdes. Det antogs att efter **2 000** laddcykler hade batterikapaciteten minskat till 80 % vilket i Xu, Guo & Yang (2018) ansågs som förbrukat i fordonssituation eftersom batterikapaciteten då har minskat för mycket. Det årliga antalet laddcykler för att batteriet skulle åldras ett år var därför 200. Det valdes också att införa en årlig procentuell kapacitetsminskning för batteriet för att representera den verkliga prestandan. Denna procentsats löstes ut genom *avskrivningsvärdesekvationen*,

$$(1 - r)^{10 \text{ år}} = 80 \%$$

Där,

$$r = 2.2 \%$$

Kalkylen tillät fler laddningar än 200 per år men då påverkades samtidigt åldrandet av fordonet enligt,

$$\text{Verkligt åldrande} = \frac{\text{faktiskt antal laddcykler}}{200 \text{ laddcykler}}$$

Det antogs att det inte skedde något byte av batteri under fordonets livslängd. Fordonets livslängd förkortades därför om batteriet laddades med fler än 200 laddcykler per år.

Det antogs att fordonets restvärde var 30 % av inköpspriset efter 10 år vilket gav en ungefärlig årlig värdeminskning på ca 11,2 %. Restvärdessatsen baserades ifrån Wang m.fl. (2024), där de presenterade restvärdena för de olika drivlinorna efter dess livslängd. Värdena varierade mellan 15–30 %, där 30 % ansågs som en rättvis restvärdessats på grund av bristande information kring *bränsleceller, batterier och vätgastankarnas andrahandsvärde* i dagsläget.

I kalkylen användes en ägandeperiod på 3 år och i fallet med det BEV gavs en enskild *verklig ålder* baserat på antalet laddcykler under ägandeperioden. Procentsatsen för BEV togs fram med formeln,

$$(1 - 0,112)^{\text{verklig ålder}} = \text{Restvärde i } \%$$

Restvärdetsatsen kunde dock inte bli högre än i standardfallet vilket var,

$$(1 - 0,112)^3 \text{ år} = 70 \%$$

4.2.3 Bränslekostnad

Bränslekostnaderna i kalkylen beräknades genom,

$$\text{Bränslekostnad, BK} = \text{Drivmedelskostnad}_{\text{drivlina}} \times \text{Bränsleförbrukning}_{\text{drivlina}}$$

För det eldrivna fordonet användes en genomsnittsförbrukning på **1,27 kWh/km** från källorna Wang m.fl. (2024) och Volvotrucks (2022)c. Den använda drivmedelskostnaden var **2 SEK/kWh** och togs från OKQ8 (u.å.) och representerade laddning vid privat laddpunkt.

För beräkning av bränslekostnaden för det vätgasdrivna fordonet användes den årliga vätgasförbrukningen på **8060 kg** för den årliga körsträckan på **106 000 km** från Wang m.fl. (2024) vilket var **0,076 kg/km** tillsammans med Basma & Rodríguez (2022) presenterade bränsleförbrukning på **0,091 kg/km**. Detta gav en genomsnittsförbrukning på **0,0835 kg H₂/km**. Drivmedelskostnaden som användes för vätgas var **90 SEK/kg** och togs från Energigas Sverige (2021)

Vid beräkningen av bränsleförbrukningen för det biogasdrivna fordonet användes två källor. Ravigné & Da Costa (2021) presenterade en bränsleförbrukning på **0,27 kg/km**. Förbrukningen var baserad på data med en varierande körning och den tunga lastbilens totalvikt presenterades ej. Det var därför viktigt att komplettera med ytterligare en rapport eftersom bränsleförbrukningen för BEV och FCEV lastbilens bränsleförbrukning var baserad på förbrukningen vid en totalvikt på 44 000 kg. Den kompletterande källan var rapporten Prati m.fl. (2022) som presenterade bränsleförbrukningen för

biogasbussar med vikten 19 000 kg. Ur de tre bussalternativen som presenterades hade den buss med lägst värde en förbrukning på **0,355 kg/km**. Den bussen ansågs representera bränsleförbrukningen mest likt en lastbil då dess körstil mestadels var kontinuerlig körning.

En bränsleförbrukning på **0,40 kg/km** ansågs slutligen rimlig för den biogasdrivna lastbilen. Bränslekostnaden för biogas togs från Svensk Biogas (u.å.) som presenterade olika kostnader för flera tankstationer. Värdet som valdes var en genomsnittlig kostnad på **28,75 SEK/kg**.

De slutliga bränslekostnaderna i SEK/km blev,

$$BK_{BEV} = 2,54 \text{ SEK/km}$$

$$BK_{FCEV} = 7,515 \text{ SEK/km}$$

$$BK_{CBG} = 11,5 \text{ SEK/km}$$

4.2.4 Underhållskostnader

När det kom till underhållskostnaderna gjordes även här antagandet att det biogasdrivna fordonet hade en liknande underhållskostnad som ett motsvarande dieselfordon. Kostnaderna från Wang m.fl. (2024) var presenterade som en årlig kostnad för de olika fordonstyperna. Dessa kostnader fördelades sedan på den årliga körsträckan på **106 000 km** som presenterades i rapporten och gav då följande underhållskostnader uttryckt i SEK/km,

$$UK_{BEV} = 0,57 \text{ SEK/km}$$

$$UK_{FCEV} = 0,60 \text{ SEK/km}$$

$$UK_{CBG} = 0,86 \text{ SEK/km}$$

4.2.5 Beräkningen

Den slutliga fordonskostnaden beräknades sedan baserat på fordonsspecifikationer från Hyzon (2024), VolvoTrucks (2024), Scania (u.å.) och Scania (2018) med mindre ändring. Specifikationerna som användes var,

Fordonstyp	BEV	FCEV	CBGV
Bränslecell	-	200 kW	-
Batteri	540 kWh	110 kWh	-
Vätgastank	-	55 kg	-
Biogastank	-	-	150 kg
Elektrisk drivlina	490 kW	450 kW	-
Förbränningsmotor	-	-	313 kW

Tabell 1. Fordonsspecifikationer, basfallet

En rörelsemarginal användes också för att representera kostnaden för slutkunden då de kostnader som används i kalkylen antogs vara ur fordonstillverkaren perspektiv. En rörelsemarginal på 11,5 % användes och baserades på Scantias delårsrapport 2023 (Scania 2023).

Det antogs också att fordonet var finansierat med lån med 5 % räntesats vilket även lades in i den totala kostnaden för fordonet efter 3 års användning.

Totalkostnaderna beräknades sedan enligt ekvation (1).

4.3 Livscykelanalys

Livscykelanalys, LCA är en metod för att bedöma en produkts miljöpåverkan. (Sveriges lantbruksuniversitet 2022) Vid beräkning av utsläppen relaterade till ett fordon kan livscykelbegreppet *vagga-till-grav* användas. Det kan delas upp i två faser, fordonets cykel och bränslets cykel. För fordonet inkluderas då utsläppen från utvinningen av råvarorna för tillverkning, tillverkningsprocessen, monteringen av fordonet, användningsfasen samt utsläppen relaterat till återvinning av fordonet vid dess livs slut. (Rashid & Pagone 2023)

För livscykelanalysen i denna rapport kommer inte utsläppen relaterade till återvinningen av fordonet att inkluderas i beräkningen. Skälet till detta är dels att det görs en förenklad kalkyl och dels att vissa komponenter som batteri, bränslecell och vätgastank ibland kan återanvändas efter att fordonet har nått sin livslängd. Återanvändning av dessa komponenter är ett område som det för tillfället inte finns mycket information kring. Begreppet *vagga-till-grind* kommer därför att användas och beskriver utsläppen fram till dess att fordonet lämnar fabriken. Användningsfasen av fordonet kommer beräknas med bränslets cykel som beskrivs med begreppet *källa-till-hjul* där alla utsläpp relaterat till bränslet fram till att det får fordonet att rulla inkluderas. För ett bränsle som bensin inkluderar det utvinningen av bränslet, transport till raffinaderi, raffineringsprocessen, transport till tankstationen samt fordonets bränsleförbrukning. (Rashid & Pagone 2023)

Det totala utsläppet från fordonet i denna rapport är därför *vagga-till-grind* samt användningsfasen med *källa-till-hjul* för bränslet.

I denna rapport kommer endast utsläppens klimatpåverkan (Green house warming potential, GWP) att inkluderas i kalkylen. Den funktionella enheten som används är gram CO₂-ekvivalenta/km.

Den förenklade livscykelanalysen i detta arbete utgick ifrån rapporten Wolff m.fl. (2020) som beskrev koldioxidutsläppen för tillverkningen av tunga fordon med olika drivlinor. I deras arbete fördelas utsläppen ut över de olika komponenterna i fordonen utefter dess vikt och materialkomposition. Utsläpp för monteringen av komponenterna togs också upp samt den slutliga monteringen av fordonet. I beräkningen av LCA i denna rapport användes ytterligare rapporter i fallen då utsläppen för komponenter inte fanns. Det antogs i kalkylen att vissa komponenter tillverkas utanför Europa och behövde därför transporteras till en fabrik i Europa för slutmontering. Utsläppen för de olika komponenterna samt respektive källa presenteras närmare i nedanstående avsnitt. Det slutliga beräknade utsläppet presenteras i form av ett standardfall.

4.3.1 Vagga-till-grind för fordonet

Vid beräkningen av utsläppen från fordonen delades det eldrivna, vätgasdrivna och biogasdrivna fordonen upp i dess komponenter. Komponenterna var **glider**, **bränslecell**, **batteri**, **vätgastank**, **biogastank**, **förbränningsmotor** och **elmotor**.

Glider

Det antogs i kalkylen att glidern för de olika drivlinorna var den samma. Utsläppen för glidern utgick ifrån rapporten Wolff m.fl. (2020) som inkluderade hytten, ramen, chassit, hjulen och däcken i sin beräkning. Det presenterade utsläppet var **18 401** kgCO₂-ekv per glider. Värdet var baserat på de olika komponenternas vikt i *kg* för en tung lastbil vilket också ansågs rimligt för denna rapportens kalkyl.

Bränslecell

Vid framtagning av bränslecellens utsläpp användes rapporterna Mori m.fl. (2023) och Usai m.fl. (2021). I den förstnämnda presenterades ett utsläpp på **1 160** kgCO₂-ekv för en bränslecellsstack på 48kW vilket resulterade i **24,16** kgCO₂-ekv/kW bränslecellseffekt. Rapporten beräknade utsläppen

genom att dela upp bränslecellen i dess materialkomposition tillsammans med utsläppen från tillverkningen och monteringen av komponenten med en europeisk elmix. Rapporten Usai m.fl. (2021) presenterade ett utsläpp på **5 000** kgCO₂-ekv för en ett bränslecellssystem på 80 kW. I bränslecellssystemet ingick utsläppen från bränslecellsstacken, vätgastankarna samt hjälpkomponenterna för bränslecellen. Deras beräkning visade att 43 % av utsläppen från bränslecellssystemet kom från bränslecellsstacken vilket resulterade i ett utsläpp på **26,86** kg CO₂-ekv/kW bränslecellseffekt. Ett genomsnittligt utsläpp beräknades sedan till **25,51** kg CO₂-ekv/kW.

Batteri

Vid framtagningen av utsläppen från batteriet användes Chordia, Nordelöf & Ager-Wick Ellingsen (2021) som presenterade utsläppsvärden baserat på två olika fabriksmodeller, en på liten skala och en fabrik på "giga" skala. Rapporten utgick också ifrån två olika energimixer. En sydkoreans elmix på 690 gCO₂-ekv /kWh som agerade som referensscenario samt en svensk elmix på 40 gCO₂-ekv / kWh som representerade en förnyelsebar elmix. I kalkylen valdes det att använda batteriutsläppet med den sydkoreanska elmixen, tillverkad i en "giga" fabrik då detta ansågs representera dagens batteritillverkning. Batteriets utsläpp för detta scenario var **102** kgCO₂-ekv / kWh batterikapacitet.

Vätgastank

För beräkning av utsläppen från vätgastanken användes rapporten Ye & Lu (2023) som presenterade utsläpp för två typer av vätgastank. Den valda tanktypen var av typ IV vilket var den samma som hade använts i totalkostnadskalkylen. Rapporten delade upp vätgastanken i dess materialkomponenter samt den behövda energin för tillverkning. De presenterade ett utsläppsvärde på 4 600 kgCO₂-ekv för en tank med en kapacitet på 7,2 kg. Av detta utsläpp stod 87,8 % av kolfibertillverkningen. En elmix presenterades inte men rapporten beskrev att ifall förnybara energikällor hade använts hade utsläppsandelen från elanvändningen bidragit till en minskning av CO₂ vilket stod för 7,5 % av de totala utsläppen för vätgastanken. Det antogs därför att komponenten var tillverkad med en asiatisk elmix.

Ytterligare en källa användes. Rapporten Benitez m.fl. (2021) beräknade utsläppen för en vätgastank av typen IV vilket var 5 610 kg CO₂-ekv för en tank med kapaciteten 5,6 kg. Utsläppen från rapporterna fördelades sedan med respektive tankkapacitet och gav då slutligen ett genomsnittligt utsläpp på **803,5** kg CO₂-ekv/kg tankkapacitet.

Förbränningsmotor

Utsläppen från tillverkningen av biogasförbränningsmotorn antogs vara densamma som för tillverkningen av en dieselmotor i samma storlek. Wolff m.fl. (2020) presenterade utsläpp på 4 352 kg CO₂-ekv för en motor med effekten 352 kW. Utsläppet per kW motoreffekt antogs då vara **12,4** kg CO₂-ekv/kW.

Elmotor

Utsläppen för elmotorn togs fram på samma sätt som värdet för förbränningsmotor. Wolff m.fl. (2020) presenterade utsläpp på 2 367 kg CO₂-ekv för en elmotor med effekten 774 kW. Utsläpper per kW motoreffekt antogs då vara **3,06** kg CO₂-ekv/kW.

Avgassystem

Utsläppet från förbränningsmotorns avgassystem var den samma för ICE, PHEV och HYB i rapporten Wolf m.fl. (2020) och antogs därför även rimlig för avgassystemet för CBGV. Det presenterade utsläppet var **2 453** kg CO₂-ekv.

Komponenters vikt

Eftersom komponenter transporteras, behövs dess vikter per enhet tas fram. Dessa vikter togs från rapporten Wolff m.fl. (2020), som presenterade vikterna för batteri, elmotor, förbränningsmotor per lagringskapacitet kWh och motoreffekt kW. Rapporten presenterade även totalvikten för glider och avgassystemet. Vikten för bränslecellsstacken i kg/kW effekt togs från rapporten Padgett & Kleen (2020). Den slutliga vikten för vätgastanken togs från rapporten Ye & Lu (2023). Vikterna presenteras nedan.

Komponent	Vikt (kg)	Enhet
Glider	5 325	Per fordon
Bränslecell	0,5	Per kW effekt
Batteri	7,8	Per kWh lagringskapacitet
Vätgastank	15,2	Per kg vätgaskapacitet
Elmotor	1,11	Per kW effekt
Avgassystem	425	Per fordon
Förbränningsmotor	2,85	Per kW effekt

Tabell 2. Komponenternas vikter per enhet.

Transportvägar och dess utsläpp

Det antogs att fordonens komponenter tillverkas i en fabrik för att sedan transporteras till en annan fabrik för montering av fordonet. Tillverkades komponenten i Europa antogs att en transportsträcka på 100 km behövdes för transport till monteringsfabriken. I de fall då komponenten tillverkades utanför Europa användes fraktfartyg samt 200 km lastbilsfrakt, 100 km till hamnen i tillverkningslandet samt 100 km från europeisk hamn till monteringsfabriken.

Transportsträckorna för fartyget antogs vara:

Kina till Europa: **22 676** km (Ports u.å. a).

Syd Korea till Europa: **23 632** km (Ports u.å. b).

Utsläppen för respektive transportslag togs från källorna Samuelson & Wang (2021) och Statista (2023b) vilket var **400** gCO₂-ekv/ton/km för lastbilstransport och **16,12** gCO₂-ekv/ton/km för fartygstransport.

Montering av fordon

Utsläppen för den slutliga monteringen av fordonen användes värdet från Wolff. m.fl. (2020) som presenterade ett utsläpp på **2 916** kg CO₂-ekv för monteringen oavsett fordonens drivlina.

4.3.2 Källa-till-hjul för drivmedel

Avsnittet nedan beskriver beräkningen kring utsläppen för de olika drivmedlen.

Vid framtagningen av utsläppen för BEV-bränslet användes först en elektricitet med svensk elmix. Det antogs att denna elmix var 45,08 g CO₂/kWh (Statista 2023c). Verkningsgraden för laddning togs från källan Reick m.fl. (2021). Där presenterades en verkningsgrad mellan 80–88 % och det högre värdet på 88 % valdes. Slutligen användes samma bränsleförbrukning för BEV som användes i avsnitt 5.2.3 på **1,27** kWh/km vilket gav värdet på **65,06** g CO₂/km.

Vid framtagningen av utsläppen för FCEV-bränslet användes även här först en elektricitet med svensk elmix. Det antogs att verkningsgraden var 80 % från PEM-elektrolysen som beskrevs i avsnitt 2.2. Rapporten Liu m.fl. (2020) beskrev att det användes 3,79 kWh/kg att komprimera vätgasen till 700 bar. Rapporten Hren m.fl. (2023) tog upp att läckage från tankarna kan estimeras till 4 % vilket även togs med i beräkningen. Det antogs också en transportsträcka på 100 km från produktionsanläggningen till tankstationen. Utsläpp för lastbilar på 0,4 kg CO₂-ekv/ton/km användes även här.

Detta beräknades tillsammans med bränsleförbrukningen från avsnitt 5.2.3 vilket slutligen gav värdet på **211,45** g CO₂-ekv/km.

Vid framtagningen av utsläppen för CBG-bränslet användes värdet **112** g CO₂/kg som representerade utsläppen för fordonsgas i Sverige (Energimyndigheten 2023b). Det antogs att utsläpp för komprimering av biogas var med i värdet. Utsläppen från transporten av bränslen antogs vara samma som för vätgas på 0,4 kg CO₂-ekv/ton/km. Bränsleförbrukningen från avsnitt 5.2.3 användes och gav då slutliga värdet **84,8** g CO₂-ekv/km.

4.3.3 Livscykelutsläpp

Slutligen summerades utsläppen från komponenterna för fordonen tillsammans med fordonsspecifikationerna i tabell 1. Det totala utsläppet fördelades sedan på den totala körsträckan under livslängden för fordonet. För FCEV och CBGV antogs det vara 1 000 000 km och för BEV fordonet valdes den totala körsträckan till 770 000 km baserat på batteriets begränsade totala antal laddcykler. Livscykelutsläppen för fordonen beräknades till slut där fordonsutsläppen adderades med utsläppen för bränslet.

5. Resultat

5.1 Intervjusammanställning

Avsnitten nedan är en sammanställning av intervjuerna med de olika aktörgrupperna.

5.1.1 Kommuner

Nulägesbeskrivning

Från intervjuerna med kommunerna framgick det att de använder flera olika drivmedel i sina fordonsflottor. De har BEV, laddhybrider, elhybrider, biogasdrivna, dieselbilar på förnybar diesel som HVO100 samt ett fåtal fordon som körs på vanlig diesel och bensin. Majoriteten av fordonen som används i kommunerna är idag personbilar men de använder även större fordon som skåpbilar, minibussar och lätta lastbilar för att täcka behoven för hela sin verksamhet. Alla kommunerna har som mål att nå en helt fossilfri fordonsflotta, men de har kommit olika långt i sin omställning. En kommun har till exempel en i stort sett fossilfri fordonsflotta medan en annan fortfarande har en stor majoritet fossilt drivna fordon.

Flertalet kommuner nämnde att den verksamhet som kör mest är vård och omsorg samt färdtjänsten och att detta framför allt handlar om personbilar och andra lättare fordon. Körsträckorna skiljer sig också mycket åt beroende på hur stort geografiska område man ska täcka. En del kommuner har också fordon som inte körs så mycket, men som ändå är nödvändiga för att verksamheten ska fungera. Sammanfattningsvis kan man konstatera att användningen av fordonen skiljer sig väldigt mycket åt. Man beskriver en väldigt komplex bild av fordon som måste kunna uppfylla skiftande krav. Det kan handla om att man behöver ett fordon som ska kunna köra långt och på olika typer av underlag. Ett fordon kan vara inköpt för en viss typ av användningsområde och kan sen behöva flyttas till en annan verksamhet.

Inköp av fordon

När det gäller inköp av fordon svarade en kommun att de i första hand vill ha BEV eller biogasdrivet men i de fall då det är svårt att anskaffa dessa fordon eller om det inte är ekonomiskt försvarbart kan dieseldrivet med HVO100 vara ett alternativ. För en annan kommun har det framför allt varit aktuellt med elhybrider och dieselbilar på HVO100 då de saknar laddinfrastrukturen för BEV-fordon. Kommunerna var relativt eniga om att krav som de ställer vid inköp är att fordonet är miljövänligt och att det levereras med ett bra serviceavtal. Fordonet måste givetvis också kunna lösa de arbetsuppgifter som det är avsett för. När det gäller priset är det en viktig faktor vid val av fordon men ibland kan även ett dyrt fordon vinna upphandlingen då andra viktiga krav som till exempel leveranstid gör valet ekonomiskt försvarbart.

Bristen på fordon på marknaden och långa leveranstider är ett bekymmer idag vid inköp. Bra serviceavtal med leverantörerna var något som de la väldigt stor vikt vid. Man behöver säkerställa att verksamheten fungerar även när fordon behöver service. Möjligheten till att fordonsleverantören hämtar och lämnar fordonet när det behöver servas samt erbjuder lånebil kan vara avgörande. En kommun nämnde att de fordon som körs mycket behöver servas var tredje månad och detta kan innebära stora kostnader om man inte har ett fördelaktigt serviceavtal.

Biogas i kommunerna

Kommunernas erfarenheter kring biogas varierar. En kommun berättade att när biogas först introducerades och man byggde en tankstation var det för att möjliggöra en fossilfri fordonsflotta. Genom att få tillgång till olika typer av drivmedel ville man uppnå en större robusthet om det skulle inträffa några problem med de andra drivmedlen. Man bedömer att vätgas kan komma att

introduceras på samma sätt som biogasen. Det finns mycket lärdomar att dra från introduktionen av biogas som är värdefulla i de fall man vill introducera vätgas.

En del kommuner berättade att de inte haft några större problem med biogasdrivna fordon, bortsett från att det har varit svårt att få tag på fordon från leverantörerna. Man upplever att marknaden för biogasdrivna personbilar mer eller mindre är på väg att försvinna och de känner en viss oro kring detta. En kommun berättade att de har testat att konvertera bensindrivna fordon till biogasdrivna men att det inte fungerat bra. Bristen på biogasdrivna fordon kan också påverka andrahandsmarknaden negativt och är för några kommuner en viktig fråga att förhålla sig till. Det kunde handla om möjligheten att sälja fordonet men också brister i eftermarknaden. En kommun har haft många biogasdrivna fordon men har valt att göra sig av med ett stort antal fordon då man inte ansåg att drivmedlet var ekonomiskt försvarbart idag. De hade även haft problem med räckvidden för sina fordon delvis beroende på att det endast finns en tankstation för biogas i kommunen. Samma kommun hade även haft problem med tankstationen i sig, vilket resulterade i att flertalet fordon blev stående till dess att problemet blev löst. Deras erfarenhet är att biogasen har lett till en motsatt effekt mot den robusthet man ville uppnå vid implementeringen.

Flertalet kommuner är positiva till biogas och ser det som en viktig del i fordonsflottan. Man ser det som ett bra alternativ för en fossilfri fordonsflotta men uttrycker samtidigt en viss besvikelse över att fordonsindustrin tillverkar allt färre biogasdrivna fordon.

Inställning till vätgas

När det gäller vätgas har de flesta generellt sett en positiv inställning. De poängterar dock vikten av en god tankinfrastruktur för att en implementering ens ska vara möjlig. En kommun menade att det måste finnas en lokal tankstation och gärna minst två för att få tillräcklig robusthet. En annan kommun konstaterade att tankinfrastrukturen är en dyr investering och att man därför kommer avvakta för att se att tekniken är försvarbar innan någon satsning görs.

Alla kommuner såg en styrka i att diversifiera de bränslen som fordonsflottan använder och de underströk att man inte vill ha *alla-ägg-i-samma-korg*. Någon nämnde att man inledningsvis inte kommer använda FCEV i de fall då fordonet används för samhällskritisk funktion, exempelvis för hemtjänsten. Man kan inte riskera verksamheten ifall tekniken eller tankinfrastrukturen skulle brista.

En kommun tog upp vikten av att allmänheten behöver informeras kring säkerheten rörande vätgas. De menar att det i dagsläget finns en del okunskap och osäkerhet runt säkerheten kring vätgas och att det är viktigt att kunskapen ökar.

En kommun såg även möjligheterna med just vätgas och inte bara fordonen. Vätgas skulle kunna användas i närliggande industrin samt fungera som energilager för förnyelsebar energiproduktion. Samma kommun hade tankar kring att biogasen i framtiden skulle kunna användas för produktion av vätgas.

Det nämndes också att man ser en styrka i att FCEV-fordon kan användas på liknande sätt som dagens biogas och dieseldrivna bilar och framför allt i de fall då en verksamhet inte kan använda en BEV. Det kan handla om fordon som används dygnet runt och inte har tid att ladda eller färdas i områden där laddinfrastruktur saknas. En annan kommun sa även att när det handlar om tyngre BEV-fordon så behöver ofta parametrar som daglig körsträcka vara känt vid inköp av fordon. Att när det handlar om tyngre fordon så vill man gärna inte använda större batterier än vad som behövs. Kommunen menade att vätgas skulle kunna erbjuda en ökad flexibilitet i de fallen då användningsområdet för fordonet ändras.

5.1.2 Kollektivtrafikbolag

Nulägesbeskrivning

Under intervjuerna med kollektivtrafikbolagen framkom att deras fordonsflottor består av BEV bussar, biogasdrivna bussar och biodieseldrivna bussar. De båda bolagen arbetar i dagsläget med att göra sina fordonsflottor mer miljövänliga men deras strategier skiljer sig lite åt. Det ena bolaget byter ut både biogasdrivna och biodieseldrivna bussar till BEV bussar i de fall då detta fungerar medan det andra bolaget i första hand fokuserar på att byta ut de biodieseldrivna bussarna.

Erfarenheter kring BEV

Vid frågan kring hur implementeringen av BEV bussar har gått svarade bolaget som i dagsläget har en stor andel av dessa bussar att det har gått bra. De berättade att man till en början använde sig av pantografladdare vid busslinjernas ändstationer men att man idag helt övergått till en strategi med en stor laddepå i stället. De har fortfarande ett fåtal busslinjer som laddar vid ändstationerna men detta är något man vill fasa ut. Anledningen är att de är känsligare för hur bussen är parkerad då det är viktigt att kontakten mellan bussen och pantografen är korrekt för att en laddning ska vara möjlig. Dessutom behöver bussförarna vänta medan bussen laddar vilket innebär att förarnas arbetstid inte används optimalt. Eftersom personalkostnaden är en av de största kostnaderna för bolagen är det viktigt att förarnas arbetstid används effektivt. Samma bolag nämnde även att depåladdning kan ge mer kontroll över kostnaden för laddningen samt belastningen på elnätet. I dagsläget körs BEV bussarna framför allt på morgonen under rusningstrafiken och laddar sedan i depåstationen för att därefter kunna köra under rusningstrafiken på eftermiddagen. De berättade också att laddpunkterna vet hur mycket effekt som bussarna behöver för att avsluta sina dagliga pass och kan därför ladda precis det bussen behöver. Därmed kan man minska bolagets effektbehov från elnätet under dagen för att i stället ladda majoritet av behovet under natten då elen ofta är billigare.

Det andra bolaget har genomfört ett pilotprojekt med BEV bussar. Projektet gav ett blandat resultat men väldigt värdefulla erfarenheter och insikter. Ett problem som nämndes var temperaturen inne i bussen under kalla dagar och att dieselvärmare då behövde användas för att nå en behaglig temperatur. De nämnde också att de haft problem med pantografladdning, framför allt under vintern när det finns snö och is eftersom pantograferna är beroende av att ha en bra kontakt för laddning av bussen. De beskrev att vid en framtida implementering av BEV bussar vill de därför använda sig av en annan lösning än pantografer då det låser bussen till en specifik rutt. Det kan innebära att man därmed påverkar flödet för hela bussflottan vilket man vill undvika. Likt det andra bolaget betonade de också vikten av att använda förarnas tid effektivt. Man optimerar alltså hellre utifrån förarnas arbetstider i stället för en busslinje. Körschemat ändras flera gånger under året så en framtida laddlösningar för BEV bussar behöver kunna ge flexibilitet kring detta. Deras ambition är att använda BEV bussar i framtiden men de har ännu inte bestämt sig för hur de vill lösa laddningen. Man vill inte låsa sig vid stora statiska laddlösningar. De nämnde också att man vid nästa inköp av BEV bussar sannolikt till en början kommer att använda sig av större batteri än vad som egentligen behövs och därefter jobba med att optimera lösningarna för att kunna minska på batteristorleken.

Tankar kring vätgas

Vid frågan om hur de tänker kring vätgas svarade det ena bolaget att man fokuserar på BEV men att i de fall där det är svårt att byta ut biogasbussarna till BEV skulle det kunna vara ett alternativ att komplettera med FCEV. Det handlar framför allt om busslinjer som idag behöver en längre räckvidd än vad en BEV kan erbjuda. De nämnde dock att man idag använder BEV bussar med en räckvidd mellan 25–30 mil och att i framtiden kommer detta troligtvis vara högre. De sa också att infrastrukturen för BEV är dyrt och har man investerat i det som strategi är det lämpligt att fortsätta

på det spåret. Den nämnde att vätgas inte är aktuellt i dagsläget men att de tänker att det kan komplettera i framtiden om infrastrukturen möjliggör en snabb och smidig tanklösning.

Det andra bolaget nämnde också att FCEV kan komma att komplettera bussflottan i framtiden. Osäkerheten kring framtiden vad gäller elnätet ser ut påverka deras beslut. De nämnde till exempel att det i framtiden kan vara begränsad tillgänglighet för effekt för en hel BEV bussflotta, beroende på hur närliggande industri utvecklas. Vätgasproduktion skulle därför kunna agera som ett värdefullt balansverktyg för elnätet. Implementering av FCEV kan till stor del beror på huruvida det finns möjlighet för implementering av BEV ur ett effektperspektiv och hur de två bränslena kan samverka på ett effektivt sätt.

5.1.3 Fordonsindustrin

Framtiden för vätgasdrivna fordon

Vid frågan kring framtidssynen för vätgasdrivna fordon var svaret gemensamt att det är något man tror på och satsar på. De beskrev att ett antal olika drivlinor kommer behövas för att nå strategier om att erbjuda fossilfria transportlösningar. En aktör sa att deras huvudstrategi är BEV men att man tänker att FCEV kan komplettera detta. En annan aktör sa att det kan vara så att fordonsflottan för eldrivna tunga fordon i framtiden kommer bestå till hälften av BEV och hälften av FCEV. De nämnde dock att detta är en gissning och att det beror till stor del på hur det aktuella landets infrastruktur kommer utveckla sig.

Hur FCEV kan komplettera

Aktörerna var relativt eniga om hur BEV och FCEV kan komplettera varandra. De nämnde att när det handlar om tunga lastbilar är det framför allt lämpligt med FCEV när det är inte finns laddinfrastruktur i området som lastbilen kör i, om det är tunga transport och långa transportsträckor. En nämnde att vätgasdrivna fordon behöver en mindre tät infrastruktur då räckvidden är längre. Att BEV passar bättre för fordon som har en känd rutt, exempelvis mellan en hamn och ett sågverk. En aktör sa att BEV lastbilar är mer lämpliga vid kortare transportsträckor, exempelvis var distributionslastbilar framför allt lämpligt om fordonet kan ladda över natten. En aktör sa att *"om man ska ladda på dagen är det dyrköpta timmar eftersom det är då man egentligen behöver transportera"*. Samma aktör sa även att fordonen måste rulla för att tjäna pengar och att då fordonet står stilla kan det ses som borttappad inkomst. De betonade vikten av snabbbladning och snabbtankning och poängterade betydelsen av detta för transportindustrin.

Angående planer på FCEV bussar så nämndes det att huvudfokus har varit att utveckla BEV bussar men att man även tittar på en potentiell tillämpning för FCEV vid fjärrbussar. En annan aktör sa dock att de fördelar man ser för FCEV när det kommer till lastbilarna inte riktigt är applicerbart för bussarna då det finns laddlösningar som laddpunkter vid ändhållplatser eller pantografer som fungerar. Det nämndes också att det kan vara så att bussarna har bestämda körrutter som passar bra för laddning.

En aktör sa att BEV för personbilar är i dagsläget svårslaget men att vid vissa applikationer kan FCEV komplettera. Uttrycket *hög operativ verkningsgrad* nämndes och beskrevs som fordon som körs mycket eller behöver stå på *"stand-by"* för att snart köras och inte har tid att ladda. Exempel som togs upp där FCEV skulle kunna komplettera var vid taxibilar och blåljusfordon. Samma aktör nämnde att även vid tunga fordon kan FCEV ha en fördel över BEV då det är enklare att bära med sig mer vätgas i ett fordon jämfört med att öka batteristorleken.

Hur H2ICE kan komplettera FCEV

Vid frågan kring hur H2ICE och FCEV kan komplettera varandra nämnde en aktör att H2ICE kan utnyttja fordonens plattform som i dagsläget används i diesellastbilarna. Att självklart behöver vätgastankar även integreras men att det i slutändan är billigare än en FCEV. De sa att H2ICE har därför en bättre startposition om en totalkostandanalys görs då fordonskostnaden är lägre. En aktör sa att eftersom verkningsgraden för FCEV är bättre än för H2ICE kan det vara en fördel att använda FCEV om fordonet använder mycket energi i drift.

En aktör sa att långsiktigt tänker de att de endast kommer sälja FCEV men att de närmaste 5–6 åren kan H2ICE agera som en brygglösning då tekniken för FCEV fortfarande är dyr. En annan aktör sa att eftersom FCEV är mer avancerad teknik kan det vara ställen i världen där det mer lämpligt att använda H2ICE då det kanske inte finns infrastruktur för att reparera FCEV, att H2ICE därför kan komma att erbjudas parallellt med FCEV även i framtiden också.

I diskussionen kring livslängden för bränslecellen nämndes att de bränsleceller som används i lastbilarna idag är baserade på bränslecellsteknik för personbilar. En aktör sa att om man i stället designar en bränslecell specifikt för lastbilar är det inga problem att nå en livslängd på mellan 15 000 – 30 000 timmar. Samma aktör nämnde att det kan vara dyrare med en bränslecellsstack med längre livslängd men att det i slutändan handlar om att använda en bränslecell som håller hela fordonets livslängd.

Stödtjänster

I intervjuerna lyftes frågan om de stödtjänster som aktörerna i dagsläget erbjuder för BEV bussar. Det kan vara hjälp med bland annat planering av laddinfrastruktur, hitta grön energipartner, reparation- och underhållspersonal och data för körstatistiken av bussarna. Det framkom då att dessa stödtjänster idag är väldigt betydelsefulla vid försäljningen av bussar. En aktör sa att stödtjänsterna även är implementerade för BEV lastbilar och sa *”det är en utökad affärsidé för företaget”*. De menade att *”i stället för att leverera ett fordon måste man tänka på hur det ska användas”*. En annan aktör sa att stödtjänsterna idag är under utveckling för BEV och FCEV lastbilar, men eftersom man inte använder fordonen på samma sätt som diesellastbilar så behövs tjänsterna. Samma aktör sa att *”Vi måste berätta för kunder hur det fungerar och hjälpa kunderna att hitta de bästa lösningarna”*.

5.2 Total ägandekostnad

I diagram 1 nedan visas resultatet från totala ägandekostnadskalkylen för de tunga lastbilarna. De presenterade kostnaderna är för standardfallen där de framtagna värden från *avsnitt 4.2* användes. Den dagliga körsträckan var 400 km per dag för de olika drivlinorna.

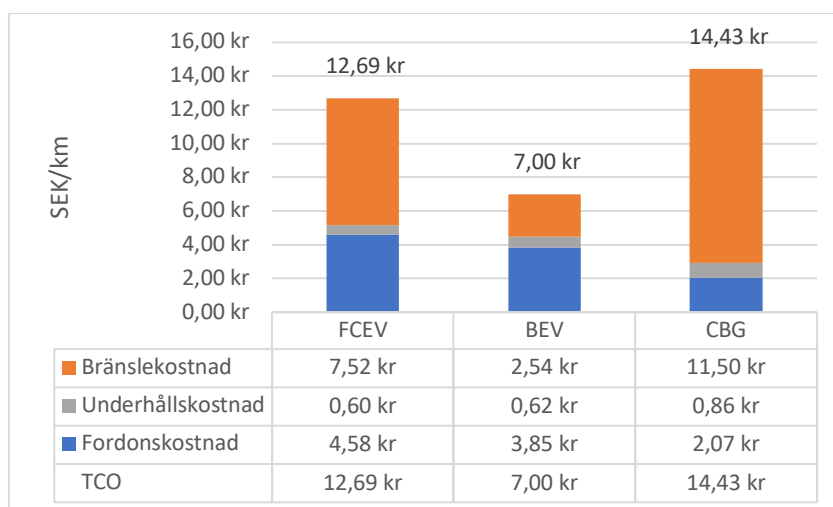


Diagram 1. TCO (SEK/km) för standardfallet.

5.3 Livscykelanalys

I diagram 2 nedan visas klimatutsläppen från livscykelanalysen för de tunga lastbilarna. De presenterade utsläppen är för standardfallen där de framtagna värdena från *avsnitt 4.3* användes.

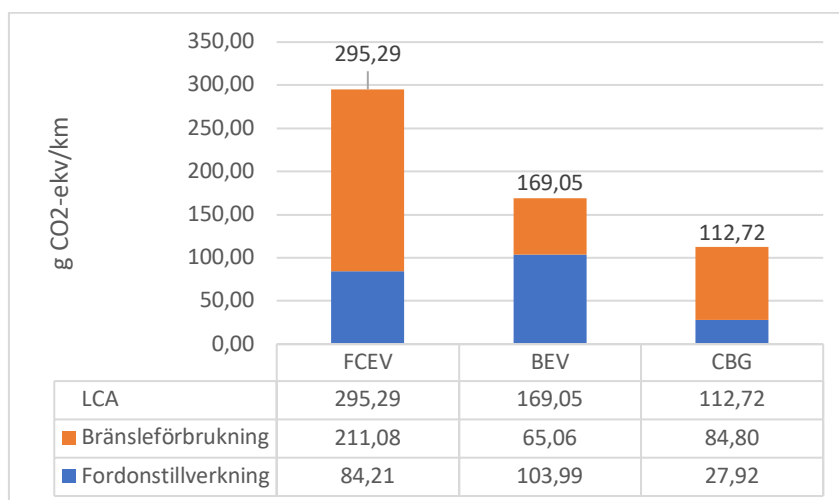


Diagram 2. Livscykelanalys (g CO2-ekv/km) för standardfallet.

6. Känslighetsanalys

6.1 Totalkostnadsanalys

I detta avsnitt presenteras det hur olika faktorer påverkar totalkostnaderna för fordonen. Alla scenarion med ändrade kostnader presenteras jämsides med "standardfallet" som togs fram i avsnitt 5.2.

6.1.1 Energi och bränsleprisernas påverkan

Ändring av elpriset vid laddning

Vid "standardfallet" användes en kostnad på 2 SEK/kWh för elen vid laddningen. Detta beskrevs representera kostnaden vid en privat laddpunkt. Kostnaden för publik snabbbladdning med 350–400 kW laddeffekt kostar i dagsläget runt 6,5 SEK/kWh. (Circle K u.å.) Diagram 3 nedan visar kostnaden då laddning sker vid en publik snabbbladdningspunkt när kostnaden är 4, 6 och 10 SEK/kWh.

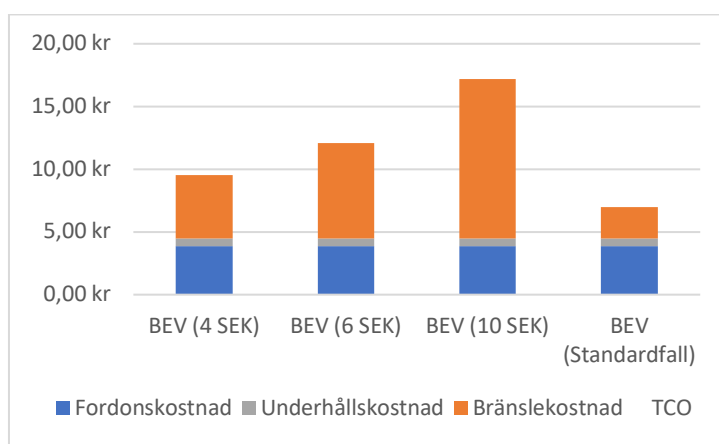


Diagram 3. TCO (SEK/km) Ändring av elkostnad vid laddning.

Totalkostnaderna var **9,54**, **12,08** och **17,16** SEK/km för 4, 6 respektive 10 SEK/kWh.

Ändring av vätgaskostnaden

Vid "standardfallet" användes en kostnad på 90 SEK/kg för vätgasen. I diagrammet nedan presenteras totalkostnaden för FCEV då vätgaspriset varierar mellan 45 - 120 SEK/kg.

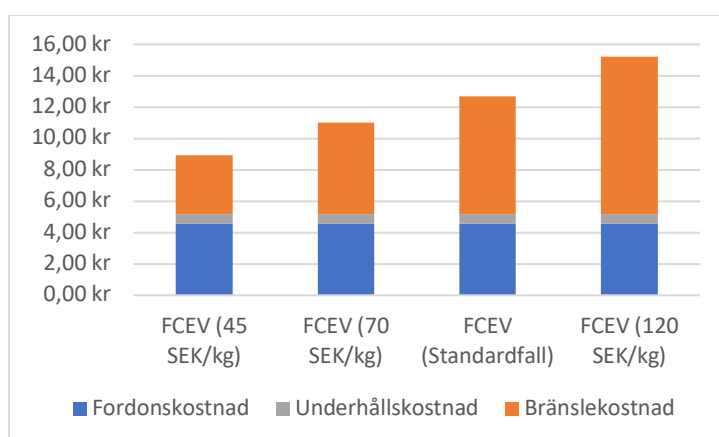


Diagram 4. TCO (SEK/km) - Ändring av vätgaskostnaden.

Totalkostnaderna var **8,93**, **11,02** och **15,20** SEK/km för 45, 70 respektive 120 SEK/kg.

Ändring av biogaskostnaden

Den använda biogaskostnaden i "standardfallet" var **28,75 SEK/kg**. I diagrammet nedan presenteras totalkostnaden för CBGV då biogaskostnaden varierar mellan **15 – 40 SEK/kg**.

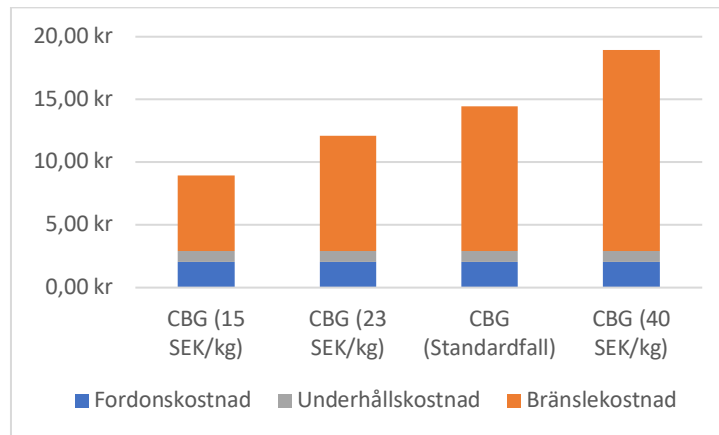


Diagram 5. TCO (SEK/km) Ändring av biogaskostnad.

Totalkostnaderna var **8,93**, **12,13** och **18,93** SEK/km för 15, 23 respektive 40 SEK/kg.

6.1.2 Dagliga körsträckans påverkan

I "standardfallet" användes den dagliga körsträckan på 400 km. I diagrammet nedan presenteras totalkostnaderna för de olika drivlinorna vid varierande dagliga körsträckor.

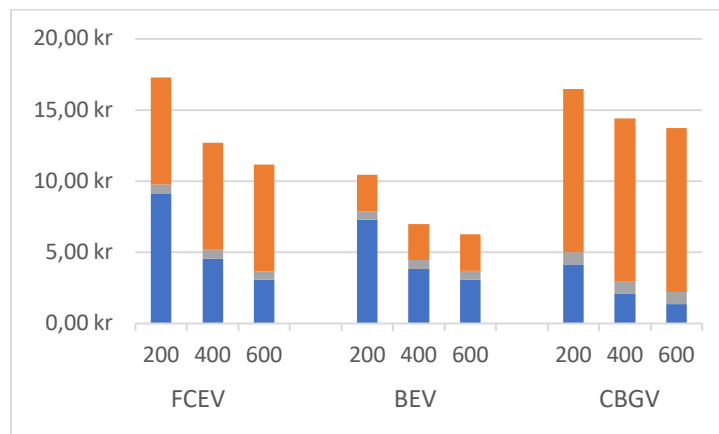


Diagram 6. TCO (SEK/km) - Ändring av daglig körsträcka.

6.1.3 Komponenters kostnadspåverkan

I diagram 7 nedan visas de totala ägandekostnaderna för FCEV och BEV ifall kostnaderna för bränslecellen, vätgastanken och batteriet i fordonen var 25 % lägre respektive högre.

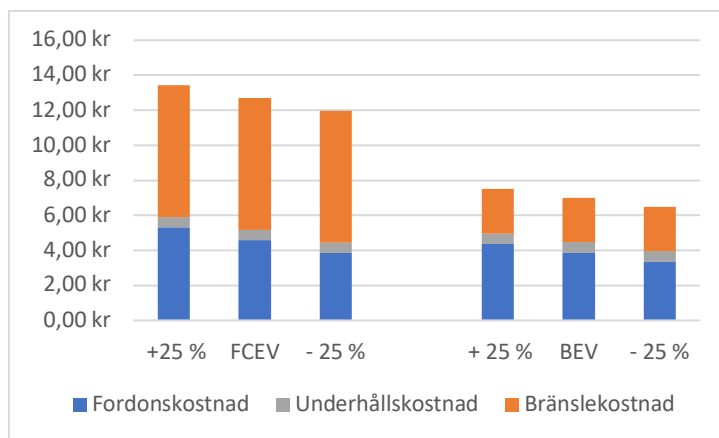


Diagram 7. TCO (SEK/km) - Ändring av komponentkostnader.

6.2 Livscykelanalys

6.2.1 Fordonsutsläppen

Diagram 8 nedan visar två fall, "standardfallet" samt fallet med lägre utsläpp. Detta fall representerar utsläppen då vätgastanken och batteriets utsläpp reducerats med 50 % och utsläppen från bränslecellen reducerats med 25 %.

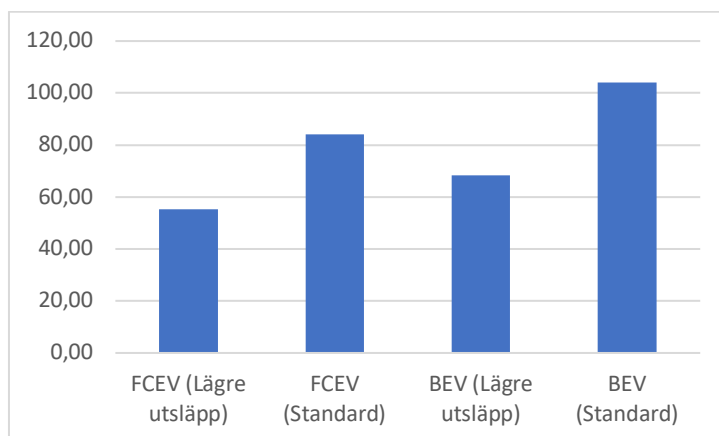


Diagram 8. gCO₂-ekv/km för fordonsutsläppen - Ändring av komponentutsläpp.

6.2.2 Bränsleutsläppen

Diagram 9 nedan visar fallen då elen som använts vid produktionen av bränslet enbart har kommit från vindkraft. Det valdes att använda värdet på 8 gCO₂-elv/kWh för elen vilket hämtades från Vattenfall (u.å). De presenterade utsläppen från vindkraftsparken Blakliden Fäbodberget där vikt har legat på att få ner utsläppen. Det antogs även att vätgasproduktionen gjordes lokalt vid tankstationen vilket exkluderade utsläppen för transport av bränslet.

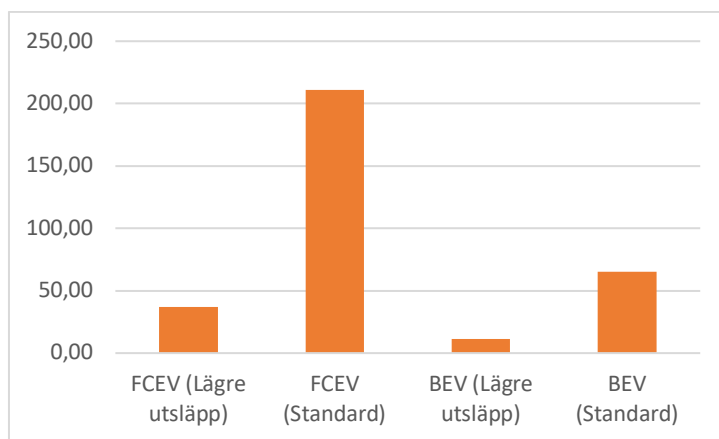


Diagram 9. gCO₂-ekv/km för bränsleutsläppen - Ändring av elmix.

6.2.3 Bästa utfallet

Diagram 10 visar livscykelutsläppen för FCEV och BEV där de lägre utsläppen för fordonet samt bränslet använts.

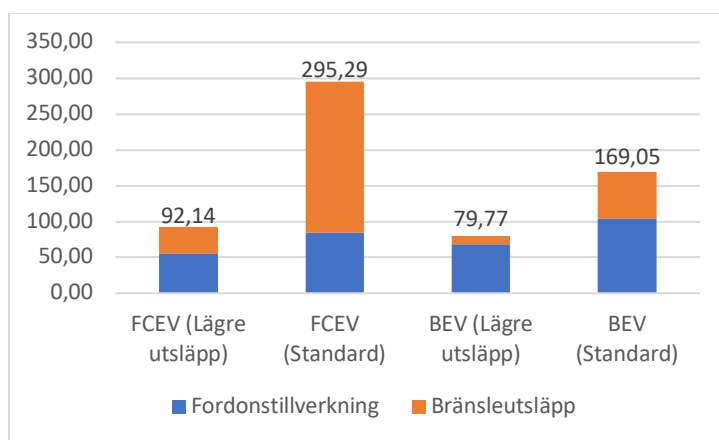


Diagram 10. LCA (gCO₂-ekv/km) – Utsläppen vid bästa utfallet.

6.2.3 Sannolikt scenario

Diagram 9 nedan visar ett sannolikt scenario där utsläppet för batteriet är reducerat med 50 %. Vätgasen är lokalt producerad med el från vindkraft. I fallet för BEV används svensk elmix.

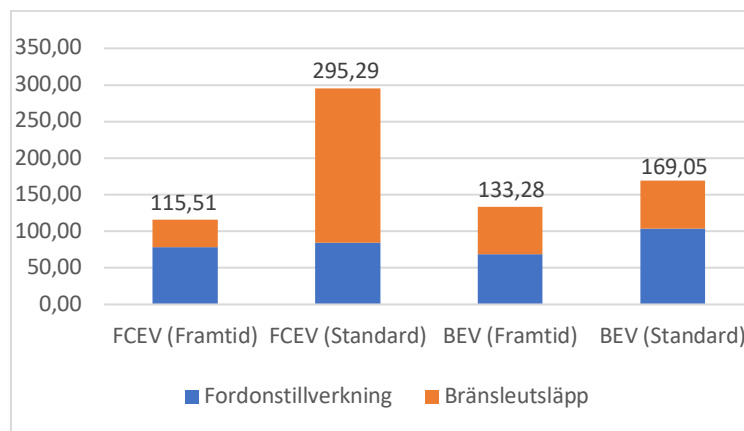


Diagram 9. LCA (gCO₂-ekv/km) – Utsläppen vid sannolikt scenario.

7. Diskussion

Syftet med denna rapport var dels att ta reda på hur vätgasdrivna fordon kan komplettera de andra drivlinorna i den svenska fordonsflottan dels att identifiera några av de hinder och möjligheter som finns vid implementering av vätgas som ett alternativt drivmedel. En del av analysunderlaget består av intervjuer med aktörer; kommuner, fordonstillverkare och kollektivtrafikbolag. Syftet med intervjuerna var att fånga upp behov, erfarenheter och reflektioner som är värdefulla för att kunna bedöma i vilka avseenden vätgasdrivna fordon kan vara att föredra.

För att analysera fordonens totala ägandekostnader gjordes kalkyler för de tre drivlinorna BEV, FCEV och CBGV. Dessutom gjordes en livscykelanalys som omfattade utsläpp från både tillverkning och drift. Syftet var att analysera de olika drivlinornas klimatpåverkan och vilka faktorer som påverkar denna.

En framtida fordonsflotta anpassad efter specifika krav och behov

Resultaten av analyserna pekar på att vi i framtiden sannolikt kommer att ha behov av en blandning av olika drivlinor i fordonsflottan. De olika drivlinorna har olika styrkor och fyller därmed också olika behov.

Fossila bränslen som diesel och bensin fasas ut och ersätts av miljövänligare alternativ. BEV utgör redan en stor andel av fordon med mindre klimatpåverkan och kommer troligtvis fortsätta utgöra den största andelen, också i framtiden. Skälet är dels att det inte uppstår några utsläpp vid drift, dels den väl utbyggda infrastrukturen, framför allt för personbilar. Dessutom är det flera aktörer som idag utvecklar och tillverkar BEV. Det finns ett stort utbud av olika fordon och kunskapen och tjänster kopplade till användning och eftermarknad är hög.

En viktig aspekt för kommunerna är hur eftermarknaden för fordonet ser ut. Då det inte finns många vätgasdrivna fordon i den svenska fordonsflotta i dagsläget, har vi inte mycket att referera till när det gäller eftermarknaden. De stödtjänster som fordonsindustrin erbjuder vid inköp av tunga lastbilar visar på att de är medvetna om de behov kunden har då en ny drivlina kommer in på marknaden. Citatet från fordonsindustrin: *"I stället för att leverera ett fordon måste man tänka på hur det ska användas."*

Körmönstrets betydelse för val av drivlina

BEV lastbilar fungerar bäst i de applikationer då körmönstret är känt, man vet var fordonet kommer köra, hur långt det kommer köra och framför allt var det kan laddas. Tunga BEV lastbilar passar bättre för kortare sträckor på grund av den täta laddinfrastrukturen som annars behövs. Det är svårt att öka batterikapaciteten i en BEV för att uppnå samma räckvidd som för en FCEV. En ökning i batterikapacitet för en BEV lastbil skulle till exempel kunna innebära flera ton i ökad vikt. Ett större batteri skulle dessutom medföra längre laddtider och därför också få konsekvenser för användningen. Tunga FCEV lastbilar är därför att föredra vid tyngre och längre transportsträckor.

BEV personbilar fungerar ofta bra i dagsläget. I de fall fordonet behöver en längre räckvidd än laddningen tillåter och laddtiden blir ett problem kan därför FCEV vara ett intressant alternativ. Den längre räckvidden i kombination med kortare tanktid är en styrka. Det kan handla om fordon som rullar hela dagen eller behöver vara på "stand-by", exempelvis blåljusfordon eller taxi. I dessa fall skulle FCEV kunna fungera väl. Eftersom kommunerna ofta flyttar fordon mellan sina verksamheter skulle FCEV sannolikt kunna utgöra värdefull del av personbilsflottorna då just längre räckvidd och kortare tanktid gör det enklare att använda fordonet för fler olika ändamål.

Från intervjuerna framgick att kommunerna avvaktar med att implementera FCEV för samhällsviktiga fordon tills man är säker på att tekniken och infrastrukturen fungerar väl. Intressant reflektion kan vara att det kanske blir just för fordon i de samhällsviktiga funktionerna som FCEV kommer vara särskilt lämpade.

När det gäller bussar handlar det ofta om vilken strategi som kollektivtrafikbolaget valt. Eftersom kollektivtrafikbolagen har kontroll över sina rutter kan det vara enklare att planera en *systemlösning* kring BEV. Man har gjort investeringar i laddinfrastruktur och BEV bussar har funnits på marknaden i flera år. Detta sammantaget gör det enklare att välja en BEV vid nya inköp. I de fall en viss rutt inte kan elektrifieras, exempelvis på grund av långt avstånd till laddinfrastruktur, kan FCEV vara ett bra alternativ. FCEV bussar kommer därför sannolikt att användas som ett komplement till BEV inom bussflottorna och för specifika rutter.

Laddinfrastrukturen har sannolikt haft stor betydelse för att ökningen av BEV har varit så stor. En satsning på tankinfrastruktur för vätgas skulle därför sannolikt bidra till att påskynda utvecklingen mot fler vätgasdrivna fordon.

Olika faktorerers betydelse för den totala ägandekostnaden

Den totala ägandekostnaden för BEV är direkt kopplad till kostnaden för laddningen och därför vill man naturligtvis använda det mest kostnadseffektiva alternativet. Möjligheten att ladda en BEV lastbil till exempel över natten eller vid en laddpunkt som ägs av fordonsägaren är att föredra. Det framgår både av intervjuerna och i resultatet från känslighetsanalysen.

I många rapporter som beräknar totala ägandekostnaden för olika drivlinor, visar beräkningarna ofta att BEV är det mest lönsamma alternativet. De flesta rapporter räknar dock genomgående med låga kostnader för laddning, det vill säga, man utgår från kostnaden vid privat laddpunkt. Trots att man lyfter frågan om snabbaddning för BEV lastbilar är det inget som har tagits upp i de rapporter som granskats för detta arbete.

Den elkostnad som användes vid totala ägandekostnadens *standardfall* var också förväntad kostnad då laddpunkten ägs och drivs av fordonsägaren, det vill säga el med lägst pris. Snabbaddning är en viktig fråga och behovet av tillgång till snabbaddning lyftes också fram under intervjuerna. Därför gjordes en analys för att undersöka konsekvenserna för ägandekostnaden då snabbaddning används.

Känslighetsanalysen visade att i de fall då publik snabbaddning används, de vill säga då kostnaden för elen vid laddning är 6 – 10 SEK/kWh, så var den totala ägandekostnaden för BEV och FCEV relativt likvärdiga. Slutsatsen man kan dra av detta är att FCEV då är ett ekonomiskt jämförbart alternativ i de situationer då fordonets körmönster ställer krav på tillgång till snabbaddning vid publik laddstation. Det kan handla om situationer där fordonets rutter skiljer sig mycket åt eller innebär långa körsträckor. FCEV kan då erbjuda en ökad *flexibilitet* i jämförelse med BEV. Detta eftersom de kan användas likt andra drivlinor, som diesel och bensin, där användaren inte behöver ta hänsyn till tiden det tar att ladda fordonet.

Behovet av snabbaddning för BEV lastbilar är, som redan nämnts, en viktig fråga. I rapportens bakgrund beskrevs att snabbaddning innebär laddning med upp till 1 MW laddeffekt. Det kan säkert uppstå svårigheter att implementera en infrastruktur med den effekten och samtidigt uppfylla kraven på hög tillgänglighet för kunderna. Det kan fungera bra i teorin med snabbaddning på 30 minuter för tunga fordon. I praktiken förutsätter det att det finns tillräckligt många tillgängliga laddpunkter för att undvika köbildning. Det kommer därför att behövas mycket effekt tillgänglig där

laddstationen placeras, till exempel vid en rastplats. Samtidigt vill man inte överdimensionera en laddstation med fler laddpunkter än vad som egentligen behövs.

I känslighetsanalysen för den totala ägandekostnaden visade det sig också att ju högre daglig körsträcka, oavsett drivlina, desto lägre blir kostnaden per km. Det kan vara en styrka för både FCEV och CBGV då tanktiden för dessa är kortare än laddtiden för BEV.

Bränslekostnaden är en betydande del av den totala ägandekostnaden. En annan stor del är fordonskostnaden som spelar stor roll vid inköp av ett fordon. Jag tror därför att H2ICE kommer kunna vara ett viktigt komplement till FCEV på grund av dess lägre fordonskostnad. Även CBGV har en lägre fordonskostnad än FCEV och dessa skulle kunna vara attraktiva alternativ då de också delar många styrkor med bränslecellsfordon när det kommer till räckvidd och tanktid.

Olika faktorerers betydelse för fordonens klimatpåverkan

Diagram 11 i togs ett *sannolikt scenario* fram, där den enda reduktionen i utsläpp för fordonen rörde batteriet. Skälet var att batteriet är den komponent som idag enklast kan bytas ut mot alternativ med lägre utsläpp. Kalkylen visade att detta hade en stor effekt på utsläppen, framför allt för BEV eftersom batteri står för stor andel av utsläppen.

När det gäller FCEV är det vätgasproduktionen som står för en stor andel av de totala utsläppen. Utsläppen är kopplade till den elmix som används och är helt avgörande för hur FCEV står sig i jämförelse med de andra drivlinorna. När det gäller vätgasproduktionen så bedöms elmixen vara något man kan ha väldigt bra kontroll över och denna togs därför med i det *sannolika scenariot*. Vätgasproduktionen skulle kunna vara direkt kopplad till en vind eller solkraftspark och därmed får man full kontroll över den el som används. I fallet med BEV bedöms inte möjligheten till kontroll vara lika stor och därför användes den svenska elmixen i *scenariot*. Från det *sannolika scenariot* framgår att man relativt enkelt kan åstadkomma lägre utsläpp för FCEV än för BEV. Det handlar som analysen visar framför allt genom att man lättare kan kontrollera vilken el som används vid vätgasproduktionen.

I det *bästa utfallet* antogs att vätgastanken skulle kunna användas under 20 år, i stället för fordonets livslängd på 10 år. Detta skulle kunna minska utsläppen för vätgastanken med 50 % och därmed ha en stor påverkan på FCEV totala utsläpp. I analysen användes även ett lägre framtida utsläpp för bränslecellen, genom att anta att en grönare elmix används under tillverkning. I framtiden finns nog stora möjligheter att minska både vätgastankens och bränslecellens utsläpp men detta behöver undersökas närmare och togs därför inte med i det *sannolika scenariot*. I *bästa utfallet* användes en elmix baserat på vindkraft för både BEV och FCEV, som nämndes ovan ansågs detta inte praktiskt möjligt för BEV och togs därför inte med i det *sannolika scenariot*.

Utsläppen från fordonstillverkningen för CBGV är betydligt lägre i jämförelse med både BEV och FCEV. Detta för att komponenter med höga utsläpp som batteri, vätgastank och bränslecell inte ingår. Utsläppen från bränsleanvändningen är därför den största faktorn till klimatpåverkan för CBGV. I denna rapport har ett utsläpp på **84,8 g CO₂-ekv/km** används för biogasförbrukningen. Viktigt att nämna är att utsläppen för svensktillverkad biogas ibland antas vara noll och i vissa fall även negativa. Denna rapport räknar dock med det ovannämnda värdet.

En differentierad fordonsflotta ger ökad robusthet

En effekt av att fordonsflottan består av en stor andel BEV är ökad belastning på elnätet. Redan idag märks denna effekt på vissa platser. Även om det inte utgör ett stort problem idag kan det vara en risk i framtiden. Det finns därför ett värde i att ha flera olika typer av drivlinor i en fordonsflotta. I grund och botten handlar det om en ökad robusthet om till exempel något bränsle plötsligt ökar

kraftigt i pris eller inte skulle vara tillgängligt. Detta är också ett viktigt perspektiv när det gäller framtida krisberedskap. Vätgas kan därför vara ett viktigt komplement för att åstadkomma den robustheten.

Vätgasens möjligheter som energibärare

Det finns fler intressanta möjligheter för vätgas vid sidan om värdet som drivmedel i fordon. Både kommunerna och kollektivtrafikbolagen lyfte detta. En sådan möjlighet kan vara att använda vätgas som energibärare. Vätgas skulle kunna öppna upp för energilagring från förnyelsebar energiproduktion. Vätgas kan också fungera som ett balansverktyg vid effektbelastningar på elnätet kopplade till en fordonsflotta bestående av BEV.

Genom att vätgasen har flera användningsområden kan det också innebära att mängden producerad vätgas ökar i framtiden. Detta kan i sin tur leda till att skapa goda förutsättningar för vätgasdrivna fordon.

Vätgas kan även kunna produceras från biogas. Ett kollektivtrafikbolag hade börjat fundera på vätgas som drivmedel efter att deras biogasleverantör delat tanken på att i framtiden producera vätgas av sin biogas.

Även om det ovan nämnda inte handlar om fordon specifikt så är det värdefullt att reflektera kring hur biogas, vätgas och el kan komma att samverka i framtiden.

Erfarenheter från implementering av biogas

Det finns också viktiga lärdomar att dra från implementering av biogas. En sådan är att driftsäkerheten är otroligt viktig. Det innebär att det måste finnas alternativa tankstationer i närheten av en tankstation om den av något skäl inte fungerar.

Det är intressant att reflektera över om de andra drivmedlen såsom biogas, flytande biogas och flytande vätgas kommer att påverka utbyggnaden av komprimerad vätgas. Det är självklart positivt med fler drivmedel men kan det vara så att det blir svårt att bygga ut en fungerande infrastruktur för alla drivmedel parallellt?

8. Felkällor och framtida studier

8.1 Felkällor

Upplägget kring kalkylerna för totala ägandekostnaden och livscykelanalysen gjordes genom att dela upp fordonen i komponenter. Kostnaden för vissa komponenter samt utsläpp togs inte med i kalkylerna då de antingen ansågs vara små i förhållande till de större posterna men också för att det saknas tillgängliga data att använda.

8.2 Framtida Studier

Det hade varit intressant att undersöka den effektbelastning som en fordonsflotta bestående av BEV har på samhället. Frågan dök upp ett flertal gånger under arbetets gång och även om det inte har varit ett stort problem för aktörer i dagsläget så är det en fråga som blir alltmer aktuell. Det hade också varit intressant att se hur vätgas skulle kunna hjälpa till som balansverktyg för ett samhälles effektbehov.

Kollektivtrafikbolagen beskrev också att BEV behöver dieseldrivna extravärmare i bussarna för att nå behagliga temperaturer. Det hade varit intressant att titta närmare på detta och undersöka om spillvärmens från bränslecellen skulle kunna tas tillvara på för uppvärmning av kupén och vad detta skulle kunna bidra med i jämförelsen.

9. Slutsats

Från arbetet framkom att de olika drivlinorna kompletterar varandra genom att de har olika styrkor och därmed fyller olika behov. Den svenska fordonsflottan kommer därför sannolikt att i framtiden bestå av flera olika miljövänliga drivlinor.

FCEV är framför allt att föredra för tunga lastbilar med tunga laster som behöver kunna köra längre sträckor. I applikationer där det är ett problem att fordonet står stilla en längre period för laddning kan FCEV, utöver tunga lastbilar, även vara lämpligt för personbilar. Inom en bussflotta kommer FCEV framför allt fungera som ett komplement till BEV i de fall då rutter inte kan elektrifieras eller då de är långt till laddinfrastruktur.

För samtliga drivlinor är bränslekostnaden den faktor som har störst påverkan på den totala ägandekostnaden. I de fall då publik snabbladning används för BEV är de totala ägandekostnaderna för FCEV och BEV likvärdiga. Den totala ägandekostnaden blir lägre ju högre den dagliga körsträckan är. Detta kan ses som en styrka för FCEV och CBGV då deras tanktider är betydligt kortare än laddtiden för BEV.

Den faktor som har störst påverkan på utsläppen för BEV är utsläppen från batteritillverkningen. Ifall ett svensktillverkat batteri används kan klimatpåverkan för BEV minska med runt 20 %. Den största påverkande faktorn för utsläppen, relaterade till FCEV, är utsläppen från bränsleförbrukningen. Ifall el producerat från vindkraftverk används vid produktionen av vätgas kan de totala utsläppen för FCEV bli lägre än för BEV. Den faktor som har störst påverkan på utsläppen för CBGV är utsläppen från bränsleförbrukningen. Utsläppen från fordonstillverkningen för CBGV är betydligt lägre jämfört med både BEV och FCEV.

Ett stort potentiellt hinder som vätgasimplementering står inför är otillräckligt utbyggd tankinfrastruktur. Vätgas kan fylla fler funktioner än som drivmedel. Möjligheten att använda vätgas för energilagring och balansverktyg för elnätet kan båda bidra till ett ökat intresse för användning av vätgas. Detta kan också ha en positiv effekt på användning av vätgas inom transportsektorn. Den ökade robusthet som vätgas som drivmedel bidrar med kan också påskynda en implementering.

10. Källhänvisning

Aguilar. P, Groß. B (2022) *Battery electric vehicles and fuel cell electric vehicles, an analysis of alternative powertrains as a mean to decarbonise the transport sector*, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Del C.

<https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102624>

Alaswad. A, Palumbo. A, Dassisti. M & Olabi. A.G (2016) *Fuel Cell Technologies, Applications, and State of the Art. A Reference Guide*, Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.04009-1>

Basma. H & Rodríguez. F (2022) *Fuel cell electric tractor-trailers: Technology overview and fuel economy*

<https://theicct.org/publication/fuel-cell-tractor-trailer-tech-fuel-jul22/>

(Hämtad 2024-04-01)

Benitez. A, Wulf. C, de Palmenaer. A, Lengersdorf. M, Röding. T, Grube. T, Robinius. M, Stolten. D & Kuckshinrichs. W (2021) *Ecological assessment of fuel cell electric vehicles with special focus on type IV carbon fiber hydrogen tank*, Journal of Cleaner Production

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123277>

Burke. A, Zhao. J, Miller. M, Sinha. A & Fulton. L (2023) *Projections of the costs of medium- and heavy-duty battery-electric and fuel cell vehicles (2020-2040) and related economic issues*, Energy for Sustainable Development

<https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.101343>

Cheng. Q, Zhang. R, Shi. Z & Lin. J (2024) *Review of common hydrogen storage tanks and current manufacturing methods for aluminium alloy tank liners*, International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, s. 269 – 284

<https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2023.08.002>

Chordia. M, Nordelöf. A & Ager-Wick Ellingsen. L (2021) *Environmental life cycle implications of upscaling lithium-ion battery production*, International Journal of Life Cycle Assessment, s. 2024 – 2039

<http://dx.doi.org/10.1007/s11367-021-01976-0>

Circle K (u.å.) *Priser för laddning*

https://www.circlek.se/foretag/laddning/priser?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwwr6wBhBcEiwAfMEQs55f3T8ClT34_X976xIAiHzy2_DLPfXZGwYJke1Np0mtwg6x-OrP-RoCqusQAvD_BwE

(Hämtad 2024-04-05)

Demaco (2024) *From steam methane reforming to green hydrogen*

<https://demaco-cryogenics.com/blog/steam-methane-reforming-to-green-hydrogen/>

(Hämtad 2024-04-01)

Dirkes. S, Leidig. J, Fisch. P & Pischinger. S (2023) *Prescriptive Lifetime Management for PEM fuel cell systems in transportation applications, Part I: State of the art and conceptual design*, Energy Conversion and Management

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116598>

Du, J., Liu, Y., Mo, X., Li, Y., Li, J., Wu, X. & Ouyang, M. (2019) *Impact of high-power charging on the durability and safety of lithium batteries used in long-range battery electric vehicles*, Applied Energy

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113793>

Energigas Sverige (2021) *Vätgas växer i Mariestad*

<https://www.energigas.se/publikationer/tidningen-energigas/vatgas-vaxer-i-mariestad/>

(Hämtad 2024-04-01)

Energigas Sverige (2023)a *Vad är fordonsgas?*

<https://www.energigas.se/fakta-om-gas/fordonsgas-och-gasbilar/vad-ar-fordonsgas/>

(Hämtad 2024-03-12)

Energigas Sverige (2023)b *Vad är energiinnehållet i naturgas, biogas och fordonsgas?*

<https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/faq-om-biogas/vad-ar-energiinnehallet-i-naturgas-biogas-och-fordonsgas/>

(Hämtad 2024-04-01)

Energigas Sverige (2024)a *Vad är vätgas?*

<https://www.energigas.se/fakta-om-gas/vatgas/vad-ar-vatgas/> (Hämtad 2024-04-01)

Energigas Sverige (2024)b *Statistik om fordonsgas*

<https://www.energigas.se/fakta-om-gas/fordonsgas-och-gasbilar/statistik-om-fordonsgas/>

(Hämtad 2024-03-12)

Energigas Sverige (2024)c *Tanka gas*

<https://www.energigas.se/fakta-om-gas/fordonsgas-och-gasbilar/tanka-gas/>

(Hämtad 2024-03-12)

Energigas Sverige (2024)d *Tanka LNG/LBG*

<https://www.energigas.se/fakta-om-gas/fordonsgas-och-gasbilar/tanka-lnglbg/>

(Hämtad 2024-03-12)

Energimyndigheten (2023)a *Klimatpremie*

<https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/transporter/transporteffektivt-samhalle/klimatpremie/>

(Hämtad 2024-03-05)

Energimyndigheten (2023)b *Växthusgasutsläpp*

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgasutslapp/>

(Hämtad 2024-04-01)

Energimyndigheten (2024) *Regionala elektrifieringspiloter för tunga transporter*

<https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/transporter/laddinfrastruktur/stod-att-soka-inom-laddinfrastruktur/regionala-elektrifieringspiloter/>

(Hämtad 2024-02-08)

Energy Education (u.å.)a *Types of hydrogen fuel*

https://energyeducation.ca/encyclopedia/Types_of_hydrogen_fuel#cite_note-3

(Hämtad 2024-04-01)

Energy Education (u.å.)b *Energy density*
https://energyeducation.ca/encyclopedia/Energy_density
(Hämtad 2024-03-09)

Energy.gov (u.å.)a *Hydrogen Production*
<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production> (Hämtad 2024-04-01)

Energy.gov (u.å.)b *Hydrogen Production: Electrolysis*
<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis>
(Hämtad 2024-04-01)

Fărcaş. A, Dobra. P (2014) *Adaptive Control of Membrane Conductivity of PEM Fuel Cell*, *Procedia Technology*, s. 42-49.

<https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.454>

Kampker. A, Heimes. H, Kehrer. M, Hagedorn. S, Reims. P & Kaul. O (2023) *Fuel cell system production cost modeling and analysis*, *Energy Reports*, s. 248-255

<https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.364>

Faria. R, Marques. P, Garcia. R, Moura. P, Freire. F, Delgado. J & de Almeida. A.T (2014) *Primary and secondary use of electric mobility batteries from a life cycle perspective*, *Journal of Power Sources*, s. 169 – 177

<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.03.092>

Ghaffari-Tabrizi. F, Haemisch. J, Lindner. D (2022) *Reducing Hydrogen Boil-Off Losses during Fuelling by Pre-Cooling Cryogenic Tank*, *Hydrogen*, s. 255 – 269.

<https://doi.org/10.3390/hydrogen3020015>

Hosseini. S (2023) *Chapter 5 - Hydrogen storage and delivery challenges*, *Fundamentals of Hydrogen Production and Utilization in Fuel Cell Systems*, s. 237 – 254

<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88671-0.00003-6>

Hren. R, Vujanović. A, Fan. Y.V, Klemeš. J.J, Krajnc. D & Čuček. L (2023) *Hydrogen production, storage and transport for renewable energy and chemicals: An environmental footprint assessment*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113113>

Hunter. C, Penev. M, Reznicek. E, Lustbader. J, Birky. A & Zhang. C (2021) *Spatial and Temporal Analysis of the Total Cost of Ownership for Class 8 Tractors and Class 4 Parcel Delivery Trucks*

<https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/71796.pdf>

(Hämtad 2024-04-01)

Hyzon (2024) *Hyzon HyHD8-200*

<https://www.hyzonfuelcell.com/vehicles/hyhd8-200kw>

(Hämtad 2024-04-01)

IEA (2022)a *Evolution of average range of electric vehicles by powertrain, 2010 – 2021*

<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/evolution-of-average-range-of-electric-vehicles-by-powertrain-2010-2021>

(Hämtad 2024-03-28)

IEA (2022)b *Electric Vehicles: Total Cost of Ownership Tool*
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/electric-vehicles-total-cost-of-ownership-tool>
(Hämtad 2024-03-29)

IEA (u.å.) *Hydrogen as a fuel for fuel cell electric vehicles*
<https://www.ieafuelcell.com/index.php?id=33>
(Hämtad 2024-03-11)

Irena (u.å.) *Hydrogen*
<https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>
(Hämtad 2024-04-01)

Karlström. M (2020) *Kunskapssammanställning stationär laddning till tunga lastbilar*
https://bransch.trafikverket.se/contentassets/f1e0a794d4ba4a5d8bf27fd58ed2d23a/kunskapssammanstallning_trafikverket_final.pdf
(Hämtad 2024-02-01)

Kleen. G, Gibbons. W & Fornaciari. J (2023) *Heavy-Duty Fuel Cell System Cost – 2022*
<https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/23002-hd-fuel-cell-system-cost-2022.pdf?>
(Hämtad 2024-04-01)

Langmi. H.W, Engelbrecht. N, Modisha. P.M & Bessarabov. D (2022) *Chapter 13 - Hydrogen storage*, *Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications*, s. 455 – 486
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819424-9.00006-9>

Lantz. A (2013)a *Intervjumetodik*, Upplaga 3, Studentlitteratur, Kapitel 3

Lantz. A (2013)b *Intervjumetodik*, Upplaga 3, Studentlitteratur, Kapitel 8–9

Liu. X, Reddi. K, Elgowainy. A, Lohse-Busch. H, Wang. M & Rustagi. N (2020) *Comparison of well-to-wheels energy use and emissions of a hydrogen fuel cell electric vehicle relative to a conventional gasoline-powered internal combustion engine vehicle*, *International Journal of Hydrogen Energy*
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.192>

Ma. S, Jiang. M, Tao. P, Song. C, Wu. J, Wang. J, Deng. T & Shang. W (2018) *Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review*, *Progress in Natural Science: Materials International*
<https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2018.11.002>

Manoharan. Y, Hosseini. S.E, Butler. B, Alzahrani. H, Senior. B.T.F, Ashuri. T, Krohn. J (2019) *Hydrogen Fuel Cell Vehicles Current Status and Prospect*, *Applied Sciences*
<https://doi.org/10.3390/app9112296>

Mazloomi. K & Gomes. C (2012) *Hydrogen as an energy carrier: Prospects and challenges*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, s. 3024-3033
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.028>

Mori, M, Iribarren, D, Cren, J, Cor, E, Lotrič, A, Gramc, J, Drobnič, B, Rey, L, Campos-Carriedo, F, Puig-Samper, G, Bargiacchi, E, Dufour, J & Stropnik, R (2023) *Life cycle sustainability assessment of a proton exchange membrane fuel cell technology for ecodesign purposes*, International Journal of Hydrogen Energy
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.255>

Naturvårdsverket (2024) *Klimatlivet – Kriterier för stöd till publika tankstationer för vätgas*
<https://www.naturvardsverket.se/48e086/contentassets/8909c96480ea4ebca3bde91687802ff1/kriterier-urvalsprocess-vatgastankstationer-anbud-2024-2.pdf>
(Hämtad 2024-02-08)

OKQ8 (u.å.) *Kostnad ladda elbil hemma*
<https://www.okq8.se/elbilsladdning/ladda-elbil-hemma/kostnad/>
(Hämtad 2024-04-01)

Ou, S (2023) *Estimate long-term impact on battery degradation by considering electric vehicle real-world end-use factors*, Journal of Power Sources
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2023.233133>

Padgett, E & Kleen, G (2020) *Automotive Fuel Cell Targets and Status*
<https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/20005-automotive-fuel-cell-targets-status.pdf>
(Hämtad 2024-04-01)

Ports (u.å.)a *Port of Shanghai to Port of Bremen*
<http://ports.com/sea-route/#/?a=4595&b=0&c=Port%20of%20Shanghai,%20China&d=Port%20of%20Bremen>
(Hämtad 2024-04-01)

Ports (u.å.)b *Port of Busan to Port of Bremen*
[http://ports.com/sea-route/#/?a=12735&b=0&c=Port%20of%20Busan%20\(Pusan\),%20South%20Korea&d=Port%20of%20Bremen](http://ports.com/sea-route/#/?a=12735&b=0&c=Port%20of%20Busan%20(Pusan),%20South%20Korea&d=Port%20of%20Bremen)
(Hämtad 2024-04-01)

PowerCircle (2024) *Elbilsåret 2023*
<https://infogram.com/elbilsaret-2023-1hnq4107zjev23?live>
(Hämtat 2024-01-30)

Prati, M, Costagliola, M, Unich, A & Mariani, A (2022) *Emission factors and fuel consumption of CNG buses in real driving conditions*, Transportation Research Part D: Transport and Environment
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103534>

Rashid, S, Pagone, E (2023) *Cradle-to-Grave Lifecycle Environmental Assessment of Hybrid Electric Vehicles*, Sustainability.
<https://doi.org/10.3390/su151411027>

Ravnigné, E, Da Costa, P (2021) *Economic and environmental performances of natural gas for heavy trucks: A case study on the French automotive industry supply chain*, Energy Policy
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112019>

Reick. B, Konzept. A, Kaufmann. A, Stetter. R, Engelmann. D (2021) *Influence of Charging Losses on Energy Consumption and CO2 Emissions of Battery-Electric Vehicles*, *Vehicles*, s. 736 – 748
<https://doi.org/10.3390/vehicles3040043>

Rout. C, Li. H, Dupont. V & Wadud. Z (2022) *A comparative total cost of ownership analysis of heavy duty on-road and off-road vehicles powered by hydrogen, electricity, and diesel*, *Heliyon*
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12417>

Royal Society of Chemistry (2024) *Hydrogen*
<https://www.rsc.org/periodic-table/element/1/hydrogen> (Hämtad 2024-04-01)

Samuelson. R.D & Wang. H (2021) *Comparing Freight Transport Emissions by Mode*
<https://az659834.vo.msecnd.net/eventsairaeuprod/production-hardening-public/8cb2b6e4c44343c98a36f740ff2d36f7>
(Hämtad 2024-04-01)

Scania (2018) *Produktinformation för räddningstjänst*
https://www.scania.com/content/dam/scanianoe/market/master/pdf/rescue-information/w_wsm000106sv-SE07.pdf
(Hämtad 2024-04-01)

Scania (2023) *Delårsrapport*
<https://mb.cision.com/Main/209/3861022/2383529.pdf>
(Hämtad 2024-04-01)

Scania (u.å.) *Specifikationer för gasdrivna lastbilar*
<https://www.scania.com/se/sv/home/products/trucks/gas-truck/gas-truck-specifications.html>
(Hämtad 2024-04-01)

Shin. H.K, Ha. S.K (2023) *A Review on the Cost Analysis of Hydrogen Gas Storage Tanks for Fuel Cell Vehicles*, *Energies*
<https://doi.org/10.3390/en16135233>

Shiva Kumar. S & Himabindu. V. (2019) *Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review*, *Materials Science for Energy Technologies*, s. 442 – 454.
<https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.03.002>

Srna. A (u.å.) *Is there a place for H₂ internal combustion engines?*
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-03/h2iqhour-02222023.pdf>
(Hämtad 2024-03-12)

Statista (2023)a *Lithium-ion battery price worldwide from 2013 to 2023*
<https://www.statista.com/statistics/883118/global-lithium-ion-battery-pack-costs/>
(Hämtad 2024-04-01)

Statista (2023)b *Average carbon footprint of cargo ships in the United Kingdom (UK) in 2023, by type*
<https://www.statista.com/statistics/1233482/carbon-footprint-of-cargo-ships-by-type-uk/>
(Hämtad 2024-04-01)

Statista (2023)c *Carbon intensity of the power sector in Sweden from 2000 to 2022*
<https://www.statista.com/statistics/1290491/carbon-intensity-power-sector-sweden/>
(Hämtad 2024-04-01)

Steinstraeter. M, Heinrich. T & Lienkamp. M (2021) *Effect of Low Temperature on Electric Vehicle Range*, World Electric Vehicle Journal 12
<https://doi.org/10.3390/wevj12030115>

Svensk Biogas (2020) *Gasfordon 2020*
https://www.svenskbiogas.se/siteassets/informationsblad/gasfordon_2020.pdf
(Hämtad 2024-03-12)

Svensk Biogas (u.å.) *Vad kostar biogas?*
<https://www.svenskbiogas.se/kundservice/biogas-pris/>
(Hämtad 2024-04-01)

Sveriges lantbruksuniversitet (2022) *Vad är livscykelanalys?*
<https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/>
(Hämtad 2024-03-29)

Toyota (2024) *Mirai – kör ljudlöst på el med hjälp av bränsleceller*
<https://www.toyota.se/bilar/mirai>
(Hämtad 2024-03-07)

Trafikanalys (2024)a *Fordon 2023*
<https://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/fordon/2024/fordon-2023.pdf>
(Hämtad 2024-03-05)

Trafikanalys (2024)b *Fordon 2023 [Excel]*
<https://www.trafa.se/vagtrafik/fordon/>
(Hämtad 2024-03-07)

Trafikverket (2023) *Laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vätgas*
<https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1811882/FULLTEXT01.pdf>
(Hämtad 2024-02-07)

U.S Department of energy (u.å.)a *How Do Fuel Cell Electric Vehicles Work Using Hydrogen?*
<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>
(Hämtad 2024-03-10)

U.S Department of energy (u.å.)b *Fuel Cell Electric Vehicles*
https://afdc.energy.gov/vehicles/fuel_cell.html
(Hämtad 2024-03-28)

U.S Department of energy (u.å.)c *How Do Bi-fuel Natural Gas Vehicles Work?*
<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-bifuel-natural-gas-cars-work>
(Hämtad 2024-03-12)

U.S Department of Transportation (2023) *Electric Vehicle Charger Levels and Speeds*
<https://www.transportation.gov/urban-e-mobility-toolkit/e-mobility-basics/charging-speeds>
(Hämtad 2024-02-01)

Usai, L, Hung, C.R, Vásquez, F, Windsheimer, M, Burheim, O.S & Strømman, A.H (2021) *Life cycle assessment of fuel cell systems for light duty vehicles, current state-of-the-art and future impacts*, Journal of Cleaner Production
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125086>

Vätgas Sverige (u.å.)a *Vad är vätgas?*
<https://vatgas.se/fakta/vad-ar-vatgas/>
(Hämtad 2024-04-01)

Vätgas Sverige (u.å.)b *Hur tillverkas vätgas?*
<https://vatgas.se/fakta/hur-tillverkas-vatgas/> (Hämtad 2024-04-01)

Vätgas Sverige (u.å.)c *Tanka vätgas*
<https://vatgas.se/fakta/utbyggnad-av-vatgastankstationer-tanka-vatgas-vatgastankstationer/>
(2024-02-08)

Vattenfall (u.å.) *Wind power*
<https://group.vattenfall.com/what-we-do/our-energy-sources/wind-power>
(Hämtad 2024-04-02)

VolvoTrucks (2022)a *Hur en bra laddningsstrategi kan utöka räckvidden för en elektrisk lastbil*
<https://www.volvotrucks.se/sv-se/news/magazine-online/2022/Hur-en-bra-laddningsstrategi-kan-utoka-rackvidden-for-en-elektrisk-lastbil.html>
(Hämtad 2024-02-01)

VolvoTrucks (2022)b *Volvo Trucks to begin customer testing of fuel cell trucks in 2025*
<https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/press-releases/2022/sep/volvo-trucks-to-begin-customer-testing-of-fuel-cell-trucks-in-2025.html>
(Hämtad 2024-03-07)

VolvoTrucks (2022)c *Volvo's heavy-duty electric truck put to the test: Excels in range and energy efficiency* <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/stories/2022/jan/volvo-fh-electric-excel-in-first-road-test.html> (Hämtad 2024-04-01)

VolvoTrucks (2024) *Volvo FH Electric*
<https://www.volvotrucks.se/sv-se/trucks/electric/volvo-fh-electric.html>
(Hämtad 2024-04-01)

Wang, Z, Acha, S, Bird, M, Sunny, N, Stettler, M, Wu, B & Shah, N (2024) *A total cost of ownership analysis of zero emission powertrain solutions for the heavy goods vehicle sector*, Journal of Cleaner Production
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139910>

Westport (u.å.) *H2 HPDI*
<https://westport-hpdi.com/h2-hpdi/>
(Hämtad 2024-04-05)

Wolff, S, Seidenfus, M, Gordon, K, Álvarez, S, Kalt, S, Lienkamp, M (2020) *Scalable Life-Cycle Inventory for Heavy-Duty Vehicle Production*, Sustainability
<https://doi.org/10.3390/su12135396>

Xu. C, Guo. K & Yang. F (2018) *A Comparative study of Different Hybrid Electric Powertrain Architectures for Heavy-Duty Truck*, IFAC-PapersOnLine, s. 746 – 753
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.10.136>

Ye. L & Lu. L (2023) *Environmental and economic evaluation of the high-pressured and cryogenic vessels for hydrogen storage on the sedan*, International Journal of Low-Carbon Technologies, s. 144 – 149
<https://doi.org/10.1093/ijlct/ctac126>

11. Appendix

11.1 Intervjumall 1 – kommun

Fordon

1. Vilka typer av fordon använder ni? (*Fordonstyper, antal*)
2. Hur används dessa fordon?
 - a. Körsträcka (*Genomsnittlig dagligen i km*)
 - b. Körstil (*Stadsmiljö, landsväg*)
 - c. Hur stor del av dygnet används fordonet?
3. Har ni något fordon som drivs på biodiesel, biogas eller el idag?

Inköp av fordon

1. Hur ser er process ut vid köp/leasing av ett nytt fordon?
2. Är det något regelverk som styr vid köp/leasing av ett nytt fordon?
3. Hur pass viktade är olika kriterier vid köp/leasing så som:
 - a. Leveranstid
 - b. Pris
 - c. Miljövänlighet
 - d. Komfort
 - e. Service och reservdelar
 - f. Pålitlighet

Framtiden

1. Hur ser ni på framtiden för vätgas i er kommun?
2. Är det något ni tänker som är mer tilltalande eller något som är problematiskt med vätgas?
3. Känner ni att det finns behov av fossilfria fordon som inte är eldrivna i er kommun?
4. Målgruppen för rapporten är framför allt kommunerna i projektet. Är det något annat som ni känner hade varit intressant att ta reda på?

11.2 Intervjumall 2 – kommun

Projektet

1. Ni har gjort en förstudie för ett projekt med en vätgassopbil. Skulle du kunna beskriva projektet?
2. Vad har ni kommit fram till under er förstudie?
 - a. Om projektet redan är i gång – Vad har ni hunnit lära er?
3. Vad har ni för mål (lära er) med detta projekt?
4. Är sopbilen driven med en bränslecell eller en förbränningsmotor H2ICE?
 - a. Är det någon tanke bakom det beslutet? (*Generativ bromsning, inga kväveoxider NOx, verkningsgrad*)
5. Ser ni några fördelar med en vätgasdriven sopbil över en eldriven sopbil?
 - a. Totala vikten med batterier
6. Vad för typ av rutt har ni tänkt att sopbilen ska köra?
 - a. Från a till b.
 - b. Mer en rutt med mycket stopp och startningar.
7. Hur har ni tänkt tanka sopbilen?
 - a. Är räckvidden nog för en hel dag?

Övrigt

1. Hur stor inverkan tror du att Nordic Hydrogen Corridor har för *Kommunens* implementering av vätgas i dess fordonsflotta?
2. Vad är er syn på vätgas i allmänhet?
3. Är det några speciella scenarion då ni tänker att det lämpar sig bra med vätgasdrivna fordon?

11.3 Intervjumall 3 – Kollektivtrafikbolag

Frågor

1. Det sker för tillfället ett forskningsprojekt om möjligheterna med en vätgasbuss för *Kollektivtrafikbolaget*. Är det något med den geografiska positionen som gör att det är extra intressant att göra undersökningen där?
2. Vad har ni hunnit komma fram till från projektet?
 - a. Lärdomar
 - b. Slutsatser

Eldrivet

3. Ni har i dagsläget en del eldrivna bussar. Är det någon speciell typ av busslinje som är eldriven? (ex. körmönster som körsträcka, stadsmiljö)
4. Är det speciella linjer som ni ska köra el på?
5. Hur laddar ni era eldrivna bussar?
6. Har ni stött på några hinder/problem med de eldrivna bussarna?

Biogasdrivet

7. Ni har i dagsläget en del biogasdrivna bussar. Är det någon speciell typ av busslinje som är biogasdriven?
8. Har ni en egen tankstation för biogas?
9. Har ni stött på några hinder/problem med de biogasdrivna bussarna?

Framtiden

10. Från figuren "Fortsatt resa för en bättre miljö" så pratar ni om att 2030 - 2032 fasa ut de biogasdrivna bussar till vätgasdrivna. Hur gå era tankar kring det?
11. Hur ser ni på framtiden för biogas?
 - a. Biogasdrivna fordon
 - b. Biogas i allmänhet

11.4 Intervjumall 4 – Kollektivtrafikbolag

1. Från er hållbarhetsredovisning 2022 så står det att ni hade 286 elbussar, varav ungefär 90 var regionbussar.
 - a. Är det några speciella scenarion då elbussar lämpar sig?
2. Från samma redovisning står det att ni hade 622 biogasbussar.
 - a. Är det några speciella scenarion då biogasbussar lämpar sig?
3. Är planen att byta ut biodieselbussarna till annan drivlina?
4. Hur laddar ni era elbussar?
 - a. Ändhållplatser
 - b. Över natten
 - c. Snabbladdning
5. Tänker ni något kring effektbelastningen som de eldrivna bussarna har på elnätet?
6. Är det något problem / hinder som har dykt upp med de eldrivna bussarna?
7. Hur tankar ni era biogasbussar?
 - a. Egen tankstation?
8. Är det några unika utmaningar med regionbussar som ni inte har med stadsbussarna?
9. Har ni funderat på vätgasdrivna bussar?
 - a. Om ja:
 - i. Vilka möjligheter ser ni med vätgasdrivna bussar?
 - ii. Vilka hinder ser ni med vätgasdrivna bussar?
 - b. Om nej:
 - i. Är det någon speciell anledning till att ni inte tänker på det?
10. Tänker ni något på de nya Euro 7 reglerna kring stadsbussar?
 - a. NOx

- b. Utsläpp från bromsar
- 11. Planerar ni era rutter utifrån fordonet eller utifrån föraren?
- 12. Jag hade en intervju med ett kollektivtrafikbolag i norra Sverige och dom har haft problem med klimat inne i sina elbussar. Att det har varit för kallt och dom har varit tvungna att ha dieselvärmare. Är det något ni har haft problem med också eller har tänkt på.
 - a. Spillvärme från en vätgasbuss.

11.5 Intervjumall 5 – Fordonsindustri

1. Som fordonstillverkare, vad är er syn på vätgasdrivna fordon och framtiden för det?
2. Både el, biogas och vätgasdrivna lastbilar är fossilfria alternativ. Hur tänker ni att de ska komplettera varandra? (Körmönster, körsträckor, fordonsvikt och last)
3. Hur tänker ni att FCEV och HICEV kan komplettera varandra?
 - a. Robusthet
 - b. Kylning
4. *Företaget* tillverkar också bussar, har ni tänkt att applicera vätgastekniken på bussar också?
 - a. Stadsbussar
 - b. Regionbussar
5. *Företaget* erbjuder "en komplett lösning" vid inköp av elbussar så som:
 - a. Fordon, tjänster och system
 - b. Hjälptjänster, laddinfrastruktur, grön energipartner, reparation- och underhållspersonal

Känner ni att det finns behov av dessa "stödtjänster" och kommer det erbjudas liknande för vätgasdrivna bussar?
6. Vad är er syn på biogasdrivna fordon och biogas som drivmedel?
7. Hur tänker ni kring de nya Euro 7?
 - a. NOx
 - b. Bromsutsläpp
8. Vad tänker ni om er roll när en ny typ av drivlina kommer till marknaden/samhället?
9. Denna fråga är lite kopplad till föregående fråga. Ni pratar om att vikten med samarbete med partners.
 - a. Vad är det för typ av partners och vilken typ av samarbeten? (Pilotprojekt, andra tillverkare, kommuner?)

11.6 Intervjumall 6 – Fordonsindustri

1. Som fordonstillverkare, vad är er syn på vätgasdrivna fordon och framtiden för det?
2. Hur tänker ni att el, vätgas och biogasdrivna lastbilar kan komplettera varandra?
 - a. Andelar el och vätgas
 - b. LBG
3. Hur tänker ni att FCEV och H2ICEV kan komplettera varandra?
 - a. Robusthet
 - b. Kylning
4. *Företaget* tillverkar också bussar, har ni tänkt applicera vätgastekniken på bussar också?
 - a. Hur de olika drivlinorna kan komplettera varandra
 - b. Stadsbussar, regionbussar
5. Vid köp av elbuss erbjuder *Företaget* något som kallas för "Turnkey". Uppkopplad för statistik kring förbrukning, körstil samt hjälp med underhåll och projektledning.
 - a. Känner ni att det finns behov för dessa stödtjänster?

- b. Är det något ni erbjuder vid inköp av lastbilar också?
 - c. Kommer det erbjudas för vätgasdrivna fordon också?
- 6. *Företaget* tillverkar också byggfordon, ”grävmaskiner, hjullastare och dumpers”. Baserat från figuren från din presentation för energiförbrukning / timme och dagligt användande. Skulle du kunna beskriva mer hur ni tänker kring det?
- 7. Hur tänker ni kring nya Euro 7?
 - a. NOx
 - b. Bromsutsläpp
 - c. Stadsmiljö
- 8. Vad tänker ni om er roll när en ny typ av drivlina kommer till marknaden/samhället?
- 9. Hur pass viktigt är det med samarbeten?
 - a. Vad för typ av samarbeten?
 - b. Vilka partners?
- 10. Förstår att många projekt är i tidiga stadier men är det något ni har upptäckt med vätgasfordon, positivt eller negativt som ni kan dela med er av?

11.7 Intervjumall 7 – Fordonsindustri

- 1. Ni skriver på er hemsida att er bränslecell har en livslängd på upp till 20 000 timmar. Skiljer sig livslängden beroende på i vilken typ av fordon bränslecellen sitter i?
- 2. Hur stor påverkan på bränslecellens livslängd har faktorer som:
 - a. Dynamisk last (acceleration, nedbromsning, hastighet)
 - b. Tomgång
 - c. Uppstart och nedstängning
 - d. Klimat
- 3. Ser ni några förbättringsområden med dagens bränsleceller som ni jobbar med att förbättra/lösa?
- 4. Hur tänker ni att dessa faktorer för bränslecellen kan förbättras i framtiden?
 - a. Livslängd
 - b. Kostnad
 - c. Verkningsgrad