
FÖRSTUDIERAPPORT

PLAN ZERO – OMSTÄLLNING TILL EMISSIONSFRIA

VÄGUNDERHÅLLENTREPRENADER



INFRA
SWEDEN 2030

Via **PM**



 **TRAFIKVERKET**

SVEVIA

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS

Strategiska
innovations-
program

Dokumenttitel: Förstudierapportplan Zero – omställning till emissionsfria vägunderhållsentreprenader
Författare: Anders Johnson, Björn Eklund, Boh Westerlund, Hawzheen Karim, Jasmina Pasic Radicic, Mats Granberg, Sandra Matsson och Thomas Wågberg.

Dokumentdatum: 2022-05-31

Ärendenummer:

Version: 1.0

Kontaktperson: Jasmina Pasic Radicic och Hawzheen Karim, ViaPM AB

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Innehållsförteckning.....	5
1 Sammanfattning.....	7
3 Inledning.....	10
3.1 Bakgrund	12
3.2 Syfte och mål	13
3.3 Avgränsning/fokus	13
4 Metod.....	14
5 Nulägesbeskrivning	14
5.1 Vägunderhållsvärdekedjan idag	14
5.1.1 Nuvarande fordonsflotta.....	15
5.1.2 Upphandling och avtal	16
5.1.3 Ekonomi och lönsamhet för entreprenören	17
5.2 Fordonsteknik.....	18
5.2.1 Fordon som finns att tillgå idag.....	18
5.2.2 FCEV: Vad finns idag?	18
5.2.3 FCEV: Vad testas idag?	19
5.3 Vätgasteknik.....	19
5.3.1 Vilka vätgasaktörer finns idag?	19
5.3.2 Vätgasproduktion	19
5.3.3 Vätgasdistribution och lagring	20
5.3.4 Tankstationer och tankning.....	21
6 Utmaningar för aktörer i värdekedjan	23
6.1 Aktörerna i värdekedjan.....	23
6.2 Utmaningar för vägunderhållsentreprenören.....	23
6.2.1 En ekonomi i balans	23
6.2.2 Pålitliga fordon som gör sitt jobb	23
6.3 Utmaningar för vägunderhållsbeställaren	24
6.4 Utmaningar för HRS	24
6.5 Utmaningar för vätgasproducenter	24
6.6 Utmaningar för el-leverantörer.....	24
6.7 Utmaningar för fordonstillverkare	24
6.8 Utmaningar för serviceverkstäder	25
6.9 Utmaningar för allmänheten.....	25
7 Analys.....	26
7.1 Analys av teknikens möjligheter och begränsningar.....	26
7.1.1 Antal tankstationer, placering.....	26
7.1.2 Fordonstillgång, prestanda och service.....	26

7.1.3 OEM-perspektivet	29
7.2 Analys av energiproduktion	31
7.3 Marknadsanalys	32
7.3.1 Förväntade marknadsintroduktioner för olika fordonsegment	32
7.3.2 Andra aspekter på marknadsintroduktion	33
7.4 Kostnads-nyttoanalys	33
7.4.1 Kravtrappa 1	34
7.4.2 Kravtrappa 2	36
7.4.3 Kravtrappa 3	37
7.4.4 Känslighetsanalys	38
7.4.5 Val av krav kravtrappa	39
7.5 Vätgas och vätgasfordon i ett globalt perspektiv	42
7.5.1 Fordonstillverkarnas koppling till vätgas i ett globalt samhällsligt investeringsperspektiv	42
7.5.2 Transportsektorn i Bloombergs rapport	43
7.5.3 Färdplan för FCEV	44
8 Slutsatser	45
9 Rekommendationer	47
Bilagor	48
Bilaga 1, Sammanställning av intervjuade personer	48
Bilaga 2 Kostnads-nyttokalkyl	49

1 Sammanfattning

För att Sverige skall kunna bidra till en minskad klimatpåverkan har regeringen i sitt klimatpolitiska ramverk angett att Sverige inte skall ha några nettoutsläpp av växthusgaser år 2045, samt att den svenska fordonsflottan skall vara fossil oberoende till 2030. Trafikverket har en ambition att minska klimatpåverkan som infrastrukturunderhåll ger upphov till. Trafikverket har utifrån det nationella klimatmålet satt upp ett långsiktigt mål om att infrastrukturen ska vara klimatneutral senast 2040. Ett av delmålen är omställning till fossilfria drivmedel eller eldrift i alla entreprenaderna till 2030.

Basunderhållsentreprenaderna, som kallas för Basunderhåll väg, och fordonsparken som används i dessa entreprenader kommer att omfattas av omställningen till klimatneutrala entreprenader. Fordonsparken som användes i basunderhållsentreprenaderna består av flera typer av fordonstyper och en av de fordonstyperna som står för koldioxidutsläppen är tunga dieseldrivna lastbilar. Dessa typer av tunga fordon används för vinterväghållning i första hand och för andra typer av anläggningsarbete i mindre omfattning.

Föreliggande rapport presenterar resultatet av en förstudie som syftar till att samla in kunskap om nödvändiga förutsättningar för omställning till utsläppsfria basunderhållsentreprenader genom användning av FCH2-vägunderhållsfordon (FCH2 - Fuel Cell and Hydrogen). Förstudien ger ett underlag som skapar förståelse för den värdekedjan som etableras för FCH2-underhållsfordon samt kartlägga värdekedjans olika aktörer, deras roller och ansvar. Förstudien kartlägger de specifika utmaningar som väghållarna (Trafikverket, och kommuner och enskilda väghållare) samt branschen i övrigt står inför i arbetet med att ställa om till utsläppsfria basunderhållsentreprenader.

Målet för förstudien är att utifrån ett värdekedjeperspektiv identifiera vilka olika intresse- och ansvarsområden som ingår i en emissionsfri basunderhållsentreprenad för att kunna förstå vilka delar i värdekedjan som behöver beforskas samt ge förslag på forsknings- och utvecklingsinsatser.

Informationen som ligger till grund för denna förstudie har främst hämtats via litteraturstudier och intervjuer och samråd med företrädare för olika aktörer i värdekedjan. Representanter för fordonsbranschen har tillfrågats om bland annat introduktionsplaner för FCEV, vilka tekniska lösningar de valt och hur väl de tror att dessa fordon fungerar för vägunderhåll. Företag som etablerar tankstationer för vätgas har redogjort för vad som går att göra idag under olika ekonomiska förutsättningar och vad de kommer kunna erbjuda i framtiden. Den inhämtade informationen har sedan analyserats av projektgruppen under löpande möten utifrån gruppmedlemmarnas olika specialistkompetenser och mer djupgående under en workshop.

För att uppnå målet att ställa om till utsläppsfria vägunderhållsentreprenader krävs det en omfattande systemomställning som inkluderar tekniska system, energiproduktions- och leveranssystem, affärsmodeller samt regelverk. I god tid före år 2030 behöver värdekedjan vara framtagen och på plats, samt dess olika delar verifierade och validerade.

För närvarande har ingen part rådighet att lösa omställningen själv eftersom en ny värdekedja behöver skapas och etableras. De dominerade aktörerna behöver kliva fram samt gemensamt och metodiskt förbereda en etablering av en vätgasvärdekedja. Berörda aktörer behöver ges möjlighet att genom systemdemonstratorer säkerställa funktionsdugligheten både i sin del av värdekedjan och i de gemensamma delarna.

Förstudien finansierades av Trafikverket och Vinnova strategiska innovationsprogram InfraSweden2030.

2 Definitioner

Basunderhåll väg: Drift och underhåll av det statliga vägnätet utförs i entreprenader som kallas för Basunderhåll väg. Kontrakt för utförande av Basunderhåll väg upphandlas årligen av Trafikverket. Det varierar mellan ca 15 och omkring 20 kontrakt årligen. Kontraktslängderna är 4 år med möjlighet till option med 1 eller 2 år.

BEAst: Byggbranschens Elektroniska Affärsstandard är en överenskommen, branschdriven informationsstandard som gör information maskinläsbar så det kan förmedlas mer effektivt. Informationsstandarder möjliggör automatisering och minskar på så sätt kostnader och ökar effektivitet.

Beställare: Uppdragsgivare enligt förfrågningsunderlaget.

BEV: Battery Electric Vehicle. Fordon som drivs av en elmotor som i sin tur drivs enbart av batteri.

Biomassa: Dött eller levande biologiskt material, som inte finns i geologiska lager eller är fossilt¹.

Biobränsle: Biomassa som används som fast, flytande eller gasformigt bränsle.

Bioenergi: Energi från biomassa.

Elektrolysrör: Produktionsanläggning av vätgas genom att man med elektricitet spjälkar vatten till vätgas och syrgas.

Entreprenör: Den som utför byggnads och anläggningsarbetena på uppdrag av en beställare.

Entreprenadkontrakt: Handlingar som undertecknas av parter och som utvisar deras överenskommelse.

FCB: Fuel Cell Bus. Buss som drivs av en elmotor som i sin tur drivs av en vätgasdriven bränslecell.

FC-drift: Fuel Cell = Bränslecellsdrift.

FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle. Fordon som drivs av en elmotor som via ett mindre batteripack drivs av en vätgasdriven bränslecell.

Gton: Gigaton, en miljard ton.

Fordonsflotta: Diverse arbetsfordon så som lastbilar, hjullastare som ingår i entreprenörens fordonspark.

HRS: Hydrogen Refueling Stations. Tankstation för vätgas.

ICCP: International climate protocol.

ICE: Internal Combustion Engine. Förbränningsmotor.

Klimatneutralitet: En situation där mänsklig aktivitet inte ger någon nettoeffekt på klimatsystemet (dvs bredare än netto-noll-utsläpp).

Koldioxidneutralitet: En situation där man inom ett land eller globalt inte släpper ut mer koldioxid än vad som kan tas upp av endera naturliga kolsänkor (träd, vatten, mark) eller genom konstgjord uppfångning av koldioxid (Carbon capture and storage, CCS).

LOHC: Liquid Organic Hydrogen Carrier. En organisk förening, oftast ett aromatiskt kolväte som har möjlighet att ta upp och släppa ifrån sig väte (som kan omformas till vätgas med hjälp av en katalysator).

Netto-noll-utsläpp: Utsläpp av växthusgaser till atmosfären balanseras med motsvarande stora upptag

¹ https://www.stockholmexergi.se/content/uploads/2021/11/Bioenergi_rapport-2021.pdf

Nollemissionsfordon: Noll emission av CO₂ vid användning av fordon (hela kedjan från tankning till drift).

OEM: Original Equipment Manufacturer, originaldelar från tillverkare.

Vägunderhållskontrakt: Kontrakt för de arbeten som krävs för att upprätthålla standarden på vägar. I vägunderhåll ingår bland annat vinterunderhåll, reparationer och målning av vägmarkeringar.

Vätgas: Energibärare i gasform med kemisk beteckning H₂. Vätgas är gasformigt vid atmosfärstryck vid temperaturer högre än -252 °C (20 K).

Utförare: Den som ansvarar för utförande, t.ex. beställaren ansvarar för projektering och entreprenör för utförande.

Underentreprenör: Den som inom arbetsområdet utför entreprenad åt huvudentreprenören.

3 Inledning

I takt med en växande befolkning, med ett ur ett globalt perspektiv ökat välbefinnande, har behovet av energi och råvarutillgångar ökat explosionsartat. Den ökande efterfrågan på energi och det ökande uttaget av resurser har lett till en mängd negativa konsekvenser såsom föroreningar, råvarubrist, ökande koldioxidhalter i atmosfären och inte minst en hotande global uppvärmning^{2,3,4}. Även om politiska beslut fattas i en snabbare takt för att förhindra och reducera effekterna av en klimatuppvärmning indikerar de senaste ICCP rapporterna att en närmast komplett transformation av det globala energisystemet är nödvändigt för att förhindra en global temperaturhöjning över 1.5 grader^{5,6}.

Under 2021 nådde de globala energirelaterade utsläppen av CO₂ 33 Gton. Prognosen är att utsläppen kommer att ligga på 27–35 Gton år 2040 beroende på i vilken utsträckning världens länder håller de utlovade utfästelserna om utsläppsminskningar. Samtidigt har International Energy Agency (IEA) nyligen slagit fast en färdväg mot global nollmission år 2050, där det poängterades att man redan år 2040 bör ha nått en utsläppsnivå på 7 Gton. Den övergripande utsläppsorsaken sedan 2015 har varit det ökande välbefinnandet vilket leder till ökad kraftproduktion och ökade utsläpp från transporter. Enligt IEA krävs att världen fokuserar på att förhindra överkonsumtion, en övergång till användning av förnybar energi och gröna teknikskiften. IEA lyfter fram tekniska framsteg inom vätgasproduktion genom elektrolys, koldioxidinfångning och batterier som de innovationerna med störst möjlighet att minska utsläpp från 2030 och framåt. Transportsektorn är starkt bidragande till koldioxidutsläpp och är direkt relaterade till 14 % av de globala utsläppen. Siffran är högre om man också räknar in industriell produktion av transportmedel^{7,8}.

I Sverige står transportsektorn för en tredjedel av koldioxidutsläppen. Den högre andelen jämfört med de globala siffrorna kommer av att Sverige har en avsevärd mindre andel fossilrelaterad energikonsumtion för uppvärmning och industriella processer.

För att Sverige skall kunna bidra till en minskad klimatpåverkan har regeringen i sitt klimatpolitiska ramverk angett att Sverige inte skall ha några nettoutsläpp av växthusgaser år 2045⁹, samt att den svenska fordonsflottan skall vara fossil oberoende till 2030¹⁰. Det senare konceptet, fossil oberoende tolkas i Trafikverkets mening som att användningen av fossil energi i fordonsflottan i vägtrafik är 80 procent lägre år 2030 än 2010, vilket också ligger i linje med målet att vägunderhållskontrakten skall vara fossilfria till 2030¹¹

Den av regeringen uppmuntrade användningen av biobränsle, som för närvarande betecknas som fossilfri men inte emissionsfri, är dock internationellt ifrågasatt¹² och vi kan troligen förvänta oss svåra debatter och kursbyten

² Dresselhaus, M. S.; Thomas, I. L. Alternative energy technologies. *Nature* **2001**, *414* (6861), 332.

³ Ripple, W. J.; Wolf, C.; Newsome, T. M.; Barnard, P.; Moomaw, W. R. World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *BioScience* **2020**, *70* (1), 8.

⁴ Lenton, T. M.; Rockstrom, J.; Gaffney, O.; Rahmstorf, S.; Richardson, K.; Steffen, W.; Schellnhuber, H. J. Climate tipping points - too risky to bet against. *Nature* **2019**, *575* (7784), 592.

⁵ IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

⁶ IEA (2021), World Energy Outlook 2021, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>.

⁷ IEA (2021), World Energy Model, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-model>

⁸ IEA (2021), Net Zero by 2050, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.

⁹ <https://www.regeringen.se/artiklar/2017/06/det-klimatpolitiska-ramverket/>

¹⁰ <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/kommitteredirektiv/2012/07/dir.-201278/>

¹¹ <https://www.entreprenad.com/article/view/837951/upphandlingar-ska-bli-mer-fossilfria-och-cirkulara?rel=related>
<https://www.trafikverket.se/contentassets/31ec426440ab4562b4619765762b167a/juni-regeringsuppdrag-trafikverkets-arbete-med-strategiska-offentliga-inkop.pdf>

¹² https://goteborg.se/wps/PA_Pabolagshandlingar/file?id=34511

<https://www.natursidan.se/nyheter/eu-rapport-biobransle-fran-skog-ger-hogre-utslapp-an-kol-och-olja/>

<https://www.natursidan.se/nyheter/storsatsningen-pa-biodrivmedel-skadar-klimatet/>

under tiden före och efter 2030. Flera sektorer ser biobränslen som en brygga till en transportsektor som baseras på verkliga nollemmissionlösningar såsom batteridrift och bränslecellsdrift med vätgas¹³.

Nuvarande prognoser pekar på att en större del av fordonsflottan kommer vara fossilfri vid 2030, men med en begränsad mängd nollemmissionsfordon¹⁴. Särskilt entreprenadbranschen, där drifts- och underhållsfordon som t.ex. plogbilar återfinns, bedöms ha ett mycket begränsat antal nollemmissionsfordon eftersom de i dagsläget befinner sig på den bortre delen i fordonstillverkarnas kända marknadsintroduktionsplaner¹⁵. Underhållsentreprenörerna kan därför komma att få svårt att uppfylla förväntade framtida krav eftersom fordonen inte finns. För vissa segment såsom tunga transporter med långa körsträckor, och underhållsfordon med stor energiförbrukning är det osannolikt att batteridrift kommer att kunna vara ett alternativ för nollemmission.

Vätgas har under många år lyfts fram som en kraftfull energibärare, dvs ett medium som enkelt kan användas för att omvandla energi från en form till en annan. Vätgas har en mycket hög energidensitet per massa, ca 33 kWh/kg. Den är jämförelsevis cirka 300 ggr högre än den i Li-jonbatterier och 3 ggr högre än diesel och bensen. Eftersom vätgasen är en gas är dock den volymetriska energidensiteten lägre, cirka ¼ jämfört med bensen och diesel vilket leder till ett ökat behov av utrymme för tankarna. Mer detaljer kring de olika tekniska begränsningarna och möjligheterna gällande fordon, energiproduktion och tankning beskrivs i avsnitten 6–7.

Vätgas har använts under lång tid inom industrin, mer än 100 år. På grund av en mängd tekniska och kostnadsmässiga problem, i relation till fossila bränslen, har den dock inte lyckats etablera sig som drivmedel i större skala. Under senare år har dock intresset för vätgas ökat väsentligt både som drivmedel och inom nya industriella användningsområden såsom reduktionsmedel för ståltillverkning. Flera prognoser¹⁶ pekar tydligt på att vätgas kommer att bli en mycket viktig komponent för att motverka klimatförändringar och bidra till minskade miljöpåverkan genom utsläpp och resursförbrukning. Dessa prognoser stärks av de aviserade satsningarna globalt där man kan se miljardsatsningar både i Europa, Asien och USA. I synnerhet gäller dessa satsningar på så kallat grön vätgas, dvs vätgas producerat genom elektrolys från förnybar energi. Mer om olika produktionssätt av vätgas beskrivs i senare avsnitt.

Sverige har historiskt släpat efter i satsningar på vätgas för att nå nollemmission inom transportsektorn. Till del ligger denna eftersläpning i bristen på politiska beslut, men man kan också se att Sverige har haft och fortfarande har en tilltro till att använda biobränslen i olika former. I och med den vätgasstrategi som presenterades av Energimyndigheten på uppdrag av regeringen har Sverige nu åtminstone påbörjat en resa mot en mer dedikerad användning av vätgas. I linje med denna strategi ligger det övergripande målet om att till 2040 vara klimatneutrala, dvs att Sverige inte skall ha några nettoutsläpp av växthusgaser år 2040. Det medför att utsläppen inom Sveriges gränser måste minska i de flesta branscher. Trafikverket har en ambition att minska klimatpåverkan som infrastrukturunderhåll ger upphov till.

Det är noterbart att utmaningarna för att nå nollemmission för olika transportslag skiljer sig väsentligt åt. För lätta fordon såsom bilar, lätta lastbilar etc., kommer batterier att bli den dominerande tekniken, även om det inom vissa segment såsom taxibilar, budbilar fortfarande kommer att bli en utmaning att klara tids och körkrav med batteridrift och snabbaddning. Inom vissa segment för lätta transporter kommer därför troligen också vätgas vara ett gott alternativ, inte minst i kalla klimat där vätgasen innebär ökad komfort i kupén.

Diagram 1 från Hydrogen Roadmap Europe Report beskriver olika teknologilösningar för ett stort spektrum av transportsegment. Rapporten sorterar transportslagen i tre olika aspekter, räckvidd, nyttolast och teknisk lösning.

¹³ <http://matochklimat.nu/fardplan-mot-fossilfritt-lantbruk-stort-fokus-pa-biobranslen/>

¹⁴ [The H2 Economy \(bloomberg.com\)](https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-11/the-h2-economy)

https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf

¹⁵ https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf

<https://sponsored.bloomberg.com/immersive/hyundai/the-h2-economy>

<https://vatgas.se/> (Diverse artiklar och kommentarer)

Samtal/intervjuer med sakkunniga på Scania CV AB och AB Volvo

¹⁶ International Energy Agency, World Outlook 2021

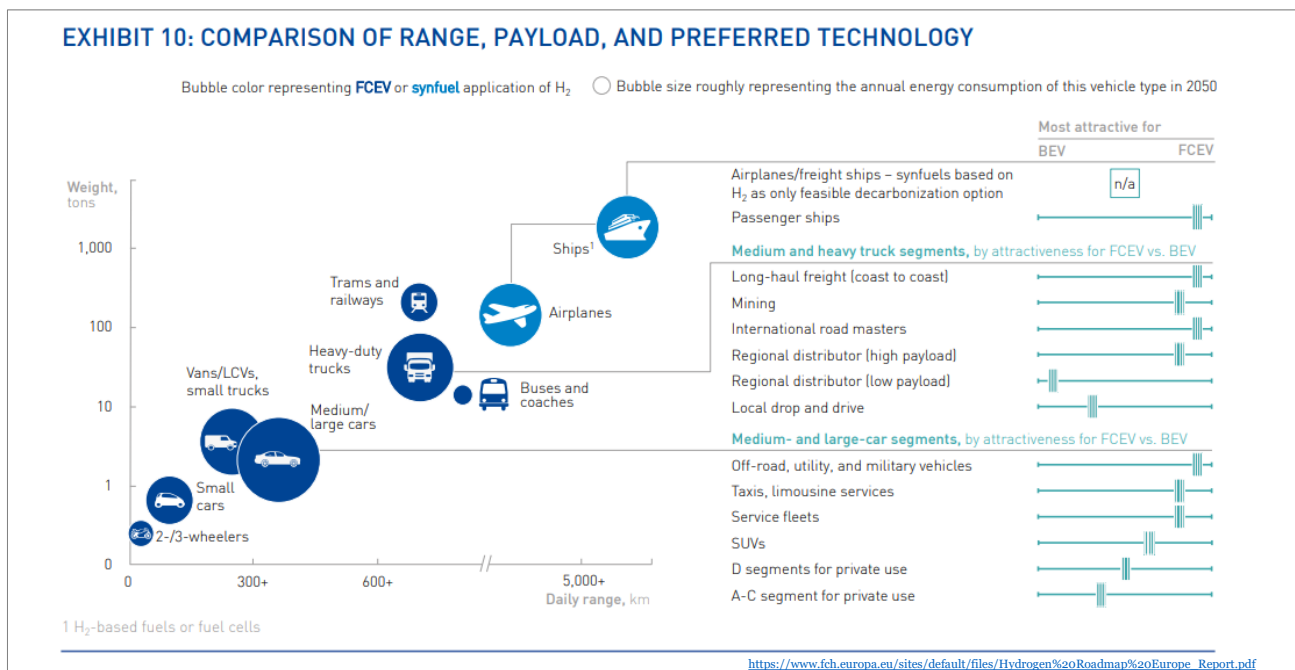


Diagram 1. Färdplan för olika teknologilösningar för ett stort spektrum av transportsegment

Transporter står idag för cirka 1/3 av Sveriges totala utsläpp av koldioxid. Inom transportsektorn står tunga transporter för en femtedel av utsläppen. Biltrafik står för den huvudsakliga delen av utsläpp. Som tidigare påpekat är denna sektor emellertid enklare att komma tillrätta med och tunga transporter där underhållsfordon utgör ett segment är mycket viktigt att komma tillrätta med om regeringens och Trafikverkets miljömål skall kunna uppfyllas.

3.1 Bakgrund

För att påskynda utvecklingen mot nollemission inom underhållsfordonssegmentet kommer en samordnad planering av energiproduktion, infrastrukturer för tankning och fordon, serviceorganisation, upphandlande myndigheter och beslutande organ att behövas. Denna förstudie har initierats för att kunna identifiera möjligheter och utmaningar för att uppnå nollemission i vägunderhållsrenprenader (Basunderhåll väg) med vätgas som en tänkbar teknisk lösning för detta. Uppdraget för förstudien är beställt från InfraSweden och Trafikverket. Förstudien har lagts upp med målet att se över hela värdekedjan inom vätgas med relevans för underhållsfordon och till viss del tunga transporter då dessa segment är relativt starkt kopplade eftersom vissa fordon har dubbla användningsområden sommar och vinter.

Förstudien innefattar en nulägesbeskrivning av den nuvarande fordonsflottan, vilka alternativ som finns redan idag för nollemission. Vi beskriver sedan teknikens möjligheter och begränsningar gällande fordon, men också krav på tillgång till tankning, service och incitament för att introducera nollemissionsteknik. Sådana incitament innefattar en analys av affärsmodeller och en analys av upphandlande organisationer och deras processer.

Utifrån denna information och genom vår analys önskar vi i kunna adressera och besvara våra frågeställningar gällande omställningen till FCEV i vintervägsunderhåll.

Våra frågeställningar

Vilka möjligheter finns att skynda på en övergång till nollemission inom segmentet "vägunderhållsrenprenader"? Vilka är hindren? Vad behöver upphandlande organisationer, och politiska beslutsorgan göra för att underlätta omställningen? Vad skulle konsekvenserna bli för möjligheterna att nå Sveriges klimatmål?

3.2 Syfte och mål

Förstudiens syfte och mål är att bidra till att uppnå emissionsfritt vägunderhåll i Sverige. Detta görs genom att samla in kunskap om nödvändiga förutsättningar för omställningen till emissionsfria basunderhållsentreprenader (Basunderhåll väg) genom användning av FCEV för vägunderhåll. Förstudien kommer också att kartlägga de specifika utmaningar som väghållarna (Trafikverket och kommuner) och branschen står inför i arbetet med att ställa om till emissionsfria basunderhållsentreprenader. Förstudien kommer att leverera det underlag som behövs för att skapa en förståelse för värdekedjan för klimatneutrala basunderhållsentreprenader och kartlägga värdekedjans olika berörda aktörer och deras roller och ansvar.

InfraSwedens2030's mål för förstudien är att utifrån ett värdekedjeperspektiv identifiera vilka olika intresse- och ansvarsområden som ingår i en emissionsfri vägunderhållsentreprenad för att kunna förstå vilka delar i värdekedjan som behöver beforskas samt ge förslag på forsknings- och utvecklingsinsatser. Förstudien kommer att ge programmet InfraSweden2030 det underlag som behövs för kontinuerlig förbättring av programmets övergripande inriktning och innehåll. Förstudien kommer att vara en vägledning för utformning av framtida utlysningar kopplat till klimatneutral transportinfrastruktur och hållbart infrastrukturunderhåll. Resultatet blir även ett viktigt inspel i arbetet med att sätta rätt skallkrav och parametrar vid utvärdering och prioritering av inkomna projektansökningar.

3.3 Avgränsning/fokus

Förstudien fokuserar på vätgasdrivna fordon för vägunderhåll, speciellt i kallt klimat. Anledningen till att förstudien fokuserar på vätgas är att vätgas ses som det enda drivmedlet som har möjlighet att beaktande nollemission nå en tillfredställande prestanda och ekonomi för vägunderhållsfordon. Eftersom studien skall ge en ökad förståelse för hur utvecklingen kan se ut har vi även tittat på vätgasekonomin generellt och FCEV som inte enbart används till vintervägunderhåll.

Dessa aspekter har studerats i förstudien:

- Värdekedjans struktur och dess aktörer
- Marknad
- Teknik
- Energitillagring och nödvändig infrastruktur
- Kostnader och nyttor kopplade till omställningen
- Olika omställningsscenarier

Förstudien ger underlag till vad som behöver studeras vidare och vilka förutsättningar som behöver skapas för en omställning till utsläppsfria tunga FCEV.

4 Metod

Projektgruppen som arbetat med denna förstudie består av representanter för ViaPM, Svevia, Trafikverket, ECTM, OAZER och Umeå universitet. Tillsammans besitter gruppen stor kunskap om värdekedjan för vätgasdrivna fordon och vägunderhåll.

Informationen som ligger till grund för denna förstudie har främst hämtats via litteraturstudier och intervjuer med branschföreträdare. Projektet har intervjuat entreprenörer och väghållare för att få en bild av hur vägunderhållet går till idag och hur avtal och ersättning fungerar, samt vilka möjligheter eller hinder de ser för att använda FCEV inom vägunderhåll. Representanter för fordonsbranschen har tillfrågats om bland annat introduktionsplaner för FCEV, vilka tekniska lösningar de valt och hur väl de tror att dessa fordon fungerar för vägunderhåll. Företag som etablerar tankstationer för vätgas har redogjort för vad som går att göra idag under olika ekonomiska förutsättningar och vad de kommer kunna erbjuda i framtiden. Den inhämtade informationen har sedan analyserats av projektgruppen under löpande möten utifrån gruppmedlemmarnas olika specialistkompetenser och mer djupgående under en workshop.

5 Nulägesbeskrivning

I detta avsnitt beskriver vi nuläget för vägunderhåll, de fordon som idag används och de som planeras att användas inom vägunderhåll. Vi beskriver också de fordon som finns i angränsande transportsegment då teknisk utveckling inom dessa segment är relevant också för vägunderhållssektorn. Vi tar även upp aspekter på nuvarande affärsmodeller, upphandling och avtal och lönsamhetsaspekter inom sektorn idag. I detta avsnitt tar vi endast upp sådant som endera redan är aktuellt på marknaden idag, eller sådant som finns planerat. Visioner, önskvärd utveckling och analys behandlas i avsnitt 7.

5.1 Vägunderhållsvärdekedjan idag

Sveriges vägnät underhålls till största del av tre slags väghållare. Trafikverket ansvarar för det statliga vägsystemet som omfattar 98 400 km väg som till största del förbinder orter med varandra där vägsystemet löper genom flera kommuner och län i landet. Kommunala väghållare ansvarar för det kommunala vägnätet inom en specifik kommun som till största del består av gator och mindre vägar som förbinder bostadsområden och industrier med varandra. Det kommunala vägnätet är 46.500km. I större städer omfattar kommunens ansvar även högttrafikerade vägar. De väghållare som har ansvar för enskilda vägar är vägföreningar, samfällighetsförening eller vägsamfällighet och i vissa enstaka fall en enskild markägare. Enskilda vägar består till allra största del av grusvägar som löper genom glesbygd och skogsområden. Enskilda vägnätet omfattar 75 900 km väg. Trafikverket som största beställare av vägunderhåll fyller en viktig roll som förutsättningsskapande för övriga väghållare. Trafikverket finansierar forskning och innovation inom flera områden och bidrar till att utveckla väghållningen i hela landet.

Trafikverket upphandlar uteslutande vägunderhållet på entreprenad där den kontrakterade entreprenören i sin tur anlitar underentreprenörer för att sköta sitt åtagande. Kommunerna tillämpar både upphandlingsförfarande och utförande i egen regi beroende på förutsättningar eller politiska beslut. Vägföreningar tillämpar till allra största del mindre upphandlingar per vägsträcka eller område.

Trafikverket har delat in Sveriges statliga vägnät i 109 geografiska områden som kallas för "Basunderhåll väg". All skötsel inom respektive område inklusive arbetsledning upphandlas som ett helhetsåtagande. Det är främst större entreprenadföretag som exempelvis Peab, Terranor, Skanska och Svevia som innehar dessa kontrakt. Dessa huvudentreprenadföretag gör i sin tur egna avtal med underentreprenörer och dess fordon som används för främst vinterväghållning. Skötsel av de statliga vägarna följer samma regler över hela landet. Vägarna är indelade i olika klasser beroende på bland annat hur mycket trafikvägen har. Vinterarbetena styrs av egna åtgärdstider och startkriterier beroende på väglklassning. Ersättningsmodellen för utfört arbete bygger på att entreprenören i första hand får betalt för ett funktionellt åtagande med incitament att utföra arbetet så effektivt

som möjligt. Genom att exempelvis ersätta vinterväghållningen per väderutfall eller baserat på statistiska mängder som antal kilometer väg, skapas incitament att utveckla teknisk utrustning och optimera utförandet.

I vägunderhållssystemet återfinns således Trafikverket, entreprenörer, kommuner och andra väghållare, diesel-/biodiesel-/energi-leverantörer och stationer, lastbilstillverkare, återförsäljare med service och underhållsverkstäder, finansiärer med flera. För att göra vägunderhållskedjan emissionsfri krävs koordinerade åtgärder som innefattar alla dessa avvärdare.

5.1.1 Nuvarande fordonsflotta

I ett normalt vägunderhållskontrakt så tillhandahålls ca 12–15 lastbilar för vinterväghållning och grus/sand transporter etc. De dominerande lastbilstyperna är av förbränningsmotormodell med 4 axlar (tridem) eller 3 axlar (boggi) för att klara uppdragen. Tridem blir vanligare dels för högre tillåten lastvikt och använda sig av växelflak därmed effektivare åtgärder. Drivmedel är vanligtvis diesel med addblue inblandning för att minska utsläppen av kväveoxider alternativt HVO 100. Vanligast utsläppsklass idag är EURO 5 och EURO 6, delvis beroende på krav i kontrakten samt investeringstakten. Motoreffekten på en vanlig vinterväghållningsresurs ligger runt 368 kw vilket är ca 500 hk och växellådan är automat. De lastbilar som används idag inom vinterväghållning och driftuppdrag är mycket vädertåliga och testade under lång tid för att klara alla påfrestningar som uppstår. Vid extrem kyla (-20 C) så kan problem uppstå med tätningar och slangar för hydraulik mm. Räckvidden varierar naturligtvis beroende på vilket arbete som utförs men om en tank på dessa fordon vanligtvis innehåller ~~som~~ innehåller 350 liter diesel blir räckvidden med en förbrukning på 5,5 liter/mil ca 64 mil. Bilarna måste förutom vinteruppdragen kunna användas till allehanda uppdrag under snöfri säsong.

De vanligaste lastbilsmodeller i Sverige är Volvo och Scania men även Mercedes m.fl. och det finns god kunskap och serviceverkstäder runt om i landet. Vid investering av nya fordon så är oftast avskrivningstiden 8 år.

Koldioxid, CO₂ utsläpp för en lastbil ligger på ca 12 kg/mil vid en förbrukning på 5,5 liter/mil och en omräkningsfaktor på 2,1 inräknat reduktionsplikten. Vid en körsträcka på 3600 mil landar CO₂ utsläppen på 42 ton per bil och år. För ett normalt drifts- och underhållskontrakt på 15 st. lastbilar blir då utsläppen av koldioxid cirka 630 ton/år på ett driftområde om man endast beaktar lastbilsparken.

Förutom utsläpp av koldioxid släpper ICE-fordon ut även andra partiklar och föroreningar. Många av dessa är synnerligen skadliga för människa, djur och miljö. Beräkningar visar exempelvis att utsläpp av luftburna partiklar av storleken 2.5 mikrometer orsakar cirka 10 miljoner prematura dödsfall¹⁷. En stor andel av dessa partiklar orsakas av biltrafik, medan andra orsaker är förbränning av fossila bränslen för uppvärmning och industri. De specificerade avgasnivåer enligt EURO 6-standard visas i tabellen nedan.

Tabell 1. Avgasnivåer från lastbilar enligt EURO 6-standard

Avgastyp	Beteckning	Mängd
Kolmonoxid	CO	7.5 mg/KWh
Totala kolväten	THC	11.3 mg/KWh
Kväveoxider	NOx	346.6 mg/KWh
Partiklar	PM2.5	2 mg/KWh

Sedan 1992 när dåvarande Vägverket gick från egen regi till upphandlingsförfarande av vägunderhåll har fordonsflottan förändrats. Från att vägunderhållet utförts av uteslutande tunga lastbilar så har idag intågandet av andra fordonstyper ökat. I dagsläget utförs främst vinterväghållningen av en kombination av tunga lastbilar, hjullastare, jordbrukstraktorer och mindre fordon.

¹⁷ Vohra K., et al, Environmental Research 195 (2021) 110754

Som ett exempel på hur fordonsflottan kan se ut hos de enskilda entreprenörerna tar vi Bilfrakt, som ägs av cirka 200 enskilda åkare som tillhandahåller sina egna fordon. Uppskattningsvis är cirka 80% av fordonen traditionellt finansierade med lån. Ett fåtal åkare leasar sina fordon men den finansieringsformen har inte särskilt stort genomslag, särskilt inte inom vägunderhåll där det krävs mycket modifieringar av fordonen för att kunna genomföra uppdragen. Det absolut vanligaste drivmedlet är diesel. Det finns enstaka projekt som kör på HVO100, men då gäller det att kunden är beredd att betala cirka 5% mer på totalkostnaden. Notera att Bilfrakt inte enbart arbetar med vägunderhåll utan även tar sig an andra kontrakt ¹⁸.

Som det har beskrivits ovan har de dominerande lastbilstyperna kraftiga dieselmotorer och 3 axlar, ibland 4 axlar, för att klara högre tillåten lastvikt och kunna använda sig av växelflak därmed effektivare åtgärder. Drivmedel är vanligtvis diesel med adblue inblandning alternativt HVO 100. Vanligast utsläppsklass idag är EURO 5 och EURO 6, delvis beroende på krav i kontrakten samt investeringstakten.

Tabell 2. Koldioxidutsläpp från tunga ICE-fordon i basunderhållsentreprenader "Basunderhåll väg"

Beräkningsparametrar	Värde	
Antal skontrakten	109	st
Antal tunga ICE-fordon i en basunderhållsentreprenad i snitt	15	st
Totalt antal tunga ICE-fordon i en basunderhållsentreprenad	1 635	st
Nyttjandegrad för en tung ICE-fordon	1600	timme/år
Årlig körsträcka*	3600	mil/år
Bränsleförbrukning för en tung ICE-fordon	5,5	lite/mil
Koldioxidutsläpp från varje körd mil	2,1	kg/mil
Årligt koldioxidutsläpp från en tung ICE-fordon	41,6	ton/Lb och år
Totalt koldioxidutsläpp från tunga ICE-fordon i systemet	67 983	ton/år

* Lastbilsflottan används inte enbart i basunderhållsentreprenaderna. Under vissa perioder av året används lastbilarna för andra typer av anläggningsuppdrag som t.ex. beläggningsunderhåll. Oavsett typ av uppdrag och entreprenad kommer effekterna av koldioxidutsläppet från ICE-fordon finnas i systemet.

5.1.2 Upphandling och avtal

Trafikverket har 109 olika områden för basunderhåll väg i Sverige, som vanligtvis upphandlas om fyra år i taget med 2 års option, som innebär en kontraktslängd som i praktiken sträcker sig till sex år¹⁹. I dagsläget finns inga krav på vilka drivmedel som ska användas, däremot finns krav på att fordonen som används ska uppfylla en viss Euroklass, för närvarande lägst Euro V för tunga fordon.²⁰ Det finns även ekonomiska incitament i form av bonusar för att byta ut diesel mot andra drivmedel. I dagsläget ligger detta på 2 kr per liter diesel-ekvivalent, upp till 40%.²⁰ Dock förändras hela tiden kostnadsbilden för såväl diesel som alternativa drivmedel, vilket emellanåt gör att bonusen inte täcker kostnadsökningen.²¹ Det kan nämnas att Trafikverket utfärdar vite för materialtransporter som vid kontroll påvisar att viktbestämmelserna har överskridits, som därmed ger incitament att varje fordon inte belastas mer än vad det är konstruerat för.

Det är tänkbart att Trafikverket kan ställa ytterligare miljökrav i upphandlingen, men då gäller det att tänka på helheten. Tillgång till fordon och förutsättningar för drivmedel behöver finnas på plats eller planerats inom överskådlig framtid. Kostnader för omställningen för både entreprenör och beställare behöver analyseras och även marknadsintresset. Det kan fortfarande finnas initiala incitament för en presumtiv entreprenör att sälja sina tjänster till en annan marknad eller till en annan beställare som inte tillämpar samma nivå på miljökrav. Detta medför att även paketering av beställda tjänster och dess kontraktslängd kan behöva omarbetas för att skapa lönsamhet och ge tillbaka investerade medel för fordonsomställningen. Särskilt i en övergångsperiod innan marknaden har hunnit ikapp. Ett kontrakt för Basunderhåll väg innehåller även ytterligare fordonstyper med mindre omsättning såsom väghyvlar som behöver beaktas huruvida lönsamheten i omställningen är tillräcklig. För att undvika att teknisk utveckling inom andra teknikområden får stå tillbaka för att en beställare kopplat

¹⁸ Samtal med Johan Fessé, Bilfrakt, 11/2 -22

¹⁹ Samtal med Michaela Mau, Trafikverket, 8/2 -22

²⁰ Trafikverket: Generella miljökrav vid entreprenadupphandling (2018)

²¹ Samtal med Mats Granberg, Svevia, 24/1 -22

kraven till en specifik teknik, är det viktigt att miljökraven är utformade att inkludera andra tänkbara lösningar som ännu inte är färdigutvecklade idag.

Trafikverket ser för närvarande över hur införande av klimat kalkyler skulle kunna ske och hur utsläpp ska följas upp. Ett arbete pågår med att införa BEAst, byggbranschens elektroniska affärsstandard där exempelvis bränsleförbrukning följs upp kontinuerlig genom krav på digital redovisning av drivmedel till Trafikverket.

5.1.3 Ekonomi och lönsamhet för entreprenören

Nyinvesteringar i fordon är en viktig fråga för entreprenörer. Det handlar om stora pengar som ska läggas ut och förväntas betala sig på sikt. Just idag befinner vi oss i ett mellanläge. I den ena vågskålen ligger en beprövad teknik i form av fossildrivna fordon med goda möjligheter till tankning men med en osäker framtid i form av potentiella regleringar och stigande bränslepriser. Den andra vågskålen innehåller en ny teknik som är dyrare i investering och potentiellt billigare i framtiden men med en osäkerhet i hur lång tid det tar innan en god infrastruktur för tankning finns att tillgå. En investering i ett nytt fordon idag innebär normalt cirka 7–8 års avskrivningar. Väljer man ett dieselfordon idag kan det om några år vara ekonomiskt olönsamt på grund av höjda drivmedelspriser eller att det är oattraktivt för uppdragsgivare om det finns mer miljövänliga alternativ hos andra entreprenörer. Andrahandsvärdet är en viktig faktor för att minska risken vid nya inköp, där finns det en stor osäkerhet i dagsläget, både för nya fordon med nya drivlinor som inte har ett känt andrahandsvärde, men också till viss del när det gäller dieselfordon på grund av osäkerheten kring deras användbarhet i framtida uppdrag.²²

I dagsläget kostar en ny hjullastare strax under två miljoner i inköp och har ett restvärde på 600 000 kr efter sju år, i bästa fall. För en lastbil blir det cirka tre miljoner i inköpskostnad och restvärde 700 000–800 000 efter åtta års användning. Restvärdet går vanligen in som handpenning vid nästa inköp. Emellanåt väljer man att köpa begagnade fordon, vanligtvis för att minska väntetiden. I dagsläget ligger leveranstiden för nya fordon på runt 7–8 månader²³.

Vid val av fordon att köpa finns det några viktiga aspekter att beakta. Inköpspriset minus andrahandsvärdet ska vara tillräckligt lågt, det måste finnas god tillgång till service till ett bra pris (det kostar pengar att ha fordonen stående utan att utföra uppdrag), fordonen ska uppfylla den önskade funktionen och vara driftsäkra och drivmedelskostnaderna måste vara tillräckligt låga.

Drivmedelskostnaden täcks oftast av ersättning som regleras i avtal och index uppräknas 1–2 gånger per år. Dock kan det vid extrema prisfluktuationer, såsom har varit fallet under 2021 och 2022, innebära att kostnaden för drivmedel är högre än ersättningen i de fall ersättningen inte hunnit justeras. Detta är dock mycket sällsynt.

De enskilda entreprenörerna kan ha olika typer av avtal med serviceverkstäder. Vissa åker in bara vid behov och åtgärdar det som då behövs, andra betalar en summa per körd mil och får all behövd service. Det är ganska vanligt att man själv åtgärdar vissa problem för att spara pengar, särskilt för de som har vinterunderhållsuppdrag eftersom det då ofta finns ett antal dagar då man inte har lika mycket att göra och tiden kan användas för service.

Största driftkostnader i en lastbil är oftast drivmedlet. Övriga driftkostnader/kostnader är däck, besiktning, reparationer och service, försäkring, skatter och värdeminskningar. Drivmedlet kan stå för upp till 30% av driftkostnaderna. Ett timpris inkl. förare på en 4 axlig lastbil varierar mellan ca 850–1000 kr beroende på vilket arbete som skall utföras. För kontrakten som upphandlades av Trafikverket under år 2021–2022 är kraven minst EURO 5. I kontrakten som upphandlades år 2022 finns det en "bonus för reduktion av klimatpåverkan". Bonus betalas för använd el från förnybara energikällor och/eller hållbara höginblandade och hållbara rena biodrivmedel som inte omfattas av reduktionsplikt till fordon och arbetsmaskiner. Bonus betalas med 2 SEK per liter dieselekvivalent och kan per kontraktår betalas ut för maxi-malt 100 000 liter (maximalt 200 000 SEK).

²² Samtal med Anna Douglas, Scania, 14/1 -22

²³ Samtal med Johan Fessé, Bilfrakt, 11/2 -22

5.2 Fordonsteknik

5.2.1 Fordon som finns att tillgå idag

Omställningen från den traditionella förbränningsmotordriften (ICE) till el-drift är ett mycket stort steg, men som sedan något decennium ökar snabbt i omfattning och volymer. Den initiala övergången skedde med olika typer av hybridlösningar för att sedan i stor utsträckning övergå till en global satsning på batteri-eldrift (BEV), som ett första steg. Då batteri-eldrift har stora begränsningar i och med det låga energiinnehållet i batterier är den generella uppfattningen att för tunga transporter, framför allt med långa körsträckor, kommer inte batteridrift att kunna tillhandahålla ekonomiska och tekniska lösningar för nollmission. För detta segment är hydrogendriven bränslecellsdrift (FCEV) den tekniska lösning som har bäst förutsättningar både tekniskt och ekonomiskt.

Det är värt att notera att för vissa sektorer av tunga transporter, exempelvis där de tunga transporterna trafikerar en bestämd körsträcka med väluppbyggd ladd-infrastruktur, kommer batteridrift rimligen utgöra en del av lösningen för utsläppsfria tunga fordon. Vissa exempel har också realiserats. Vätgas är ännu inte lika förekommande, men eftersom FCEV också har batterier väl integrerade i sina drivlinor så är steget från FCEV till BV mycket kortare än från ICE till BV.

5.2.2 FCEV: Vad finns idag?

FCEV finns idag sedan ett knappt decennium i serieproduktion i form av främst personbilar. I Sverige finns det dock enbart ett fåtal fordon, (ca 50) Hyundai Nexa och Toyota Mirai, och båda är den andra generationens FCEV. Dessa personbilar har större bränsleceller (ca 100kW) än de egentligen behöver. Anledningen är att de skall kunna användas direkt i minde lastbilar och bussar (som redan rullar i främst Asien) samt med dubbla FC i tyngre lastbilar, som nu också börjat levereras till Europa, främst Schweiz och Norge. Inom segmentet vätgasdrivna bussar (FCB) serietillverkas det nu främst som stadsbussar som kan tankas lokalt, men så fort som infrastrukturen för vätgastankning börjar vara utbyggd för att täcka längre sträckor (EU satsar på "korridorer" initialt) så kommer Intercity- och långfärdsbussarna att börja trafikera dessa sträckor, och därigenom bli optimala exempel på denna teknik. I Sverige finns det idag bara två FC-stadsbussar, från Solaris, i Gävle. Det finns idag ett flertal europeiska busstillverkare som kommit igång med en småskalig FCB-tillverkning. Ett exempel på en sådan är företaget Caetano som Toyota "co-brandat" så att deras FCB nu kommer att säljas (men kanske främst leasas ut) som Toyotabussar.

Förutom alla de traditionella tillverkarna, som alla arbetar med att ta fram lätta och tunga FCEV, finns det också företag som satsar på produktion av bränsleceller dedikerade specifikt för tyngre fordon, såsom det svenska PowerCell och många utländska företag som t.ex. Ballard och Hydrogenics (som båda verkat i decennier). Med tillgången till dessa FC följer då naturligtvis möjligheten för helt nya bolag som satsar på produktion av fullstora FC-bussar och lastbilar. Exempel på sådana är Nikola Motor i USA som satsar på stora tunga dragbilar för semitrailers och HYZON, som nu finns i USA, Asien och Europa, som köper chassin från etablerade tillverkare och förser dem med sina egna FC-drivlinor. Noterbart här är Hyzon som precis slutit avtal med MaserFrakt för leverans av två vätgasdrivna tunga lastbilar.

Det innebär att det redan idag serietillverkas tunga FC-lastbilar som kan fylla de flesta behov, dock naturligtvis ännu enbart i mindre serier. Dessa är företrädesvis men inte enbart inriktade på stadstrafik, t.ex. för lokaldistribution samt som sopbilar och liknande. Detta pga. begränsad tillgång till tankstationer för vätgas (HRS).

För att idag få tillgång till de tunga lastbilar som krävs för t.ex. vägentreprenader krävs att lämpliga nya lastbilar efterkonverteras till vätgasdrift. Detta kan göras i Sverige, Renova i Göteborg har med hjälp av bl.a. Powercell, efterkonverterat två st. Scania sopbilar som skall gå på test och demonstration i Göteborg (p g a att det ännu inte funnits tillgång till vätgas i Göteborg ha dock projektet kraftigt försenats).

Det Umeå-baserade företaget ECTM har erbjudit Svevia att i Holland efterkonvertera en begagnad Scania plogbil för test och demonstration. Finansiering för detta har dock inte kunnat erhållas. Nu har det "fönstret" dock stängts då företaget som skulle göra jobbet har bildat HYZON Europe och ingått avtal

med DAF från Nederländerna om samarbete varvid HYZON köper s.k. "Cabshassis" från DAF och med deras godkännande bygger om dem till FC-lastbilar som säljs under namnet HYZON.

Då det är idag mer än ett års leveranstid för en sådan tung lastbil och då det tar minst samma tid att etablera produktion och distribution av vätgas inklusive HRS så måste en initiering av denna typ av projekt ske samtidigt och skyndsamt.

5.2.3 FCEV: Vad testas idag?

Scania närmar sig, enligt uppgift, stadiet att testa sina FCEV. I slutet av 2023 kommer tester inledas med små serier för att lära sig hur det fungerar i olika applikationer. Testerna kommer att pågå i 4–5 år. Scania inriktar sig på dessa tester endast på tunga fordon.^[1]

Volvo Trucks är troligen i ungefär samma läge eller möjligen något tidigare, enligt vanligtvis välunderrättade källor.

Både Toyota och Hyundai har tunga FC-drivna lastbilar i en begränsad produktion för sina prioriterade marknader. Hyundai har tagit order på 1600 FC-drivna lastbilar i Schweiz och 1000 st i Norge av typen 37-tons ekipage.

I USA och Kina pågår en liknande snabb utveckling av FC-drivna modeller för tung transport, men då dessa inom rimlig tid inte kommer att säljas inom EU väljer vi att inte ta med dem här. Kortfattat kan det nämnas att den globala motorleverantören Kummins arbetar intensivt för att ersätta sin dieselmotorproduktion för tunga fordon med FC-system. Nikola Motors är ett relativt nystartat bolag som satsar fullt ut på tunga FCEV i främst USA men man har även lanserat en version för Europa. Ett antal av dessa har sålts till Norge. Andra fordonstillverkare såsom Mercedes, Daimler och MAN har pågående tester i Europa av tunga FCEV provserier och har visat upp konceptfordon på internationella mässor.

Flera av dessa företag har även arbetsmaskiner mer eller mindre färdiga för försäljning, men det framstår som att de etablerade företagen gör det de kan för att sälja så många dieselfordon som möjligt innan de genom regleringar eller rusande dieselpriiser blir oekonomiska, eller t.o.m. förbjudna.

5.3 Vätgasteknik

5.3.1 Vilka vätagasaktörer finns idag?

Värdekedjan för vätagas är ung och ännu inte fullt etablerad. Det innebär att rollerna inom denna värdekedja inte är helt tydliga och att en hel del aktörers aktiviteter och verksamhet flyter ihop. I värdekedjan vätagas kan vi se följande direkta aktörer: energileverantörer och nätägare, vätagasproducenter, vätagasdistributörer, elektrolysör- och bränslecellstillverkare, HRS etablerare, fordonstillverkare av FCEV, de som driver tankstationen och slutligen kunderna/entreprenörerna som tankar vätagasen. Utöver dessa finns ytterligare aktörer, såsom entreprenadföretag, myndigheter, och industrier som använder/tillhandahåller vätagas.

5.3.2 Vätgasproduktion

Vätgas kan produceras på många olika sätt. Beroende på produktionssätt, eller snarare vilken energi som används för att producera vätagasen klassificeras vätagasen på olika sätt. EU har på senare år valt att klassa vätagasen med ett färgsystem. Den överlägset mest använda tekniken idag (utgör cirka 95 % av den totalt producerade volymen) är så kallad grå vätagas. Den produceras genom ångreformerings från naturgas. Grå vätagas har därför ett betydande koldioxidavtryck. Alla processer som diskuteras för framtiden omfattar emellertid i huvudsak grön vätagas. Grön vätagas produceras genom elektrolys, en process där man genom elektricitet spjälkar/splittar vatten till vätagas och syrgas. Om elektriciteten kommer från förnybar energi, såsom vindkraft, vattenkraft eller solenergi så kan den klassas som grön. Om elektriciteten har annat ursprung, till exempel från kärnkraft klassas den istället som rosa, röd eller lila. En ytterligare färgmarkering som introducerats är blå vätagas. Den produceras på identiskt sätt som grå vätagas men den koldioxid som släpps ut fångas in och lagras genom så kallad CCS (carbon capture storage)-teknik. CCS-teknik är i dag i sin linda och mycket få etablerade försök har gjorts med storskalig CO₂-lagring. I denna förstudie fokuserar vi enbart på grön vätagas. I dagsläget är den dyrare

än den vätgas som produceras med ångreformerings från naturgas. Det uppskattade priset idag för grå vätgas ligger på cirka 1,5 Euro/kg, men beror starkt på priset för naturgas. Dagens produktionspris för grön vätgas ligger kring 2,5–5,5 Euro/kg²⁴. I EU vätgasstrategi²⁵ fastslås emellertid att kostnaderna för grön vätgas prognostiseras att gå ned snabbt. Elektrolysörer har redan sjunkit med 60 % i pris de senaste 10 åren och redan 2030 är prognosen att regioner med lågt pris på förnybar energi kommer att kunna producera grön vätgas till en lägre kostnad än grå vätgas. Sverige pekas ut som ett land med sådan potential, på grund av god tillgång till vattenkraft och vindkraft.

Grön vätgas tillverkad genom elektrolys använder sig av två olika tekniker idag, alkalisk elektrolys och polymerelektrolytelektrolys (eng. Proton Exchange Membrane electrolysis, PEM-elektrolys). Den alkaliska elektrolysen är en mogen teknik och den klart dominerande idag. Flera anläggningar i storleksklassen 10 MW har installerats i Europa, medan PEM-elektrolys är under snabb expansion, men används i lång mindre omfattning idag. Den senare tekniken har flera fördelar jämfört med alkalisk elektrolys, den kan producera vätgas vid mycket större strömstyrka, den är mer lämpad att producera vätgas under varierad last, vilket lämpar sig bättre för koppling mot intermittenta förnybara energi, och elektrolysörerna är mer kompakta. PEM-elektrolys har en kortare drifttid och är mer beroende av ädelmetaller som katalysatorer vilket gör den tekniken dyrare än alkalisk elektrolys i dagsläget (ung. \$1700/KW jmf med \$1000–1400)²⁶.

Produktionen av grön vätgas startar från mycket låga nivåer, även internationellt. Globalt finns endast elektrolysörer motsvarande cirka 0.3 GW installerad idag. Som ett enkelt riktmärke kan man räkna med att en elektrolysör med effekten 1 MW producerar cirka 10 kg trycksatt vätgas/timme. Den globala produktionen av grön vätgas ligger alltså på cirka 26 000 ton/år. Expansionen förväntas emellertid bli massiv. IEA uppskattar i sin prognos, World energy outlook 2021 att de planerade installationerna av elektrolysörer skulle innebära en utökad kapacitet på 90 GW till 2030. Cirka 30 GW av dessa planeras i Europa. I Energimyndighetens vätgasstrategi planeras 5 GW i Sverige. IEA poängterar dock att den planerade installerade effekten av elektrolysörer, trots dessa höga tal, borde vara 10 ggr högre för att nå deras "net-zero emission" mål. Enligt detta mål borde den totalt installerade elektrolysörseffekten vara 3600 GW år 2050.

I Sverige idag produceras och används cirka 180 000 ton vätgas per år. Den större delen av denna vätgas är grå, resterande del kommer från industriella restströmmar och endast 3 % tillverkas genom elektrolys. Användningen av vätgas sker idag i huvudsak inom kemiindustrin. Den vätgas som produceras genom elektrolys produceras bland annat i anslutning till de tankstationer som finns för vätgas. I dagsläget finns 5 tankstationer för tankning av vätgas, Göteborg, Mariestad, Arlanda, Sandviken och Umeå. Ett stort antal tankstationer är dock planerade under de kommande åren. Just nu ligger 68 ansökningar i pipelinen för uppbyggande och för att få tillstånd. Exempel på planerade projekt är Nilssons Energy som planerar 24 HRS under kommande tre åren, Nordic hydrogen corridor (NHC) som planerar 8 HRS, Maserfrakt som planerar 2 HRS, som också initialt beställt 2 st tunga FC-Lastbilar. De flesta av dessa HRS planeras söder om Gävle, men även i norr finns planer på HRS. Energimyndigheten gick den 23/3 ut med en unik utlysning: Man kommer att ge 100% i bidrag för "Regionala elektrifieringspiloter för tunga transporter". Se: <https://www.energimyndigheten.se/utlysningar/regionala-energipiloter/>. Detta innebär att det över hela Sverige nu skall byggas både laddinfrastruktur för tunga fordon, samt vätgastankstationer för tunga fordon. Detta kan ses som ett klart avstamp mot det nya energisamhället.

Noterbart är också de mycket stora industriprocesser som planeras i norra Sverige gällande fossilfritt stål. Bland annat SSAB och H2Green Steel planerar att använda vätgas som reduktionsmedel (istället för kol som idag). De planerade elektrolysörseffekterna i denna industri ligger på cirka 5 GW fram till år 2030. Även små fraktioner av denna mängd vätgas skulle kunna få stor inverkan på tillgång till grön vätgas för transportsektorn.

5.3.3 Vätgasdistribution och lagring

Traditionellt transporteras vätgas långa sträckor i trycksatta flaskor, som innebär såväl miljöpåverkan som en väldigt hög transportkostnad. Totalkostnaden för dessa kan bli mycket hög, speciellt för små volymer, ibland så

²⁴ [IEA 2019 Hydrogen report, sid 42, baserat på ett pris på 22 €/MWh samt elpriser mellan 35-87 €/MWh]

²⁵ [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>]

²⁶ [IEA (2021), Global Hydrogen Review 2021, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>]

hög som 1000 kr per kg vätgas. Dagens industriella användning av vägas som i huvudsak är grå tillverkas ofta lokalt för de specifika processerna. Kortare sträckor, exempelvis inom en stad, kan vägtransport med trycksatta containrar vara ett lönsamt alternativ. På grund av de höga kostnaderna kopplade till transport är det i dagsläget nästan alltid ekonomiskt fördelaktigt att producera vätgasen så lokalt som möjligt, till exempel med solceller i direkt anslutning till en HRS.²⁷

I ett samhälle med en utbyggd användning av vätgas, där vätgasen används inom transport, industri och för att utjämna säsongsvariationer i energisystemet kommer nya lagringsalternativ att behövas. För storskalig lagring för att exempelvis utjämna variationer i tillgång och efterfrågan mellan sommar och vinter eller lagring av vätgas för industriprocesser kommer lösningar såsom bergrumslagringar troligen bli den utbredda lösningen. Det finns långtgående planer på en pilotanläggning av ett bergsrumslager i Svartöberget, Piteå, där ett 100 kubikmeter stort utrymme kommer att täckas invändigt för att möjliggöra lagring av vätgas under högt tryck (troligen kring 200 bar). Fullskaliga lösningar för framtiden kommer att behöva vara minst 1000 ggr större²⁸. Andra lösningar för att kombinera både distribution och storskalig lagring kan innefatta pipelines som håller och transporterar vätgas vid cirka 200 bars tryck. Luleå tekniska universitet har gjort beräkningar som visar att en pipeline längs kusten från Brahestad i Finland till Umeå i Sverige skulle kunna innehålla cirka 7000 ton vätgas²⁹. Motsvarande pipelines för vätgas finns exempelvis i Texas, USA och är cirka 150 mil lång. För småskalig, kortsiktig lagring vid HRS kommer den troligen att ske endera i containerlösningar eller polymerklädda kolfibertankar. Då dessa lösningar är relativt kostsamma är det mest lönsamma för HRS och liknande dock att vätgasen i huvudsak produceras on-demand så att lagringsvolymerna hålls små. För distribution inom Sverige har exempelvis Inlandsbanan lyfts fram som ett mycket intressant alternativ. Andra alternativ att lagra vätgas och för att komma runt de problem som storskalig lagring av gaser vid höga tryck innebär i form av läckage och kostsam infrastruktur är att omvandla vätgasen genom en kemisk process till exempelvis metanol. Det extra processteget innebär förvisso en ytterligare energiförlust, men metanol är å andra sidan väl integrerade med många kemiska processer och mycket enkelt att lagra. En annan lösning som ligger åtskilliga år i framtiden är att lagra vätgasen i så kallade "liquid organic hydrogen carriers", kemiska molekyler som har möjlighet att ta upp och avge väte med hjälp av katalysatorer. Nackdelen med dessa processer är att de innebär energiförluster vid omvandlingsstegen och att viktprocenten av vätgas som kan lagras är relativt låg i dagsläget (3-5 %).

5.3.4 Tankstationer och tankning

Tankstationer för vätgas är centrala för övergången till vätgasdrivna fordon. Sådana byggs i hela världen. I Europa finns flest HRS i Tyskland, medan det hittills enbart finns fem stycken i Sverige. På webbsidan <https://www.h2stations.org/stations-map/?lat=49.763948&lng=12.582221&zoom=4> visas den globala tillgången på HRS både som tidigare, existerande, samt planerade projekt. Där finner man att det i slutet av 2021 fanns ca 685 HRS i världen varav de flesta i Asien.

En av leverantörerna för HRS är Resato. De bygger tankstationer av varierande storlek och kapacitet. Den i dagsläget största publika tankstationen de satt upp kan tillhandahålla 1000 kg vätgas per dag, men de planerar för HRS med större kapacitet. I dagsläget har de åtta publika stationer i Europa. Utöver publika stationer tillhandahåller de även så kallade "fleet owner stations", med något lägre kapacitet. Tanken bakom dessa är att ett företag som vill testa att gå över till vätgasdrivna fordon har en egen, något billigare, tankstation. Denna kan senare skalas upp i kapacitet om behovet skulle öka²⁸.

Resato anger att kostnaden för att etablera en mindre tankstation med långsam tankning och lägre kapacitet kan vara under 500 000 euro.³⁰ Umeåbaserade OAZER AB gör liknande uppskattningar om cirka 7 miljoner kronor.²⁸ En större publik station där 800-1000 kg vätgas kan tankas per dag kostar någonstans mellan 1,2 och 2 miljoner euro, enligt Resato.³¹ OAZER anger en något högre kostnad på 20-30 miljoner kronor. Etableringskostnaden beror

²⁷ Skriftligt från Boh Westerlund, OAZER AB

²⁸ <https://www.nyteknik.se/energi/jattelagret-for-vatgas-nu-byggs-det-30-meter-under-jord-7012649>

²⁹ <https://www.msn.com/sv-se/nyheter/teknik-prylar/s%C3%A5-mycket-v%C3%A4tgas-kan-en-svensk-finsk-pipeline-rymma/ar-AAKnW9d>

³⁰ Samtal med François Hemmerlin, Resato, 15/2 -22

bland annat på om det finns tillgång till vätgas i närheten, vilka typer av fordon som ska tankas, hur fordonsfördelningen ser ut över dagen och i vilken klimatzon tankstationen är. Vill man kunna tanka snabbt kostar det också mer än om man kan låta tankningen ta tid. Andra leverantörer av HRS till exempel är Hynion som också har ett flertal stationer i Sverige och Norge, bland annat i Oslo och nyligen också stationerna i Arlanda och Sandviken.

Tunga fordon tankas idag nästan uteslutande med 350 bar medan bilar och lätta fordon tankas med 700 bar. Personbilar tankar typiskt cirka 6 kg vätgas medan bussar har kapacitet för 25–35 kg och tunga lastbilar kan ha tankar som rymmer från 35 kg och uppåt.²⁸ De nyligen beställda tunga lastbilarna från Maserfrakt från Hyzon/Holthausen kommer att ha en tankvolym på 98 kg. Tanktider för lastbilar kan initialt räknas upp till 60 g/sec vilket ger en takning på ca 2,7 kg/min. De minsta tankarna för tyngre lastbilar är ca 35 kg och dessa tar ca 15 min att tanka medan de större tankar kan bli 100–150 kg och tankningstid kan bli uppemot 35 – 40 min.

Riskerna med en HRS är lägre än med en traditionell tankstation, men eftersom det ännu inte finns särskilt många HRS saknas ofta rutiner för riskbedömning och handläggning av tillståndsansökan. Branschen arbetar för att få fram en europeisk eller global standard, men innan detta finns på plats hanteras alla ansökningar individuellt hos respektive kommun och det kan bli en komplicerad process.²⁸

EU har som mål att vätgas ska kosta 1,80 euro per kg år 2030.³¹ En studie tror dock att detta är optimistiskt. De uppskattar att det europeiska genomsnittspriset för konsumenten år 2030 utan ekonomiska stöd kommer vara mellan 6 och 7 euro per kg grön vätgas vid en HRS. Dock kan det möjligen vara billigare i Sverige, eftersom vi har en stor andel förnybar elektricitet.³²

³¹ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_21_6421

³² Yuanrong Zhou, Stephanie Searle (2022): Cost of renewable hydrogen produced onsite at hydrogen refueling stations in Europe

6 Utmaningar för aktörer i värdekedjan

6.1 Aktörerna i värdekedjan

I vägunderhållssystemet samverkande värdekedja återfinns TRV, entreprenörer, kommuner och andra väghållare, diesel-/biodiesel-/energi-leverantörer och stationer, lastbilstillverkare, återförsäljare med service och underhålls-verkstäder, finansiärer med flera. För att göra vägunderhållskedjan emissionsfri krävs koordinerade åtgärder som innefattar alla dessa avsnitt. Bilden 1 innehåller en förenklad bild av aktörer och relationer i en vätgasvärdekedja.

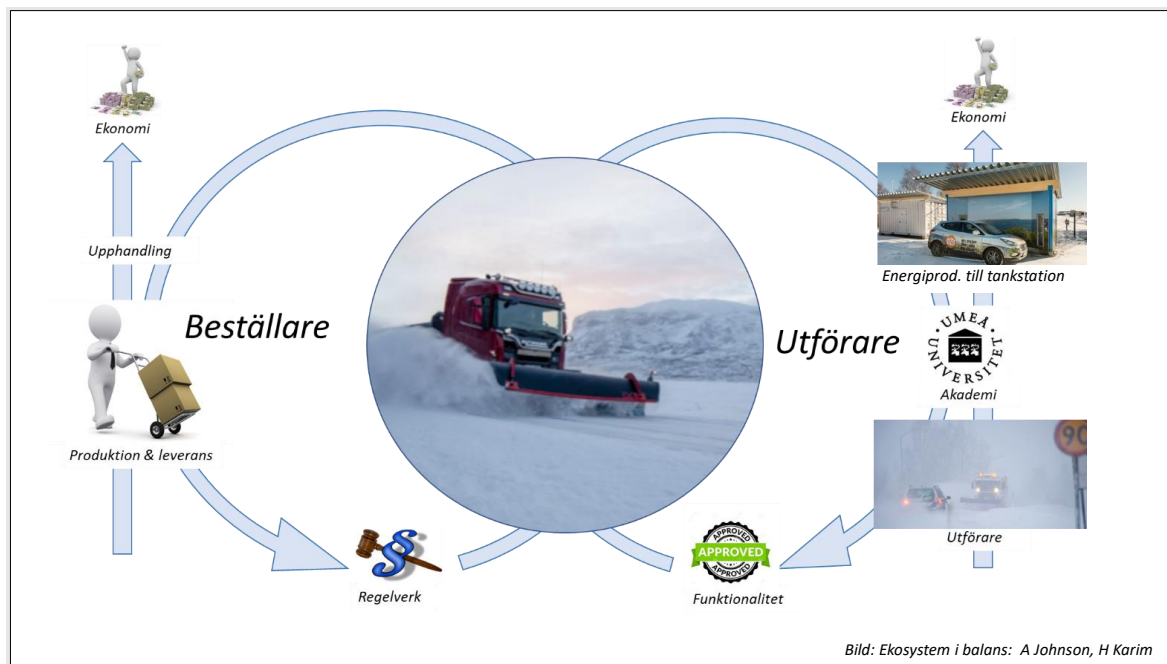


Bild 1. Värdekedja i balans

6.2 Utmaningar för vägunderhållsentreprenören

6.2.1 En ekonomi i balans

Den enskilde entreprenören som tar på sig uppdrag med vägunderhåll lever ofta inom små marginaler där uppdragsersättningen behöver vara i paritet med de löne- och driftskostnader som uppstår. Investering i nya fordon görs inte lättvindigt, utan kräver att entreprenören litar på att investeringen lönar sig i längden. Kostnaden för att välja en FCEV måste vara på ungefär samma nivå som ett fordon med andra drivmedel när man tittar på hela livscykeln. Kostnaden för ett nytt fordon behöver vara på en acceptabel nivå, antingen genom lågt inköpspris, leasingavtal eller genom att lägre driftkostnader kompenserar för ökade investeringskostnader. Priserna för vätgas bör hållas låga genom en ökad produktion i samhället i stort. Kanske görs detta ännu billigare genom egen produktion. Vätgasen kan också ingå i ett leasingavtal. När det är dags att byta fordon, ska det helst finnas en andrahandsmarknad som värdesätter begagnade FCEV. Om det finns globala standarder som styr hur FCEV ska fungera, går det utmärkt att sälja fordonen globalt vilket förbättrar andrahandsmarknaden. Eventuella kvarstående ökade kostnader måste ersättas av beställaren genom högre ersättningar för emissionsfria fordon.

6.2.2 Pålitliga fordon som gör sitt jobb

Entreprenören måste kunna lita på att FCEV klarar av att genomföra vägunderhåll minst lika bra som andra alternativ. Temperaturväxlingarna i subarktiskt klimat får inte ställa till några större problem för fordonen. Det är viktigt med en väl utbyggd infrastruktur av tankstationer för vätgas, kanske till och med på egen depå och tankningen får inte uppta för lång tid. Räckvidden hos fulltankat fordon bör vara i paritet med räckvidden hos traditionella fordon.

Det måste finnas god tillgång till reservdelar och kompetent service oavsett var i landet man är. FCEV ska helst inte vara mer underhållskrävande än andra fordon. Fordonen behöver ha de fästen och utrustning som krävs för att genomföra vägunderhåll, eller gå att utrusta med dessa.

6.3 Utmaningar för vägunderhållsbeställaren

Den som köper in vägunderhåll är naturligtvis främst intresserad av att underhållet ska genomföras på ett bra sätt och till en acceptabel kostnad. Det viktigaste är därför att FCEV ska kunna genomföra sitt arbete på ett tillfredsställande sätt. Vad gäller den ekonomiska aspekten kan man tänka sig antingen att det inte är dyrare att anlita entreprenörer som använder sig av FCEV, eller att det går att kompensera den ökade kostnaden någon annan stans ifrån, exempelvis genom offentliga medel. För att det ska vara lätt för beställaren att avgöra vilka fordon och vilket drivmedel som uppfyller miljökraven, behöver det finnas välgrundade standarder och märkningar för detta. Alla som köper in tjänster från de företag som erbjuder vägunderhåll bör ställa ungefär samma miljökrav, så att inte enskilda beställare måste minska sina krav för att bli en attraktiv uppdragsgivare.

Inför omställningen till utsläppsfria och fossilfria entreprenader har Trafikverket flera utmaningar. En av utmaningarna är den begränsade kunskapen kopplat till kostnader, möjligheter och begränsning för olika tekniska lösningar som används för utsläppsfria och fossilfria arbetsfordon samt hur lämpliga dessa fordon är för en bredd variation av entreprenader som TRV upphandlar. En annan utmaning för Trafikverket är framtagningen av lämpliga klimatkrav och verktyg för uppföljning av kraven i entreprenaderna. Kraven måste vara uppföljningsbara och är realistiska att nå till en rimlig och samhällsekonomisk motiverad kostnad. En annan utmaning är val av en lämplig tidplan för infordrandet av klimatkraven som är synkad med vad entreprenörerna och de övriga aktörerna i värdekedjan klara av.

6.4 Utmaningar för HRS

Det måste bli ekonomiskt lönsamt att etablera och driva tankstationer för vätgas. Utrustningen som krävs för etableringen är initialt dyr varför bidrag krävs för att komma igång men den kommer att bli billigare allt efter som volymerna ökar. Det skall enligt EU etableras en vätgastankstation var 100/km vilket skapar volymerna. Dessutom måste efterfrågan efter vätgas växa samtidigt som stationerna. Stöd för att komma igång med Demo- och verifieringsprojekt kommer att behövas, men när volymerna ökar kommer kostnaderna att sjunka, även för fordonen. Tillgång till reservdelar och kompetent servicepersonal måste säkerställas. Det behöver finnas god tillgång till vätgas till ett lågt pris. Processen för att få tillstånd till att sätta upp en station måste förenklas och även i Sverige anpassas till internationella lagar, regler och rutiner för att snabba upp processerna. EU har uppmärksammat dessa problem och kommer nu att kräva samordning inom hela EU.

6.5 Utmaningar för vätgasproducenter

Den erforderliga utrustningen behöver vara tillräckligt billig. Det måste finnas efterfrågan på vätgas som gör det lönsamt att producera. Byråkratin kring tillstånd måste vara tillräckligt enkelt. Det måste finnas tillgång till (grön) elektricitet i tillräcklig utsträckning och till acceptabelt pris. Det behöver gå att lagra och transportera vätgasen dit den behövs.

6.6 Utmaningar för el-leverantörer

Elnätet måste ha tillräcklig kapacitet för att klara av den ökade belastningen som utbredd elektrolys innebär. Produktionstopparna och -dalarna bör kunna jämnas ut med hjälp av energilagring för att ha en stabil nivå. Solpaneler, vindkraftverk och liknande måste vara tillräckligt billiga att etablera och underhålla för att grön el ska vara konkurrenskraftigt. Byråkratin kring tillstånd och liknande bör vara på en acceptabel nivå. Det måste finnas tillräckligt stor efterfrågan på grön el.

6.7 Utmaningar för fordonstillverkare

Det måste först finnas tankstationer för att kunna skapa förutsättningar för en tillräcklig efterfrågan på FCEV. Alla delar som behövs (tankar, el-drivlina, batteri, bränslecellsstack osv) behöver vara tillgängliga även i Europa, till ett acceptabelt pris.

6.8 Utmaningar för serviceverkstäder

Personalen behöver ha kunskap om hur man hanterar FCEV. Det bör finnas tillgång till mer kvalificerad expertis hos fordonstillverkarna i de fall detta krävs.

6.9 Utmaningar för allmänheten

Det bör finnas tillräcklig kunskap om vätgasteknik för att uppnå en acceptans. Allmänheten associerar inte vätgas i första hand med knallgas och Hindenburg, utan med hållbarhet och ren luft.

7 Analys

7.1 Analys av teknikens möjligheter och begränsningar

7.1.1 Antal tankstationer, placering

Som beskrivits innan finns det idag fem tankstationer i Sverige, var av fyra är i drift (Mariestad, Arlanda, Sandviken och i Umeå). Ett stort antal tankstationer är dock planerade under de kommande åren. Just nu ligger 68 ansökningar i pipelinen för uppbyggande och för att få tillstånd. Exempel på planerade projekt är Nilssons Energy som planerar 24 HRS under kommande tre åren, Nordic hydrogen corridor (NHC) som planerar 8 HRS, Maserfrakt som planerar två HRS. De flesta av dessa HRS planeras söder om Gävle, men även i norr finns planer på HRS. Den 23/3 2022 gick Energimyndigheten ut med en utlysning där 100 %-igt stöd fanns att söka för snabbbladdning eller tankstationer för vätgas under förutsättning att de kan erbjuda stationer för 700 bar för tunga fordon samt med en kapacitet av 1500 kg vätgas per dag och att drift av stationen kan garanteras under fem år. Det fanns tydliga signaler om att ett stort antal ansökningar för att bygga HRS med hjälp av detta stöd skulle inlämnas. Det är trots dessa utlysningar och den positiva trenden av utbyggnaden av HRS i Sverige sannolikt att underhållsfordon med vätgasdrift kommer att få förlita sig på lokala kluster av tankstationer, som sedan byggs ut till korridorer kring prioriterade rutter. Redundansen blir viktig att beakta i relation till access och tillgänglighet för vätgastankning.

7.1.2 Fordonstillgång, prestanda och service

Antalet FCEV globalt är fortfarande väldigt litet men ökar snabbt. 2020 fanns cirka 25 000 vätgasdrivna personbilar, cirka 5 600 bussar och 3 500 lätta och medeltunga lastbilar³³. Ökningen spås vara cirka 67 % per år från 2019 till 2026 inom hela segmentet FCEV³⁴. Inom segmentet tunga lastbilar finns endast cirka 100 st i drift. Det är dock inom detta segment som utvecklingen går allra snabbast då vätgas lyfts fram som särdeles fördelaktigt vad gäller teknikens möjligheter.

I dagsläget finns inga tunga FCEV som är byggda och utprovade för kallt klimat. För att skaffa kunskap om hur tunga FCEV fungerar i subarktiskt klimat och med dessa driftförhållanden skulle tester och demonstrationsprojekt behöva initieras och stöttas.

En viktig skillnad mellan FCEV och motsvarande dieseldrivna fordon är att vätgastankarna tar upp mer plats än dieseltankar. För vissa fordon, exempelvis tunga lastbilar, kan det innebära en begränsning vilket går att lösa. Exempelvis använder Hyzon chassin från DAF för att byta ut drivlinan till FC-drift. Genom att placera vätgastankarna bakom och/eller över hytten kan man möjliggöra utrymme för vätgastankar upp till 98 kg för ett 65 tons ekipage³⁵.

Entreprenörerna önskemål på sikt skulle kunna vara en räckvidd runt 100 mil för att hantera sina vinterunderhållsuppdrag men det kan initialt räcka med en räckvidd på ca 50–60 mil. För att klara detta behövs det en kapacitet för ca 90–100 kg vätgas ombord. Tungna plogbilar har vanligen 3–4 axlar, de har stora och starka motorer mellan 13–16 liter och 450–600 hk för att klara av svåra uppdrag vilket medför en hög drivmedelsförbrukning. En traditionell "europadragare" med semitrailer (40 ton) kan uppnå en räckvidd på ca 100 mil och detta kan jämföras med en plogbil som består av en 60-tons lastbil som får ca 70 mil räckvidd med motsvarande mängd vätgas. Om det finns ett utbyggt nät så kan det fungera med lägre kapacitet för vätgas ombord då det går att tanka vätgas på likvärdig tid som diesel idag, ca 15 min.

Om vätgasen lagras i 700 bar så kommer det att ta ca 15 st tuber av motsvarande dimension som det som sitter i Hyundai Nexo (SUV) idag. Den tub som sitter i en Nexo är avsedd för personbil och kan 3-dubblas i längd och bli ca 2 meter lång och då behövs det ca 5 st tuber vid bakstammen på en lastbil. Dessa tuber bedöms kunna monteras på en lastbil.

³³ <https://www.statista.com/statistics/1291480/hydrogen-fueled-road-vehicles-worldwide/>

³⁴ <https://www.alliedmarketresearch.com/hydrogen-fuel-cell-vehicle-market>

³⁵ Samtal med Stefan van der Spek, Hyzon

Det är värt att notera att trots en viss ökning av volymen för vätgastankar i jämförelse med dieseltankar är nettovikten för dem trots allt lägre. I jämförelse med batteridrift för tunga fordon är vätgas mycket fördelaktigt både gällande volym och vikt på grund av den låga energidensiteten för Li-jon batterier. Det är dock vidare värt att notera att utöver vätgas har alla FCEV även batteri. Batteriet fyller flera funktioner såsom regenerering av rörelseenergi via elektrisk inbromsning, vilket är en mycket viktig del i energibalanseringen för alla elfordon. De kan även användas för att värma upp bränslecellen inför uppstart om det är kallt, eftersom bränslecellerna inte presterar på topp vid alltför kalla temperaturer. Batteriet används också för att ta hand om prestationstoppar, där energiförbrukningen under en kort tid går utöver vad bränslecellen är dimensionerad för att hantera (medeleffektförbrukningen).

Initialt kommer vätgasdrivna fordon, såväl lätta som tunga, troligen kräva något mer service då små volymer i nya driftsförhållanden och t.ex. kallt klimat kommer att kräva längre inkörningstider än vid storskalig serieproduktion, vars prototyper och förserier redan genomgått omfattande tester då de släpps i stora antal, på marknaden³⁶. Detta bekräftas av Svevias projekt där två FCEV-bilar (Hyundai) använts under cirka fyra år. På sikt kommer dock servicen och därmed servicekostnaderna att minska då det är mycket mindre rörliga delar som måste smörjas och som utsätts för slitage på EL- & FC-fordon. Typiska serviceinsatser som olje- och filterbyten och diverse motorservice, som dessutom nu har ökat på Euro6-dieselmotorerna försvinner helt, liksom avgassystem, AdBlue korrosion mm. Till och med bromsslitage minskar då man med elfordon el-bromsar och återvinner rörelseenergin till att ladda batterierna. Det som tillkommer är i princip endast byte av kylarvätska med tätare intervaller, medan luftfilterbyten kommer att ske med ungefär samma intervall som tidigare.

En annan utmaning som finns är en risk för bristande kompetens inom serviceverkstäder. Scania har signalerat att de åtminstone i ett inledningskede kommer att lösa sådana problem med att ha två ambulanserande "flying doctors" som kommer att handha service för tunga FCEV. En viktig aspekt gällande service som framkommit är att entreprenörerna ofta, för att hålla ned driftskostnader, väljer att köpa loss fordon och sedan på egen hand "meka" med sina fordon. Sådana möjligheter kommer troligen att minska med ett FCEV fordon eftersom det krävs kunskap och utrustning som de troligtvis i alla fall initialt saknar. En annan viktig aspekt gällande FCEV fordon, är vilken driftslivslängd som kommer att kunna garanteras. Branschens inriktning är att bränslecellsstackar för tunga fordon ska ha en total aktivitetslivslängd på 30 000 timmar³⁷, vilket motsvarar ungefär 10 års aktivitet á 8 timmar dagligen. Bland redan kommersiellt tillgängliga bränslecellsstackar finns exempelvis Ballards FCVelocity®-9SSL, som beroende på hur den används kan ha en livslängd över 20 000 timmar.³⁷ Det som begränsar är främst livslängden hos bränslecellsstacken. De elektrokemiska processerna i bränslecellsstacken leder till långsam degradering av framförallt katalysatorer och strömkollektorer. I viss utsträckning går det att påverka livslängden, men det är en balansgång mellan att optimera verkningsgraden hos vätgasen och livslängden hos bränslecellen (låg belastning = bättre verkningsgrad men snabbare åldrande).³⁷ Möjligheterna att istället hitta affärsmodeller med leasingavtal kommer dock att kunna balansera sådana risker.

I dagsläget är det vanligt att tanka i slutet av varje tur, så att fordonet är redo för nästa uppdrag. Eftersom det finns tillgång till diesel i stort sett överallt behöver inte åkaren planera in särskilda rutter för att tanka. En lastbil rymmer cirka 400 liter diesel. Vid den allra högsta belastningen, som vid krävande snöplogning dygnet runt vid snöoväder, kan det gå åt kring 30 liter diesel i timmen. Under dessa extrema förhållanden brukar fordonet inte vila utan föraren byts bara ut. Då kan i enstaka fall fordonet behöva tankas två gånger per dygn.

FCEV fordon som drivs med vätgas kommer att ha möjlighet att köra sträckor och tid som motsvarar de för ICE fordon drivna med diesel. Det innebär att så länge HRS installeras på ungefär liknande avstånd som de för andra drivmedel kommer inte driftområden att behöva ändras väsentligt. I en inledande fas är det osannolikt att HRS kommer att finnas i samma utsträckning som andra drivmedelsstationer och därför kan driftområden behöva anpassas till att avslutas eller påbörjas i anslutning till en HRS. OAZER:s HRS-system är dock framtaget för att på samma sätt som de nu små spridda dieseltankstationerna som finns centralt på industriområden eller direkt ute

³⁶ Samtal med Pontus Svens, Scania, 28/1 -22

³⁷ <https://www.ballard.com/fuel-cell-solutions/fuel-cell-power-products/fuel-cell-stacks>

på åkerier och därigenom kunna tillhandahålla vätgas bortom publika HRS. Eftersom tankning av tunga fordon (med 350 bar) skiljer sig från tankning av lätta fordon (med 700 bar) så kommer trenden med små privata tankstationer för lastbilsdiesel (som t.ex. Skoogs bränslen erbjuder) att öka, och inte vara beroende av etableringen av stora publika tankstationer. En sannolik trend är att sådana typer av tankstationer också kommer att kunna vara lämpliga att lokalisera alternativa drivmedel såsom små HRS för vätgas.

Även om transportererna nu kommer att kunna utföras med vätgas-lastbilar och trycknivåerna ökar i transportlagren, så kommer mobil transport med lastbil att begränsas till närområden. En grov uppskattning anger att mobil transport i trycksatta containrar (200 bar) är lönsam för sträckor under 100 km³⁸. För längre sträckor kommer troligen vätgasdrivna tåg och båtar kunna utgöra ett bra alternativ.³⁹

Konvertering av tunga fordon till FC-drift började för flera decennier sedan med stadsbussar, som ur driftsynpunkt är mycket lämpliga för alla former av eldrift, men som av utrymmesskäl i motorrum m.m. var en utmaning. Däremot fanns det gott om utrymme på busstaken för gastankar. När man sedan för ca 10 år sedan började förbereda för den serieproduktion av FCB som nu rullar igång hos alla busstillverkare med framtidsplaner, var både tekniken för el-drivlinor och FC-moduler mogna, både vad gäller produktionsteknik och konvertering av andra fordon, så som lastbilar. Det finns idag därför ett stort utbud av serieproducerade el-drivlinor för efterkonvertering samt ett relativt stort antal FC-leverantörer av allt från FC-stackar till färdiga FC-moduler som i princip är nyckelfärdiga att montera i t.ex. Lastbilar. Det finns även ett flertal företag på kontinenten, i USA och i Asien som löpande utför dessa konverteringar i relativt stora antal. Detta avser då inte bara de fordon som de stora tillverkarna satsar först på; distributionslastbilar, utan även mycket tyngre lastbilar typ 60 – 70+ ton. Det holländska företaget HYZON kommer nu att leverera de två första tunga lastbilarna till Maserfrakt i Borlänge, som det nämndes innan.

Det som dock inte finns idag är erfarenhet av att driva tunga fordon på el- eller FC-drift i riktigt kallt klimat. De tester och leveranser som gjorts, både för fordon och HRS begränsas normalt till ner till -20 °C. Vid kallare temperaturer än -20 °C är det bara vissa nischade företag som ännu kan erbjuda denna teknik för HRS. (t.ex. OAZER & ECTM). Utmaningen ligger inte endast i kylan, även stora temperaturändringar vållar också problem i arktiskt och subarktiskt klimat.

Tankning vid en HRS skiljer sig inte nämnvärt från den som gäller för att tanka en tung lastbil med diesel, det vill säga en tankning tar cirka 15–20 minuter. Det finns två vanliga alternativ för att trycksätta vätgas, 350 bar och 700 bar. Med 700 bar kan man rymma ca 40% mer vätgas på samma volym, men tankningen kompliceras av något som kallas negativ Joule-Thomson-effekt som innebär att temperaturen ökar när gasen utvidgas. De tankar som används för vätgas har endera ett aluminiumlager eller ett polymerlager invändigt som syftar till att hålla kvar vätgasen, och detta lager får inte bli för varmt. Därför behöver man kontrollera tankningshastigheten för att undvika överhettning. [15] SAE J2601 är en serie standarder för hur vätgastankning ska gå till för olika tryck, temperaturer och tankstorlekar. Vid optimala förhållanden och med kyld vätgas är maximala tankningshastigheten 60 g/s för 700 bar och 120 g/s för 350 bar.

Ett flertal utvecklingsprojekt för snabbare tankning även för 700 bar pågår och flera tunga fordonstillverkare testar nu t.ex. lastbilar med 700 bar tanksystem. För att uppnå samma tanktider som för diesel måste man använda sig av den högre hastigheten med 120 gr/s, vilket görs med 350 bar idag och nu utvecklas för 700 bar. Det finns även testverksamhet med 240 gr/s, samt forskning kring andra tekniker där vätgasen kyls till nära flytande (-250 °C) i fordonens tankar.

Beroende på hur mycket vätgas som finns vid stationen och huruvida den är trycksatt, kan det finnas en begränsning i hur många fordon som kan tankas direkt efter varandra (så kallat back-to-back). Det är dock fullt möjligt att öka kapaciteten genom att exempelvis ha ett större lager av trycksatt vätgas, om efterfrågan gör det värt den extra kostnaden.

³⁸ Intervju med Hans-Olof Nilsson, Nilsson Energy

³⁹ <https://vatgas.se/2020/07/07/inlandsbanan-planerar-for-vatgas/>

Scania satsar på 700 bar för att rymma mer vätgas i fordonens tankar. På dragbil med trailer kan man då rymma cirka 40–60 kg vätgas och de gissar att detsamma gäller fordon för vägunderhåll. Långsiktigt tror även de att flytande väte kan vara en bra lösning, men i dagsläget saknas den nödvändiga tekniken för tankningsinfrastrukturen.

Det skall dock noteras att Hyzon redan kan leverera tunga lastbilar med kapacitet för 98 kg vätgas i 350 bars tankning.

Sammanfattningsvis kan man utifrån teknikens begränsningar och möjligheter konstatera att:

- **För korta och lätta transporter kommer troligtvis batterielfordon att vara dominerande**, en övergång som redan startat och som ställer krav inte bara på fordonen utan även på ladd-infrastruktur. Utbyggnaden av denna har på börjats men försvåras av bland annat tillgången till el och nät i vissa områden samt brist på gemensam standard för laddning av fordon.
- **För långa och tunga transporter kommer förmodligen vätgasdrivna bränsleceller bli den dominerande** tekniken tack vare vätgasens stora energiinnehåll räknat per kg drivmedel. Tyngre tankar för trycksatt vätgas drar ner förhållandet men det är i alla fall helt rimligt att uppnå samma körsträckor och tanktider med vätgasdrift som med traditionella bränslen.

Distribution av vätgas kan ske med framförallt två metoder, pipelines eller mobil transport. Pipelines kan och kommer att nyttjas främst där sådana gasnät redan finns och byggs ut, exempelvis anses befintliga gasledningar för naturgas kunna modifieras för att transportera också vätgas. I Sverige finns endast begränsad tillgång till sådana gasnät. Att bygga upp ett gasnätverk kommer att ta tid i paritet med elnätsutbyggnad. Beräkningar visar dock att pipelines för vätgas är billigare att bygga och använda än storskalig utbyggnad av elnätet, delvis på grund av att vätgaspipelines kan transportera mycket större mängder energi än elnät. Beräkningarna visar att kostnaden per transporterad MWh är 8 ggr högre för elektricitet i ett elnät jämfört med för vätgas i pipelines, och 11 ggr högre än för naturgas⁴⁰. Noteras bör vidare att pipelines för vätgas rekommenderas att byggas ovan jord så att eventuella läckor av vätgas endast leder till att vätgasen, som är lättare än luft, "pyser" rakt upp i luften och då inte anrikas på ett sätt som kan orsaka antändning och explosion.

7.1.3 OEM-perspektivet

I kapitlet fokuserar vi på OEMernas helhetstänk för marknadsintroduktioner och i synnerhet **eftermarknadsaffären**. Vi kan av förklarliga orsaker inte beskriva OEMernas teknikutvecklingsstrategi.

Svenska tillverkare

Relation med kund: Svenska fordonstillverkare strävar efter långvariga affärsrelationer med sina kunder, det finns därmed en bärande tanke att affärsrelationen skall vara lönsam för bägge parter.

Service- och underhållsverksamheten kan över tid omsätta ungefär lika mycket pengar som försäljningstillfället vilket i ett fordonstillverkarperspektiv är en viktig drivkraft. Kan man utöver detta få ett fordon att säljas en gång till och hålla det inom sitt service- och underhållsnät så fortsätter fordonet generera värde.

Service- och underhåll är en mycket viktig aktivitet för fordonstillverkarnas totala affär och mycket omsorg läggs på att bibehålla och utveckla eftermarknadsverksamheten. Desto längre tid man kan hålla fordonen inom "familjen" desto bättre blir lönsamheten för alla parter över tid.

För fordonsägaren/entreprenören är det avgörande att fordon kan användas i operationell drift så mycket som möjligt (up-time) vilket direkt påverkar den operationella lönsamheten. Genom att fordon kan användas till de uppdrag man åtagit sig säkerställs en lönsam relation för alla parter.

Förutsättningen för denna relation är att fordonen är rätt specificerade, byggda och utrustade för uppdraget och givetvis används till den typ av uppdrag de är byggda för. Det behöver finnas serviceverkstäder med kompetent och utbildad personal samt tryggheten att fabriken kan tillhandahålla service- och underhållskomponenter till överenskomna servicetidpunkter till en acceptabel kostnad. Detta är de svenska fordonstillverkarna skickliga på.

Nollemissionsfordon avviker inte på något sätt från denna målsättning, och det är snarare här som utmaningarna för de svenska fordonstillverkarna grundläggs, eftersom det är viktigt att säkerställa eftermarknadsaffären så

⁴⁰ DeSantis et al., iScience 24, 103495 December 17, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103495>

finns dessa frågor vanligen med redan i utvecklingskedet. Dilemmat är att fordonssegment, tunga entreprenadfordon i allmänhet och vägunderhållsfordon i synnerhet, inte är något volymsegment. Det är få fordon som skall bära stora utvecklingskostnader vilket leder till att produktsegmentet prioriteras ned och ligger sent. Det är ett rationellt och ekonomiskt resonemang som bidragit till att svenska tillverkarna inte är i frontlinjen m a p tunga FCEV-fordon för vägunderhållsentreprenörer.

Det finns andra aspekter som kan påverka detta. För att få ner kostnaden per fordon är det affärsmässigt rätt att söka teknik- och komponentsynergier med andra produkter, för vägunderhållsfordon är det troligen anläggningsfordon som ligger närmast. Men trots detta är det svårt för fordonstillverkarna att i nuläget ge prioritet till detta fordonssegment. Det behövs något annat som förändrar förutsättningarna för fordonstillverkarna så de kan ge högre prioritet och snabbare planerad introduktion. Här kan innovationsupphandling och olika typer av incitament samt finansiella lösningar för att minska risktagandet underlätta för OEMerna

Lastbilsbranschen är, på goda grunder, konservativ när det gäller affärsrelationer. I Sverige har det länge varit Scania och Volvo som varit tongivande, och för många är det fortfarande så. Man vet vad man får: bra kvalitet och fordon anpassade sedan decennier till just våra behov men detta är inte hela sanningen, det behövs även:

- **Ett väl utbyggt återförsäljar- och servicenät**, med tillgång till service och underhåll är A och O för en lyckad (trygg) marknadsintroduktion och detta kan inte undervärderas. En nyckel till framgång i Sverige är att ha ett bra återförsäljar- och servicenätverk.
- **En satsning kan även vara en strategisk satsning** som beslutats högt upp i organisationen, då kan eventuella svårigheter och förluster och försvaras och accepteras internt,

Om någon av dessa två förutsättningar saknas så är det svårt att etablera sig och eller vara kvar i ett marknadssegment över tid.

Övriga tillverkare

Utländska tillverkare vill likväl som nationella tillverkare ha långvariga affärsrelationer med sina kunder, det finns även hos dessa en bärande tanke att affärsrelationen skall vara lönsam för bägge parter. Utanför Sveriges gränser pågår mycket aktiviteter m a p vätgasfordon i de flesta olika segmenten. Utländska tillverkare kommer in på den svenska marknaden med lägre priser eller speciella erbjudanden. Detta påskyndats när inköpen övergår från att vara ett "åkaransvar" till ett "ekonomansvar", då förändras ofta hela affärsmodellen. I vissa affärer kan TCO (Total Cost of Ownership) vara en avgörande faktor medan det i andra fall endast är inköpspriset, utan hänsyn till andra värden som t. ex. andrahandsvärdet eller "uptime", som styr. Nya och utländska aktörer kommer därför ha fortsatt goda möjligheter att komma in på svenska marknaden. I takt med att volymerna ökar så ökar också förutsättningen för etablering av service och ÅF-nät. Dock kommer fordonskostnaden, satt i en vätgas-kontext, vara avgörande under lång tid framöver.

Ett sätt att komma in på marknaden är förstås att efterkonvertera fordon som lanseras i Sverige, fast även dessa måste tänka på eftermarknadsaspekten. Vi bedömer att det finns några olika tänkbara upplägg, se nedan:

- **Fordonstillverkaren ansvarar för service och underhåll:** Kända märken kan konverteras till FCEV-fordon med stöd av fordonstillverkarens egen organisation och de företag som levererar FCEV tekniken. Service och underhåll sker inom märkets servicenät där en kombination av erfarna lastbilsmechaniker står för den traditionella servicen och externa företag sköter FCEV-drivlina. Detta skulle vara en okonventionell lösning
- **FCEV-konverteraren/tillverkaren ansvarar för service och underhåll:** FCEV-konverteraren/tillverkaren etablerar succesivt egna stationer med egen personal. Dels för att fordonstillverkaren inte vill eller kan ansvara för service och underhåll på konverterade fordon och därmed tvingar kunden till andra lösningar. Det agerandet ger utrymme för andra aktörer att kliva fram. FCEV-företaget behöver ta hela ansvaret för fordonet inklusive all övrig service och underhåll i egen eller annans regi. Denna lösning kräver en finansiell styrka och uthållighet för att lyckas
- **FCEV-tillverkaren samverkar med befintlig aktör:** FCEV-fordonstillverkaren inleder ett samarbete med en befintlig stark aktör på svenska marknaden som redan har ett existerande service och återförsäljarnät. De sköter alla affärer genom/tillsammans med sin "partner". Verkstäder och personal

kan samutnyttjas och toppas med FCEV-kompetens. Den lokala förankringen säkerställs och den ekonomiska risken minskas.

Exempel på detta:

Umeåbaserade ECTM AB planerar att i Umeå antingen bygga upp en egen serviceorganisation eller inleda samarbete med befintligt serviceföretag. I och med att det åtminstone initialt handlar om konverterade fordon är det viktigt att servicepersonalen har erfarenhet av de chassin som används för att kunna hantera den traditionella servicen. De delar som är nya för vätgasdriften kommer ECTM AB att utbilda servicepersonalen inom.²⁸

Ett exempel på ett framgångsrikt samarbete är Scania CV AB's historiska samarbete med Volkswagen AG. Ett annat är introduktionen av tunga FCEV lastbilar som Hyzon kommer att leverera till MaserFrakt.

Analysen visar att det finns förutsättningar för aktiva utländska fordonstillverkare att etablera sig i Sverige inom det tunga vägunderhållssegmentet inklusive andra segment

En strategi för svenska marknaden kan vara att etablera sig genom ett samarbete med en redan etablerad importör/aktör som har ett nationellt återförsäljarnätverk med service- och underhållsverkstäder och genom att ha finansiell styrka och uthållighet samt slutligen en bra produkt. Vätgasproduktion/leveranser och distribuerade tankstationer behöver samtidigt stämma säkerställas

7.2 Analys av energiproduktion

El-energiproducenterna har idag stora utmaningar framför sig då behovet av el ökar inom alla sektorer. Stora behov ligger inom industrisektorn, men de kommer att vara stora också inom transportsektorn. Inom Sverige används idag 140 TWh el och Sverige exporterar nästan 30 TWh. Den totala energianvändningen är cirka 550 TWh. Fram till 2050 räknar energimyndigheten med en minskad total energianvändning men med en ökad användning och produktion av elektricitet⁴¹. Elanvändningen inom transportsektorn väntas öka från knappt 3 TWh 2018 till mellan 18 och 28 TWh 2050 beroende på scenario (Energimyndigheten gör beräkningar i fem olika scenarier med delvis olika förutsättningar).

En utbyggnad av elproduktionen kommer därför vara nödvändig, samtidigt som befintlig kärnkraft enligt nuvarande beslut skall fasas ut i takt med att den når sin livslängd. Vattenkraften ligger samtidigt nära sin maximala kapacitet och nybyggnation är inte trolig. Vissa förespråkare för nybyggnation av kärnkraft har fått visst gehör i takt med ökade energipriser, men tidshorizonten för sådana projekt är mycket lång. Nya energikällor måste därför vara vindkraft (som förvisso också ifrågasätts och diskuteras livligt) samt solenergi. Även om solenergi kan lösa en del av den nya elproduktionen ses vindkraft som den sektor där den särklass största nytillförseln av elproduktion kommer att ske. Energimyndigheten förutspår att den totala produktionen från vindkraften kommer att ligga på mellan 64 och 156 TWh 2050 beroende på scenario medan solkraftens bidrag förväntas vara mellan 9 och 11 TWh. Svensk Vindkraft planerar för 70 TWh fram till 2040 i sina prognoser. Denna övergång till "nya" rena energislag har sålunda redan påbörjats och därmed uppstår nya utmaningar, främst:

Energibalansering: Då man övergår från de traditionella energikällorna, som till stor del kan leverera el "on demand & just in time" till de nya källorna; sol- & vindenergi, som levererar el då solen skiner och det blåser, kommer det att uppstå stora krav på energilagring och "smart grids" som kan hantera balansen mellan produktion och konsumtion. Dygnsbalansering av t.ex. solenergi kan med fördel göras med batterier medan längre lagring, från vecko-lagring till säsongslagring måste göras med metoder som kan hantera större energimängder. Där kommer vätgasen in som den i dagsläget mest rimliga lagringsmetoden, vilken även börjat tillämpas på många ställen i världen. I Sverige har detta ännu enbart utförts i form av ett fåtal demonstrationsprojekt som hos Hans Olof Nilsson (Nilsson Energy) i Göteborg, vätgastankstationen med egen

⁴¹ <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=185971>

produktion i Mariestad samt Zero Sun i Skellefteå. Ett flertal projekt är dock i sin linda varav det största torde vara HYBRIT i Norrbotten, med LKAB; SSAB & Vattenfall som huvudparter.

Elenergidistributörerna har redan idag stora problem med att inte ha nät som räcker till för det ökade behovet av elenergi, främst i södra Sverige. Hösten 2021 steg därför energipriserna i södra Sverige till rekordnivåer. En utbyggnad av de nationella elnäten tar mycket lång tid, troligen decennier och är därför inte i linje med de uppställda klimatmålen som kräver snabbare omställning. Ett mycket troligt framtidsscenario är en väsentligt ökad lokalproduktion av el, som vid överskott kan lagras i batteri och vätgas beroende på mängd och över vilken tid den skall lagras. För bästa resurshushållandet bör energin därefter också användas lokalt i så stor utsträckning som möjligt, men det är troligt att de lägre elpriserna i norra Sverige fortsatt kommer att innebära en "export" av energi till Södra Sverige, både som el och vätgas.

Baserat på argumenten ovan är det högst sannolikt att produktion av grön vätgas kommer att öka drastiskt de närmaste åren. Denna produktion är idag försumbar varför EU satsar enorma resurser på en utbyggnad. För transportsektorn bör den ske genom relativt småskalig produktion i vindkraftsparker eller solcellsparker, i kombination med ett fåtal storskaliga industriella produktionsanläggningar där vätgasen produceras också för andra ändamål, såsom Hybrit och H2 Green Steel. Förutom att vätgaser blir en möjliggörare för den gröna energiomställningen skulle en sådan energiproduktion också få mycket positiva effekter i form av ett minskat beroende av utländsk fossil energi. I perspektivet av den pågående utvecklingen i vårt närområde är sådana aspekter inte att förringa.

7.3 Marknadsanalys

7.3.1 Förväntade marknadsintroduktioner för olika fordonssegment

I kapitel 3 visar vi en bild från Hydrogen Roadmap Europe Report som beskriver olika teknologilösningar för olika transportsegment (diagram 2). I segmentet där vägunderhållsfordon ingår, tunga fordon med hög nyttolast förväntas FCEV vara den attraktivaste lösningen⁴².

Om det på personbils- och bussidan nu finns tydliga planer på att lämna ICE-teknologin så är steget för de tunga lastbilarna längre bort, bland annat på grund av affärsmässiga skäl, för att nyttiggöra de redan gjorda investeringarna.

Den tunga fordonsflottans omställning börjar med främst distributionsfordon för stadstrafik, ett enkelt sätt att snabbt nå större serietillverkning, vilket är en förutsättning för att få ner priserna. Fordonstillverkare har börjat genomföra denna omställning och en ny typ av ladd-infrastruktur börjar byggas upp i en allt ökande takt. Längre avtalstid mellan väghållare och entreprenör kan påverka möjligheten för entreprenören att investera i nya FCEV, ifall inte andra faktorer redan skapat den möjligheten. Dock ska man hålla i åtanke att långa avtal också kan hindra framtida innovation i form av nya tekniker eller aktörer som vill in.²⁰ Bilden nedan visar förväntad introduktion av vätgasteknik i samhället vilken återspeglas i förutsättningarna för marknadsintroduktion av fordon i större omfattning.

⁴² Källa: [Hydrogen Roadmap Europe_Report.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf)
https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf

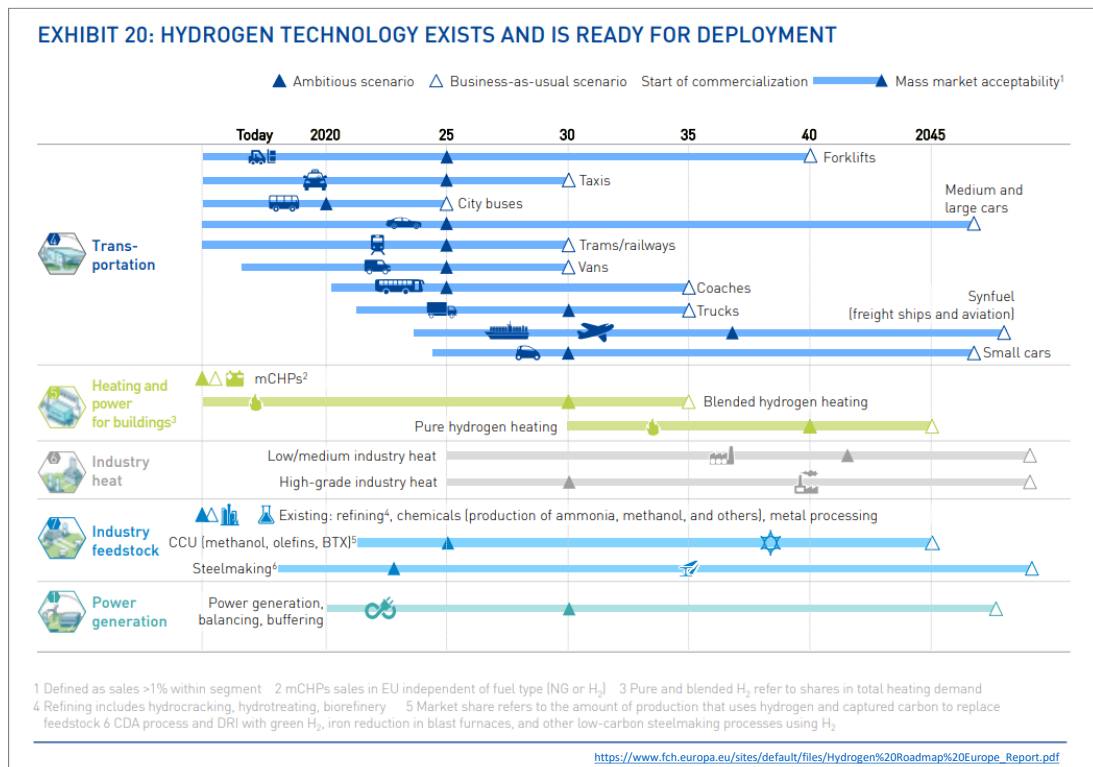


Diagram 2. Introduktion av vätgas i olika samhällssektorer

7.3.2 Andra aspekter på marknadsintroduktion

AB Volvo pekar på genomförda samtal, på tre tänkbara lösningar⁴³.

- Batteridrift för korta lokala, lätta fasta rutter.
- Hybrid Batteridrift/bränslecellsdrift för längre regionala tunga transporter
- Bio LNG för mycket långa transporter

AB Volvo har en tidplan som de jobbar efter och tror på i dagsläget. De bedömer att FCEV kommer att utvecklas och om 10 år kan situationen var en annan.

Scania CV AB framhåller vikten av att de olika delarna i vätgasvärdekedjan går i takt, så att det finns tillräcklig tillgång till vätgas för att tanka fordonen. I denna fas har Scania partners som ansvarar för energiförsörjningen. I ett inledningsskede kommer FCEV att vara dyrare än motsvarande fordon med annat drivmedel. Scania uppskattar att kostnaden kommer vara 4-5 gånger dyrare fram till 2025, därefter 2-3 gånger dyrare fram till 2030. I ett test-skede kan Scania stå för en stor del av risken genom att garantera fordonens restvärde (köper tillbaka dem efter testperioden) samt står för den underhållskostnad som är utöver vad man kan förvänta sig av ett dieselfordon.²³

För Trucks, där vägunderhållsfordon ingår, förväntas en serieproduktion först vid 2035, i ett ambitiöst scenario kan det ske vid 2030. Det innebär att en uppdatering av fordonsparken pågår under 10-15 år, I praktiken innebär det att fordonsparken kan vara utbytt först 2050.

7.4 Kostnads-nyttoanalys

Kostnads-nyttoanalys är ett viktigt redskap som vanligtvis används för att bedöma ett projekts ekonomiska nytta. I den här förstudien har redskapet använts i syftet att bedöma effekten av olika kravtrappor för omställning till tunga FCEV i basunderhållsentreprenaderna (Basunderhåll väg). Värdet för de ingående parametrarna i analysen

⁴³ [Samtal med](#) Alemar Reine/Anders Berger på AB Volvo och Anders Johnson VIAPM/Mats Granberg Svevia, den 14/12–21

har baserats på en kombination av historiska data och tillgängliga prognoser om värdeutveckling hämtat från olika källor.

Storleken av fordonsparken i basunderhållsrenoveringarna varierar under ett år. Behovet av tunga fordon är störst under vinterhalvåret för att säkerställa en hållbar och effektiv vinterväghållning enligt funktionskraven som ställs på entreprenörerna i kontrakten. I genomsnitt krävs 15 lastbilar för vinterväghållning i en basunderhållsrenovering. Under sommarhalvåret är behovet av lastbilar betydligt lägre och begränsas till mindre arbeten som barmarksunderhåll och påfyllning av salt och sandlager. Det är inte heller ovanligt att entreprenörerna anlitar sina åkare för beläggningsarbeten för att erbjuda ett lönsamt och långsiktigt affärsförhållande.

Kostnads-nyttoanalysen har använts i förstudien för att jämföra tre olika kravtrappor för omställning till tunga FCEV i basunderhållsrenoveringarna.

7.4.1 Kravtrappa 1

Första kravtrappan innebär en total omställning 0% till 100% tunga FCEV i basunderhållsrenoveringarna under perioden 2024–2030 (tabell 3). Val av perioden har gjorts med hänsyn till Trafikverkets delmål om fossilfria drivmedel eller eldrift i alla renoveringar år 2030. Fördelen med en offensiv kravtrappa är i första hand en snabbare och stort bidrag till Trafikverkets delmål 2030. Vid vall av den här kravtrappan kommer fordonsflottan att vara FCEV till 100 % år 2030. Tack vare den snabba omställningen kommer nyttan som skapas genom reduktionen av koldioxidutsläpp vara stor (diagram 3). En offensiv kravtrappa kommer att sända en tydlig signal till marknaden om en snabb växande efterfrågan efter FCEV och infrastruktur för produktion och distribution av vätgas. En sådan signal kan snabba på utvecklingen i olika delar i värdekedjan.

Tabell 3. kravtrappa 1 för omställning till FCEV i basunderhållsrenoveringarna.

			År	2024-2025	2026-2027	2028-2029	2030
Antal LB i BAS	Upphandlade BAS årligen	Upphandlade LB årligen	Krav på % FCEV	20%	40%	80%	100%
15	109	1635	Σ FCEV	327	654	1308	1635

Nackdelen med den här offensiva kravtrappan är den stora omställningskostnaden som kommer att genereras i systemet (diagram 4 och 5) och som gör att den ackumulerad netto nyttan hamnar under noll i slutet av omställningsperioden (diagram 6 och 7). Detta i sin tur innebär behov av ett omfattande stöd i olika former till olika aktörer i värdekedjan i syfte att skapa förutsättningarna för omställningen. En annan nackdel med kravtrappa 1 är att ökningen i krav på andelen FCEV sker under ett pågående kontrakt vilket är en komplex process och kommer att leda till ytterligare ökade kostnader i kontrakten som väghållarna ska stå för. Kravtrappan innebär också en ökning av 327 tunga FCEV årligen fram till 2030 vilket blir svårt att levereras av fordonsindustrin inom det segmentet av lastbilar. Kravtrappan kommer dessutom innebära en utfasning av 1635 ICE under 7 år. En process som kommer att leda till ytterligare ökade kostnader och kommer att kräva statligt stöd då åkeribranschen inte har förutsättningar att bära kostnaderna.

Den snabba omställningen som den här kravtrappan skapar förutsätter en väl utbyggd infrastruktur för distribution och tankning för vätgas som är mycket svår att uppnå under perioden 2024–2030.

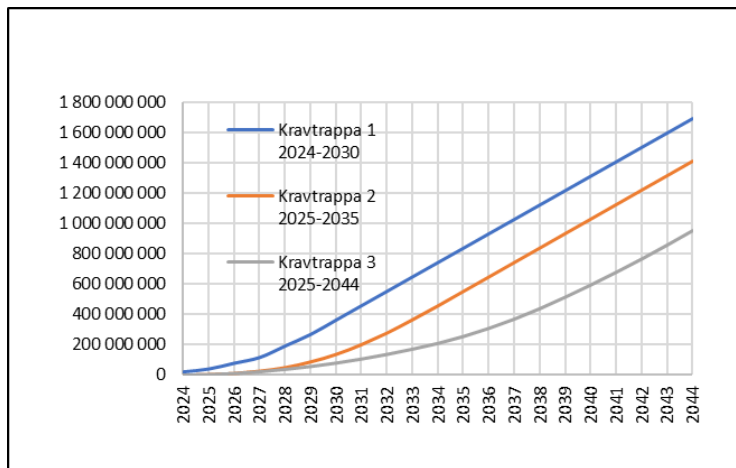


Diagram 3. Ackumulerad nytta för reduktion av koldioxid som en effekt av omställning till FCEV i basunderhållsrenoveringarna.

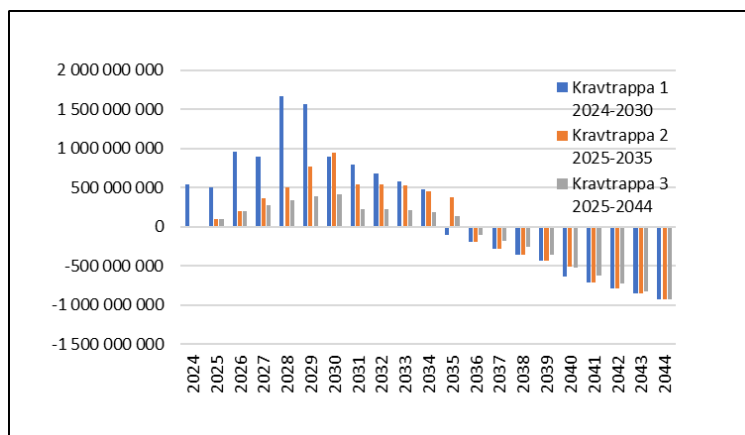


Diagram 4. Ökade kostnader för omställning till FCEV i basunderhållsrenoveringarna

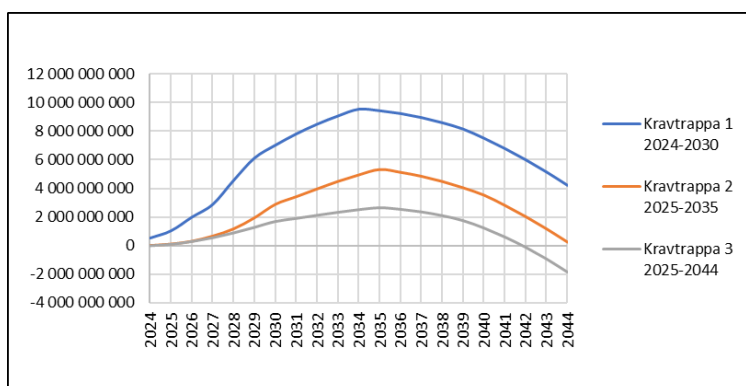


Diagram 5. Ackumulerade ökade kostnader för omställning till FCEV i basunderhållsrenoveringarna.

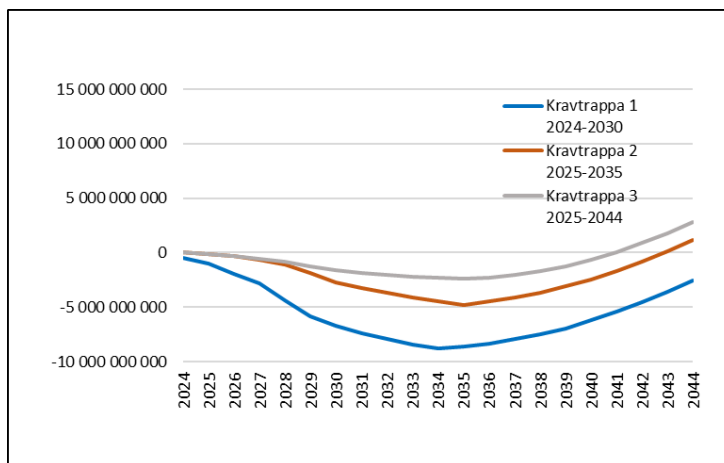


Diagram 6 Ackumulerad netto nytta som en effekt av omställning till FCEV i basunderhållsentreprenaderna

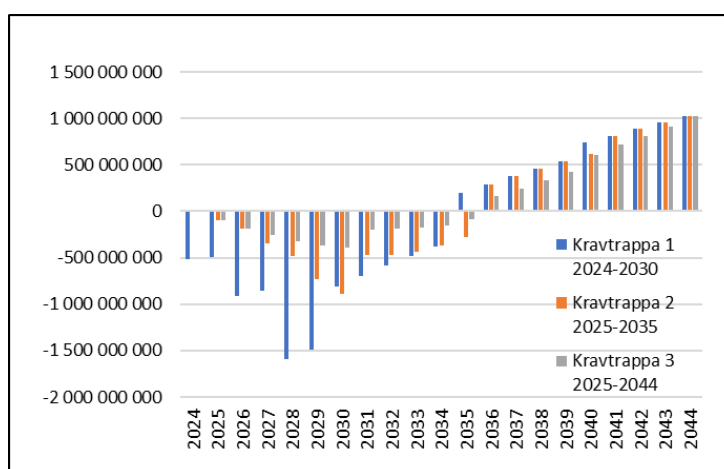


Diagram 7. Nettonytta som en effekt av omställning till FCEV i basunderhållsentreprenaderna

7.4.2 Kravtrappa 2

Kravtrappa 2 sträcker sig över perioden 2025–2035 (tabell 4). Till skillnad från kravtrappa 1 sker ökningen i kravet på andel FCEV långsammare vid införandet av kravtrappa 2. Val av perioden har gjorts med hänsyn till Trafikverkets behov av minst 2–3 års planeringsarbete för att inarbeta de nya kraven i upphandlingarna och hitta ett sätt att följa upp entreprenörernas uppfyllelse av kravet. Införda krav på ökad andel FCEV kommer inte att ändras under pågående kontrakt. Under de första två åren kommer kravet att vara en omställning av 20% av fordonsflotta till FCEV i alla nystartade basunderhållsentreprenader. Kravet ska höjas till 40% under år 2-4 och till 80% under år 5 och 6. Under sjunde året kommer kravet att höjas till 100% men omställningen av hela fordonsparken på 1635 fordon kommer att ta ytterligare 4 år.

Kravtrappa 2 innebär en lägre omställningskostnad för väghållarna jämfört med kravtrappa 1 samt mindre behov av stöd till de olika aktörerna i värdekedjan blir lägre. Ökade kostnader till följd av omställningen till FCEV kommer att vara lägre än de kostnader som skapas vid införandet av kravtrappa 1 (diagram 4 och 5). Detta beror bl.a. på att priset för drivmedel kommer att sjunka under omställningsperioden då infrastrukturen för produktion, distribution och tankning av drivmedel kommer att utvecklas under omställningsperioden. Även inköpspriserna för FCEV kommer att sjunka under omställningsperioden men kommer fortsatt att vara högre än för ICE då tillverkningen av FCEV kommer under perioden att gå från förserieproduktion till serieproduktion med låga volymer.

En successivt ökad efterfråga på tunga FCEV ökar fordonsindustrins möjligheter att kunna tillgodose branschens efterfråga på FCEV. Krav trappa 2 innebär också bättre förutsättningar för utfasning av ICE. En utfasning som troligen kan ske utan eller med mindre behov av statligt stöd.

Tabell 4. Kravtrappa 2 för omställning till FCEV i basunderhållsrenoveringarna under perioden 2025–2035

Antal LB i BAS	Upphandlade BAS årligen	Upphandlade LB årligen	Krav på % FCEV	2025-2026		2027-2028		2029-2030		2031-2035				
				20%	40%	40%	80%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	
15	22	330		66	66	66	66	66	264	264	264	264	264	330
15	22	330			66	66	66	66	66	330	330	330	330	330
15	22	330				132	132	132	132	132	330	330	330	330
15	22	330					132	132	132	132	132	330	330	330
15	21	315						252	252	252	252	252	315	315
Σ	109	1635	År	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			Σ FCEV	66	132	264	396	648	846	1110	1308	1506	1569	1635
			% FCEV	4%	8%	16%	24%	40%	52%	68%	80%	92%	96%	100%

En långsammare omställning till FCEV har sina nackdelar. Nyttan som reduktionen av koldioxidutsläppen ger vid införandet av kravtrappa 2 kommer att bli lägre än nyttan vid införandet av kravtrappa 1 (diagram 3). Nettonyttan i det här fallet kommer dock fortfarande vara högre än för kravtrappa 1 tack vare lägre omställningskostnader som dessutom kommer att ske över en längre tid (diagram 6).

7.4.3 Kravtrappa 3

Kravtrappa tre innebär en omställningsperiod som sträcker sig över perioden 2025–2040 (tabell 5). En total omställning av fordonsflottan till tunga FCEV i basunderhållsrenoveringarna kommer att ske i fyra steg med fem årstid mellan kravökningarna. En total omställning till 100% FCEV i basunderhållsrenoveringarna kommer att ta ytterligare 5 år efter den sista kravskärpningen, dvs. 2044. Val av omställningsperioden har gjorts med hänsyn till Trafikverkets behov av minst 2–3 års planeringsarbete för att inarbeta de nya kraven i upphandlingarna och hitta ett sätt att följa upp entreprenörernas uppfyllelse av kravet. I val av omställningsperioden har man också tagit hänsyn till Trafikverkets mål om klimatneutral transportinfrastruktur år 2045.

Jämfört med kravtrapporna 1 och 2 innebär kravtrappa 3 den lägsta omställningskostnad för väghållarna samt minsta behovet av stöd till de olika aktörerna i värdekedjan (diagram 4 och 5). Detta beror på att de ökade kostnaderna till följd av omställningen till FCEV kommer att vara lägst eftersom timpriset för tunga FCEV kommer att vara lägre än timpriset för ICE under de sista 10 åren av omställningsperioden (diagram 8). Det låga timpriset i sin tur kommer att vara en positiv effekt av sjunkande drivmedelspriser under omställningsperioden då infrastrukturen för produktion, distribution och tankning av drivmedel kommer att vara utbyggd under de sista 10 åren av omställningsperioden. Även inköspriserna för FCEV kommer att sjunka under omställningsperioden då tillverkningen av FCEV kommer under perioden att gå från försäringproduktion till serieproduktion med höga volymer.

Tabell 5. Kravtrappa 3 för omställning till FCEV i basunderhållsrenoveringarna under perioden 2025–2044

Antal LB i BAS	Upphandlade BAS årligen	Upphandlade LB årligen	Krav på % FCEV	2025-2029					2030-2034					2035-2039					2040-2044					
				20%	40%	40%	80%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%						
15	22	330		66	66	66	66	66	132	132	132	132	132	264	264	264	264	264	330	330	330	330	330	
15	22	330			66	66	66	66	66	132	132	132	132	132	264	264	264	264	264	330	330	330	330	330
15	22	330				66	66	66	66	66	132	132	132	132	132	264	264	264	264	264	330	330	330	330
15	22	330					66	66	66	66	66	132	132	132	132	132	264	264	264	264	264	330	330	330
15	21	315						63	63	63	63	63	63	126	126	126	126	126	252	252	252	252	252	315
Σ	109	1635	År	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
			Σ FCEV	66	132	198	264	327	393	459	525	591	654	786	918	1050	1182	1308	1374	1440	1506	1572	1635	
			% FCEV	4%	8%	12%	16%	20%	24%	28%	32%	36%	40%	48%	56%	64%	72%	80%	84%	88%	92%	96%	100%	

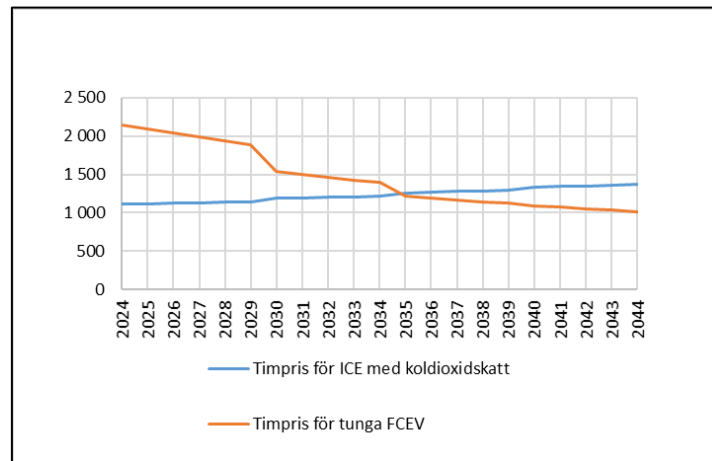


Diagram 8. Utveckling av timpriser för tunga lastbilar under perioden 2024–2044

Jämfört med de andra kravtrapporna innebär kravtrappa 3 den långsammaste utveckling av efterfrågan på FCEV under omställningsperioden. Detta gör att fordonsindustrin lättare kan tillgodose branschens behov av tunga FCEV. Kravtrappa 2 innebär också bättre förutsättningar för utfasning av ICE som troligen kommer att ske utan behov av statligt stöd.

Som en naturlig konsekvens av långsammare omställning till FCEV kommer nytta med reduktionen av koldioxidutsläppen att vara lägst vid införandet av kravtrappa 3 (diagram 3). Nettonyttan som nås vid införandet av kravtrappa 3 är dock störst tack vare den lägsta omställningskostnaden (diagram 6 och 7).

7.4.4 Känslighetsanalys

Som en del av konstansnyttanalysen har en känslighetsanalys genomförts i syfte att identifiera kostnadsdrivande faktorerna som bör beaktas vid val av kravtrappa. Känslighetsanalysen utfördes genom att ändra värden för kalkylparametrarna med 50% och göra om kalkylerna för att identifiera de parametrar som påverkar kalkylen mest.

Den parametern som har störst effekt på kostnadsnyttanalysen är nyttjande graden av FCEV i basunderhållsrentreprenaderna. Genom att halvera nyttjandegraden för FCEV kommer omställningskostnaderna att öka drastiskt för alla tre kravtrapporna (Diagram 7). Detta medför en drastisk minskning av nettonyttan och gör att ingen av kravtrapporna kommer att ge en nettonytta under omställningsperioden (Diagram 8).

Nyttjande graden för en FCEV kan bli lägre i fall fordonen av någon anledning inte når samma kapacitet som ICE. Kapaciteten för FCEV kan bli lägre om fordonen av någon anledning inte går att använda för alla typer av anläggningsarbete som t.ex. beläggningsarbete som ställer mycket höga krav på lastbilar gällande långa körsträckor, långa arbetspass, etc. Låg nyttjande grad kan också uppstå till följd av att behov av oftare tankning, större servicebehov eller kortare serviceintervall. En lägre nyttjandegrad innebär höga timpriser för FCEV och högre omställningskostnader som i sin tur kräver större behov av omställningsstöd. Det finns därför ett behov av en ökad kunskap om hur bra en FCEV klarar av olika typer av anläggningsarbete, speciellt i ett subarktiskt klimat som ställer tuffare krav på lastbilar. Den typen av kunskap måste byggas på systemdemonstrationer i syfte att testa och validera FCEVs verkliga kapacitet samt identifiera eventuella begränsningar som kommer att påverka nyttjande grad när det gäller anläggningsarbetet.

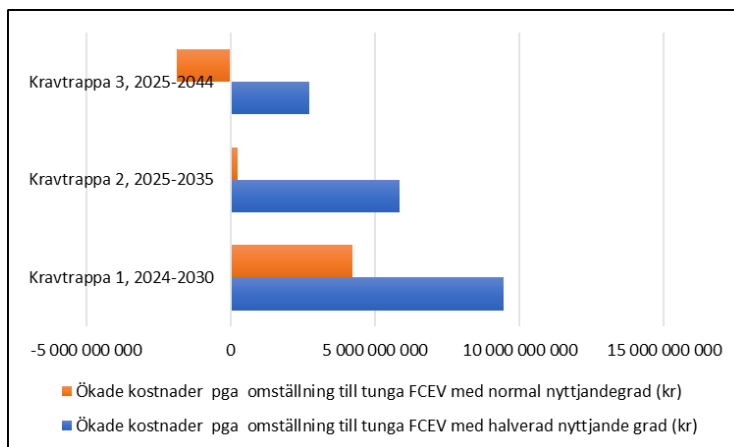


Diagram 9. Summerade ökade kostnader för omställning till FCEV i basunderhållsentreprenaderna med en halverad nyttjande grad för FCEV.

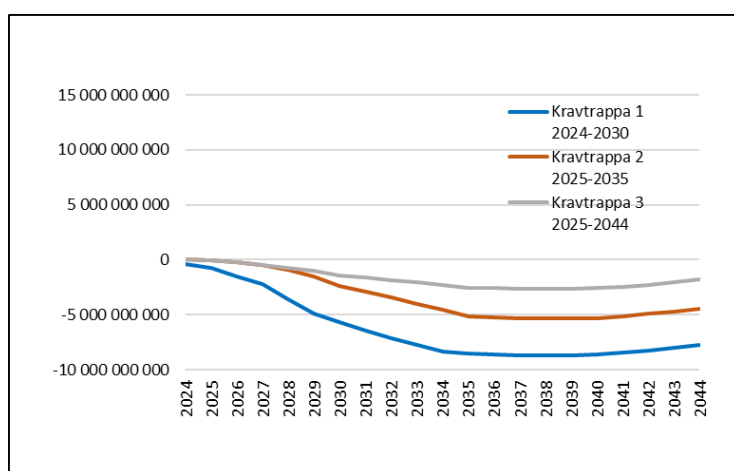


Diagram 10. Ackumulerad netto nytta som en effekt av omställning till FCEV i basunderhållsentreprenaderna med en halverad nyttjande grad för FCEV

7.4.5 Val av krav kravtrappa

Utöver omställningskostnader, nyttor och netto nyttor finns det ett antal andra aspekter som måste beaktas vid val av lämplig kravtrappa för omställning till tunga FCEV i basunderhållsentreprenader (tabell 6). En av de viktigaste aspekterna som måste beaktas är fordonstillverkarnas förmåga att tillverka den efterfrågade mängden av tunga FCEV samt förmågan att säkerställa tillgången till service och andra nödvändiga eftermarknadsaktiviteter. En snabb omställning till tunga FCEV som det beskrivs i kravtrapp 1 blir en stor utmaning för fordonstillverkarna då produktionen av FCEV kommer under de närmaste åren att begränsas till försäringproduktion i låga volymer.

En annan viktig aspekt som måste beaktas är förmågan att producera vätgas i de mängder som efterfrågas. I kostnadsnyttoanalysen i denna rapport har vi räknat med 68 000 kg vätgas för att leverera till 15 st vinterväghållningsfordon inom ett driftområde. Ska man ersätta alla fordon såsom paketbilar, personbilar och lätta lastbilar i basunderhållsentreprenaderna kommer det att behövas större mängder av vätgas. Det skulle behövas en elektrolysör som producerar 1500 kg vätgas/dygn med tillhörande lagringskapaciteter för att, med lite marginal, klara av att leverera dessa mängder. Det rimliga är dock att man börjar i mindre skala och stegvis skalar upp produktionen samt att man med lagringsmöjligheter utjämnar produktion och förbrukning allt efter som fler fordon tillkommer. Baserat på analyserna i avsnitt 7.2 är det högst sannolikt att produktion av grön vätgas kommer att öka drastiskt de närmaste åren vilket innebär att vätgasproduktionen inte blir en flaskhals i omställningen till FCEV i basunderhållsentreprenaderna.

Tillgången till infrastruktur för lagring, distribution och tankning av vätgas är också en viktig aspekt som måste beaktas vid val av kravtrappa för omställning till tunga FCEV i basunderhållsentreprenader. Etablering av en fungerande infrastruktur för lagring, distribution och tankning av vätgas kommer initialt att kräva stort statligstöd då efterfrågan efter vätgas kommer att vara för låg för att investeringarna ska vara lönsamt. Fram till 2030 kommer etablering av en fungerande infrastruktur för distribution och tankning av vätgas kommer att begränsas till lokala kluster och utvalda korridorer. Senare kommer infrastrukturen successivt utbyggas till regionala kluster innan en total utbyggnad efter 2035. Av den anledningen är kravtrappa 3 för omställning till tunga FCEV i basunderhållsentreprenader mer lämplig än krav trappa 1 och 2.

Tabell 6. Aspekter som ska beaktas vid val av kravtrappa för omställning till tunga FCEV i basunderhållsentreprenader

	Kravtrappa 1 2024–2030	Kravtrappa 2 2025–2035	Kravtrappa 3 2035–2044
Nettonyttor	Minst nettonyttor Höga kostnader för omställning	Störst nettonyttor	Något lägre nettonyttor jämfört med kravtrapp 2
Fordonstillverkarnas förmåga att leverera FCEV	Förserieproduktion låga volymer	Mindre volymer i serieproduktion	Serieproduktion Business-as-usual
Energiproduktion vätgas	Produktionskapacitet finns till transportsektorn	Produktionskapacitet finns till transportsektorn	Produktionskapacitet finns till transportsektorn
Tankstationer och övrig infrastruktur för lagring och distribution av vätgas	Lokala kluster och utvalda korridorer	Regionala kluster	Utbyggd
Väghållarnas mognadsgrad* (finansiering, regelverk och upphandling)	Låg mognadsgrad	Bättre förutsättningar	Bästa förutsättningar
Entreprenörernas mognadsgrad (tillgång till FCEV och HRS, teknik, utfasning)	Låg mognadsgrad	Bättre förutsättningar	Bästa förutsättningar

Väghållarens mognadsgrad inför omställning till tunga FCEV i basunderhållsentreprenaderna är också avgörande för omställningen. Processen som styr Trafikverkets verksamhetsplanering samt hur anslaget tilldelas och fördelas begränsar Trafikverkets möjlighet att finansiera de ökade kostnaderna som en snabb omställning till

FCEV kommer att leda till. Den snabba omställningen som beskrivs i kravtrappa 1 innebär dessutom ändringar i kraven under pågående kontrakt som i sin tur kommer att leda till ytterligare ökade kostnader i basunderhållkontrakten.

En omställning till FCEV i basunderhållsrenoveringarna kräver även att Trafikverket ställer rätta krav samt att det finns verktyg för att följa upp dessa. Detta i sin tur kräver att Trafikverket skapar sig mer kunskap om flera aspekter, som t.ex. tekniken, marknad, affärsmodeller samt kunskap om förutsättningarna hos de andra aktörerna i värdekedjan. Trafikverket behöver dessutom arbeta med omställningen till utsläppsfria fordon i andra typer av renoveringar utöver basunderhåll i syfte att skapa en marknad för FCEV. Att skapa dessa förutsättningar kommer att kräva tid, resurser och omfattande samordning vilket blir svårt att säkerställa inför en snabb omställning till tunga FCEV som beskrivs i kravtrappa 1.

Entreprenörernas mognadsgrad inför omställningen till utsläppsfria basunderhållsrenoveringarna är också en viktig aspekt som måste beaktas. Entreprenörerna är den aktör i värdekedjan som är mest beroende av de övriga aktörerna. Många av de förutsättningarna som entreprenörerna behöver för omställning till FCEV skapas hos andra aktörer i värdekedjan, t.ex. tillgången till vätgas, tankstationer och FCEV etc. Entreprenörernas mognadsgrad är beroende av de andra aktörernas mognadsgrad.

Hos entreprenörerna råder osäkerheter gällande teknikens möjligheter och begränsningar samt huruvida tunga FCEV kan klara av den breda variationen av anläggningsarbeten. För de entreprenörer som äger sin maskinpark kommer också utfasningen av ICE vara en utmaning vid omställning till FCEV. En snabb omställning till tunga FCEV kommer att innebära en snabb utfasning av ICE-fordonen som troligen kommer att vara kostsam för entreprenörerna och övriga aktörer så som åkerier. Vid val av en snabb omställning till FCEV behöver det finnas någon typ av ekonomiskt stöd för finansieringen av utfasningen av ICE-fordonen.

Baserad på en avvägning av aspekterna ovan kommer kravtrapporna 2 och 3 att de bästa förutsättningarna för att säkerställa en fördelaktig omställning till tunga FCEV i basunderhållsrenoveringarna som skapar den minsta störningen i värdekedjan och renoveringarna (tabell 6). Kravtrappa 3 kommer dessutom att bli det alternativet som är mest ekonomiskt fördelaktigt eftersom de ökade kostnader som genereras till följd av omställningen kommer att vara lägsta jämfört med kravtrapporna 1 och 2 (diagram 11). Det är också värt att nämna att samtliga kravtrappor kommer att leda till ökade kostnader i olika utsträckning fram till att timpriset för FCEV börjar blir lägre än timpriset för en ICE, vilket sker någon gång under 2034–2035 (diagram 4). När timpriset för FCEV blir lägre än för ICE börjar användningen av FCEV skapa besparingar i renoveringarna.

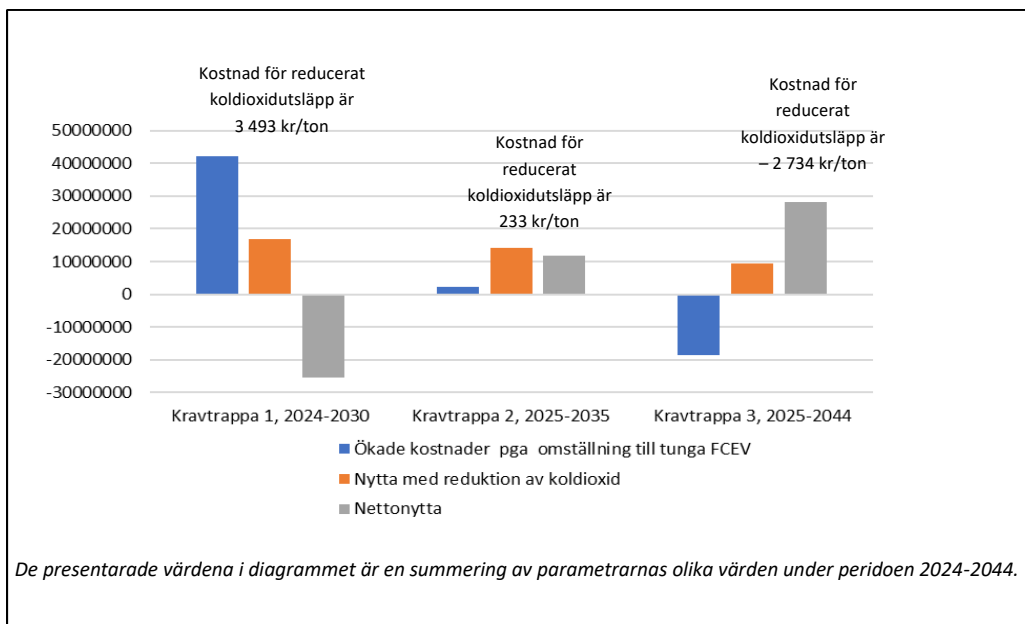


Diagram 11. Summerade kostnader, nyttor och nettonyttor för de studerade kravtrapporna under perioden 2024–2044

De ökade kostnaderna som omställningen till utsläppsfria fordon kommer att medföra i entreprenaderna, oavsett kravtrapp för omställningen, är en stor utmaning som Trafikverket inte har förutsättningar att klara av med dagen anslag. Det krävs stöd från olika ansvariga myndigheter för att skapa förutsättningar i olika delar i värdekedjan. Detta i sin tur kräver en samordnad handlingsplan med riktade insatser i hela värdekedjan.

7.5 Vätgas och vätgasfordon i ett globalt perspektiv

7.5.1 Fordonstillverkarnas koppling till vätgas i ett globalt samhällsligt investeringsperspektiv

När man betraktar vätgasen i ett större perspektiv så behöver vi titta på vad som sker i ett globalt perspektiv. Genom att studera analyser gjorda av Bloomberg⁴⁴, som är ett finansiellt informationsföretag vars främsta produkter är nyhetsmedia, mjukvara och finansiell data, så får vi en aktuell status av 15 länders väteinvesteringar och kan därigenom förstå hur de bygger ut användningen av vätgas [The H2 Economy \(bloomberg.com\)](https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-10-01/hydrogen-economy) [The H2 Economy \(bloomberg.com\)](https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-10-01/hydrogen-economy).

I undersökningen utvärderades olika länders vätgasåtaganden inom fem olika ekonomiska sektorer. I undersökningen användes en rad av olika bedömnings-kategorier för att komma fram till en enda, lands-specifik poäng. En poäng på "3" indikerar maximalt stöd, aktivitet och investeringar i vätgas. De olika sektorerna var transport, energi, värme, råvaror, samverkan/energilagring. I undersökningen tittade man på tre områden, 1 - Polityc och regelverk; 2 - Infrastruktur och marknad; 3 - FOI. I analysen användes publika data som var tillgänglig t o m okt 2019 (diagram 11).

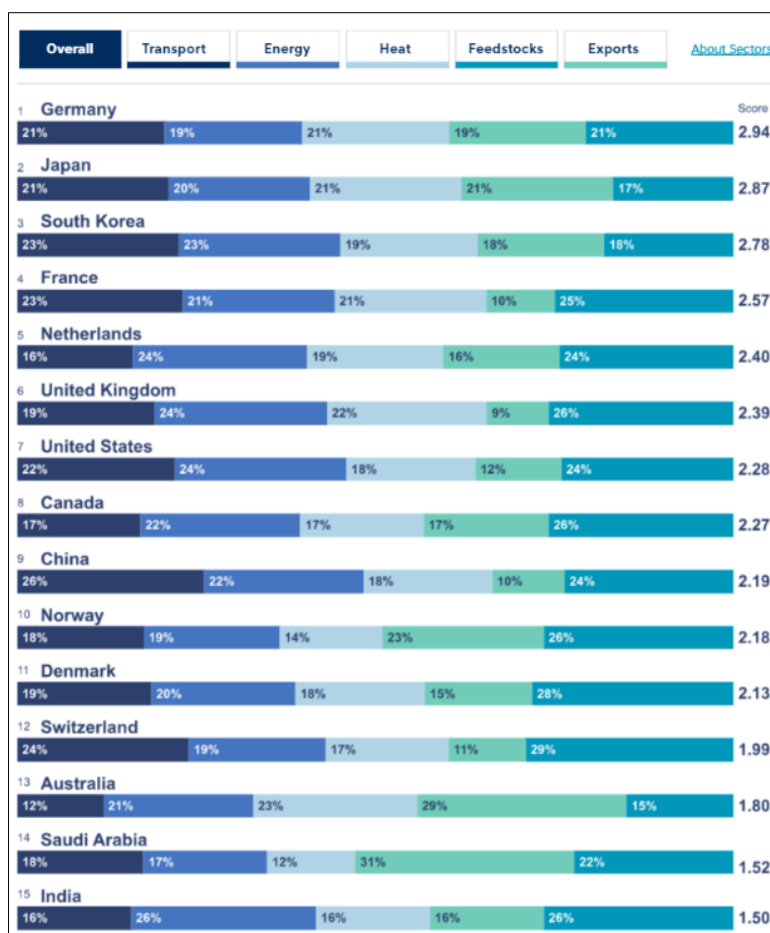


Diagram 12. Utvärdering av vätgasåtaganden från 15 länder inom fem sektorer

Övergripande resultat alla sektorer:

I resultatet för alla sektorer, vilket visas i tabellen ovan, så framgår det att Sverige inte återfinns bland de 15 mest aktiva vätgas-nationerna. Tyskland, Frankrike och Nederländerna återfinns bland de 5 bästa, där Tyskland ligger

⁴⁴ <https://sponsored.bloomberg.com/immersive/hyundai/the-h2-economy>

i topp. Bland de 15 bästa länderna är 7 europeiska industrinationer i övrigt är det jämnt spritt i hela världen förutom Sydamerika och Afrika

Man kan spekulera i vad detta beror på men en viktig faktor, i ett svenskt perspektiv, är troligen att vi har en forskningssektor⁴⁵ där vår svenska triplehelix-modell dominerar.

7.5.2 Transportsektorn i Bloombergs rapport

I Blombergs rapport finns en intressant jämförelse mellan olika länders procentuella fördelning av aktiviteter i sex olika samhällsområden (diagram 12). Enligt rapporten⁴⁶ så återfinns Sverige inte bland Top-15 vad det gäller vätgasekonomin och vätgas användning i något område vare sig det är transport, energi, värme, råmaterial eller export. Inte heller i kategorierna Policsy och reglementen, infrastruktur och marknad eller forskning, demonstration och utveckling

Inom transportsidan så är Japan, Sydkorea och Tyskland i särklass följt av Frankrike. Sett i perspektivet att Sverige lyfts fram som en framstående industrination som anses vara ett av 4 europeiska länder som har den egna förmågan att ta fram fordon genom hela kedjan, från forskning- och utveckling till produktion så är det anmärkningsvärt. Undersökningen visar att FCEV-utveckling i huvudsak sker utanför Sverige. Detta har förstärkts av en stor allmän okunskap om vätgassamhället i de flesta samhällssektorer och yrkesgrupper. Framgången för de svenska fordons-tillverkarna (med traditionella ICE-drivlinor) och därtill kopplad traditionell industripolitik har troligen bidragit till den svenska senfärdigheten. Denna senfärdighet återspeglas ganska väl i våra intervjuer och undersökning av var vätgasengagemanget och fordonsproduktionen finns.

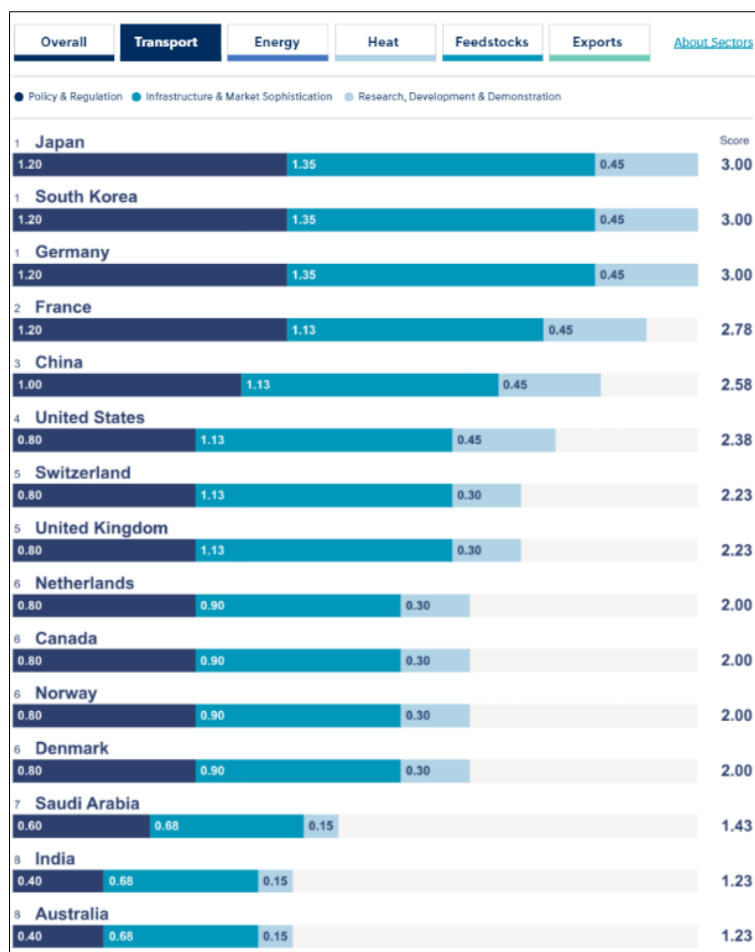


Diagram 13. Utvärdering av vätgasåtaganden från 15 länder inom transportsektorn

⁴⁵ Trippelhelix betecknar en samarbetsform där aktörer från näringsliv, akademi och offentlig sektor samverkar för att skapa innovation och tillväxt. Det finns även kritik mot triplehelix-modellen (för förenklade modeller, brist på långsiktiga perspektiv, svårt att inkludera civilsamhället, avsaknad av miljötank). http://www.esbri.se/artikel_utskrift_popup.asp?id=1948

⁴⁶ <https://sponsored.bloomberg.com/immersive/hyundai/the-h2-economy>

7.5.3 Färdplan för FCEV

Färdplanen från Blomberg beskriver den förväntade utvecklingen av FCEV i US, Japan Syd Korea och resten av världen samt utbyggnadstakten av tankstationer (bild 2). 2018 rullade ca 12 300 fordon i världen, fördelat enligt följande:

- US: 5900
- Japan: 2900
- Sydkorea: 2000
- Övriga världen: 1500

Idag finns det ca 380+ tankstationer tillgängliga för FCEV-fordonsflottan globalt. Vid 2025 förväntas antalet tankstationer öka till 3000 (8x) och fordonsflottan till 2 miljoner. För att nå dit behövs det en utbyggd av vätgasinfrastruktur och lägre kostnader för fordon och vätgas.

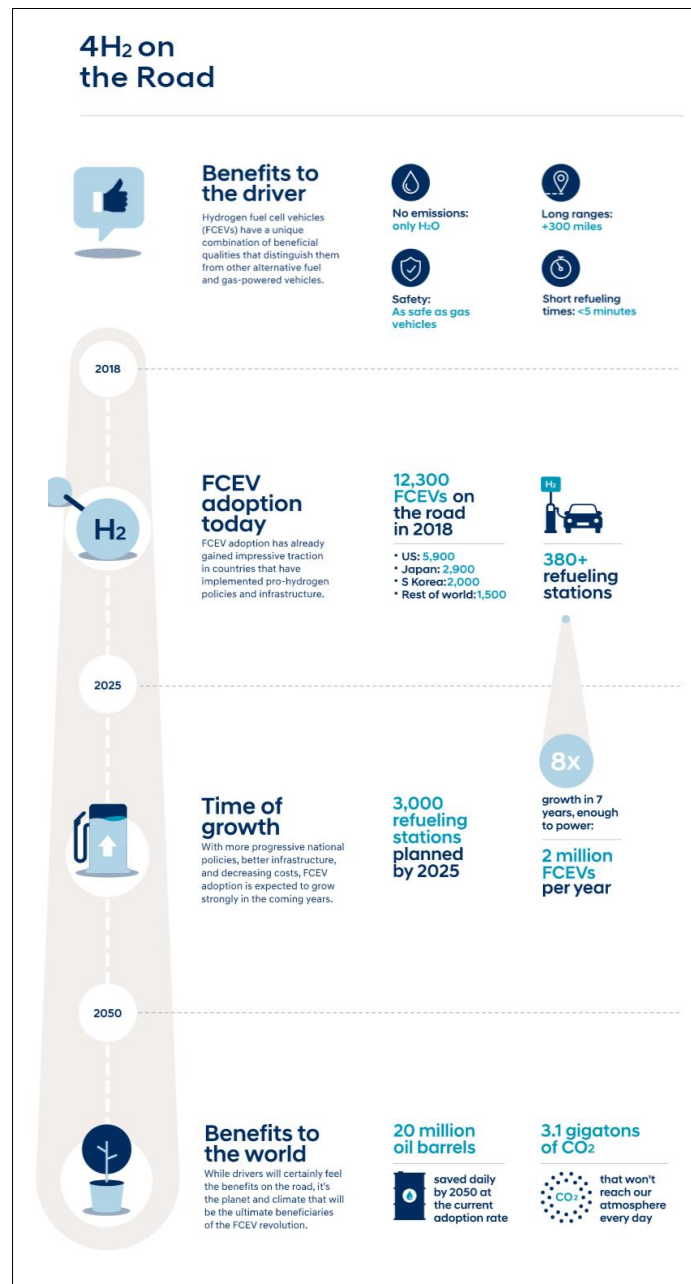


Bild 2. Blombergs färdplan som beskriver den förväntade utveckling av FCEV

8 Slutsatser

Följande slutsatser kan dras baserad på studien:

Omvärld - Kraven på omställning till klimatneutral infrastruktur blir allt skarpare. Enligt riksdagens antagna klimatpolitiska ramverk ska Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser senast år 2045.

Trafikverket har en ambition att minska klimatpåverkan som infrastrukturunderhåll ger upphov till. Trafikverket har utifrån det nationella klimatmålet satt upp ett långsiktigt mål om att infrastrukturen ska vara klimatneutral senast 2040. Ett delmål är att entreprenaderna ska vara fossilfria till 2030.

Väghållare och entreprenören - Stora utmaningar för basunderhållsentsprenaderna, både för väghållare och Entreprenören. Entreprenörerna kommer svårtligen kunna möta framtida upphandlingskrav pga. att affärsmodellmekanismerna är ännu inte på plats. Trafikverket behöver höja kunskap inom området för att kunna skapa förutsättningarna som krävs inför omställningen till utsläppsfria tunga fordon i entreprenaderna. Trafikverket behöver t.ex. utveckla kraven gällande utsläppsfria fordon i entreprenaderna samt utveckla arbetssätt och lösningar för uppföljning av kraven. De ökade kostnaderna som omställningen till utsläppsfria fordon kommer att medföra i entreprenaderna är en stor utmaning som Trafikverket inte har förutsättningar att bemöta utan stöd från andra berörda myndigheter till hela värdekedjan. I takt med att kunskapen om kostnaderna för FCEV-fordon och vätgas som drivmedel ökar måste Trafikverket också regelbunden uppdatera beräkningen av de ökade entreprenadkostnader som införandet av klimatkraven kan medför för att minska osäkerheten i kalkylen och närma sig rätt nivå för finansieringsbehovet kopplat till införandet av klimatkraven.

Teknik – Tekniken finns och utvecklas mot serieproduktion i en allt snabbare takt, men den måste också verifieras i systemen och klimatet som den skall verka i.

För korta och lätta transporter kommer troligtvis batteriefordon att vara dominerande, en övergång som redan startat och som ställer krav inte bara på fordonen utan även på ladd-infrastruktur.

För långa och tunga transporter kommer förmodligen vätgasdrivna bränsleceller bli den dominerande tekniken tack vare vätgasens stora energiinnehåll räknat per kg drivmedel.

Marknad - Fordonsindustri är ännu inte mogen. Serietillverkning har inte startats men förväntas göra det i omvärlden inom 5–10 år. I ett inledningsskede kommer FCEV-fordon att vara dyrare än motsvarande fordon med andra drivmedel. Uppskattningsvis är en FCEV-drivlina 2–3 gånger dyrare än en ICE-drivlina fram till 2025, därefter jämnas det ut fram till 2030.

Tillståndsprocesser är inte effektiva och behöver förenklas samt standardiseras. (EU och nationella vätgasstrategin har uppmärksammat denna utmaning och lovat skynda på processerna).

För att svensk fordonsindustri inte skall tappa mer mark krävs en snabbare övergång till noll-emission, annars finns det risk att aktiva utländska fordonstillverkare etablerar sig starkare i Sverige inom den tunga fordonssektorn inklusive vägunderhållssegmentet. Uttalat stöd av politiker och beslutsfattare krävs så att teknikskiftet i Sverige inte ytterligare försenas, lär av t.ex. Tyskland och Nederländerna.

Det kommer nu att krävas utbildning om vätgas och dess tillämpningar i princip alla på alla nivåer i Sverige.

Vätgasproduktion och infrastruktur - Vätgasproduktionen i sig är inte en flaskhals. Infrastruktur för lagring, tankning och distribution är dock inte mogen. Det är mycket sannolikt att produktion av grön vätgas kommer att öka drastiskt de närmaste åren. Samverkan och dialog med flera aktörer krävs både inom näringsliv och myndigheter för att utveckling av infrastruktur skall skalas upp.

Omställningsprocess - Olika scenarion för omställningsprocess till tunga FCEV har analyserats. Ju snabbare omställning desto högre kostnader och större utmaningar för aktörerna i värdekedjan.

En omställning till tunga FCEV i basunderhållkontrakten kräver följande förutsättningar:

- Politiska beslut och andra styrmedel måste vara möjliggörare och stöd för introduktion och omställning till nollemissionsteknik (bl.a. ekonomiskt stöd, krav, samverkan mellan myndigheter och andra aktörer i värdekedjan, information och utbildning).
- Framtagning av affärsmodeller med hänsyn till hela värdekedjan i samverkan med aktörer.
- Verifiering av nollemissionsteknik behöver genomföras i systemdemonstration.

Samhällsnytta - Förstudien har inte haft för ambition att analysera övriga samhällseffekter som en ökning av användning av vätgas som drivmedel skulle innebära. Här vill vi ändå lyfta upp några värdefulla insikter om positiva effekterna som föranleds av en omställning till vätgas.

- Vätgas kan jämna ut flödet från intermittenta energikällor som vindkraft och solenergi. Energilagring med vätgas blir då en balansering (som internationellt redan tillämpas under beteckningen "Grid balancing").
- I och med egen produktion och lagring kan Sverige bli självförsörjande på eget drivmedel, uppvärmning av hus och till industrin.
- Vi importerar idag oljebaserade produkter till Sverige för ca 80–90 miljarder SEK. I stället för det kan man skapa arbetstillfällen i Sverige genom att tillverka egen energi samt produktion och lagring av eget drivmedel.
- Vätgas produceras med fördel lokalt på plats och genererar då så nära noll utsläpp man kan komma om man använder förnybara energikällor (grön energi), samt slipper man onödiga och tunga transporter.
- Att skapa eget drivmedel är FREDSBEVARANDE, vi får ett mindre sårbart samhälle med lokala kluster av energilagring.
- Hälsoaspekten; det dör ca 7 miljoner människor i världen därav ca 7000 i Sverige per år pga. förorenad luft (utsläpp från förbränning av kolatomer och partiklar PM 10 och PM 2,5 och mindre som rivs upp från vägar mm). Vi kan reducera dessa dödsfall med omställningen
- Enligt WHO % -2022 så drabbas 95 % av världens befolkning av sämre hälsa pga. utsläpp från förbränning av kolatomer.
- Bränslecellsfordon tar in syre för omvandling till el i sina fordon och fångar då upp partiklar som fastnar i filtren och renar därmed tätorters närmiljöer vilket leder till bättre hälsa hos befolkningen.

9 Rekommendationer

Resultatet av förstudien bekräftar behovet av satsningar för en omställning till utsläppsfria fordon i entreprenader. Insatserna ska inriktas mot hela värdekedjan för att klara av omställningen. För att nå målet att ställa om till utsläppsfria basunderhållsentreprenader krävs det en omfattande systemomställning som inkluderar tekniska system, energiproduktions- och leveranssystem, nya affärsmodeller, regelverk samt ökad kunskap inom området. Trafikverket och andra beslutsfattande myndigheter har en mycket viktig roll i omställningen. Omställningen kräver en bred variation av förutsättningsskapande aktiviteter i hela värdekedjan som består av aktörer som befinner sig på olika nivåer av mognadsgrad.

Förutsättningsskapande aktiviteter på kort sikt

- Samtliga berörda aktörer måste ges möjlighet att genom systemdemonstratörer validera funktionsdugligheten både i sin del av värdekedjan och i de gemensamma delarna.
 - Flera aktörer i värdekedjan med entreprenörer och fordonstillverkare i spetsen ska genom systemdemonstrationer testa och validera att FCEV klarar alla typer av anläggningsarbete. Särskild fokus ska vara på vinterväghållning som ställer tuffa krav på vinterväghållningsfordonen.
 - Trafikverket ska genom systemdemonstratörer samla in nödvändiga kunskapsunderlag för sitt arbete med att formulera krav för omställning till tunga FCEV i entreprenaderna samt underlag för att ta fram arbetssätt och teknik för uppföljning av kraven i entreprenaderna.
 - Systemdemonstratören kommer också vara viktig för att skapa nödvändiga underlag för uppdatering av kostnads-nyttoanalysen och en färdplan för omställningen till FCEV entreprenader. Färdplanen ska tas fram i samarbete mellan alla aktörer i värdekedjan.
- Trafikverket i samarbete med de andra aktörerna i värdekedjan behöver också reda ut förutsättningarna för omställningen till tunga FCEV i andra typer av entreprenader. Omställningen till FCEV måste ske på ett samordnat sätt i alla typer av entreprenader för att skapa en marknad med rätt förutsättningar.
- Trafikverket i samarbete med andra ansvariga myndigheter behöver ta fram en samordnad handlingsplan med riktade insatser i hela värdekedjan med fokus på bl.a. finansiering av omställningskostnaderna, regelverk, affärsmodeller, etc.

Förutsättningsskapande aktiviteter på lång sikt

- Ansvariga myndigheter, bl.a. Trafikverket, energimyndigheten och Transportstyrelsen, behöver arbeta intensivt med anpassning av regelverk och policy gällande utsläppsfria fordon inom transportsektorn med fokus på hela värdekedjan.
- Kunskaphöjande aktiviteter bör genomföras på flera olika nivåer i syfte att höja kunskapen kring vätgas som drivmedel. Inom det här området behöver högskolorna ta en större roll.

Bilagor

Bilaga 1, Sammanställning av intervjuade personer

Under projektet har vi haft kontakt med flertalet olika personer för att bredda FCEV-perspektivet. Samtalens utkomst har vägts samman, projektgruppen har dragit egna slutsatser baserat på samtalen och vävts in resultatet i rapporten.

Reine Alemar, AB Volvo
Björn Aronsson, Vätgas Sverige
Anders Berger, AB Volvo
Åsa Bye, Powercell
Anna Douglas, Scania
Johan Fessé, Bilfrakt
Mats Granberg, Svevia
François Hemmerlin, Resato
Huib Hupkens van der Elst, H2Consultancy NL
Lars Jakobsen, Everfuel
Göran Lindbergh, KTH
Michaela Mau, Trafikverket
Hans-Olof Nilsson, Nilsson Energy
Grzegorz Stawicki, Drabpol
Pontus Svens, Scania
Stefan Van det Spek, Hyzon
Roel Vandepas, Nedstack NL
Susanne Wallner Mariestads Kommun
Boh Westerlund, ECTM AB/ OAZER AB

Stöd och råd från Styrgruppen

- Anders Asp, ViaPM
- Martina Rydberg, Trafikverket
- Stefan Uppenberg, WSP
- Christina Sandlin, Trafikverket

Övriga stöd, råd och samtal

- Christian Eriksson, Trafikverket - Sponsor
- Dan Eriksson, Trafikverket – Handläggare / Projektledare
- Stefan Kratz, Trafikverket - Portföljledare

Bilaga 2 Kostnads-nyttokalkyl

Den här bilagan innehåller detaljerad information om kostnads-nyttanalysen för en omställning till FCEV i underhållskontrakten. Bilagan innehåller inputvärdena för beräkningen av nyttokostnadsanalysen för tre olika kravtrappor för omställning till FCEV och resultatet av beräkningarna.

Parametrar för kostnads-nyttokalkylen

Beräkningsparametrar	Värde	Förklaring
Antal basunderhållskontrakt	109	Information är hämtad från Trafikverket.
Antal lastbilar i basunderhållsentreprenaderna	15	Detta är ett snittvärde för antal lastbilar som används för vinterväghållning samt även utför drift och underhållsarbeten i ett BAS kontrakt.
Antal lastbilar i basunderhållsentreprenaderna	1 635	Är det ett generellt antal som används i BAS kontrakten i Sverige.
Nyttjandegrad för en lastbil	1600 timme/år	Nyttjandegrad på 1600 timmar/år är något lägre än vad en ordinarie lastbil utför 2022. Värdet baseras på att det inte riktigt går att utföra alla arbeten med en FCEV och att det kan speciellt första perioden behöva tid för intrimning.
Körsträcka	3600 mil/år	En körsträcka på 3600 mil är lite längre än vad en driftlastbil har för körsträcka per år
Bränsleförbrukning	5,5 lite/mil	Värdet är en genomsnittsförbrukning när en driftresurs utför plogning, halkbekämpning, grus-sand och salttransporter mm
Drivmedelsförbrukning (vätgas)	2,0 kg/mil	En förbrukning på 2,0 kg/mil 2023, 1,8 kg/mil 2025 och 1,6 kg/mil 2030 samt 1,5 kg/mil 2035 är ett antaget genomsnitt när en driftresurs utför plogning, halkbekämpning, grus-sand och salttransporter mm
Koldioxidutsläpp	2,1 kg/liter	Omräkningsfaktor inkl. reduktionsplikt av koldioxidutsläpp (Co2) kg/liter diesel. Räknat något lägre än det 2,54 som gäller eftersom reduktionsplikten ökar år för år.
Koldioxidutsläpp	41,6 ton per lastbil och år	Baserat på den mängd liter diesel en lastbil som kört 3600 mil omräknat till antal kg koldioxid (Co2)
Totalt koldioxidutsläpp i systemet	67 983 ton/år	Baserat på antal vinterväghållningsfordon + övriga fordon med arbeten inom drift och underhåll i hela Sverige med körsträcka 3600 mil/år
Koldioxidskatt		För dieselvarianten (ICE) är det beräknat med en Co2 skatt med 1 kr/kgCo2 2025 med en ökning på 1 kr/kgCo2 för var 5:e år
Pris för Koldioxidutsläpp	1,4 kr/kg	Ett värde som Trafikverket använder i sina kalkyler
Uppskattat bränslepris	20 kr/liter (exkl moms) 2024	Priset är baserat på den senaste 20 års periodens prisuppgång och med ett liknande scenario framåt kommande 20 år
Drivmedelspris (vätgas)		Priset för vätgas börjar med 180 kr/kg när det är i liten skala utan stöd. När vi kommit upp i volymer 2035–2040 så kan priset befinna sig runt (60 kr/kg).
Årlig prisökning för diesel	1,5%	Värdet är baserat på prisutvecklingen för diesel sedan 2001
Årlig prisminskning vätgas	5%	Värdet är en prognos som förutsätter att massproduktionen kommer i gång.
Avskrivningstid	8 år	Det är praxis i branschen att fordon avskrivs på 8 år.
Uppskattat drivmedelspris 2024	180 kr/kg	Ett pris utan stöd från myndigheter m.fl. och med små kvantiteter.
Uppskattat restvärde för FCEV och ICE	1 000 000 kr	Priset är en ungefärlig uppskattat summa beroende på modell och skick mm. FCEV så kan andrahandsvärdet variera från de första modellerna tills de mera etablerade. ICE kan andrahandsvärdet variera från nuläget tills andra tekniker eventuellt kan fasa ut ICE.

Beräkningsparametrar	Värde	Förklaring
Timpris förärrar	450 kr/timme	Priset är för en förare med där det ingår utbildningar, arbetsgivaravgifter, etc.
Prisindex		Kalkylen baseras på dagens penningvärde utan indexering.

Kostnad-nyttokalkyl för kravtrappa 3 för omställning till FCEV i basunderhållsentreprenaderna under perioden 2025–2044

År	År	Krav på andel tunga FCEV i basunderhållsentracken	Antalet tunga FCEV i basunderhållsentracken	Inköpspris för en tung ICE (kr)	Restvärde (kr)	Körsträcka (km/år)	Bränsleförbrukning (lit/100km)	Bränslepris (kr/liter)	Timpri för forare (kr/hr)	Underhållskostnader (kr/år)	snitt mil/h	Nyttjandegrad (hr/år)	ICE											FCEV											Summan av kostnader för investering, drift och underhåll (kr)	K/mil drivmedel	K/yr drivmedel	Timpri för ICE utan koldioxidskatt (kr/hr)	Koldioxid-skatt (kr/kg)	Omri faktor koldioxid (kg/liter)	Timpri för ICE med koldioxidskatt	Inköpspris för en tunga FCEV (kr)	Restvärde (kr)	Anpassning FCEV (kr/år)	Körsträcka (mil/år)	Drivmedelbörbrukning (kg/mil)	Drivmedelpris (kr/kg)	Timpri för forare (kr/hr)	Underhållskostnader (kr/år)	snitt mil/h	Nyttjandegrad (hr/år)	K/mil drivmedel	K/yr drivmedel	Timpri för tunga FCEV	Ökade kostnader i systemer som krävs på omställning till tunga FCEV (kr/år)	Reduktion i koldioxid under perioden (ton)	Kostnad för reducerad koldioxid under perioden (kr/ton)	Nyta med reduktion av koldioxid (kr)	Nettonyta
													Summering av kostnader för investering underhåll och drift av ICE	K/mil drivmedel	K/yr drivmedel	Körskatt	Koldioxid-skatt (kr/kg)	Omri faktor koldioxid (kg/liter)	Timpri för ICE utan koldioxidskatt (kr/hr)	Körskatt (mil/år)	Drivmedelbörbrukning (kg/mil)	Drivmedelpris (kr/kg)	Timpri för forare (kr/hr)	Underhållskostnader (kr/år)	snitt mil/h	Nyttjandegrad (hr/år)	K/mil drivmedel	K/yr drivmedel	Timpri för tunga FCEV	Ökade kostnader i systemer som krävs på omställning till tunga FCEV (kr/år)	Reduktion i koldioxid under perioden (ton)	Kostnad för reducerad koldioxid under perioden (kr/ton)	Nyta med reduktion av koldioxid (kr)																										
2025	1	20%	66	3 600 000	1 000 000	3 600	5,5	20,3	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	112	391	1 079	1	2	1 139	6 500 000	1 000 000	1 000 000	3 600	1,80	171	450	700 000	3,5	1 600	7 200 000	308	1 077	2 090	970	102 403 660	2 744	37 538	3 841 992	-98 623 668																				
2026	2	20%	132	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	20,6	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	113	397	1 085	1	2,1	1 125	6 500 000	1 000 000	1 000 000	3 600	1,80	162	450	700 000	3,5	1 600	7 200 000	292	1 023	2 036	911	192 317 057	5 499	35 040	7 683 964	-184 633 073																				
2027	3	20%	198	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	20,9	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	115	403	1 091	1	2,1	1 131	6 500 000	1 000 000	1 000 000	3 600	1,80	154	450	700 000	3,5	1 600	7 200 000	278	972	1 985	853	270 379 558	8 233	32 842	11 525 976	-258 853 582																				
2028	4	20%	264	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	21,2	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	117	409	1 097	1	2,1	1 137	6 500 000	1 000 000	1 000 000	3 600	1,80	147	450	700 000	3,5	1 600	7 200 000	264	924	1 936	799	337 421 091	10 977	30 739	11 567 968	-322 053 123																				
2029	5	20%	327	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	21,5	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	119	415	1 103	1	2,1	1 143	6 500 000	1 000 000	1 000 000	3 600	1,80	139	450	700 000	3,5	1 600	7 200 000	251	877	1 890	747	390 572 458	13 597	28 726	19 033 324	-371 537 134																				
2030	6	40%	393	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	21,9	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	120	421	1 109	2	2,1	1 190	6 500 000	1 000 000	1 000 000	3 600	1,80	132	450	700 000	3,5	1 600	7 200 000	238	834	1 846	656	412 484 813	16 341	25 242	22 877 316	-389 607 497																				
2031	7	40%	459	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	22,2	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	122	427	1 116	2	2,1	1 196	4 500 000	1 000 000	300 000	3 600	1,60	126	450	600 000	3,5	1 600	4 400 000	201	704	1 498	301	221 239 801	19 085	11 592	26 719 308	-194 520 493																				
2032	8	40%	525	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	22,5	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	124	434	1 122	2	2,1	1 203	4 500 000	1 000 000	300 000	3 600	1,60	119	450	600 000	3,5	1 600	4 400 000	191	659	1 462	266	218 029 395	21 830	9 991	30 561 300	-187 544 095																				
2033	9	40%	591	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	22,9	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	126	440	1 128	2	2,1	1 209	4 500 000	1 000 000	300 000	3 600	1,60	113	450	600 000	3,5	1 600	4 400 000	182	635	1 429	220	207 753 062	24 574	8 454	34 603 292	-172 246 770																				
2034	10	40%	654	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	23,2	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	128	447	1 135	2	2,1	1 216	4 500 000	1 000 000	300 000	3 600	1,60	108	450	600 000	3,5	1 600	4 400 000	172	604	1 397	181	189 751 421	27 193	6 978	38 070 648	-151 688 773																				
2035	11	80%	786	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	23,6	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	130	454	1 142	3	2,1	1 263	4 500 000	1 000 000	300 000	3 600	1,60	102	450	600 000	3,5	1 600	4 400 000	164	573	1 367	104	130 833 035	32 682	4 003	45 754 632	-85 076 403																				
2036	12	80%	918	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	23,9	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	132	460	1 149	3	2,1	1 270	3 500 000	1 000 000	0	3 600	1,50	97	450	500 000	3,5	1 600	3 000 000	146	511	1 195	-75	-109 945 501	38 170	-2 880	53 438 616	163 384 117																				
2037	13	80%	1 050	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	24,3	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	133	467	1 155	3	2,1	1 277	3 500 000	1 000 000	0	3 600	1,50	92	450	500 000	3,5	1 600	3 000 000	139	485	1 169	-107	-180 248 339	43 659	-4 129	61 122 600	241 370 929																				
2038	14	80%	1 182	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	24,6	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	135	474	1 163	3	2,1	1 284	3 500 000	1 000 000	0	3 600	1,50	88	450	500 000	3,5	1 600	3 000 000	132	461	1 145	-139	-262 053 868	49 148	-5 232	68 806 384	330 840 273																				
2039	15	80%	1 309	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	25,0	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	138	481	1 170	3	2,1	1 291	3 500 000	1 000 000	0	3 600	1,50	83	450	500 000	3,5	1 600	3 000 000	125	438	1 122	-169	-353 077 090	54 307	-6 402	76 141 296	423 215 286																				
2040	16	100%	1 374	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	25,4	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	140	489	1 177	4	2,1	1 339	3 500 000	1 000 000	0	3 600	1,50	79	450	500 000	3,5	1 600	3 000 000	119	416	1 100	-238	-623 759 971	57 131	-9 168	79 983 288	603 743 254																				
2041	17	100%	1 440	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	25,8	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	142	496	1 184	4	2,1	1 346	3 500 000	1 000 000	0	3 600	1,50	75	450	400 000	3,5	1 600	2 900 000	113	395	1 072	-374	-631 717 311	59 875	-10 551	83 825 280	715 545 591																				
2042	18	100%	1 506	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	26,1	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	144	503	1 192	4	2,1	1 353	3 500 000	1 000 000	0	3 600	1,50	71	450	400 000	3,5	1 600	2 900 000	107	375	1 052	-301	-726 198 896	62 619	-11 597	87 667 272	813 866 168																				
2043	19	100%	1 572	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	26,5	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	146	511	1 199	4	2,1	1 361	3 500 000	1 000 000	0	3 600	1,50	68	450	400 000	3,5	1 600	2 900 000	102	357	1 033	-328	-824 220 055	65 364	-12 610	91 509 264	915 729 310																				
2044	20	100%	1 635	3 600 000	1 000 000	3 600	5,50	26,9	450	450 000	3,5	1 600	3 050 000	148	519	1 207	4	2,1	1 369	3 500 000	1 000 000	0	3 600	1,50	65	450	400 000	3,5	1 600	2 900 000	97	339	1 015	-353	-922 941 720	67 863	-13 591	95 176 620	1 019 118 860																				
																																			SUM	-1 861 821 512	681 080	-2 734	95 512 560	2 815 334 072																			

Sammanställning av kostnads-nyttokalkylen

Kravtrappa	Kalkyelperiod	Ökade kostnader pga omställning till tunga FCEV	Reduktion i koldioxid under perioden (ton)	Kostnad för reducerad koldioxid under perioden (kr/ton)	Nyta med reduktion av koldioxid	Nettonyta
Kravtrappa 1, 2024-2030	2024-2044	4 227 398 127	1 210 103	3 493	1 694 143 836	-2 533 254 291
Kravtrappa 2, 2025-2035	2025-2044	234 357 321	1 006 028	233	1 408 439 340	1 174 082 019
Kravtrappa 3, 2025-2044	2025-2044	-1 861 821 512	681 080	-2 734	95 512 560	2 815 334 072

