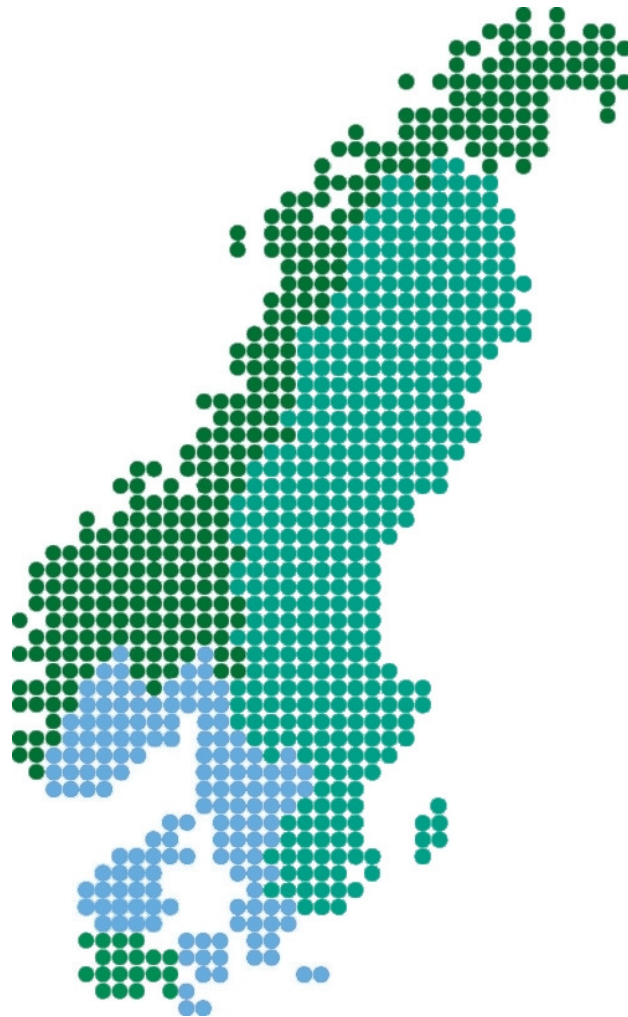


# The Blue Move for a Green Economy

Behovsstudie och teknikkartläggning av arbetsmaskiner



*juli 2018*



## Innehållsförteckning

The Blue Move for a Green Economy.....	3
Sammanfattning .....	4
Summary.....	5
Bakgrund.....	6
Problembeskrivning och syfte .....	6
Problembeskrivning .....	6
Syfte .....	8
Nya maskinkoncept och drivlinor .....	9
Förändrade villkor.....	9
Energilagring.....	9
Batterier.....	10
Bränsleceller.....	12
Intressenter för nollemissionsarbetsmaskiner .....	15
Behovsstudie.....	15
Arbetsmaskiner för kommunal drift.....	15
Övriga användare av arbetsmaskiner .....	16
Teknikkartläggning.....	19
Arbetsfordonstillverkares ambitioner och frågeställningar gällande emissionsfri drift..	19
Arbetsmaskiner i kommunal regi.....	20
Resultat av kartläggning fördelat på produktkategori.....	21
Elektrifiering av arbetsmaskiner i olika klasser .....	24
Tillfälliga vätgastankstationer .....	27
Slutsatser och rekommendationer för fortsatt utveckling.....	27
Referenser.....	30

## The Blue Move for a Green Economy

The Blue Move for a Green Economy, förkortat Blue Move, är ett EU-finansierat projekt som ska hjälpa till att etablera vätgas som en naturlig del av vårt energival. Projektet fokuserar på vätgasanvändning inom transportsektorn och ska främja hela kedjan där vätgas används som drivmedel - från produktion och distribution till användning hos slutkonsumenter. Projektet är en gränsöverskridande satsning inom insatsområdet Grön energi i Öresund-Kattegat-Skagerrak-området (ÖKS).

Detta Interreg-projekt löper över tre år (augusti 2015 - juli 2018) och är ett samarbete mellan offentliga och privata aktörer samt forskningsinstitut för att främja ökad användning av förnybar energi genom användning av vätgas som ersättning för fossila bränslen.

Projektet ska bidra till utveckling av affärsmodeller för infrastruktur (WP4) och produktion, lagring och distribution av vätgas (WP3), vilket är en förutsättning för en bred introduktion av vätgasfordon ska vara möjlig. WP5 har omfattat test, utvärdering och behovsanalys av bränslecellsfordon.

Partners i Blue Move:



**Version 1**

**Datum 2018-07-05**

**Författare:**

Anna Cornander, RISE  
Karin Nilsson, RISE  
Peter Leisner, RISE  
Anna Alexandersson, RISE  
Magnus Mörstam, RISE  
Mats Pervik, Göteborgs Stads Leasing AB  
Jon Eriksen, Kunnskapsbyen Lillestrøm  
Jan Carsten Gjerløw, Kunnskapsbyen Lillestrøm  
Anders Lundblad, RISE

## **Sammanfattning**

Projektet Blue Move avser att skapa en ökad efterfrågan på vätgas som drivmedel och utreda näringslivspotentialen för arbetsmaskiner med vätgasdrift i Öresund-Kattegatt-Skagerrak (ÖKS) - regionen, för att på så sätt öka användningen av förnybar energi i transportsektorn.

Användning av arbetsmaskiner genererar betydande koldioxidutsläpp och lokala luftföroreningar. Genom att använda arbetsmaskiner med batterier och/eller bränsleceller istället för förbränningsmotorer, kan lokala luftföroreningar och klimatpåverkan från dessa maskiner reduceras. Elektrifieringen minskar dessutom problem med buller och vibrationer, vilket bidrar till en förbättrad arbets- och närmiljö.

Kundernas krav förändras och vissa beställare kommer i en relativt snar framtid endast köpa nollemissionsfordon. Exempelvis har många kommuner högt uppsatta miljömål och har som målsättning att vara klimatneutrala och fossilbränslefria år 2030. I rollen som kravställare vid offentlig upphandling kan kommuner och regioner bli mycket viktiga aktörer för att driva på en omställning till fossilbränslefria arbetsmaskiner.

Elektrifiering är på stark frammarsch och utvecklingen går fort, vilket förutom miljövinster medger många andra fördelar, såsom ökad livslängd och minskat antal komponenter. Kostnad och karaktär på servicen på fordonen kommer att förändras. Valet mellan eldrift med batteri eller bränslecell beror av kostnad, vikt och platsbehov för det aktuella energibehovet. Bränslecellsfordon kan tankas snabbt och får en oförändrad prestanda från full till tom tank. Erfarenheter från inomhusgående gaffeltruckar i USA visar att användning av bränsleceller också är platsbesparande jämfört med helelektriska maskiner, eftersom utrymme för batteribyte eller laddning inte behövs.

Det finns på marknaden idag både batterielektriska och bränslecellselektriska arbetsmaskiner. Denna rapport ger en överblick över tillgänglig utrustning men även maskiner i prototyp- och demofas. Både fortsatt teknisk utveckling och en ökad marknadsandel för emissionfria fordon krävs för att kunna uppfylla framtida miljömål. För att nå framgång är det viktigt att beställare och tillverkare möts.

## Summary

The Blue Move project aims to generate an increased demand for hydrogen as a fuel and investigate the business potential of heavy machinery in the Öresund-Kattegatt-Skagerrak (ÖKS) region, contributing for renewable energy in the transport sector to increase.

The use of heavy machinery generates significant carbon dioxide emissions and local air pollution. By using machines with batteries and/or fuel cells instead of combustion engines, local air pollution and climate impact from the machines can be reduced. Electrification also reduces noise and vibration problems, contributing to an improved local and working environment.

Customers' requirements are changing and within the near future some clients will only buy zero-emission vehicles. For example, many municipalities have high environmental targets and aim to be climate neutral and fossil fuel-free by 2030. Setting the requirements for public procurement, municipalities and regions become very important players in the process of converting to fossil fuel-free working machines.

Electrification is on the rise and the development is fast, which, in addition to the environmental benefits, allows many benefits such as increased service life and a reduced number of components. The cost and character of the service of the vehicles will also change.

The choice between electrical operation with batteries or with fuel cells depends on the cost, weight and space requirement for the current energy need. When operating on fuel cells, the heavy machinery can be quickly fueled, and it has an unchanged performance from full to empty tank. The use of fuel cells is also space-saving compared with full-electric machines since areas for charging or battery change are not required.

Today there are both battery and fuel cell - electric heavy machinery available on the market. This report gives an overview of available equipment, but also prototype and demo machines. Both a continued technical development and an increased market share for emission-free vehicles are required to meet future environmental goals. In order to achieve success, it is important that customers and manufacturers meet.

## Bakgrund

En av vår tids stora utmaningar är att klara energiförsörjningen samtidigt som vi kraftigt måste minska vår klimatpåverkan och de föroreningar vi orsakar. Idag har vi en global situation där stora utsläpp av koldioxid, kväveoxider och partiklar leder till alarmerande klimatförändringar, extrema väder och luft som gör människor sjuka.

I Skandinavien är användningen av fossila bränslen i transportsektorn den enskilt största faktorn som orsakar utsläppen av växthusgaser. För att förändra detta behöver vi ersätta fossila drivmedel med emissionsfria alternativ som hämtas från förnyelsebara energikällor. Här har vätgas av bland andra EU-kommissionen pekats ut som en nyckelteknologi. Genom att använda vätgas tillsammans med bränslecellsteknik får man avgasfria fordon där utsläppen är rent vatten. Vätgas ger heller inte några klimatpåverkande utsläpp vid framställandet, förutsatt att den framställs genom elektrolys och att fossilfri el används.

Den här rapporten behandlar området arbetsmaskiner och baseras på det arbete som gjorts inom Blue Move, men också de erfarenheter som gjorts i de tidigare projekten Skånska kommuners behov av arbetsmaskiner finansierat av Region Skånes Miljövårdsfond samt Förstudie av avgasfria arbetsmaskiner med batterier och bränsleceller finansierat av Energimyndigheten.

Denna rapport är en del av WP5 Bränslecellsfordon: test, utvärdering och behovsanalys, där målet är att skapa en ökad efterfrågan på vätgas som drivmedel och utreda näringslivspotentialen för arbetsmaskiner med vätgasdrift i ÖKS för att på så sätt öka användningen av förnybar energi i transportsektorn.

## Problembeskrivning och syfte

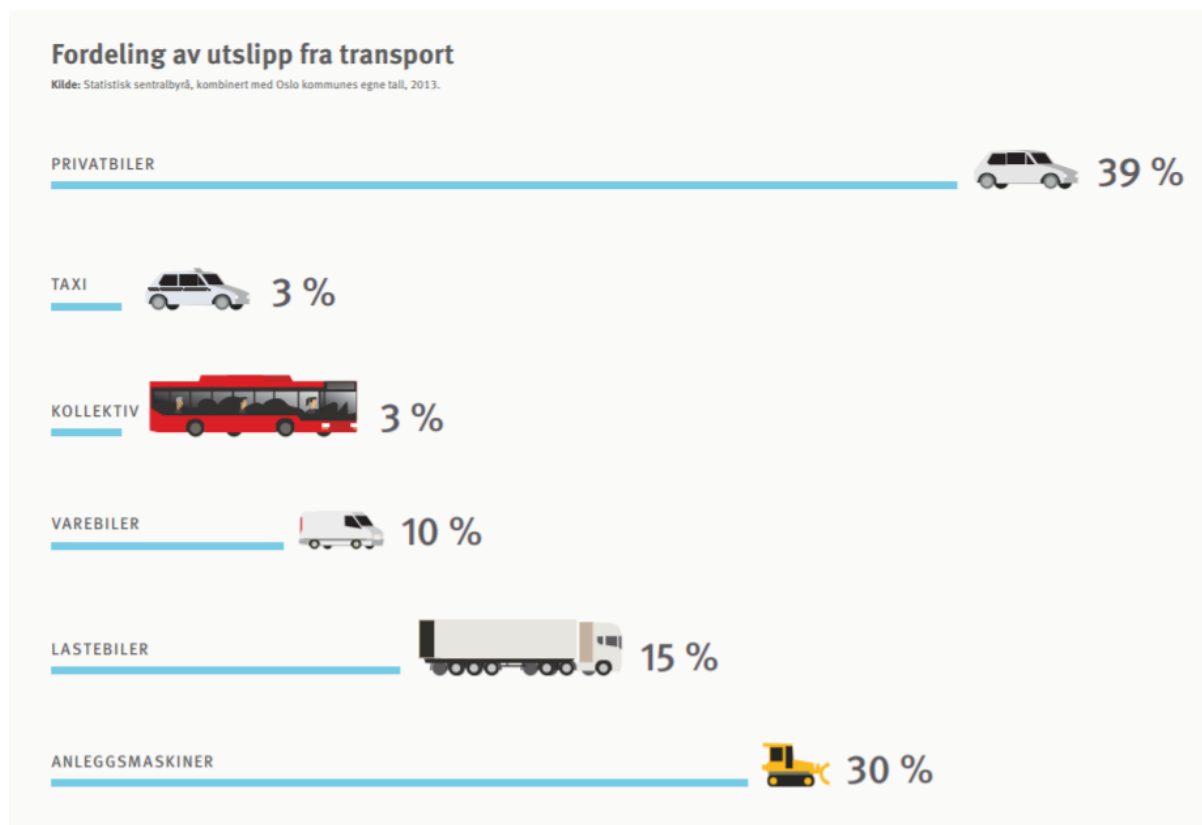
### Problembeskrivning

Användning av arbetsmaskiner genererar betydande koldioxidutsläpp och lokala luftföroreningar. Arbetsmaskiner går idag under maskindirektivet, och därför ställs lägre krav avseende emissioner än för transporter. Detta gör att arbetsmaskiner idag släpper ut förhållandevis mycket avgaser och att en stor förbättringspotential finns. Ett nytt europeiskt direktiv är på väg, som kan komma att kategorisera om arbetsmaskiner.

Enligt Fördjupad analys av svensk klimatstatistik, Naturvårdsverket [1] bidrog sektorn arbetsmaskiner år 2016 till 3,5 miljoner ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter vilket motsvarar cirka 7 % av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser. Arbetsmaskinerna stod för hela 19 % av kväveoxidutsläppen. Utsläppen av växthusgaser från sektorn arbetsmaskiner i Sverige är jämförbara med cirka 20% av utsläppen från sektorn inrikes transporter. I sektorn arbetsmaskiner ingår bränsledriva arbetsredskap, däribland traktorer, kranar, grävmaskiner, gräsklippare, motorsågar och snöskotrar. Arbetsmaskinerna används bland annat för bygge och underhåll av vägar, bostäder och lokaler, men även för arbete inom industri, jord- och skogsbruk och fiske.

I Klima- og energistrategi for Oslo [2] finns en beräkning gjord över fördelning av växthusgasutsläpp från olika typer av transporter i Oslo 2013. Se Figur 1. Beräkningen

har gjorts med uppgifter från Statistisk sentralbyrå i Norge kombinert med Oslos egna tal och visar att utsläppen av växthusgaser från arbetsmaskiner står för hela 30 % av utsläppen från transportsektorn.



Figur 1. Fordeling av växthusgasutsläpp från transporter i Oslo.  
Källa: Klima- og energistrategi for Oslo 2016 [2].

En personbil och en arbetsmaskin har olika förutsättningar beroende på dess konstruktion, omgivande miljö samt användningsområde:

#### Personbil

Låg effekt, mycket energi  
Låg inköpskostnad  
Mestadels parkerad  
Snälla miljöer  
Transportmedel  
Nattladdning

#### Arbetsmaskin

Hög effekt, mycket energi  
Låg totalkostnad  
Används mestadels  
Tuffa miljöer  
Arbetsplats  
Kafferastladdning

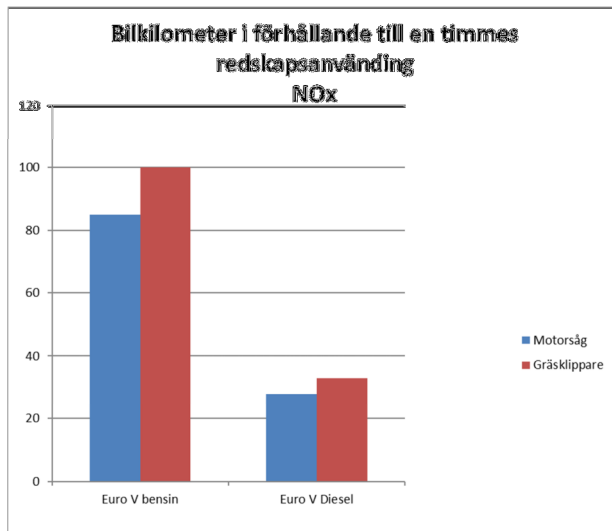
Energi och effektkrav beror på typ av fordon, grad av elektrifiering, elkörsträcka, fordonsvikt, rull- och luftmotstånd, användningsprofil och kringlaster.

Påverkande faktorer är även packningsbegränsningar, klimat, vikt, volym, spänningsintervall, driftsbegränsningar, livslängd, kostnad och servicebehov [3].

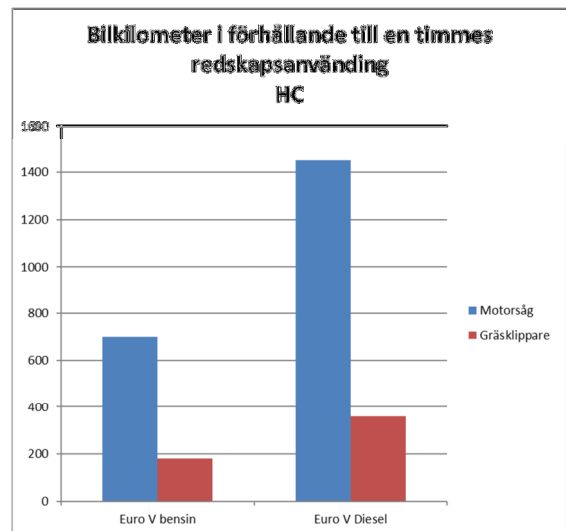
Som tidigare nämnts har arbetsmaskiner en sämre miljöprestanda än bilar. Med hjälp av en beräkning gjord av Göteborgs Stads Leasing AB, partner i Blue Move, illustreras utsläppen av kväveoxider (NO<sub>x</sub>) respektive kolväten/hydrokarboner (HC) vid en timmes användning av motorsåg och gräsklippare i förhållande till antalet teoretiskt körda kilometer med bil med bensin respektive diesel för samma utsläppsmängd.[4]

Vid en timmes körning med motorsåg motsvarar utsläppen av HC 700 km körning med en bensinbil och 1.450 km körning med dieselbil. Utsläppen av NO<sub>x</sub> motsvarar 85 km med bensinbil och 28 km med bensinbil. Utsläppen av HC vid en timmes körning med en standardgräsklippare motsvarar 180 respektive 360 km bilkörning med bensin- respektive dieselbil medan utsläppen av NO<sub>x</sub> motsvarar 100 km bilkörning på bensin eller 33 km på diesel. Se Figur 2 och 3 nedan.

När det gäller partiklar motsvarar en timmes körning med en större dieseldriven gräsklippare hela 20.000 km körning med en EURO V diesel eller bensindriven personbil.



Figur 2  
Källa: Göteborgs Stads Leasing AB [4].



Figur 3  
Källa: Göteborgs Stads Leasing AB [4].

## Syfte

Genom användning av arbetsmaskiner med batterier och/eller bränsleceller istället för förbränningsmotorer, kan lokala luftföroreningar och klimatpåverkan från dessa maskiner reduceras. Tekniken kan dessutom tack vare elmotordrift minska problem med buller och vibrationer, vilket bidrar till en förbättrad arbetsmiljö och närmiljö. I vissa fall kan man pga minskat ljudpåverkan förlänga tiden under dygnet där maskinen kan användas vilket ökar nyttjandegraden.

I denna rapport har några utvalda organisationers användning av lätta och tunga arbetsmaskiner och deras behov av nollemissionsteknik undersökts. Studien innehåller en behovsanalys och en utredning av tillgänglig teknik som beskriver vilka arbetsmaskiner och fordon som är lämpliga för bränslecellsdrift.



Rapporten presenterar arbetsfordon och -maskiner med nollemissionsteknik och rekommendationer för fortsatt utveckling med syfte att öka kunskapen hos såväl offentliga som privata intressenter.

## **Nya maskinkoncept och drivlinor**

### **Förändrade villkor**

Vi befinner oss i en på många sätt händelserik tid där miljö och hållbarhet får ökat fokus i företag och i samhällsdebatten. Arbetsfordon står idag för en betydande del av utsläppen av fossila växthusgaser. Kundernas krav förändras och vissa beställare kommer i en relativt snar framtid endast köpa nollemissionsfordon. Gamla välbeprövade tekniker kommer att få stryka på foten till fördel för nya. Elektrifiering är på stark frammarsch och utvecklingen går fort, vilket förutom miljövinster medger många andra fördelar, såsom ökad livslängd och minskat antal komponenter. Kostnad och karaktär på servicen på fordonen kommer att förändras. Länge har ett tungt arbetsfordon varit kundspecifikt men vi ser att man även i högre utsträckning önskar anpassa maskinen till de processer den ska verka inom. Med branschorganisationen Tunga fordon har vi arbetat med kompetensutveckling för medlemsföretagen inom elektrifiering och bränsleceller och rönt ett stort intresse för detta område.

Tillverkare av arbetsmaskiner har en mycket viktig roll i sammanhanget eftersom de står för utvecklingen och leverans av ny teknik. Med en kraftigt ökande efterfrågan på fossilbränslefria arbetsmaskiner finns det goda chanser att ta viktiga marknadsandelar för de tillverkare som väljer att bli föregångare inom teknikutvecklingen.

Utvecklingen av nya maskinkoncept är mer avancerat än att skala upp/skala ned. Ett nytt angreppssätt med nya kompetenser är nödvändigt och resulterar ofta i en produkt med fler fördelar som synergi. Om en dieselmotor används i en hybridlösning kan den ofta downsizas och maskinen göras mindre och smartare. På en arbetsmaskin kan varje hjul förses med varsin motor och drivas/styras på ett effektivare sätt. Att elektrifiera delsystem är också ett sätt att kunna optimera konstruktionen.

### **Energilagring**

Energilagring kan göras på många sätt och har blivit effektivare och billigare. De typer av lagring vi omnämner här är batterier och bränsleceller.

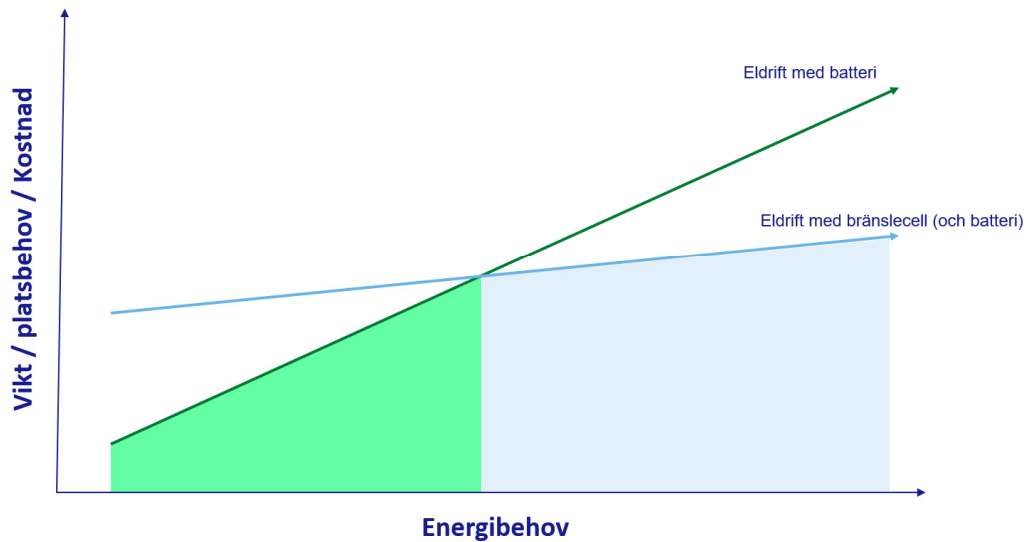
En eldrivlina med bränsleceller används alltid tillsammans med ett batteri, där batteriets funktion är att hantera effektvariationer. Dimensioneringen mellan batteri och bränslecell kan variera och på detta sätt väljs vilka olika egenskaper systemet ska ha och dess konsekvenser. Prestanda som påverkas är start, effektivitet, vikt, tankningstid, kostnad, energilagring och livslängd. Den minst progressiva lösningen ”range extender”, innebär är batteriet dominerar och också utgör större delen av energilagret.

Kostnaden för batteriutveckling är den största utmaningen, även om den har sjunkit betydligt de senaste åren. Exempelvis sjönk priset på litium-jon batterier med mer än 75 % mellan 2008 och 2013. [5]

Brytning av metaller och tillverkning kan orsaka utsläpp. Det är därför viktigt att se över hela kedjan, så att valet av energilagring är hållbart. Här till kommer att effektiva processer för återvinning av moderna batterier måste etableras. Det finns begränsningar för ren batteridrift när energibehovet är stort eller när tiden för laddning är en begränsning.

Valet mellan eldrift med batteri eller bränslecell beror av kostnad, vikt och platsbehov för det aktuella energibehovet. Det finns en skärningspunkt där eldrift med bränsleceller blir mer lönsam än eldrift med enbart batterier, vilket illustreras i Figur 4.

### Eldrift med batteri eller bränslecell?



Figur 4

### Batterier

Ordet "batteri" kommer från det franska verbet *battre*, vilket betyder "slå, hamra, bulta". Ett batteri är en komponent som innehåller lagrad energi. Denna energi omvandlas till elektrisk energi för att strömförsörja den applikation det är kopplad till. Inom det militära innebär batteri en samverkan, vilket också sker i ett elektrokemiskt batteri - samverkan på cellnivå. Batterier kan vara av olika typer; de som är förbrukade efter energiuttag (primärbatterier) eller de som kan återladdas som benämns sekundärbatteri eller ackumulator. Litium-jonbatterier dominerar inom fordonsindustrin men det finns även andra batterityper. Toyota har exempelvis av säkerhetsskäl valt NiMH-batterier för sin Mirai.

#### Litium-jonbatterier

Begreppet litium-jonbatterier beskriver en grupp av olika batterisystem. Litium-jonbatterier har högre energitäthet än alkaliska batterier och brunnstonsbatterier och har normalt dubbelt så hög nominell cellspänning. De tillhör de tekniker för energilagring

som lagrar mest energi per volym. I litiumjonbatterier ingår litiumjoner i föreningar på elektroderna som oxideras/reduceras vid laddning/urladdning. [6]

Litium-jonbatterier fick ett genombrott med Sonys Walkman 1991. Ett litium-jonbatteri är ett uppladdningsbart batteri där litiumjoner rör sig från den negativa elektroden till den positiva elektroden under urladdning och tillbaka vid laddning. Litium-jonbatterier använder en inlagrad litiumförening som elektrodmaterial, jämfört med metalliskt litium som används i ett icke-uppladdningsbart litiumbatteri [7]. Litium-jonbatterier är de bästa och mest avancerade sekundärbatterierna för strömförsörjning inom ett stort antal applikationsområden, däribland bärbar utrustning som laptops och handverktyg samt fordon och arbetsmaskiner. Litium-jonbatterier är effektiva i och med att det går att få ut nästan all el som de laddas med.

På 25 år hävdar man att dessa batteriers prestanda idag blivit 250% bättre [8]. Dock finns det en risk att de överhettas och börjar brinna. Litium-jonbatterier är helt fria från tillsats av tungmetallerna kvicksilver, kadmium eller bly. De innehåller dock kobolt som är omdiskuterat. [6] Idag används ungefär 10 % av världsproduktionen av kobolt till litiumbatterier i fordon. [9]

Samtliga sorters litiumbatterier klassas som farligt gods och det finns bestämmelser som anger bland annat hur de ska klassificeras, förpackas, märkas och deklarerar vid en transport. Litiumbatterier i vissa typer av maskiner kan omfattas av maskindirektivet som bland annat Arbetsmiljöverket ansvarar för. Maskindirektivet anger vilka grundläggande hälso- och säkerhetskrav som gäller för alla maskiner som släpps ut på marknaden inom EU. MSB har även tagit fram rekommendationer vid trafikskadehändelse med elektrifierade fordon. [10]

Litium används till glas/keramer vilket är det största användningsområdet i dagsläget. Eftersom användningen har ökat och vi på grund av ökad elektrifiering behöver denna batterityp är det stort fokus på litiumjonbatteriet och batteriområdet är därmed det som kommer att växa sig störst. Övriga användningsområden för litium är smörjmedel/oljor och aluminiumlegeringar.

Litium kommer att dominera batterimarknaden 10-15 år framåt. Det finns litium men produktionstakt och utvinningskostnad kommer vara avgörande för utvecklingen. Att utvinna litium från havsvatten är ett framtida komplement till nu existerande alternativ. Koboltbrytningen i Kongo, varifrån 60 % av världens produktion av kobolt utvinns [9], är kritiserad av bland andra Amnesty International pga barnarbete, hemska arbetsförhållanden och andra kränkningar av mänskliga rättigheter [11].

#### Nya generationens batterier

Nya generationens batterier NGB är en essentiell fråga, både för vår jord och befolkningen och för att batterier ska kunna komma ifråga även långt in i framtiden.

Nya batterier kommer främst från materialforskning. Vi kan lätt konstatera att alla NGB-koncept har olika för- och nackdelar och att det inte finns ett givet val. Inget NGB koncept blir det bästa för alla behov: Man måste känna sin applikation och förstå behov för att välja rätt NGB.

En skeptism mot alla “superbatteri”-nyheter som det talas om är sund. Hur troligt är det att ladda något alls på några få minuter?

Det finns flera motiv för utveckling av nya batterier:

Åstadkomma en effektivare användning av det litium som finns:

- öka Wh/kg och/eller Wh/l
- mindre CO<sub>2</sub> /kWh
- bättre återvinning

Ersätta litium helt och hållet:

- resurs & produktionsfrågor litium (Li), kobolt (Co) & kol (C)
- sprida riskerna - miljömässigt, politiskt, utvecklingsmässigt
- öka Wh/kg med nya kemier

Vetenskaplig nyfikenhet: Kan vi göra det här bättre?

Aktuella Nya generationens batterier:

- Natriumjonbatterier
- Magnesiumbatterier
- Litium-svavelbatterier
- Litium-syre/luftbatterier
- Högtemperaturlitiumbatterier

Parametrarna mognad, fordonsrelevans, kostnad, installation, energitäthet samt effekttäthet ger två vinnare bland NGB jämte Litiumjonbatterier - Natriumjonbatterier och Högtemperaturlitiumbatterier.

Också att beakta; resursfrågor, återvinning, “miljövänlighet” och säkerhet. [8]

## **Bränsleceller**

Bränsleceller är en gammal teknik som fått ökad relevans senaste decenniet. Den första bränslecellen uppfanns 1842 av Sir William Grove. Över hundra år senare använde NASA vätgas i sitt Apollo-program och ASEA utvecklar bränsleceller i u-båtar. Tidigt 90-tal utvecklades tekniken för att passa i personbilar. De första kommersiella personbilarna fanns på marknaden 2015. Idag finns det bussar, lastbilar, båtar, tåg, truckar och cyklar som drivs med bränsleceller. [12]

Principen för en bränslecell

En bränslecell är en energiomvandlare som omvandlar vätgasens kemiska energi till elektricitet. Precis som i ett batteri finns det en anod och en katod. Mellan dessa ligger en elektrolyt genom vilket endast protonerna kan passera. Elektronerna leds till en extern krets där de genererar elektricitet.

Verkningsgraden i processen är hög. En bränslecell producerar cirka 0,7 volt. För att få en högre spänning kombineras många separata bränsleceller i en ”stack”.

Bränslecellsfordon släpper varken ut växthusgaser, kväveoxid, svaveloxid eller partiklar. De är tystgående och bidrar till en låg bullernivå. De har dessutom motsvarande räckvidd och tankningstid som konventionella fordon. Eftersom vätgas kan produceras av förnybar el, biogas eller biomassa går det också att tillverka drivmedlet nationellt.

Vätgas kan lagras i olika faser: i gasform, flytande eller fast som metallhydrid. Transport kan ske på olika sätt: pipeline, trycksatta tuber eller flytande.

### Proton Exchange Membrane Fuel Cell

Det finns två kategorier av bränsleceller; lågtemperatur och högtemperatur. Den typen som används i fordon är Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEM) och tillhör kategorin lågtemperatur. Det innebär att material till lägre kostnad kan användas jämfört med de högtempererade. PEM-bränslecellen går att starta snabbt, är inte så placeringskänslig. Elektrolyten är fast och katod/anod därmed lättare att innesluta. PEM-bränslecellen är den bränslecell som producerar mest energi per vikt eller volym bränsle, vilket gör den kompakt. Den nackdel som måste hanteras är fuktkänsligheten.

PEM-bränslecellen innehåller membran belagda med liten mängd platina som är återvinningsbar. Platina är en ädelmetall som är ytterst sällsynt och betingar det högsta priset av alla ädelmetaller. Att rena platina är mycket komplicerat då metallen nästan alltid förekommer i kombination med andra metaller. Processen från utvinning till ren platina är invecklad och tar lång tid. Huvudsaklig produktion förekommer på två platser i världen; Sydafrika och nordligaste Sibirien. [13][14]

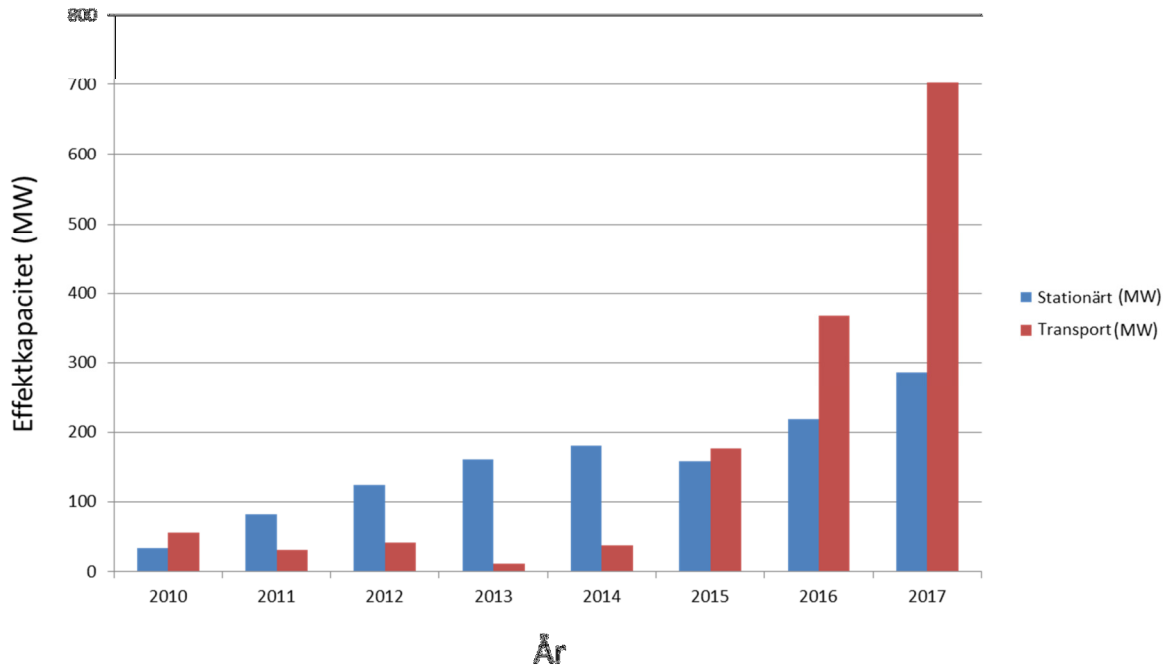
### Fördelar med bränsleceller

- Hög effektivitet, även vid låg last
- Tyst
- Inga eller lite vibrationer
- Inga rörliga delar som nöts mekaniskt
- Modulärt
- Endast vatten som restprodukt om tankat med vätgas
- Ingen eller låga NO<sub>x</sub>-utsläpp
- Snabb tankning
- Oförändrad prestation full - tom tank
- Typiskt tre gånger längre livslängd jämfört med bly-syra batterier

Användning av bränsleceller är också platsbesparande jämfört med helelektiska maskiner eftersom inga laddningsstationer krävs för långtidsladdning. Plats för extra batterier behövs heller inte samt att det inte behövs personal för uppgiften. Initialkostnaden för ett serieproducerat bränslecellsfordon är inte inom samma storleksordning som en investering i ett helelektriskt, som inkluderar "bränslet" för driften.

Levererade bränslecellssystem har ökat väsentligt de senaste åren. Notera speciellt volymen till transportsektorn i Figur 5.

## Utveckling bränsleceller



Figur 5.

Källa: "The Fuel Cell and Hydrogen Annual Review, 2017", by 4th Energy Wave [15].

### Tankstationslösningar för vätgas

Att förse bränslecellsfordon med vätgas är en utmaning som länderna i ÖKS hanterar olika och har skilda strategier kring. För privatbilisten är det nödvändigt med tankstationer på lämpliga platser som passar in i deras logistik och vanor för att alternativet ska vara attraktivt på lång sikt. I Danmark finns idag tio tankstationer för vätgas, i Norge åtta och i Sverige fyra.

På Kjørbo i Norge finns en tankstation för vätgas som är solcellsdriven. Ytterligare en är under uppförande i Mariestad i Sverige. Således blir den vätgas som produceras helt förnybar och fri från utsläpp. De platser i världen där infrastruktur finns utbyggd och utvecklas i snabb takt är först och främst Tyskland, Japan och Kalifornien, men också land som Korea, England och Frankrike har infrastruktur för vätgas högt upp på agendan.

Aktörer med kritisk massa av fordon kan rigga sin egen lösning för tankning på olika sätt. Organisationer med tillgång till vätgas i sina egna processer producerar följaktligen bränslet på plats.

## **Intressenter för nollemissionsarbetsmaskiner**

Inom projektet har vi identifierat följande viktiga målgrupper som intressenter av arbetsmaskiner med nollemissionsdrift:

- Offentliga beställare/kravställare, exempelvis kommuner och regioner
- Entreprenadföretag/uppdragstagare
- Maskinuthyrare
- Arbetsmaskinstillverkare
- Leverantörer av drift och underhåll
- Regionala infrastrukturleverantörer

Bränslecellsfordon lämpar sig väl i verksamheter som har en kritisk massa av fordon och lokala förutsättningar för en egen infrastruktur, exempelvis

- Hamnar
- Distributionscentra med varuhantering, lagerhållning och logistik
- Flygplatser
- Processindustri
- Byggarbetsplatser inom städer
- Djurparker
- Kommunala tekniska förvaltningar (t ex park och fastighet)

## **Behovsstudie**

### **Arbetsmaskiner för kommunal drift**

Många kommuner har högt uppsatta miljömål och har som målsättning att vara klimatneutrala och fossilbränslefria år 2030. Detta innebär att hela den egna verksamheten bör bli fossilfri. I de flesta fall har man strikta policys för miljöfordon, men för att bli fossilbränslefria krävs också att det finns arbetsfordon och -maskiner tillgängliga på marknaden som kan möta behoven. I rollen som kravställare vid offentlig upphandling kan kommuner och regioner bli mycket viktiga aktörer för att driva på en omställning till fossilbränslefria arbetsmaskiner.

På grund av det stora intresset för emissionsfria arbetsmaskiner hos kommuner, har en mall till avsiktsförklaring arbetats fram inom Blue Move. Arbetet har gjorts i samarbete med Malmö stad, som har som mål att den egna verksamheten ska vara klimatneutral till 2020 och att hela kommunen ska vara det till 2030.

Avsiktsförklaringen, som avser kommunens intentioner om inköp av emissionsfria arbetsmaskiner, kan justeras efter varje kommuns egna önskemål och undertecknas. Dessa kan sedan kommuniceras till tillverkare av arbetsmaskiner för att visa på den stora efterfrågan på emissionsfria arbetsmaskiner som kommunerna gemensamt skapar. Vi kommer att jobba vidare med avsiktsförklaringar från fler offentliga aktörer, och sedan använda dessa för att driva på utvecklingen av emissionsfria arbetsmaskiner i samarbete med tillverkarna.

En inventering av tillgängliga arbetsmaskiner och arbetsverktyg samt hur de används inom kommuner har gjorts genom en enkätundersökning bland skånska kommuner, Göteborgs stad samt ett antal norska kommuner. En fördjupad undersökning av miljöprestanda hos kommunala arbetsmaskiner har genomförts i samverkan med fyra skånska kommuner.[16] Baserat på hur stor sammanlagd miljöpåverkan arbetsmaskinerna har, har de produktkategorier som är prioriterade att hitta emissionsfria alternativ till i kommunal verksamhet identifierats, se punktlistan nedan. Exempelvis har projektet valt att titta på nollemissionsalternativ för bl.a. minitraktorer och åkgräsklippare istället för fler alternativ till häcksaxar där det redan anses finnas fullgoda batteridrivna alternativ.

- Bevattningspumpar
- Handgräsklippare
- Hjul- och ryggblåsare
- Hjullastare/traktorer
- Minitraktorer
- Lövblåsare
- Röjsågar/trimmer
- Paddor/stampar
- Palltruckar/gaffeltruckar
- Robotgräsklippare
- Åkgräsklippare
- Ismaskiner i ishallar

## Övriga användare av arbetsmaskiner

Bränsleceller är särskilt intressant där ett tankställe kan delas mellan många intressenter inom ett begränsat geografiskt område eller i de miljöer där vätgas redan finns med i processen. Alternativt kan man tänka sig att mindre maskiner (t ex åkgräsklippare) avänder utbytbara vätgastankar av gasoltypen som lätt kan transporteras och återtankas på en central tankstation.

Verksamheter med kritisk massa av fordon och möjligheter till egen infrastruktur

Exempel på användare där det finns en stor anhopning av arbetsmaskiner är hamnar, varuhus och flygplatser. Här handlar det om stora maskiner med mycket stor miljöpåverkan, vilket globalt sett ger en enorm förbättringspotential. Det innebär samtidigt också stora utmaningar vid omställning till emissionsfri teknik. Hamnar är en målgrupp där arbetsmaskiner bland annat används vid lastning av fartyg. Dragbilar utgör en kategori fordon som är nödvändiga i vissa hamnar för att lossa lasten och därefter köra den vidare.

Varuhus använder arbetsmaskiner främst vid varuhantering i samband med lagerhållning och distribution. Det har funnits ett omfattande och långvarigt stödsystem för bränsleceller i USA som bidragit till att en stor marknad för bränslecellsdrivna truckar har vuxit fram i USA och att flera stora kedjor idag använder bränslecellstruckar. [17] En stor världsomfattande aktör som har intresserat sig för emissionsfri lagerhållning är IKEA, som testat bränslecellsdrivna truckar i Frankrike.



På flygplatser finns flera typer av arbetsmaskiner för exempelvis bagagetransporter, tankning, service av flygplan, passagerartransporter och snöröjning. Potentialen är globalt sett stor när det gäller utsläppsreduktion från dessa fordon.

Stora processägare har goda förutsättningar för vätgasdrift då de ofta har kritisk massa av fordon som arbetar inom ett begränsad område. Detta lämpar sig väl för fordon med bränsleceller samt en tankstation som försör dessa med vätgas. Kan vätgas dessutom finnas i företagets processer och därmed naturligt tillgängligt i och med lokala produktion, blir vinsten ur många aspekter, ännu större.

Under 2017 låg SSABs direkta koldioxidutsläpp (CO<sub>2</sub>) på 9,8 miljoner ton. Detta trots att SSAB:s produktionssystem är bland det mest koldioxideffektiva i världen. Runt 90 % av SSABs totala CO<sub>2</sub>-utsläpp genereras i den järnmalmsbaserade ståltillverkningen på företagets anläggningar i Luleå, Oxelösund och i finska Raahen. [18]

Riskbolaget HYBRIT Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology, samägt av LKAB, SSAB och Vattenfall har efter förstudier 2016-2017, startat tidigare i år med planering och projektering av en pilotanläggning. [19] Med så kallad direktreduktion kan vätgas användas för att skilja järnet från syret utan att, som idag, använda kol. Utmaningen är att hitta en fungerande process för att använda 100 % vätgas i industriell skala samt producera vätgas på ett energieffektivt sätt, så att det blir ekonomiskt försvarbart. Målet är att ha lösningarna på plats 2035. När direktreduktionen är i bruk finns vätgasinfrastrukturen på plats och bränsleceller i fordonen blir ett självklart val.

Totalt på SSAB:s anläggning i Oxelösund finns idag ca 50 truckar som var och en kör ca 1.500 mil i internt transporter och förbrukar 27 kubikmeter diesel per år.

Fullskaliga tester har startats med en första 14 tons vätgastruck från Kalmar Industries på plats som nu förses med vätgas genom en tankstation. [20]

### Byggarbetsplatser

Enligt Naturvårdsverkets Fördjupade analys av svensk klimatstatistik [1] ger arbetsmaskiner som används inom industri, bygg och anläggning upphov till ungefär 37 % av hela arbetsmaskinsektorns utsläpp. Inom många delar av industrin, bygg och anläggning, används stora och energikrävande arbetsmaskiner, som hjullastare, gruvtruckar och olika typer av grävmaskiner med hög motoreffekt, vilket påverkar utsläppen. Byggarbetsplatser inom städer ger således lokalt en stor miljöpåverkan. Många städer har redan stora luftkvalitetsproblem och allt fler städer inför zoner där dieseldieselbilar/-fordon förbjuds.

Den svenska regeringens initiativ Fossilfritt Sverige har till uppgift att påskynda den svenska klimatomställningen. De olika branscherna har bjudits in att skriva sina egna färdplaner för fossilfri konkurrenskraft. Initiativet är världsunikt och responsen har varit överväldigande. Under våren 2018 presenteras nio färdplaner för regeringen från betongbranschen, bygg- och anläggningssektorn, cementbranschen, dagligvaruhandeln, flygbranschen, gruv- och mineralbranschen, skogsnäringen, stålindustrin och åkerinäringen. Till hösten kommer ytterligare färdplaner att levereras.

Bygg- och anläggningssektorn ska minska utsläppen av växthusgaser med 50 % till 2030 jämfört med 2015 och med 75 % till 2040. 2045 ska branschen ha ett netto noll utsläpp av växthusgaser. Branschen har i sin färdplan identifierat ett antal nyckelfaktorer för att kunna lyckas, däribland långsiktiga spelregler som möjliggör investeringar och omställning till klimatneutrala material samt offentlig upphandling som motor för omställning. De skickar också med en uppmaning till riksdag och

regering om att bland annat att ta fram en strategi och åtgärdsplan i samråd med marknadens aktörer för tillgång och distribution av hållbara och fossilfria bränslen till bygg- och anläggningssektorn. [21]

I Norge arbetar regeringen med en handlingsplan för fossilfria byggarbetsplatser i transportsektorn, som förväntas bli färdig 2018 eller 2019. Ett underlag till handlingsplanen, Muligheter og barrierer for fossilfrie anleggsplasser i transportsektoren - Kunnskapsgrunnlag til Samferdselsdepartementets handlingsplan og grunnlag for Nasjonal transportplan 2022–2033, är framtaget av Jernbanedirektoratet, Avinor, Nye Veier, Kystverket och Statens vegvesen och överlämnat till Samferdselsdepartementet. [22] Underlaget konstaterar att det finns behov av fler pilotprojekt med utsläppsfria maskiner (elektriska och vätgasdrivna) som bidrar till att ytterligare utveckla tekniken, där olika storlekar, olika tidpunkter och olika klimatzoner testas. Ett pilotprogram inom byggsektorn skulle kunna ge en mer systematisk kunskapsbyggnad och möjliggöra att norska företag kan positionera sig som leverantörer av el- och vätgaslösningar inom branschen. Statens vegvesen planerar att börja testa klimatvänliga lösningar i cirka 10 projekt under perioden 2018-2023.

I Danmark har Miljöstyrelsen varit initiativtagare till ett partnerskap för icke väggående maskiner. Sekretariat för initiativet är Teknologisk Institut och i styrgruppen finns Miljöstyrelsen, Danska Byggverket och Köpenhamns stad. Syftet med projektet, som startades upp i januari 2015 och avslutas i september 2018, är att få branschens uppfattning om vilka möjligheter Danmark har att minska luftföroreningar från arbetsmaskiner. Projektet har genomförts som en serie workshops med syfte att bland annat ha en dialog om specifika danska styrkor och utmaningar i förhållande till de nya EU-kraven. [23]

Trafikverket har tillsammans med Göteborg, Malmö och Stockholm under våren 2018 beslutat om gemensamma miljökrav som gäller vid entreprenadupphandling. Bland annat går man från 2020 över till ålderskrav på arbetsmaskiner, för att lättare kunna följa upp efterlevnaden i praktiken. Godkända drivmedelstyper har lagts till och specificerats, likaså har klimatpåverkande krav tillkommit. Det har öppnats upp för fler godkända drivmedel för att underlätta att uppfylla klimatkravet. [24]

Inom ramen för Blue Move har rapporten En grønnere byggeplass[25] tagits fram. Rapporten ger en överblick över grönare alternativ till traditionella petroleumbaserade bygg- och anläggningsmaskiner och inkluderar också transportmedel till och från arbetsplatsen, se mer i kapitlet Teknikkartläggning.

I rapporten Potensiale for midlertidige hydrogenfyllestasjoner i Norge og Sverige[26], också den framtagen inom Blue Move, tas bland annat potentialen för tillfälliga vätgastankstationer för byggarbetsplatser upp. En kort sammanfattning av resultaten från denna studie presenteras i avsnittet Tillfälliga vätgastankstationer.

## **Teknikkartläggning**

### **Arbetsfordonstillverkares ambitioner och frågeställningar gällande emissionsfri drift**

För att kartlägga arbetsfordonstillverkares syn på emissionsfria arbetsmaskiner gjordes en undersökning bland arbetsfordonstillverkare i södra Sverige, medlemmar i branschföreningen Tunga fordon. [27] Under intervjuerna identifierades vilka typer av arbetsmaskiner som kan ha mest nytta av batteri- eller vätgasdrift, inom vilka användningsområden och miljöer kundnyttan är som störst, och vilka barriärer och utmaningar som finns kring infrastruktur för energiförsörjning.

De största barriärer som tillverkarna upplever är infrastrukturen för laddning/tankning och energitätheten i dagens laddningsbärare.

Gällande vilka typer arbetsmaskiner har mest nytta av el och/eller vätgas och vilka användningsområden är mest intressanta ser tillverkarna olika möjligheter, troligen beroende på att de kommer ifrån olika branscher, vilket gör att barriärer och utmaningar ser olika ut. Olika typer av maskiner kommer att behöva olika typer av lösningar.

Maskiner som används i miljöer där extra hänsyn behöver beaktas, såsom arbete nattetid, i städer, vid skolor, inomhus och i närheten av sjukhus, har stor potential för byte till emissionsfri drift förutsatt att ett helt arbetspass kan täckas utan för mycket avbrott. Utvecklingen mot vätgasdrift medför förutom nya maskiner också nya krav på exempelvis infrastruktur och processer vilket kräver nya investeringar och affärsmodeller.

Hos de tillverkare vars maskiner är för stora eller används på ett sätt som gör att elektrifiering med dagens energibärare (batterier) inte är möjlig ses hybriddrift som en möjlighet. En annan möjlig väg framåt är också, som Volvo utvärderar i sitt projekt Electric Site[28] tillsammans med bl.a. Skanska, att maskinerna görs mindre, och i vissa fall autonoma, för att skapa effektivare arbetsplatser. Kapaciteten hos maskinerna är nedbantad av den anledningen att dagens energibärare (batterier) inte har tillräcklig kapacitet för effektuttaget i dagens ordinarie maskiner med förbränningsmotorer. I många fall är potentialen för miljövinster i sin helhet större i effektivare processer och bättre produktionsplanering än att hitta ett miljövänligare bränsle. I projektet Electric Site har samarbetet mellan maskinerna varit viktigt. Tidsluckor har använts för att ladda de elektrifierade fordonen på ett smart sätt, vilket har inneburit många små korta laddningar istället för få och större.

Volvo CE är också drivande i ett initiativ för hållbara byggarbetsplatser, Construction Climate Challenge[29] i vilket aktörer längs hela värdekedjan samlas för att minska sin gemensamma klimatpåverkan. Det tas nu fram ett verktyg för att mäta en hel byggprocess samlade CO<sub>2</sub>-utsläpp.

Fordonstillverkare har en möjlighet att sälja nollemissionsfordon till kunder där värderingar om miljön är viktigare än priset. Respondenten trodde i det här fallet på dyrare maskiner där inköpet av maskinen ses som en investering i miljön. Hydrauliken är en stor energiförbrukare i arbetsmaskiner. För skogsmaskiner är hydrauliken en stor del av energibehovet, vilket gör en elektrifiering av hydrauliken

extra intressant för den typen av maskiner. Om en elmotor kan bygga upp trycket i hydrauliken istället för en dieselmotor finns stora miljövinster att hämta eftersom verkningsgraden då blir betydligt högre.

Det är viktigt att se till helheten när det gäller driftsekonomi. Låg kostnad för bränslet kanske inte alltid minskar Total Cost of Ownership (TCO) om det exempelvis åtgår mycket tid för tankning/laddning som sänker produktiviteten.

De tillverkare vars arbetsmaskiner eller utrustning arbetar i miljöer där störst fördelar finns med el - och/eller vätgasdrift kommer att vara först att utveckla dessa. Ett exempel är tystgående maskiner vilket medför att kundutnyttjandet maximeras. Kan arbetsmaskinerna optimeras för användningsområdet samt infrastruktur för laddning/tankning skapas är dessa barriärer för drift undanröjda.

### **Arbetsmaskiner i kommunal regi**

I tidigare nämnda behovsstudie [16] har en kartläggning gjorts av vilka arbetsmaskiner och arbetsverktyg som finns inom en kommun och hur dessa används samt vilka produktkategorier som kommunerna själva prioriterar att hitta emissionsfria alternativ till. Tillgängliga nollemissionsalternativ för kommuner och andra verksamheter som vill ha miljövänliga alternativ har sammanställts i kartläggningen längre ner.

Det händer mycket på produktsidan och batteridrift som alternativ blir allt vanligare, framförallt till de maskiner som inte kräver väldigt mycket effekt under en längre tid. Batterier blir allt bättre med utökad livslängd och kan driva större och större motorer samt laddas snabbare. Dessutom blir de också allt billigare och tar mindre plats. Det finns prognoser som säger att om fem år kostar batterier hälften så mycket som idag och har dubbel kapacitet.

Tack vare utvecklingen inom batterier finns det nu batteridrivna handgräsklippare, röjsågar, stampar, robotgräsklippare, snöslungor och åkgräsklippare för professionellt bruk. Även hjullastare, traktorer, minitraktorer och truckar finns med batteridrift, men här skulle vätgasdrift också kunna vara möjlig om tankningsställen finns i tillräcklig omfattning.

Mobila vätgasenheter skulle kunna fungera som tanksställen eller strömkälla för sladdburna maskiner som inte kan drivas med batteri, såsom betongblandare, berg- och jordborrar, stubbfräs, hjulblåsare, kapar och torvmaskiner. Norbetong tillsammans med flera andra företag arbetar på en nollutslippslösning för transport och leverans av betong, inklusive leveransen av betong på byggplatsen. Projektet innebär ombyggnation av betongbil till utsläppsfri trumlingsdrift, ombyggnation av pumpbil till utsläppsfri pumpdrift, inköp av utsläppsfria lastbilar, förenkling av energitilförseln till betongblandare och byggplatsen. Detta blir en form av plug-in batterilösning (under transport) sedan bilarna kopplats till strömkabel på byggplatsen.

Större mobila vätgasdrivna elverk finns i dagsläget inte. Ett intressant alternativ är att använda vätgasdrivna personbilar. Honda och Toyota har personbilar avsedda för Asien som är utrustade med 9 kW-uttag. Detta för att bilarna ska kunna fungera som kraftkälla vid eventuella naturkatastrofer.

Under förutsättning att den el som används produceras miljövänligt är elektrifierad drift ett mycket bra alternativ för klimatet. Andra viktiga aspekter är att elektrifierad drift även får positiv påverkan på arbetsmiljö och ergonomi:

- Ofta lägre ljudnivå - maskiner kan användas utan att störa omgivning i samma utsträckning, vilket gör att de kan användas fler timmar på dygnet. Användaren behöver inte heller riskera skada sin hörsel i lika hög grad.
- Inga avgaser - maskiner och redskap kan användas inomhus eller i andra miljöer där avgaser tidigare gjort det omöjligt. Användaren av maskinen slipper dessutom att andas in skadliga ämnen.
- Mindre vibrationer - förbränningsmotorernas vibrationer är ofta källa till arbetsskador. Med elmotor/batteridrift reduceras vibrationerna avsevärt och vissa typer av arbetsskador kan undvikas.
- Lägre vikt - batteri tillsammans med elmotor väger ofta mindre än motsvarande förbränningsmotor vilket ger en lägre vikt och bättre ergonomiska egenskaper. Går det dessutom att använda sig av ryggburet batteri reduceras vikten ytterligare för verktyget/maskinen.

Ett bekymmer i jämförelsen mellan olika produkter är avsaknaden av standarder för tekniska specifikationer, såsom drifttid och räckvidd. Värdena som uppges nedan är hämtade från den officiella information som tillverkarna angivit om sina produkter. Därför uppmanas den intresserade att själv göra ordentliga tester och utvärderingar innan eventuella inköp.

## **Resultat av kartläggning fördelat på produktkategori**

### Bevattningspump

En batteridrivna bevattningspump från K-vagnen som kan leverera 24 l/min.

### Handgräsklippare

Flera leverantörer har produkter för professionellt bruk:

- Duocut 46 N-ERGY PACTS från Etesia klarar klippa upp till 2000 kvm.
- Husqvarna LC 141Li från Husqvarna klarar 500 kvm.
- Rasion Smart från Pellenc finns i två varianter och klarar upp till 3600 kvm.
- Bosch har GRA 53 Professional som har en drifttid på upp till 60 min.

### Hjul- och ryggbåsar

Det som finns att hitta på marknaden är egentligen en handblås där användaren har batteriet på ryggen. Det finns inget batteridrivna ryggburet eller hjulburet i Europa.

### Hjullastare/Traktor

Eldrivna hjullastare och traktorer har börjat dyka upp på marknaden:

- WL20e från Wacker Neuson har redan visats upp i Skåne.
- eHoftrac från Weidemann är ett annat alternativ.

- 5055e från Kramer, ett företag som ingår i Wacker Neuson har också en elektrisk hjullastare.

#### Ismaskiner i ishallar

Flera tillverkare har batteridrivna ismaskiner för ishallar i sitt produktsortiment:

- Zamboni leverera tre olika modeller: Model 552, Model 560 AC och Model 650.
- Olympia har två olika modeller: Olympia E och Plus E där den sistnämnda är en variant med större vattentank.
- Icebear har en modell som heter Icebear Electric.

#### Lövblåsare

Husqvarna, Stihl, Pellenc, Greenworks Pro och Tanaka/Hitachi har alla batteridrivna lövblåsare för proffsbruk. Tillsammans med ett ryggburet batterisystem förlängs drifttiden avsevärt, upptill 6,5 h hos Stihl's BGA100.

#### Minitraktor

Gränsen från minitraktor till traktor är inte så tydlig. Weidemanns traktor eHoftrac är ett exempel även här.

#### Minidumper

Wacker Neuson har en eldriven minidumper, DT10e, med en drifttid på upp till 8 h.

#### Minigrävmaskin

Wacker Neuson har även en minigrävmaskin som kan köras helt på el via sladd från ett externt aggregat eller på diesel. Möjligheten att välja gör att grävmaskinen kan användas inomhus om så behövs. Modellen heter 803 dual power och aggregatet heter HPU8.

#### Minilastare

Under 2017 startar Avant sin produktion av sin eldrivna minilastare e5. Den kommer att ha en drifttid på upp till 5 h och en integrerad laddstation vilket gör att den kan laddas i vilket uttag som helst.

#### Röjsåg/trimmer

Tillräckligt kraftfulla röjsågar och trimrar för professionellt bruk finns numera på marknaden:

- City Cut brush cutter och Excelion 1200 från Pellenc kan användas med deras ryggburna batterisystem.
- Husqvarna har också röjsågar med ryggburna system: 536LiLx och 536LiRx.

#### Padda eller stamp

Batteridrivna paddor har inte hittats, men däremot två batteridrivna varianter på stampar:

- AS 30e och AS 50e från Wacker Neuson kan köras 20 respektive 30 min med full laddning och dessa har en arbetsvikt på 41 respektive 70 kg.

### Palltruck/gaffeltruck

- Det finns gott om tillverkare som levererar eldrivna gaffeltruckar. Några exempel är Linde, Still, Toyota och Unicarrier.
- Bränslecell som alternativ till batteridrift kommer mer och mer. Med bränsleceller kan påfyllningstiden förkortas och batteriets miljöfarliga ämnen undvikas. Vätgasen har en högre energitäthet och påverkas inte av lägre temperaturer i lika stor utsträckning som batterier gör. En bränslecellstruck kan ha en driftstid på 12 h utan att tappa effektivitet och tankas därefter på några minuter. Normalt tryck är 350 bar. Bränslecellstruckar kan ersätta LPG-truckar och medför då en lägre ventilationskrav. I USA finns det gott om bränslecellsdrivna truckar, där många batteridrivna truckar byggs om till bränslecellstruckar genom att ersätta batteriet med en bränslecell. PowerCell är ett exempel på företag som arbetar med den typen av konvertering. I Europa har Colruyt en flotta på 150 bränslecellsdrivna truckar. Genom projektet HyLIFTs andra fas kommer ytterligare 200 st komma på plats på två siter i Europa, däribland hos Colruyt.

### Robotgräsklippare

Numera finns det robotgräsklippare som är avsedda för större ytor såsom parker och fotbollsplaner:

- Yard 101-301 är en serie av robotgräsklippare från Wiper som klarar 10.000 – 30.000 kvm med upp till 45 % lutning.
- ParcMow och BigMow är två modeller från Belrobotics som klarar upp till 10.000 respektive 20.000 kvm med upp till 30 % lutning.
- Husqvarnas 300- och 400-serier finns på flera håll i offentliga installationer. Deras största klarar upp till 5.000 kvm +/- 20 % och en lutning upp till 45 %.

### Åkgräsklippare

Flera tillverkare levererar batteridrivna åkgräsklippare:

- Rider Batteri från Husqvarna klarar upp till 500 kvm.
- Bahia Electric från Etesia klarar 2.500 kvm vid 2 h användning. Batterisläp finns som tillbehör och då ökar användningstiden med 1,5 h.
- Eclipse 322 Electric från Jacobsen med en driftstid på upp till 3,5 h.
- Observera att det inte finns något standardiserat sätt att göra jämförelser på, vilket gör det svårt att ställa de olika prestandamåtten mot varandra.

### Övrigt

Här listas produkter som inte fanns med i enkäten till kommunerna, men som är värda att lyfta fram:

- K-heat compact el från K-vagnen som bekämpar ogräs med hett vatten istället för gasol eller andra bekämpningsmedel. Det går att montera den här lösningen på en elbil. Ett helt miljövänligt och effektivt sätt att bekämpa ogräs.
- Batteridrivna snöslunga från Greenworks Pro med upp till 45 min driftstid.
- Station för solcellsladdning av batterier från Pellenc.

- Volvo CE arbetar tillsammans med Skanska i projektet Electric Site där de tagit fram flera olika typer av elektrifierade arbetsfordon i konceptform.

För utsläppsfria arbetsmaskiner och verktyg är det i dagsläget i huvudsak batteridrift som gäller även om bränsleceller eller en kombination bränslecell och batteri också skulle kunna vara ett alternativ på sikt när det gäller de större tillämpningarna. Det experimenteras med vätgas som energibärare i flera tillämpningar och steget för en elektrifierad produkt med batteri till bränslecell är inte så långt som från förbränningsmotor till eldrift.

Tack vare utvecklingen på batterisidan har många konkurrenskraftiga alternativ vuxit fram till traditionella arbetsmaskiner och verktyg drivna av förbränningsmotorer. Batteriutvecklingen har gått fort framåt och ser ut att fortsätta så, vilket kommer möjliggöra ännu fler alternativ inom emissionsfria lösningar. Tekniken bidrar som nämnts även till andra positiva effekter som är viktiga att belysa, i form av förbättrad arbetsmiljö på grund av lägre ljudnivå, mindre vibrationer, lägre vikt, bättre ergonomi och mindre eller inga avgaser. Om effekterna ovan, enskilt eller tillsammans, bidrar till en lägre sjukskrivningsfrånvaro kan även de ekonomiska effekterna bli av betydelse och inte bara miljöaspekterna.

## Elektrifiering av arbetsmaskiner i olika klasser

I det följande illustreras status för utvecklingen och tillgänglighet av elektrifierade arbetsmaskiner i tabellform. Det finns en tabell för respektive lätta, medeltunga och tunga arbetsmaskiner. Det finns ingen skarp avgränsning mellan de olika kategorierna, men vikt och energibehov ligger till grund för uppdelningen.

Varje tabell har en kolumn för de olika typerna av elektriska drivlinor: El-hybrid (dvs förbränningsmotor ingår i drivlinan som därmed inte är emissionsfri), batterielektrisk och bränslecellselektrisk (som också innehåller batteri för effektutjämning). Raderna i tabellerna beskriver maskinernas marknadsmogenhet. Är de i demonstrationsfasen håller maskintillverkaren på att lära sig om tekniken för att eventuellt implementera den i framtida produkter. Är maskinen i prototypfasen bör man förvänta att en serieproducerad produkt finns tillgänglig inom ett fåtal år.

Raden *Produkt* beskriver att maskinen redan finns på marknaden. Tabellerna ger relevanta exempel på olika maskiner med olika grad av marknadsmogenhet. Det finns inte utrymme för att ge en heltäckande bild för alla arbetsmaskiner. Huvudfokus har lagts på maskiner som utvecklas/produceras i ÖKS-regionen, då det är här det finns störst möjlighet att skapa privata/offentliga samarbeten mellan maskinleverantörer och kravställare som kan accelerera utvecklingen.

En lätt, ofta handhållen produkt med el-hybriddrift blir för dyr och konstruktionen blir för tung. Därför klassar vi denna kategori som ej relevant i Tabell 1. Oftast vill ren batteridrift uppfylla behovet, särskilt om det är enkelt att utföra batteribyten under arbetspasset, se Diagram 4. Om batteribyten eller -laddning är en logistisk utmaning kan det vara relevant med bränslecellsdrift som för lastcykeln Velove. Slutligen är situationen för de tunga maskinerna den motsatta. Här är energibehovet så stort att en ren batterielektrisk lösning sällan räcker till. Det finns elhybridlösningar på marknaden vilka bidrar till att öka acceptansen för eldrift i en bransch där teknikplattformar har lång livslängd.



Generellt kan man förvänta att utvecklingen går mot eldrivna maskiner där de mindre är rent batteridrivna och de större har bränslecell. Elhybridlösningar med biodrivmedel kommer också i fortsättningen att ha relevans.

Ett exempel på ett företag som arbetar med elektrifiering i större skala är Kalmar, en del av Cargotec. Kalmars första elektriska gaffeltruck kom 2008 och företaget arbetar aktivt för att erbjuda både hybrid- och eldrift på sina fordon. Redan i dag är mer än 50 % av Kalmars produkter tillgängliga med elektriska alternativ. De kommer 2021 att kunna erbjuda hela sitt sortiment i elektriska versioner.[30]

För att nå uppsatta klimatmål om fossilfria transporter 2050 betonar lastbilstillverkaren Scania i sitt white paper The Pathways Study: Achieving fossil-free commercial transport by 2050, maj 2018, att industrin måste börja en förändringprocess i större skala nu. Ett teknikskifte inom denna typ av bransch tar tid att få genomslag, eftersom fordonen har lång livslängd. Samma gäller för arbetsmaskinsbranschen som drar nytta av utvecklingen inom lastbilar då man delar motorer och komponenter.

Man tar i rapporten upp väsentlig minskning av koldioxidutsläpp med optimerade transportsystem genom förbättrad rutt- och lastplanering. Det finns flera framkomliga vägar mot en fossilfri framtid med olika bibränslen och nya drivlinor. Bränsleceller och elektrifierade vägar är viktiga men passar i viss geografi och lämpar sig för vissa applikationer. Scania pekar på att utöver ny teknologi behövs infrastruktur, ändrade vanor och partnerskap. [31]

I tillämpningar med lätt utrustning finns det på marknaden idag arbetsmaskiner med batteri-elektrisk drift och på demo-stadiet bränslecell-elektriska maskiner, se Tabell 1.

### Status för lätt utrustning

Mogenhet	El-hybrid	Batteri-elektrisk	Bränslecell-elektrisk
<b>Produkt</b>	<i>Ej relevant</i>	Husqvarnas batteriserie för park och skog, Huskvarna	
		Nomaco/Melex, Halmstad	
		Ellastcykel (muskelybrid) Velove, Västra Frölunda	
<b>Prototyp</b>			
<b>Demo</b>			Ellastcykel Velove, Västra Frölunda

Tabell 1.

I tillämpningar med medeltung utrustning finns det både batteri-elektriska och bränslecells-elektriska alternativ på marknaden, se Tabell 2.

### Status för medeltung utrustning

Mogenhet	El-hybrid	Batteri-elektrisk	Bränslecell-elektrisk
<b>Produkt</b>		Truck UniCarriers, Mölnlycke  Flygplansdragare Kalmar Motor, Kalmar  Truck Kalmar Industries Ljungby	Truck Toyota (ej Sverige)
<b>Prototyp</b>		Grävmaskin Volvo CE Eskilstuna	
<b>Demo</b>	Redskapsbärare Kärcher Belos Tranås	Autonom dumper Volvo CE Braås  T/Log Autonom truck Einride Göteborg	

Tabell 2.

I tillämpningar med tung utrustning finns det batteri-elektriska elhybridalternativ på marknaden, medan bränslecells-elektriska alternativ endast finns på demo-stadiet, se Tabell 3.

### Status för tung utrustning

Mogenhet	El-hybrid	Batteri-elektrisk	Bränslecell-elektrisk
<b>Produkt</b>	Flygplansdragare Kalmar motor Kalmar  Reachstacker Konecranes Lifftrucks Markaryd	Scooptram Epiroc Örebro	
<b>Prototyp</b>	Hjullastare Volvo CE Eskilstuna		
<b>Demo</b>			Gaffeltruck Kalmar Industries Ljungby

Tabell 3.

I den tidigare nämnda rapporten En grønnere byggeplass [25], framtagen inom Blue Move, ges en överblick över grönare alternativ till traditionell petroleumbaserade bygg- och anläggningsmaskiner. Kartläggningen inkluderar också transportmedel till och från arbetsplatsen. Förutom fokus på byggarbetsplatser ingår också andra maskiner som kan vara intressanta för kommuner. I rapporten ges exempel på lastbilar, gaffeltruckar, grävmaskiner, hjullastare, mobilkranar, dumpers och andra maskiner.

Projektet Test av fossilfrie maskiner og kjøretøy startades i januari 2017 upp av Østfold fylkeskommune i Norge.[32] Med utgångspunkt i att alla kommuner i Østfold och Folloregionen har förbundit sig att ha fossilfria transporter till år 2030, syftar projektet till att undersöka möjligheterna att använda fossilfria fordon och arbetsmaskiner. I samarbete med entreprenörer och företag inom projektområdet kommer projektet att hyra in aktuella fordon och maskiner för att sedan låna ut dem gratis till intresserade användare under en kort period. På så sätt får användarna möjlighet att bedöma om de fungerar för de tilltänkta uppgifterna innan beslut tas om inköp av egna fordon och maskiner. Projektet har gjort en omfattande studie av aktuella fossilfria arbetsmaskiner och -fordon på marknaden, inte begränsad till enbart emissionsfri drift. Bland exemplen återfinns bussar, traktorer, skogsmaskiner, anläggnings- och entreprenadmaskiner, dumpers, mobilkran, handhållna skogs- och trädgårdsmaskiner samt andra tillämpningar såsom ismaskiner, flygplatsteknik och truckar.

### **Tillfälliga vätgastankstationer**

Potentialen för tillfälliga vätgastankstationer i Norge och Sverige har studerats och beskrivits i en separat rapport inom Blue Move: Potensiale for midlertidige hydrogenfyllestasjoner i Norge og Sverige. [26] Rapporten tar även upp lösningar för vätgastankstationer specifikt för byggarbetsplatser, för tankning av arbetsmaskiner.

Analysen visar att ingen av de stationslösningar som erbjuds kommersiellt idag kommer att ge ekonomisk vinst i sig, men de är betydligt billigare än permanenta fullskaliga lösningar. De är i behov av stöd både för etablering och drift. I studien konstateras det att det är möjligt att se tillfälliga tankstationer för vätgas som en katalysator för ökad marknadsutveckling inom bygg och anläggning. Det rekommenderas att använda de tillfälliga vätgastankstationerna som en del av ett större business case där man försöker skapa en marknad som är tillräckligt stor för att motivera upprättandet av en permanent station i stor skala. Den mest ekonomiska lösningen är dispenserlösningar, dvs lösningar utan elektrolysör med endast kompressor, kylning och påfyllningsenhet, förutsatt att man har tillgång enkel till vätgas.

### **Slutsatser och rekommendationer för fortsatt utveckling**

Elektrifiering är ett självklart nästa steg för arbetsmaskinerna, vilket är en redan pågående process. Det ger förutom miljövinster också hälsofördelar med mindre buller och vibrationer, och att man kan köra inomhus med dem. Ren batteridrift begränsas när energibehovet är för stort eller när tiden för laddning är en begränsning. Då blir istället lösningar med bränsleceller och vätgas intressanta. Dessa i sin tur begränsas i dagsläget av avsaknaden av vätgasinfrastruktur.

Omställningen kan antingen ses besvärande eller som en möjlighet till nya affärer. För att nå framgång är det viktigt att beställare möter tillverkare och leverantörer i lösningar som till en början har en lokal förankring, t ex kring en tankstation. Det kan vara en byggarbetsplats, hamn, flygplats, kommunal teknisk förvaltning eller annan kommunal funktion (inklusive underleverantörer) eller ett logistikcentrum.

Med en kraftigt ökande efterfrågan på fossilbränslefria arbetsmaskiner finns det goda chanser att ta viktiga marknadsandelar för de tillverkare som väljer att bli föregångare inom teknikutvecklingen. Förutsättningarna är speciellt goda eftersom Skandinavien har leverantörer i världsklass både av arbetsmaskiner, bränsleceller, elektrolysörer och tanklösningar för vätgas. Exempelvis finns bränslecellstillverkaren PowerCell i Göteborg, elektrolysertillverkaren Nel Hydrogen Electrolyser i Norge samt tankstationsleverantören H2Logic (Nel Hydrogen Fueling) i Danmark. Danska aktörer är bland de ledande i värden inom utveckling av tankningsinfrastruktur för vätgas. [33]

Kommuner kan visa sig bli en av nyckelrollerna i omställningen till emissionsfri drift. Drivkraften som skapas av deras mål att bli klimatneutrala bidrar till att utvecklingen påskyndas.

En nyframtagen Klimat- och energistrategi för Skåne, som beslutades i maj 2018, ger vägledning för det regionala klimat- och energiarbetet och skapar förutsättningar för att nå ett klimatneutralt och fossilbränslefritt Skåne år 2030. Det satta målet innebär att utsläppen av växthusgaser i Skåne år 2030 ska vara minst 80 % lägre än år 1990. [34]

Enligt Klima- og energistrategi för Oslo är målet att reducera stadens utsläpp av CO<sub>2</sub> med 50 % till 2020 och med 95 % till 2030, jämfört med 1990 års nivå. [2] Oslo kommer att verka för att all tung transport och bygg- och anläggningsverksamhet ska kunna gå på förnyelsebart bränsle innan 2030.

Köpenhamns kommun strävar efter att bli en CO<sub>2</sub>-neutral huvustad till 2025 och för att nå målet kommer emissionsfria arbetsmaskiner att spela en viktig roll. Köpenhamns kommun har undertecknat en avsiktsförklaring om att de önskar köpa emissionsfria arbetsmaskiner och kommer ställa krav på emissionsfria bygg- och anläggningsuppdrag i framtiden.

Med så ambitiösa kommuner inom ÖKS ser vi det som självklart att fortsätta arbeta med att driva på utvecklingen av arbetsmaskiner för kommunal drift och för kravställning i kommunal upphandling.

Tack vare den stora potentialen som finns för att minska utsläppen från byggarbetsplatser har en projektidé kring nollemissionsbyggarbetsplatser vuxit fram och ett förstudieprojekt inom Interreg ÖKS har inletts med syfte att utveckla detta område ytterligare. Förstudieprojektet med namnet Zero Emission Construction Site syftar till att öka användningen av förnybar energi genom att främja användningen av utsläppsfria arbetsmaskiner för bygg- och anläggningsplatser. Projektet adresserar maskintillverkare och leverantörer som har intresse av att utveckla nollemissionsarbetsmaskiner men också offentliga organisationer som vill ställa krav på utsläppsfria bygg- och anläggningsplatser och/eller emissionsfria arbetsmaskiner för den kommunala driften i sina upphandlingar.

Trafikverket har tillsammans med Göteborg, Malmö och Stockholm tagit fram gemensamma miljökrav som gäller vid entreprenadupphandling. Det är en viktig signal

att Sveriges tre största städer ökar sina ambitioner. Genom dessa processer byggs ny kompetens i arbetet med förbättrad hållbarhet. [24]

Kommunikationen mellan arbetsmaskinsbranschen och beställarna angående krav på emissionsfri drift i kommunala energiplaner och -strategier är mycket viktig, och i den har vi som medverkande i projektet spelat en roll. Vi har inom projektet faciliterat ett antal möten mellan bransch och beställare för att matcha ömsesidiga förväntningar och accelerera utveckling. Detta är en funktion vissa av parterna i projektet kan uppfylla även framöver.

## Referenser

1. Naturvårdsverket, Fördjupad analys av svensk klimatstatistik 2017, [www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6782-3.pdf?pid=211855](http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6782-3.pdf?pid=211855)
2. Klima- og energistrategi for Oslo, <https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2017/03/Klima-og-energistrategi-for-Oslo-NO.pdf>, 2016
3. Helena Berg, Libergreen, 2017-03-13
4. Mats Pervik, Göteborgs Stads Leasing AB, 2016-10-04
5. Supermiljöbloggen, <http://supermiljobloggen.se/nyheter/2016/04/energilagring-sa-funkar-det>, 2018-06-19
6. Batteriföreningen, <https://batteriforeningen.se/egenskaper-hos-olika-litiumjonceller-och-batterier>, 2018-06-15
7. Uppsala universitet, Kemiska sektionen, <http://www.kemi.uu.se/forskning/strukturkemi/aabc/forskningsomr%C3%A5den/litium-batterier/>, 2018-06-19
8. Patrik Johansson, Kondenserade materiens fysik, Institutionen för fysik, Chalmers, 2017-03-13
9. Power Circle blogg, <http://powercircle.org/nyhet/kobolt-batterier-och-lidande-kongo/>, 2016-06-18
10. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, <https://www.msb.se/sv/Forebyggande/Transport-av-farligt-gods/Vanliga-fragor/Litiumbatterier>, 2016-06-18
11. Amnesty, <https://www.amnesty.org/en/latest/news/2017/11/industry-giants-fail-to-tackle-child-labour-allegations-in-cobalt-battery-supply-chains>, 2018-06-18
12. Anders Lundblad, Miljötålighet, Säkerhet och transport RISE, 2017-12-15
13. Forskning oc framsteg, <https://fof.se/tidning/2008/2/bransleceller-effektivt-men-dyrt>, 2018-06-14
14. Råvarumarknaden, <http://ravarumarknaden.se/platina-ravaran-som-ar-trettio-ganger-sa-sallsynt-som-guld>, 2018-06-14
15. 4th Energy Wave, The Fuel Cell and Hydrogen Annual Review, 2017
16. Region Skånes miljövårdfond; Tunga fordon, Magnus Mörstam, Behovs- och marknadsanalys av utsläppsfria arbetsmaskiner i kommunal regi, 2016
17. DOE – Department of Energy USA, Industry Deployed Fuel Cell-Powered Lift Trucks, [https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/16012\\_industry\\_deployed\\_fc\\_powered\\_lift\\_trucks.pdf](https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/16012_industry_deployed_fc_powered_lift_trucks.pdf), 2018-06-18
18. SSAB, [www.ssab.se/SSAB/Hallbarhet/Hallbar-verksamhet/Koldioxideffektivitet-SSAB](http://www.ssab.se/SSAB/Hallbarhet/Hallbar-verksamhet/Koldioxideffektivitet-SSAB), 2018-06-18
19. Jernkontoret, HYBRIT - fossilfri stålproduktion, [www.jernkontoret.se/sv/vision-2050/koldioxidfri-stalproduktion/](http://www.jernkontoret.se/sv/vision-2050/koldioxidfri-stalproduktion/)
20. Magnus Andersson , Kalmar Global/Cargotec, 2018-05-04
21. Fossilfritt Sverige, [www.fossilfritt-sverige.se](http://www.fossilfritt-sverige.se), 2018-06-20
22. Statens vegvesen, Muligheter og barrierer for fossilfrie anleggsplasser i transportsektoren - Kunnskapsgrunnlag til Samferdselsdepartementets handlingsplan og grunnlag for Nasjonal transportplan 2022–2033, 2018-06-06
23. Teknologisk Institut, [www.teknologisk.dk/projekter/projekt-partnerskab-for-ikke-vejgaende-maskiner/37927](http://www.teknologisk.dk/projekter/projekt-partnerskab-for-ikke-vejgaende-maskiner/37927), 2018-06-15

24. Trafikverket, Gemensamma miljökrav för entreprenader 2018, [www.trafikverket.se/contentassets/f8269da30de047a38b10a76f80fcb43c/gem\\_miljokrav\\_entreprenader\\_20180302.pdf](http://www.trafikverket.se/contentassets/f8269da30de047a38b10a76f80fcb43c/gem_miljokrav_entreprenader_20180302.pdf), 2018-03-02
25. Blue Move; Kunnskapsbyen Lillestrøm, Ulrik Aa. Eriksen, En grønnere byggeplass, 2017-06-29
26. Blue Move; Greensight, Hilde Holdhus, Tore Solheimslid, Martin Hirth og Tomas Fiksdal, Potensiale for midlertidige hydrogenfyllestasjoner i Norge og Sverige, 2018-05-08
27. Energimyndigheten; RISE, Magnus Mörstam, Förstudie av avgasfria arbetsmaskiner med batterier och bränsleceller:, 2017-03-31
28. Volvo Construction Equipment, Press Information Volvo Construction Equipment predicts up to a 95% reduction in carbon emission at electric site, sep 2016 <https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/global-site/our-offer/brochures/volvoconstructionequipmentpredictsuptoa95reductionincarbonemissionsatelectricsitefinal1609.pdf?v=bE4yPw>, 2018-07-04
29. Volvo Construction Equipment, [www.constructionclimatechallenge.com](http://www.constructionclimatechallenge.com), 2017-07-04
30. Transportnet, [www.transportnet.se/article/view/602888/kalmar\\_elektrifierar\\_sortimentet](http://www.transportnet.se/article/view/602888/kalmar_elektrifierar_sortimentet), 2018-05-18
31. Scania, The Pathways Study: Achieving fossil-free commercial transport by 2050, maj 2018
32. Østfold fylkeskommune; Fossilfrie arbeidsmaskiner, [www.sites.google.com/site/arbeidsmaskiner/project-definition#TOC-Ombygging-av-eksisterende-maskiner](http://www.sites.google.com/site/arbeidsmaskiner/project-definition#TOC-Ombygging-av-eksisterende-maskiner), 2018-06-20
33. Partnerskabet for brint og brændselsceller, Energikonvertering, lagring og balancering - Stort potentiale i brint og brændselsceller, 2012
34. Ett klimatneutralt och fossilbränslefritt Skåne, Klimat- och energistrategi för Skåne, <https://utveckling.skane.se/globalassets/styrandedokument/klimat--och-energistrategi-for-skane.pdf>, 2018-06-25

Övriga hänvisningar:  
[www.tungafordon.com](http://www.tungafordon.com)

*The Blue Move for a Green Economy*

*Behovsstudie och teknikkartläggning av arbetsmaskiner  
Version 1*

*2018*

*Rapport RISE-2018-07-BM5.3-V1*

