



RAPPORT

Kontaktperson RISE

Karin Nilsson
Säkerhet och transport
+46 70 530 37 67
karin.nilsson@ri.se

Datum

2021-12-16

Beteckning

Uppdragsrapport

Sida

1 (32)

Ola Pettersson
Jordbruk och Livsmedel
+4610 5166947
ola.pettersson@ri.se

Stiftelsen Länsförsäkringsbolagens Forskningsfond
Länsförsäkringar AB
Tegeluddsvägen 11-13
106 50 STOCKHOLM

Förstudie: Risker och möjligheter inom jordbruket kopplat till framväxten av vätgassamhället

RISE Research Institutes of Sweden AB **Elektrifiering och pålitlighet - Energiomvandling**

Utfört av

Karin Nilsson

Ola Pettersson

RISE Research Institutes of Sweden AB

Postadress
Box 857
501 15 BORÅS

Besöksadress
Lindholmspiren 7A
417 56 Göteborg

Tfn / Fax / E-post
010-516 50 00
033-13 55 02
info@ri.se

Detta dokument får endast återges i sin helhet, om inte RISE Research Institutes of Sweden AB i förväg skriftligen godkänt annat.

Sammanfattning

Det rör på sig väldigt fort kring satsningar på vätgasteknik internationellt, speciellt i Europa men även i Sverige. Inom Europa finns över hälften av pågående vätgasprojekt i ett globalt perspektiv.

I Sverige har vätgasen fått ett stort fokus. I januari 2021 presenterades Färdplan Fossilfritt Sverige, Vätgasstrategi för fossilfri konkurrenskraft och i slutet av året presenterade Energimyndigheten ett förslag till nationell vätgasstrategi.

Många branscher ser över sina förutsättningar för att genomföra omställningen till hållbar produktion och försörjning via vätgasteknik.

Det planeras flera infrastruktursatsningar kring vätgas i Sverige. Till exempel finns beslut om ett större antal tankstationers etablering över landet.

Att hantera vätgas industriellt, lokalt på gård eller i fordon medför ett paradigmskifte i förhållande till att hantera flytande kolvätebränslen.

För närvarande är den ekonomiska tröskeln för hög för att en bred marknadsintroduktion ska ta fart, men i takt med teknikens utveckling förväntas bättre ekonomiska förutsättningar.

- Ett energisystem baserat på vätgas kan vara helt grönt och fritt från hantering av kolatomer
- Ett vätgassystem erbjuder stor flexibilitet i användandet av el, värme och fordonsbränsle samt kan även vara grunden till gödningstillverkning.
- Ett gårdsbaserat vätgassystem skapar en betydande resiliens. Oberoendet ökar då en självförsörjning uppnås.
- Vätgas medför risker, men det gör också bensin, diesel, och/eller stora litiumjon-batterier
- Riskerna med vätgas är annorlunda än för andra bränslen eller rena batterifordon
- Det är mycket viktigt att systemen är designade och integrerade specifikt för vätgas
- I fordonsperspektiv går det att hantera vätgasanvändning på ett säkert sätt
- Vätgas är inte toxiskt för ekosystemet

Inledning

Föreliggande rapport har sitt ursprung av en uppdragsbeställning som Stiftelsen Länsförsäkringsbolagens Forskningsfond gett RISE.

Sommaren 2021 sammanträffade representanter för Stiftelsen Länsförsäkringsbolagens Forskningsfond och RISE och diskuterade förutsättningarna för ett uppdrag där syftet var att beskriva vad inträdet av vätgasteknologi kan få för konsekvenser för det svenska lantbruket och vilka risker det kan medföra.

Ett uppdrag beställdes i form av en begränsad förstudie där författarna skulle sammanställa befintlig kunskap inom RISE olika avdelningars specialiserade kunskapsområden. Förstudien rymmer inte framtagande av någon ny kunskap. Däremot kan den komma att följas av riktade uppdrag.

Uppdraget har genomförts av Karin Nilsson och Ola Pettersson.

Textavsnitten i rapporten är baserat på intern kunskap inom RISE och bedöms kunna publiceras utan intrång på andra externa uppdragsgivares områden.

När det anses befogat har vi direkt i texten angett källhänvisningar eller var man kan läsa mer om just det ämnet. Vissa stycken i texten är direkt hämtat eller omarbetat från rapporten Vätgas och energilagring, där RISE var en av huvudförfattarna via Erik Wiberg och Ola Pettersson.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Inledning	3
Grundläggande fakta och användning av vätgas.....	6
Fördelar med vätgas i energisystemet	6
Utmaningar	7
Vätgas i Lantbruket.....	7
Historik kring bränsleceller.....	7
Snabb utveckling under senaste åren	8
Teknisk beskrivning av energilagring i vätgas.....	9
Elektrolys av vatten till vätgas	9
Så fungerar en bränslecell.....	9
Så fungerar ett bränslecellsystem.....	10
Så fungerar ett energilagringssystem	10
Förluster	11
Formfaktor	12
Exempel på lagringsprojekt	12
Syrgas.....	12
Tankstationer för vätgas.....	12
Utökade vätgassystem på gårdsnivå	13
Fordonsdrift.....	14
Värmeproduktion	14
Ammoniaktillverkning	14
Kvävegödning	14
Ammoniak som motorbränsle	14
Använda ammoniak som bränsle i en torkpanna	15
Sälja tjänst som nätstabilisator	15
Marknadsintresse	16
Systemintegration i fordon.....	17
Konvertering av lantbrukstraktor till vätgasdrift.....	17
Energilager	18
Elmotorer	19

Bränsleceller och batterier	20
Kylning	20
En helt nykonstruerad jordbrukstraktor	20
Sammanfattning systemintegration.....	21
Ekonomi samt teknikens framsteg och prisutveckling.....	22
Ekonomi kring vätgasproduktion ur ett samhälls-, marknads- och konkurrensperspektiv ...	22
Elproduktion	22
Framställning av vätgas och kompression	23
Energilager.....	23
Övriga nyckelkomponenter.....	24
Risk och säkerhet	25
Vätgasen i ett säkerhetsperspektiv	25
Specifika förutsättningar gällande vätgas	26
Vätgas och brandrisk.....	28
Vätgas i fordon.....	28
Pågående initiativ inom industrin och noder i Sverige. Världsutblick och exempel.	30
Tankstationer.....	31
Slutsats	32

Grundläggande fakta och användning av vätgas

Väte är först i periodiska systemet. Vätgas = H₂. Vid NTP (rumstemperatur och normalt tryck) är väte gasformigt. Vätgas är oerhört lätt. Dess relativa densitet gentemot luft är 0,07.

Ämne	Volym m ³
Vätgas	12,5
Metan	1,49
Luft	0,81
Diesel	0,001

Tabell 1 Volymen av 1 kg vid NTP, 1,013 bar och 20 °C

Vätgas stiger uppåt mycket snabbt, med en hastighet med 10 m/sek, om den släpps ut fritt.

Vätgas är inte en primär energikälla, men kan användas för att lagra, transportera och tillhandahålla energi.

Energidensiteten är hög per massenhet, men låg per volymenhet. Det sistnämnda gör det utmanande att lagra och transportera vätgas på ett effektivt sätt. De vanligaste sätten att lagra vätgas är antingen i komprimerad form vid 200–700 bar eller i flytande form, vilken den antas vid minus 253 grader Celsius.

Vätagsteknologin är gammal och i vissa delar mycket beprövad. Den har getts en annan ställning i dagens samhälle och förväntas ha en viktig roll i den pågående klimat- och energiomställningen då den kan produceras med lågt koldioxidavtryck. Vätagasen har ett sällan skådat momentum just nu. Potentialen för miljövänlig vätagas som råvara och bränsle i industri- och transportsektorn är mycket stor. Vätagas ersätter fossila råvaror och energibärare och minskar därigenom koldioxidutsläpp från både industri- och transportsektorn.

Vätagas kan lagras och användas för att balansera ett alltmer väderberoende energisystem och koppla ihop olika energianvändare och energikällor. Systemperspektivet på vätagas ger den en särställning gentemot alternativen.

Fördelar med vätagas i energisystemet

Kopplar ihop elnät och transportsystem:

Rent energisystem

Effektivare energisystem med energilagring

Möjlighet till fordon med:

- Lång räckvidd
- Fria från avgasemissioner
- Snabb tankning

Väldigt skilda arbetsområden som båt, flyg väg, skog och fält

Möjlighet att transportera lagrad energi mellan olika platser

Samhällsekonomiska effekter:

- Nya affärer och arbetstillfällen
- Ökad BNP pga intern produktion av bränsle i landet samt minskad import
- Distribuerad produktion
- Synergier mellan vätgas i industriella processer, transportsektorn och energiflödena som helhet.

Utmaningar

Det finns flera stora utmaningar i Sveriges elnät som måste hanteras och lösas. Detta är en grannliga uppgift, speciellt eftersom spelplanen ändras drastiskt. Omställning och tillväxt tillsammans med en förnyelse i näten förändrar behovet, elanvändning ökar och flödena förändras samtidigt som ny produktionsmix (väderberoende jämfört med planerbar) ger systemet nya egenskaper. Systemet (egentligen system av system) måste balanseras för att säkerställa dess tillförlitlighet och effektkapacitet. Nya former av samverkan och roller blir angelägna på sätt som inte funnits tidigare. Nya elbörser och marknader etableras med nya logiker och i framtiden kommer konsumenter som så önskar kunna ta en helt annan position. Förbrukarna av elenergi och eleffekt kommer ofta att finnas geografiskt långt ut i elnätet och ställa nya krav på elnätet.

Lantbrukets beroende av fossil energi för drivmedel och mineralgödsel behöver minska.

Sommaren 2021 presenterades Statens offentliga Utredning SOU 2021-67 (Vägen mot fossiloberoende jordbruk) Det är en väldigt omfattande och väl genomarbetad utredning som beskriver den svårnavigerade vägen fram mot ett minskat användande av importerad fossil energi i livsmedelsproduktionen.

Vätgas i Lantbruket

Vätgas ger möjligheter på flera sätt. Tekniken finns, men applikationerna är ännu inte färdigutvecklade. Lantbruket har god tillgång till tak för utbyggnad av solenergi och arealer för vindkraft. Ofta är lantbruken storförbrukare av elenergi med behov av reservkraft, speciellt de inom animalieproduktionen, där det finns ett lagstadgat krav. Lantbruk har ofta elanslutning med hög kapacitet varför de är användbara för olika nättjänster. De ligger dessutom ofta långt ut i ledningsnätet där det är som svagast, vilket gör nyttan ännu större. Genom att lagra in energi under soliga dagar från solceller kan man på så sätt spara för senare användning eller minska toppbelastningen av elnätet, alternativt använda lagrad el under tider när elpris är högt. Den lantbrukare som investerar i system för vätgas och producerar/konsumerar på den plats behovet finns, behöver endast kommunicera med den lokala räddningstjänsten. Nu i dagarna ändras reglerna för överföring mellan fastigheter så nu kommer samma ägare kunna skicka el mellan sina fastigheter på upp till en spänning på 1500 V.

Historik kring bränsleceller

Ett fordon som drivs med bränsleceller är i grundet elektrifierat. Beroende på önskade egenskaper dimensioneras batteri/bränslecell utifrån dessa och optimeras mot funktion.

År 1842 uppfinnar Sir William Grove bränslecellen.

1930 - 60, Francis Thomas Bacon utvecklar och Harry Karl Ihrig vid Allis-Chalmers demonstrerar en alkalisk bränslecellsdriven traktor

Under 1960-talet används alkaliska bränsleceller av NASA. ASEA utvecklar bränsleceller för ubåtar.

Oljekrisen på sjuttioalet startar incitament för forskning på nya energilösningar.

Tidigt 1990-tal utvecklades porösa elektroder för PEM-bränsleceller som möjliggjorde bränslecells bilen.

Under 2010-talet kom de första kommersiella bränslecells bilarna. De bilmärken som var först på marknaden, Hyundai, Toyota och Honda, är också är störst inom detta idag.

De första fordonen att bli kommersiella var gaffeltruckar i det mindre segmentet. De har etablerat sig väl i USA och använts i flera år. Utvecklingen har gynnats av ett långvarigt stödsystem för dessa. Flera stora affärskedjor har flertalet på sina stora lager. Gaffeltruckar jämte personbilar dominerar bränslecellsfordonflottan i världen av knappt 70 000 bränslecellsdriva fordon världen över. Utvecklingen är dock massiv och under decenniet framför oss kommer det att presenteras fordon av många olika slag, i alla storleksklasser och för både professionellt bruk och för privatpersoner.

Samtidigt behöver infrastruktur för tankning komma på plats så att alternativet kan vara möjligt och intressant.

Tidigare var systemen för stora och gick sönder. Innehållet av Platina var ännu större och allt var mycket dyrt. Ifrågasättandet av konventionell teknologi var mycket begränsat och motiv, för att på bred front arbeta med nya drivsätt, fanns inte.

Snabb utveckling under senaste åren

Under 2021 har vätgasen gjort, ett för allmänheten synligt, massiv intåg i Sverige. Under speciellt andra halvåret har många initiativ har startat/offentliggjorts runtom i landet. Olika initiativ står att läsa om längre fram i rapporten.

I januari kom Färdplan Fossilfritt Sverige, Vätgasstrategi för fossilfri konkurrenskraft. I färdplanerna för fossilfri konkurrenskraft visar 22 branscher hur de kan bidra till att Sverige når målet om att vara klimatneutralt senast 2045. Tillsammans visar de också inom vilka områden det krävs avgörande insatser för att transformationen ska lyckas och konkurrenskraften stärkas.

Regeringen gav Energimyndigheten i uppdrag att utarbeta förslag till nationell vätgasstrategi. Underlagsrapport och förslag till nationell strategi kom i november 2021.

Rapporten är innehållsrik och behandlar många olika delar. I den finns mycket att hämta om andra länders nuläge och planerad utveckling inom vätgas. Ett intressant kapitel är hinder och barriärer där följande tas upp; organisatoriska, ekonomiska, styrmedel, regulatoriska, kunskap, tekniska och acceptans.

Ett kapitel tar upp samhällsekonomiska konsekvenser inom fem områden av de policyförslag som ingår i Fossilfritt Sveriges vätgasstrategi. I avsnittet *Regelverk som påverkar utvecklingen av produktion, transport, lagring och användning av vätgas* tas en blandning av direktiv, förordningar, standardiseringsarbete och taxonomi upp.

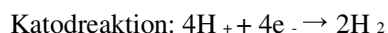
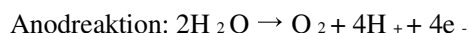
Teknisk beskrivning av energilagring i vätgas

Under den här rubriken sammanfattar vi kort tekniken kring vätgas genom att beskriva de olika delmoment som ligger till grund för och ger förutsättningar att hantera grön energilagring med hjälp av vätgas.

Elektrolys av vatten till vätgas

Väte kan produceras med hjälp av elektrolys, där vatten spjälkas till väte och syre med hjälp av el. Elektrolysören har två elektroder som skiljs åt av ett membran. Det finns två typer av elektrolysörer som används kommersiellt; alkaliska, som använts de senaste 100 åren och polymerelektrolyt (PEM), liknar de bränsleceller som används i bränslecellsbilar och har kommersialiserats de senaste 15 åren. Den alkaliska elektrolysören har längre livslängd och är billigare, medan PEM tar upp mindre utrymme och snabbare kan ändra produktionstakt, exempelvis för att följa intermittent elproduktion eller för att utföra elnätstjänster såsom frekvensreglering.

För PEM-elektrolys gäller:



Tidigare var samtliga elektrolysörer atmosfäriska eller hade mycket låg trycksättning; 2-3 bar.

Numera har de flesta tillverkare elektrolysörer som levererar från 30 bar, vissa ända upp till 80 bar.

Eftersom tryckenergin är omvänt logaritmisk är det till stor nytta att en efterföljande kompressor har ett högre ingångstryck och för vissa applikationer är det tillräckligt att lagra väte vid 30-80 bar vilket då kan göras helt utan mekanisk kompression. Trycksättningen sker genom att vattnet pumpas in under tryck och elektrolysören kraftigare bultas samman för att klara det högre trycket. Fördelarna med elektrolys är att det går att framställa vätgas helt från förnyelsebara källor. I processen sker inga utsläpp utöver syre som också kan användas i andra industriprocesser. PEM-elektrolysörer är specifikt utformade för att kunna kombineras med intermittent energi. Elektrolys ger vätgas utan föroreningar, och det enda som behöver göras med gasen efter produktion är att den torkas. Detta är en stor fördel om vätgasen ska användas i en bränslecell som är mycket känslig mot föroreningar. På många marknader, varav Sverige är en, är kostnaden för förnyelsebar vätgas från en elektrolysör i paritet med vätgas reformerad från naturgas men detta beror på det lokala naturgaspriset och elpriset. I och med att förnyelsebar energi kan användas finns det i princip inga praktiska begränsningar av hur mycket vätgas som kan produceras och det kan göras från energikällor lokalt över hela världen.

Så fungerar en bränslecell

Bränsleceller är nästan alltid kombinerade till en stack (flera bränsleceller sammankopplade), genom att pluspolen på den ena kopplas till minuspolen på nästa. Varje cell fungerar genom att vätgas leds in med ett rör till ena sidan av cellen och syrgas leds in på den andra. Mellan dessa sidor finns ett membran som bara protoner kan passera igenom. Med hjälp av en katalysator delas väteatomerna upp i protoner och elektroner. Eftersom bara protonerna kan passera genom membranet måste elektronerna istället gå genom den externa kretsen, exempelvis en lampa eller elmotor. På syrgassidan återbildas vatten av protonerna, elektronerna och syre med hjälp av en katalysator.

Eftersom det uppstår förluster i form av värme när protonerna tar sig genom membranet är verkningsgraden 45-70% i el och resterande går att ta tillvara på som värme.

Så fungerar ett bränslecellsystem

För att bränslecellstacken ska fungera behöver nivån av ånga/vatten hållas på rätt nivå och gaserna ledas fram med rätt tryck och koncentration. Syret kommer oftast från luft som filterats och pumpas in, medan vätgas oftast kommer från en trycktank och regleras med en ventil. Båda gaserna levereras till cellen i överflöd, där vätgasen återcirkuleras. Om någon av gaserna inte leds fram i tillräcklig mängd kan cellen skadas om ström fortfarande dras från den. Därför finns ett elektroniskt styrsystem som även används för att övervaka cellerna. Den likspänning som bildas i stacken behöver även omvandlas med antingen en DC/DC-omvandlare för att hålla en god kvalitet när den används i exempelvis ett fordon eller för att ladda ett batteri eller en DC/AC-omvandlare om den ska användas direkt i växelströmsnätet.

Komponenter som behövs för att underhålla stacken:

1. Vätgasrecirkulering
2. Luftpump/kompressor
3. Vattenhanteringssystem
4. Elektroniskt styrsystem
5. Kraftelektronik med DC/DC eller DC/AC
6. Kylsystem, ofta vattenburet om hög effektdensitet önskas eller värmen ska användas

Så fungerar ett energilagringssystem

Energilagringssystem kan vara av flera olika varianter beroende på vilken typ av energi som ska lagras, exempelvis pumpkraftverk för ellagring eller saltlager för värmelager etcetera. I denna studie behandlas energilager för lagring av el i vätgas. Syftet med att lagra el i elnätet med vätgas är att det går att lagra mycket stora mängder energi och kostnaden är kopplad till inmatningseffekt och utmatningseffekt snarare än energimängden som lagras. Detta gör vätgaslager lämpliga för mer långsiktig lagring där energi matas in under lång tid, exempelvis en vecka, månad eller säsong, för att sedan matas ut under ungefär lika lång tid. Ett batterilager fungerar tvärtom; ofta är det energilagringsskapaciteten som är dimensionerande och effekten vid in- och utmatning kommer på köpet. Att kombinera vätgaslager och batterilager är därför mycket lämpligt, där batteriet tar hand om fluktuationer över dygnet och vätgasen över flera dagar och upp till säsonger. Systemet kan självklart dimensioneras även för andra parametrar. För att skapa ett robust och mångsidigt energilagringssystem bör ett hybridssystem användas med såväl batterier som vätgaslager.

Som alternativ till ellager går det i regel att bygga ut elnätsanslutningar enligt devisen att det alltid är blåsigt eller soligt någonstans, och därmed går att flytta vind- eller solel därifrån. Detta har dock flera begränsningar, och gör även elnätet mer sårbart. Ett ellager kan utöver att lagra in el när det finns gott om den och den därmed är billig, för att sedan sälja när den är dyr, användas för flera olika tjänster som att hålla elnätet stabilt.

För att använda ett bränslecellssystem i energilagring kombineras hela bränslecellssystemet med flera andra system exempelvis vind eller solkraft som leds med elledning till en elektrolysör, när det finns gott om el. I denna delas vatten upp till syrgas och vätgas. Vätgasen leds med en gasledning till trycksatta tankar där den kan lagras under lång eller kort tid. När det finns behov av el leds gasen från tankarna till bränslecellen eller en vätgasturbin kopplad till en generator. Turbinen är billigare men det är svårare att ta tillvara på värmen och

verkningsgraden är generellt lägre, speciellt i små system. Elen leds sedan med elledning till användaren. Alla dessa system eller delar av dem kan samlokaliseras, eller så sprids de ut när så är lämpligt. I ett sådant energilagringssystem kan affärsmodellen utvecklas till att:

- Elnätsnyttor för frekvens och effektregering
- Köpa in billig el och sälja när priset är högre
- Sälja vätgas som fordonsbränsle eller till industrin
- Sälja värmen från såväl bränslecellen som elektrolysören.
- Sälja syrgas

I ett system som använder vätgas kan el matas in samtidigt som den matas ut. Detta kan låta meningslöst men används för frekvensreglering i elnätet. Det är normalt på det sättet energilagring kommit att användas även när det gäller klassiska energilagringssystem som pumpkraftverk. Dessa konstruerades för långsiktig energilagring men kör ofta pumpar samtidigt som turbiner för just frekvensreglering. I och med möjligheten att fylla på energi samtidigt som den tas ut har vätgas en fördel för frekvensreglering jämfört med batterier. Detta testas bland annat vid Europas största vätgastankstation i Hamburg av Vattenfall. Elektrolysertillverkaren Hydrogenics menar att eftersom elektrolysörer är 70 % snabbare att lastfölja än vattenkraft och 170 % snabbare än en förbränningsturbin kan 1MW elektrolysör ersätta 2.7 MW förbränningsturbin. För bränsleceller är lastföljningstiden likartad. Hur snabb svarstiden är blir därför centralt i beräkningsmodeller för energilagring.

En fördel med energilagring är att avsättning kan finnas för åtminstone delar av vätgasen som produceras i gasform med ett högre värde än el; antingen som fordonsbränsle eller kemikalie då renheten är mycket hög för vätgasen från en elektrolysör.

Förluster

Effektiviteten i systemet sedd till enbart el är ungefär 68 % i varje led, det vill säga 46 % totalt för elektrolysör och bränslecell. Om däremot värmen kan användas från elektrolysör och bränslecell i exempelvis fjärrvärme eller annan tillämpning är effektiviteten ungefär 90 % i varje led, alltså 81 % totalt. Temperaturen beror på vilken typ av elektrolysör och bränslecell som används och är i det breda intervallet 60-1000 °C. Om energilagret kopplas till förnyelsebar energi är däremot inte förluster det viktigaste, utan om energin överhuvudtaget kan tas tillvara på.

Alkaliska elektrolysörer har använts i över 100 år men i större storlekar och med mer jämn belastning. Därför pågår teknikutveckling fortfarande på alkaliska elektrolysörer men även på en nyare typ av elektrolysörer som kallas polymerelektrolytelektrolysörer (PMA). Dessa fungerar som en omvänd bränslecell, och tar mindre utrymme samt är snabbare på att ändra produktionstakt. Stora skillnader finns inom segmenten alkaliska respektive polymerelektrolyta elektrolysörer. Verkningsgraden förväntas bli flera procentenheter högre de kommande åren.

För bränsleceller har amerikanska energidepartementet (DOE) satt upp mål för effektiviteten men de stationära är inte tillräckligt uppdaterade, vilket däremot de för tunga lastbilar är. Dessa har som mål att effektiviteten till 2030 ska nå 68 % för att senare plana ut till 72 % över längre tid. Generellt har stationära system högre verkningsgrad men detta ger ändå en fingervisning om att verkningsgraden förväntas öka något. DOE:s verkningsgradsmål för elektrolys var 75 %, men ingen aggregerad studie har visat om det uppnåtts. Studien gjordes 2011 och då var enligt DOE verkningsgraden 67 %, så en ökning på 8 % förutsåddes. (<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-hydrogen-production-electrolysis>)

Ett vätgaslager har förluster i såväl omvandlingen till vätgas som i omvandlingen därifrån till el. Dessa förluster sker i form av värme som kan tas om hand och användas för att exempelvis värma upp lokaler eller i industriella processer. För att ett energilagring ska vara lönsamt

behöver därför inköpspris för elen vara betydligt lägre än försäljningspriset om det ska gå ihop på enbart denna affärsmodell. För att ett energilagring ska gå ihop utan en sådan kraftig prisskillnad behöver så mycket som möjligt av nätnyttor, värmeförsäljning och syrgasförsäljning räknas in. Även nyttan med redundans vid strömavbrott bör räknas med. Ju mer intermittent energi som matas in i elnätet, exempelvis sol och vind där ambitionerna för utbyggnad är stora, desto större blir också skillnaderna i pris och även behovet av nätnyttor för att balansera dessa då de i regel ersätter kontrollerbar energi.

Formfaktor

Elektrolysörer och bränsleceller är ofta standardiserade i ISO-containerer där extra kapacitet kan byggas ut i samma container upp till en viss gräns när ytterligare en container byggs till. Det går att optimera systemets formfaktor betydligt men de vanligaste systemen idag är byggda i containerer.

Eftersom såväl elektrolysörer som bränsleceller är seriekopplade är det enkelt att bygga ett distribuerat snarare än centraliserat energilagringssystem utan att kostnaderna förändras dramatiskt per lagrad energienhet.

Exempel på lagringsprojekt

Det finns flera projekt för energilagring i elnätet med hjälp av vätgas. Ontarios elnät frekvensregleras delvis med en elektrolysör kopplad till ett vätgaslager. Ett projekt i Spanien använder en elektrolysör på 0.3 MW kopplad till ett vindkraftverk för energilagring. Ett liknande projekt pågår i Patagonien med en 0.6 MW elektrolysör, där även syrgasen tas till vara på från elektrolysören och säljs som industrigas. I Tyskland föreslås användning av håligheter i saltbergarter för lagring av vätgas, vilka idag testas för lager med komprimerad luft. Liknande lager finns i bergrum för naturgas och vätgas.

Utöver detta finns projekt för att kombinera flera elektrolysförsedda vätgastankstationer i så kallade virtuella kraftverk för att använda dem som reglerbara förbrukare.

Syrgas

Syrgas används i en mängd olika industrier i allt från skyddsgas i metallbearbetning till att korta fettkedjor i livsmedel för att förbättra hållbarheten.

På sjukhus och vårdinrättningar används också mycket syrgas. Syrgas kan levereras antingen lastad i flaskor eller via pipeline. Flaskor har fördelen att det är flexibla men nackdelen att det kräver kompressorer och distribution.

Ett nytt område som kommer att förbruka syrgas är inomhusodling av fisk i recirkulerande system.

Tankstationer för vätgas

En vätgasstation är mer komplex än en pump för konventionella flytande bränslen. Gasen kan antingen produceras på plats med en reformer eller elektrolysör eller fraktas till platsen med pipeline eller lastbil. I båda fall finns ett buffertlager vid stationen där vätgas lagras vid runt 200-300 bars tryck.

Därifrån leds vätgasen till den första kompressorn som höjer trycket till runt 400 bar och vidare till nästa kompressor som höjer trycket vidare till 900 bar i det fall 700 bar är trycket i fordonets tank.

Från dessa tre nivåer, 200-300, 400-500 och 900 bar, tankas sedan fordonet i tur och ordning. Detta gör dels att tanken når en högre fyllnadsgrad, dels att mindre energi går åt för att fylla,

då tryckutjämningen annars skulle behöva göras bara från det högsta trycket och därmed kräva att all gas komprimeras till 900 bar. Denna process kallas kaskadfyllning.

Energien som åtgår vid kompression är omvänt logaritmisk, det går därför åt betydligt mer energi att höja trycket från 1 till 2 bar än 899-900 bar. Därför eftersträvas ett så högt tryck som möjligt till kompressorn, vilket kan uppnås genom att inte tömma buffertlagret helt. Det finns flera olika typer av kompressorer där kolvkompressorn är vanligast.

Om påfyllningen görs från lastbil medför det att mindre mängd användbar gas kommer med i varje last. Om gasen framställs med elektrolysör kan den produceras vid exempelvis 30 bar, om vattnet höjs till detta tryck, vilket gör att en hel del energi kan sparas.

Innan gasen fylls i fordonet behöver den dock kylas till mellan -20 och -40 °C för att kompensera den uppvärmning som uppstår när vätgasen komprimeras i fordonets tank. Detta görs i ett kylaggregat.

Beroende på hur kylning och trycksättning sköts kan dock ett kontrollsystem göra att den totala effekten som krävs blir lägre. Om en elektrolysör finns på plats kan även denna styras ner när kompressorerna körs, eftersom det enbart handlar om ett fåtal minuter vid varje tankning och moderna elektrolysörer kan styras upp och ned på ett fåtal sekunder eller snabbare. Elektrolysör vid tankstationen kan även användas för diverse elnätstjänster då det finns installationer med så pass korta svarstider att de kan användas för frekvensreglering. Utspridda sådana stationer över ett land eller elnätsområde kan effektivt användas för att dynamiskt skapa aggregerad elnätsnytta.

Om fordonstankens tryck är 350 bar kan kaskadfyllning användas, men det är inte tvunget. Inte heller kylning behövs för fyllning till 350 bar. Om ett fordon har en tank för 350 bar och ett annat med en tank för 700 bar rymmer den med 700 bar 40 % mer vätgas, förutsatt att tankvolymen är densamma. Detta då vätgas är långtifrån en ideal gas som i så fall skulle innehålla mer gas i samma volym.

En annan lösning är att väte lagras kylt i flytande form och pumpas och förångas i samma process vilket kräver mer avancerad utrustning. Detta är relevant om det finns tillgång på flytande väte och om platsåtgången är kritisk eftersom dessa stationer tar liten plats.

Utökade vätgassystem på gårdsnivå

Detta avsnitt syftar till att kortfattat beskriva vilka fler användningsområden än lokal energilagring, som är tänkbara att nyttja på lokal gårdsnivå. Det finns ett flertal uppslag på användningsområden som samtliga är fullt realistiska. Idag vet vi dock för lite rörande den ekonomiska verkligheten för dessa idéer.

Den grundläggande ambitionen är att tillverka vätgas via en elektrolysör för att sedan lagra denna vätgas, därefter kan man via en bränslecell gå tillbaka till el igen och nyttja egen användning av elen. Lagringen av vätgas sker i standardiserade gasflaskor liknande de man ser för gassvetsar. Här behöver inte trycket vara lika extremt högt som när gasen lagras ombord på fordon, då utrymmeskraven vid gårdslagring inte är så höga. En bränslecell kan sedan föra tillbaka energin som finns lagrad i vätgasen till elektricitet när gården har behov av det till exempel under natten eller vinterhalvåret då inte sol eller vind kan producera i takt med gårdens behov. Bränslecellen producerar även värme som går att ta tillvara till exempel i en ackumulatortank. Bränslecellen arbetar dock vid en lägre temperatur än en förbränningsmotor eller en vanlig fastbränslepanna. Bränslecellen håller en arbetstemperatur vid 70 °C, som ändock kan ge ett betydande värmebidrag.

Det finns flera fungerande installationer i fastigheter och bostadsföreningar och erfarenheter därifrån. Tekniken förefaller fungera väl (exempel på detta: bostadsrätter i Vårgårda, Zero-Sun i Skellefteå).

Fordonsdrift

Tankning av fordon som har bränslecell och el-transmission. I de fall en gård har en elektrolysör och tillverkar vätgas i egen regi samt lagrar den på gården skulle det vara mycket attraktivt att även ha tillgång till vätgasdrivna (bränslecell) fordon. I dag finns färdigutvecklad teknik för det. Det finns bilar, lastbilar, truckar m.m. som har elektrisk transmission och en bränslecell som laddar fordonets batteri under färd. Tanken att lantbruket skulle kunna ha vätgasdriven maskinpark är inte långt borta. Man kan jämföra med lastbilstillverkarna som bedömer att närtransport upp till 30 mil kan ske med ren batteridrift, medan långtransporter kan komma att ske med vätgasteknik. Det upplägget går att applicera på jordbruket där stordragarna skulle kunna gå på vätgas, medan de mindre gårdsmaskinerna skulle kunna laddas med direkt el, som då även kan vara egenproducerad under en annan tid på året. Det som tillkommer förutom fordonen är utrustning för tankning och troligen utrustning för tryckhöjning då man vill ha ett betydligt högre tryck i fordonens tankar av utrymmesskäl.

Värmeproduktion

Ett mycket effektivt sätt att använda den lagrade energin är att förbränna den till värme, det ger en hög verkningsgrad. Det är en enkel teknik att bränna den som gas i en brännare. Det kan vara för vintervärme i en panncentral eller i spannmålstorkens panna.

Ammoniaktillverkning

Det är en gammal beprövad teknik att via den så kallade HaberBosch-tekniken använda vätgas och luftens kväve för att tillverka ammoniak. Här, på vårt tankeexempel på gårdsnivå, kan vi ha tillgång till grön vätgas vilket ger en ny dimension på tillverkningen av ammoniak. Klassisk ammoniaktillverkning är mycket energiintensiv då det sker vid hög värme och högt tryck. Det vi ser komma nu är ny teknik där detta kan ske på ett betydligt mer energibesparande vis. Att övergå till ammoniak som lagringsmedium har många tekniska fördelar. Ammoniak blir flytande redan vid 5 bars tryck och lagras i enklare tryckkärl på ett mycket mer energitätt vis än att lagra väte i gasform. Ammoniak kan förbrännas i en värmepanna som ersätter flytande bränsle, det kan direktinjiceras i mark som kvävegödning, det kan säljas som råvara till mineralgödseltillverkning, det kan via bränslecell skiftas tillbaka till el.

Kvävegödning

Att direktinjicera ammoniak i marken är en gammal känd teknik för att tillsätta kväve till jorden. Ammoniaken mineraliseras mycket snabbt till växttillgängligt kväve när det kommer i kontakt med marken och markfukt. Avdunstning uppåt är dock ett problem som måste hanteras. Detta är en teknik som kommit och gått i popularitet under åren. Det finns entreprenörer som specialiserat sig på den tekniken och uppdragskör åt andra lantbrukare. Det krävs speciell maskinell utrustning för ändamålet. Framför allt finns den tekniken i USA men förekommer även idag i Danmark och till viss del i Skåne beroende på att det funnits möjligheter att köpa in billig ammoniak från Polen då priset på mineralkväve varit högt.

Ammoniak som motorbränsle

Den enklaste lösningen är att konvertera tillbaka ammoniak till el via en bränslecell. Det finns särskilda dedikerade bränsleceller som tar steget ammoniak till el, vilket då i praktiken betyder en konvertering tillbaka till vätgas internt i processen. Det kan ske stationärt men även ombord på ett fordon. Denna teknik skulle kunna ge ett fordon en räckvidd som närmar sig

dieselfordons räckvidd. Det finns även utveckling mot att direktförbränna ammoniak i en kolvmotor. Det är tekniskt möjligt, men ställer omfattande krav på motorn som i praktiken för jordbruket betyder helt nyutvecklade motorer. Ammoniaken har ett långsammare förbränningsförlopp än tex diesel eller bensin och kräver större långsamgående motorer som till exempel fartygsdieslar eller liknande. Det som är attraktivt är att förbränningen sker helt utan växthusgasutsläpp, förutsatt att ammoniaken är producerad på ett grönt vis. En ytterligare möjlighet är att förbränna ammoniak i en värmemotor via tex en katalytisk brännare som följs av tex en ångprocess eller en Sterlingmotor.

Använda ammoniak som bränsle i en torkpanna

Detta är ett mycket enkelt sätt att nyttja egenproducerad energi på ett effektivt vis och samtidigt kunna spara denna och ta ut ett högt effektuttag vid behov som vid exempelvis spannmålstorkning. Det är idag känd teknik att bränna ammoniak i en större brännare. Det finns ungefär halva energimängden i flytande ammoniak jämfört med diesel eller brännolja.

Sälja tjänst som nätstabilisator

Att få ekonomi i egenproducerad el finns idag inte i att sälja elen direkt, vilket många behöver göra i dag med direktproducerad el utan lagringsmöjligheter. Ekonomin finns främst i att inte behöva köpa in el. Det medför att många efter förmåga försöker styra sin egen förbrukning till tidpunkter när det blåser eller när solen skiner. Det som det talas mycket om idag är att behovet kommer att öka av så kallad regleringsel. Det förutspås att elbolag kommer att betala ett bra pris för el levererad under perioder när konsumtionen är hög. I ett sådant läge skulle det kunna löna sig att använda lagrad vätgas eller ammoniak för att sälja ut el till nätbolag. Vi är inte riktigt där idag med prissättningen men tendensen är att det kan komma att vara lönsamt.

Marknadsintresse

I dag ser vi en tydlig vilja och ambition från konsumenter, livsmedelsindustrin och primärproduktionen att förflytta positionerna mot ett livsmedelssystem fritt från fossil energi. Vi kan se de stora aktörerna ge sina deklARATIONER inom Fossilfritt Sveriges agenda. Lantmännen strävar mot att tillsammans med Yara ta fram grön mineralgödsel. LRF har sedan flera år satt upp sin agenda med att svenskt jordbruk ska vara fossilenergifritt 2030.

På lantbruken finns ett stort driv, men även en viss frustration, då man inte kan se direkt hur utfasningen rent tekniskt ska fungera.

Vätgas har tidigt setts som en möjlig väg fram mot ett grönt energisystem på gårdsnivå. Vi såg redan för snart tio år sedan satsningar och demonstrationer för hur sådana system kan byggas upp.

La Bellotta är en demogård belägen en bit utanför Turin i Italien. Där testas ny teknik och visas upp för allmänheten. Under 2012 startades ett projekt som syftade till att visa hur en gård skulle kunna bli självförsörjande på energi och på så vis slippa vara beroende av importerad fossil olja. Projektet kallades ”**La Bellotta Energy Independent Farm.**“ Projektet leddes av NewHolland. Upplägget var att gården själv skulle producera vätgas och lagra. Produktionen baserades på tre alternativ: solex och elektrolys, reformering av biogas samt anaerob fermentering av biomassa där vätgas kan utvinnas bland en del andra gaser. Ett stort antal företag och organisationer var inblandade i projektets genomförande förutom NewHolland, API-COM, CNR, CRF, Elasis, ENEA, Envi-Park, Ferrari Costruzioni Meccaniche, Roter Italia, Sapio Verderone, Tonutti och Zefiro. Projektet var delfinansierat av Italiens ministerium för ekonomisk utveckling.

NewHolland tog fram en traktormodell baserad på T6.140 till detta projekt. Traktorn kunde uppvisa i princip motsvarande prestanda men behövde fyllas med gas ungefär var tredje timme beroende på arbetsuppgift.

Hela satsningen med en gård självförsörjande på energi föll väl ut och visade på stora möjligheter. Som många liknande satsningar var man tidigt ute och det fanns inte resurser att hålla den vid fortsatt liv. (*Green Car Congress, 2012*)

Även University of Minnesota har satsat mycket på utveckling och demonstration av ett energisystem fritt från kolatomer. I deras fall handlar det om att omvandla vindkraft till lagringsbar energi i form av vätgas och flytande ammoniak. Med hjälp av vätgasen kan de återskapa el vid behov via en kolvmotor och generator. Ammoniaken använder de främst för direkt kvävegödning på fälten. Universitetet har jobbat många år med de här frågorna och har byggt upp en kapacitet som kan försörja ett mindre jordbruk. (University of Minnesota/ Ammonia energy, <https://www.ammoniaenergy.org/organization/university-of-minnesota/> (December 2021))

Systemintegration i fordon

Idag finns det ett stort antal fordon på marknaden som är direkt utvecklade för vätgasdrift. (I denna text avser vi vätgasdrift via bränslecell när ordet vätgasdrift skrivs, om inte någon annan direkt beskrivning anges) Ett flertal lastbilar finns och ytterligare modeller är på väg ut på marknaden. Det finns i USA ett utbud av gaffeltruckar för arbete på olika lagerteminaler. Hyundai och Toyota har kommit långt med personbilar drivna av vätgas. Det har dock varit svårt att utveckla arbetsmaskiner som säljs i relativt få exemplar med specialiserade arbetsområden. Jordbruksmaskiner kan räknas till den kategorin. Vi har därför skrivit med en del tankar kring hur en jordbrukstraktor skulle kunna se ut med vätgasdrift. Bilden här nedan visar principiellt hur ett vätgasdrivet fordon är uppbyggt.

Bränslecells bilen är en sorts elbil med elmotor, men i stället för att ha batterier produceras, med hjälp av vätgas, el i en bränslecell. I bränslecellen möter vätgasen syre från luften. Elektronerna frigörs och ger upphov till en ström - el. Samtidigt bildas värme och vattenånga som blir enda avgasen.

Förespråkarna av bränslecells bilar anser att de har många fördelar gentemot vanliga elbilar. Bränslecells bilarna kör inte runt med tunga batterier och behöver ingen laddning som belastar elnätet vid fel tillfällen.

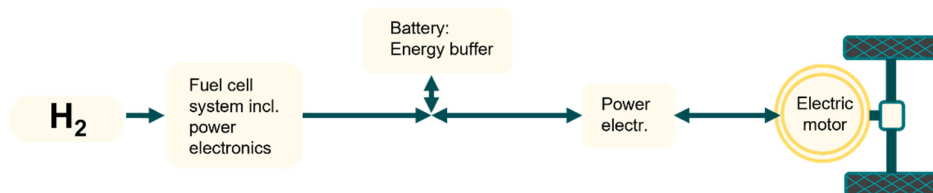


Bild 1 principskiss över ett vätgasdrivet fordon

Konvertering av lantbrukstraktor till vätgasdrift

Lantbrukstraktorn är en arbetsmaskin som skiljer sig stort från övriga typiska arbetsmaskiner på flera vis. Detta faktum är mycket viktigt att ha i medvetande när man diskuterar övergång till vätgasdrift. Lantbrukstraktorn eller jordbrukstraktorn har under 100 år itererat fram till det utseende och funktion som den har idag. En jordbrukstraktor idag kan liknas med en schweizisk armékniv, alltså en maskin med krav på multifunktion.

En jordbrukstraktor förväntas ha förmågan att leverera stort effektuttag som:

- Dragande maskin via hjulen
- Via kraftuttag (PTO) till påkopplade redskap, både fram och bak
- Via hydraulik, både internt och externt
- I vissa fall effektuttag av el

Detta bör också kunna ske simultant inom samma arbetscykel.

Jordbrukstraktorn ska också ha följande förmågor:

- Att arbeta med trepunktslyft både fram och bak
- Kunna bära en frontlastarutrustning

Vid konvertering till vätgasdrift är det väldigt viktigt att veta respektive maskins arbetsmönster för beräkning av ingående komponenters dimensioner såsom förhållandet mellan bränslecell, batteri, gastank och elmotor.

Just på grund av ovanstående multifunktion så finns inte någon given arbetscykel som är en typisk för Jordbrukstraktorn. Olika arbeten på olika tider av året kan vara totalt olika. Ett exempel som kan nämnas är harvning. Då belastas motorn av ett ganska jämnt och mycket högt effektuttag som sker vid ett motorvarvtal som ligger i det övre registret. Här kan arbetspassen vara väldigt långa och energiförbrukningen kan vara stor över en dag. Den motsatta situationen råder för arbete med frontlastaren vid typiskt arbete i närheten av gårdscentrum som ofta sker på daglig basis på djurgårdar. Där finns ofta en motorbelastning som är mycket transient, det vill säga varierar mycket i varvtal och belastning. Arbetsmomenten är inte så långa och innehåller mycket start och stopp samt tomgångskörning. Andra typer av arbetsmaskiner har vanligtvis mer förutsägbara körcykler.

En annan beskaftenhet som särställer lantbrukstraktorn är att den absoluta majoriteten av dessa är komponentbyggda utan ram. Det vill säga motor, växellåda och bakaxel är i sig bärande komponenter och bildar chassiet. Allt övrigt som hytt, bränsletank, batterier, lastarfästen med mera fästs i dessa chassikomponenter. Detta byggnadssätt gör det relativt svårt att byta ut någon komponent såsom till exempel motorn, mot något annat. Det finns några fåtal traktorer som är byggda med rambyggt friliggande chassi, som exempelvis JCB Fastrac och MB trac.

Det finns två vägar att gå om man vill bygga en vätgasdriven jordbrukstraktor. Antingen utgår man från en traditionell dieseldriven maskin, och då får man med alla basfunktioner som beskrivits ovan. Det som talar mot en sådan lösning är att man då tappar en del i verkningsgrad då man behåller ordinarie transmission och axlar.

Alternativet till detta är att bygga ett nytt traktorchassi från grunden utgående från fyra elektriska navmotorer. Med en sådan byggnadsteknik skulle det gå att optimera eltransmissionens fördelar med bland annat högre verkningsgrad på ett effektivare vis. Ett sådant förfarande kan knappast kallas konvertering utan blir ett helt nytt traktorkoncept.

En del sådana incitament har tagits, se tex konceptstudien, (*Concept solution for electric modular utility vehicles for urban and rural areas*) <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1062229/FULLTEXT01.pdf>
<https://www.youtube.com/watch?v=JKGC0aoJEDs>

Med tanken att konvertera en befintlig jordbrukstraktor till vätgasdrift måste man tänka mer restriktivt och påverka bastraktorn så lite som möjligt och behålla alla grundfunktioner. Med syfte att demonstrera en ny teknik finns även en pedagogisk vinst i att publiken ska kunna nå en stor igenkänningsfaktor. En god föresats är att maskinen ska kunna prestera minst lika bra och helst lite bättre i alla moment. Erfarenheten från liknande projekt visar att detta krävs för att introducera tekniska nyheter. Det finns mycket liten acceptans för att backa på några tekniska nivåer som man vant sig med.

Energilager



En stor fälttraktor har ofta en dieseltank på +300 liter för att klara tillräckligt långa arbetspass.

Många arbeten sker på fält som ligger långt från gårdscentrum då gårdarna ofta har kompletterat med tillagda arrenden för att utöka gården. Då vill man kunna köra relativt långa arbetspass när man väl är på plats. Alternativet är att ta med sig fälttank på något vis.

Bild 2 Fälttraktor för tyngre dragande arbete (foto: RISE)

En motoreffekt på 300 kW är inte ovanligt för dessa större traktorer. Sedan finns ju ett spann nedåt i storlek och effekt till nivåer av små minitraktorer lämpade för till exempel trädgårdsodling.

Hur mycket energi är det möjligt att ta med sig på en traktor om man konverterar till vätgas, och hur mycket behövs för att få motsvarande kapacitet som ovan nämnda större fälttraktor?

Nedan följer en något förenklad teoretisk genomgång för att kunna ta tankeexperimentet vidare;

- Det går åt ca 50 kWh energi för att producera ett kilo vätgas.
- 1 kg vätgas ger 33 kWh energi, vilket räcker till exempel för att köra 10 mil med en bränslecellsbil.
- En stor tungdragande traktor tankar 300 liter diesel vilket motsvarar 3000 kWh energi
- 100 kg vätgas innehåller ca 3300 kWh energi

Vätagasdrift på ett fordon ger högre verkningsgrad än dieselmotorn, Det behövs ca 50 kg vätgas på en stor tungdragande traktor för att ersätta 300 liter diesel. *(egen uppskattning utgående från lantbrukstraktorns körcykel och tidigare arbeten vid JTI, nuvarande RISE-Jordbruk och livsmedel)*

Baserat på hur det ser ut i fordonsindustrin i dag, med dagens teknik för lagring av vätgas i mindre flaskor/tankar tillverkade av kompositmaterial med ett lagringstryck på 700 bar, så behövs en flaskvolym av ≈ 1200 liter.

Idag tillverkas i princip alla jordbrukstraktorer med formpressade dieseltankar som placeras mellan hytt och chassi i oregelbundna former.

Gastankar för högt tryck är än så länge runda och flaskformade i sina utföranden även om forskningen går mot teknik där oregelbundna tankar utvecklas. Dessa är dock ännu ej kommersiella. Runda tankar blir mer svårplacerade då de skapar outnyttjat tomrum runtomkring sig.

Vid placering av gastankar på en konverterad dieseltraktor kan den första tanken vara att placera gasflaskor i det utrymme som uppstår då dieseltanken tas bort. Detta måste dock göras med stor försiktighet, och med marginaler och skyddsplåtar, då det är ett utrymme som kan vara utsatt för rörelser från hyttfjädring, reglage, trepunktslyft och ev. snökedjor. En viss volym går att placera där, men med önskan om större lagringsvolym måste andra alternativ diskuteras.

En tänkbar modell kan vara att bygga ett förhöjt tak på traktorn och därunder placera gasflaskor. Det är ett system vi tidigare sett på stadsbussar med biogasdrift.

Ett annat alternativ är att använda utrymmet för frontvikter på traktorn eller i förekommande fall trepunktslyften fram för att bära med ett flyttbart gaslager som range extender.

Om inte detta fungerar beroende på att traktorn behöver använda ett frontredskap så finns även modellen att ta med ett externt gaslager i form av en flyttbar tankstation till fältkanten.

	<i>Plats på traktorn</i>	<i>Under hytt</i>	<i>Tak</i>	<i>Frontbrygga</i>
<i>flaskliter</i>		≈ 100	≈ 300	≈ 600

Tabell 2. Möjlig storleksordning vid placering av gasflaskor på traktor.

Elmotorer

Ett tänkbart konverteringsförslag kan vara att utgå från en traktor med fristående dieselmotor. Vid konvertering demonteras dieselmotorn i sin helhet. I motorutrymmet ska sedan plats

beredas för elmotorer. En stor motor direkt kopplad till växellådan. Samma motor kan då även driva hydraulik, lågspänningsgenerator samt fläktar och air-condition. Ett intressant sätt är att montera separata elmotorer till hydraulik, el och fläktar. Det skulle kunna ge betydande fördelar i verkningsgrad.

Idag går det att köpa elmotorer på marknaden som är direkt anpassade för att skifta ut dieselmotorer av olika storlekar, de är anpassade i motorvarvtal och momentkurvor samt inkluderar styrelektronik. Exempelvis har Epiroc produkter framtagna för elektrifiering av gruvmaskiner som bör passa bra.

Bränsleceller och batterier

Under den klassiska motorhuvén bör även bränsleceller och batterier placeras. Stora fälttraktorer förekommer i ett brett spann av effektklasser. Dimensioneringen av kombination batteri och bränsleceller är en mycket viktig del i konverteringen då balansen mellan komponenterna blir avgörande för hur maskinen kommer fungera i verkligt arbete. Kort beskrivet så behöver en maskin med mycket intermitterent och växlande motorbelastning ett större batteri och mindre bränslecell i förhållande till en maskin med långvarig hög kontinuerlig last. Det rekommenderas inte att överdimensionera bränslecellen då det kan förkorta livslängden på denna med hög frekvens av nedstörd effekt. Bränslecellerna är relativt kompakta enheter. En bränslecell på 90 kW är i storleksordning med en resväska. Det är fullt tänkbart att montera flera bränslecellsmoduler parallellt.

Kylning

Fordonets kylare kan komma att behöva dimensioneras upp i storlek då de temperaturintervall som bränslecellen och dieselmotorn arbetar med skiljer sig åt. Dieselmotorn har en kylid arbetstemperatur vid ca 90°C. Bränslecellen vill ha en betydligt lägre drifttemperatur, kanske 20-30°C lägre. Detta ställer mycket högre krav på den kylande förmågan. En krympning av differensstemperaturen i en kylare ökar snabbt kravet på kylande yta och luftomsättning. Däremot är det inte riktigt lika mycket energi som måste kylas bort som vid en dieselmotor. Man måste dock räkna med en uppskalning av kylarens funktion. Detta är också en faktor som kan komma att belägga utrymme under en ordinarie motorhuv.

En helt nykonstruerad jordbrukstraktor

Om man skulle välja att gå på linjen att bygga en helt nykonstruerad maskin där utgångsläget är att maskinen ska ha elektrisk el och energilagringen skall ske via vätgas, då får man en helt annorlunda situation att placera och paketera komponenter på ett smart sätt. Man kan i princip tänka bort den traditionella transmissionen med växellåda, fram- och bakaxel. Maskinen kommer istället att ha navmotorer med slutväxlar på alla fyra hjulen. Man kan istället tänka att chassiet består av två stålbalkar som utgör ram. På dessa ramar placeras en hytt en bit upphöjt däröver. Mellan rambenen och under hytten skapas ett lådförmigt utrymme som kan fyllas med komponenter. De komponenter som måste placeras in är: bränsleceller, vätgaslager, batteri, fläkt och kylsystem, hydrauliksystem inklusive tank för hydraulolja, Elmotorer för kraftuttag (PTO), komponentdrift såsom air condition och eventuellt tryckluft samt trepunktslyft fram och bak.

Det som tar störst utrymme i anspråk är definitivt energilagret i form av gasflaskor. Om man på en större traktor vill bygga in 1200 liter flaskvolym enligt ovanstående resonemang så bör detta gå bra. Volymen av ett sådant lager kan uppskattas till c:a 2 m³. Det kan ganska enkelt placeras under och bakom hytten. Då finns det fortfarande gott om utrymme att placera övriga komponenter framåt i maskinen under den yta som traditionellt rymmer motorhuv. Även under den huvén kommer det att finnas en helt annan fri volym nedåt som inte finns i traditionella traktorer pga. att den normala transmissionen inte finns där.

Ett sådant här maskinbygge kommer att bära mindre vikt då man ersätter den traditionella transmissionen med komponenter som är mycket lättare. Troligen kommer man behöva belastningsvikter vid tyngre dragande arbeten. Men en låg vikt är ju till stor fördel vid arbeten på tex packningskänsliga vallar där effekten tas ut via kraftuttaget istället för drivhjulen. Ofta behövs ändå en hög effekt att driva vallmaskinerna via kraftuttag, så ofta används även där stora traktorer.

Sammanfattning systemintegration

Att konvertera en befintlig lantbrukstraktor är en mycket stor insats som nästan kan likställas med att bygga en ny traktor från grunden. Orsaken till att man diskuterar just konvertering finns att hämta i traditionen av att en traktor ska se ut och arbeta som kunderna är vana att se den. När man presenterar ny teknik kan det vara motiverat att låta marknaden känna igen sig. Det går dock inte att bortse från att många tekniksteg skulle bli bättre om man startade från början med nya förutsättningar.

Vid ett uppdrag att konvertera en befintlig traktor så rekommenderas att utgå från en måttligt begagnad rambyggd traktor där inte motorn är en bärande komponent.

Vidare bör en diskussion tas kring vad som är önskad räckvidd på maskinens energilager. Kan man nöja sig med ett måttligare lager och vid behov nyttja påhängt eller externt energilager så förenklar det avsevärt installationen på traktorn.

Ekonomi samt teknikens framsteg och prisutveckling

Under denna rubrik har vi försökt beskriva den prisutveckling vi har kunna se för olika komponenter under de senare åren.

Prisuppgifterna har erhållits via offerter från underleverantörer och kan betraktas som trovärdiga och aktuella. Relevansen för kostnadsuppgifter är dock begränsad till storleken på applikationen som har studerats samt rådande teknisk situation vid tillfället.

Ekonomi kring vätgasproduktion ur ett samhälls-, marknads- och konkurrensperspektiv

Fossilfri vätgas från elektrolys kostar enligt EU:s vätgasstrategi ca 2–4 gånger mer än fossilbaserad vätgas. Flera prognoser indikerar dock att priset på grön vätgas kommer att fortsätta falla (IRENA, 2020; ETC, 2021). De underlag som finns tillgängligt tyder på att fossilfri vätgas via elektrolys kommer att kunna konkurrera med grå vätgas men att det är osäkert när den brytpunkten infaller. De största osäkerheterna är prisutvecklingen för utsläppsrätter och el.

Vid alla introduktioner av ny teknik är det kostsamt i början. Inom flera användningsområden är det idag inte kommersiellt lönsamt. Vätgaslagring och bränsleceller har gjort framsteg under senaste decenniet och fått ökad uppmärksamhet för dess tänkbara potential i världens framtida energisystem. När serie- och volymproduktion kommer i gång på allvar ökar konkurrensen och priset sjunker. Förbättringar i teknologi och tillverkning har gjort att kostnaderna blivit betydligt lägre. Kommersiella produkter har blivit vanligare. Det gör att vätgastekniken på några års sikt kommer att vara konkurrenskraftig. Ett ökat fokus på att lösa problemen med global uppvärmning pekar på att enbart produktion av mer förnyelsebar elektricitet är otillräckligt. Frågan hur storskalig energilagring kan lösas är väsentlig och där är vätgaslagring i kombination med bränsleceller en möjlighet.

Det saknas affärsmodeller som värdesätter tillgången till småskaligt lagrad energi. Här pågår en utveckling mot att man på ett bättre sätt värderar decentraliserad produktion och lagring när eldistributionssystemen blir mer ansträngda. Detta har drivit, och kommer att driva nödvändiga ändringar av lagar och skatteregler.

Elproduktion

Det finns ett stort utbud av producenter och återförsäljare av solceller (PV) och hybridsolceller (PVT). Typisk verkningsgrad för solcellsmoduler med monokristallina kiselceller är 18–20% och maxeffekten för de bästa modulerna har passerat 400 W. För hybridsolceller med vätskekyllning uppskattas det genomsnittliga effektuttaget öka med 4% jämfört med vanliga solcellerna. De bästa tunnfilmsteknologierna med CIGS- eller CdTe-solceller har en modilverkningsgrad på ca 15–18%. Färgade tunnfilmssolceller har lägre verkningsgrad, som beror på val av färg. Kostnaden för en nyckelfärdig anläggning på ca 100 kW var i genomsnitt ca 10 000 kr/kW enligt svensk statistik för 2019. Både priser och prestanda förbättras kontinuerligt.

Effektgarantin för solcellsmoduler är vanligen 25 år. Den ekonomiska livslängden är sannolikt längre i svenskt klimat. De studier som gjorts av modulers minskade effekt över tid har visat på en betydligt lägre degradering än effektgarantin.

El kan också produceras i bränsleceller från lagrad vätgas. Den dominerande teknologin är idag Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEM-FC). PEMFC system har funnits på den europeiska marknaden i cirka 10 år och utvecklas av större fordonsföretag och andra företag.

Kostnaden för bränslecellsystem är idag 14 000 SEK/kW. Utvecklingen för bränsleceller går snabbt och flera aktörer startar nu automatiserade produktionslinor. Prisutvecklingen för bränslecellsystem är på väg neråt och beräknas om 10 år ligga på under 3 000 SEK/kW (exklusive installation), för stationära system. Livslängden för bränslecellsystemet anges normalt i driftstimmar (10 000 till 30 000). Kalendertiden uppskattas till 15 år.

Framställning av vätgas och kompression

Vätgas produceras med hjälp av en elektrolysör. Alkalisk elektrolys (elektrolyten är alkalisk), AEC, är en industriell process som använts i ett hundratal år.

EU har en ambitiös målsättning att installera minst 6 GW elektrolysörer före 2025. Detta och övriga världens ökning av grön vätgasproduktion förväntas ha en positiv inverkan på prisutvecklingen på elektrolysörer.

Sedan några år tillbaka är PEMEC (PEM Electrolysis Cell) också kommersiella. Dessa anses mer flexibel för varierande effektbehov, men i modern alkalisk teknologi har flexibiliteten förbättrats avsevärt.

Kostnaden för en 1 MW AEC (alkalisk elektrolysör) är idag 5,5 miljoner. Denna kan producera 20 kg vätgas/h (480 kg/dygn). Livslängden kan nå upp till 60 000 driftstimmar och uppskattas till 25 år. Under 2023 kan motsvarande elektrolysör pga teknikutveckling, marknadsintresse och alla satsningar som sker, betinga ett pris på 1,5 miljoner, dvs. mindre än en tredjedel av idag.

För att lagra vätgasen behöver den komprimeras från 1-50 bar beroende på fabrikat av elektrolysör till lagringstrycket som är 200-450 bar. Kompression sker vanligtvis med hjälp av mekanisk kolvkompressor, men det finns även andra metoder. Konventionell kompression är en mogen bransch även om fler har fått upp intresset för vätgaskompression. Kostnaden för en kompressor av aktuell storlek (typ 6 kW) är ca 330 kSEK/kW Livslängden för en konventionell kompressor i denna applikation är ca 25 år.

Energilager

Energi i form av vätgas kan lagras i trycksatta cylindrar vid 200-450 bar. Utvecklingen går mot att lagringstrycken höjs, vilket medför ökad kapacitet. Cylindrarna kan placeras i rack inuti en container. Kostnaden för vätgaslagret ligger idag på ca 5 000 SEK/kg. Endast en mindre minskning i pris för denna komponent är att vänta då produktion av trycktankar är en automatiserad process. Livslängden för ett vätgaslager beräknas till 15 år för själva tankarna, övriga materiel upp till 50 år.

För korttidslagring av el från dag till natt är batterier att föredra eftersom verkningsgraden i energiomvandlingen el-vätgas-el är mycket lägre (25-30%) jämfört med batterisystem (ca 85%). Batterier har dock högre självurladdning, storlek/vikt och kostnad per kWh. Tack vare elbilens genombrott har batterisystemens pris minskat drastiskt under senare år och de ingående materialens kostnad är nu upp emot 65% av Litiumbatteriets kostnad. Idag kostar Litiumbatterisystemet 6 800 SEK/kWh. Med den fortsatta batteriexpansionen förväntas även batterisystemen bli billigare, om än i mindre utsträckning än vätgassystemen. Batteriets livslängd anges i antal laddcykler (100% upp-och urladdning ger mellan 6 000-8 000 cykler) och detta beräknas motsvara 15 år.

Övriga nyckelkomponenter

Övriga nyckelkomponenter för det självförsörjande energisystemet såsom bergvärmepump, ackumulatortank för varmvatten, marklager för värme och hybridventilation är kända och beprövade teknologier och deras prisutveckling förutspås inte minska särskilt mycket i framtiden.

Risk och säkerhet

Risk är kombinationen av en oönskad konsekvens och sannolikheten för att den ska inträffa.

Säkerhet är samlingsbegrepp som bättre förstås i sin helhet på engelska. Den enda delen består i att vara i ett säkert tillstånd och uppföra sig på förväntat sätt. Att upprätthålla säkerhet i en kontext där påverkan kan sker är den andra. Dessutom kan även tillförlitlighetsaspekten tas med.

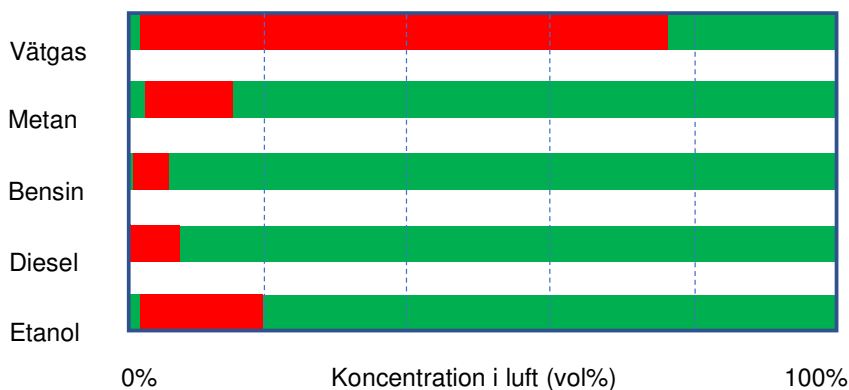
Vätgasen i ett säkerhetsperspektiv

Vätgas luktar inte, syns inte och smakar inget. Detta gör att vi som människor kan inte detektera gasläckage av vätgas utan behöver ta hjälp med detektion av vätgassensorer.

Vätgas är explosiv under vissa förhållanden och som alla andra typer av bränsle måste den hanteras med försiktighet/säkerhet. Vätgas är inte farligare än andra bränslen, men annorlunda. Man måste rikta stor uppmärksamhet på kombinationsrisker vid exempelvis en Multifuel-tankstation.

Vätgas har den högsta förbränningsenergin per viktenhet av alla vanliga material.

Vätgas är lätt antändlig i ett stort koncentrationsspann, se figur 1. Antändningsbarheten är hög (lite energi krävs för att bränsleblandningen vätgas/luft ska börja brinna), se figur 2. Lågorna är svåra att se. Vätgasen brinner med hög temperatur och en explosionsrisk föreligger. Det blir ingen het aska och det skapas väldigt lite strålningshetta.



Figur 1 Blandningskoncentrationer vilka ger brännbar gas (stökiometrisk blandning)

Fakta

LEL = Lower Explosion Limit

UEL = Upper Explosion Limit

- Högt explosionstryck när blandningen är stökiometrisk
- Mycket lågt explosionstryck nära LEL och UEL

Fuel	IGNITION TEMP. °C	TEMPERATURE CLASS
Diesel	200	T3
Petrol	400	T2
Ethanol	400	T2
Hydrogen	560	T1

Tabell 3 Antändningsbarhet för olika ämnen

Temperatur på varm yta som kan antända en explosiv blandning.

Diesel antänds lätt, men detta säger inget om hur lätt man bildar en explosiv blandning.

Vätgas är inte eko-toxiskt, vilket ska betonas. På det sättet innebär vätgas inte samma risker som andra bränslen kan göra, ur miljöhänsende eller som en cancerframkallande substans.

	Vätgas	Metan	Diesel
Fas vid NTP	Gas	Gas	Flytande
Färg	Ingen	Ingen	Gul/Brun
Lukt	Ingen	Ingen (tillsätts)	Kolväte
Kokpunkt (°C)	-252,9	-161,5	176-370
Ångdensitet NTP (kg/m ³)	0,08	0,67	6,2-7,4
Vätskedensitet Kokpunkt (kg/m ³)	70,8	422,8	800-880 (15°C)

Tabell 4 Olika bränslens egenskaper

Det som fastnat i folks minne är när luftskeppet Hindenburg brann och denna olycka förknippas i sin helhet med vätgas. Hindenburg hade en ytbeläggning av järnoxid och aluminium. Det var denna ytbeläggning som antändes när en blixträffade farkosten. Vätgasen brann snabbt upp och försvann, men dieseln i tanken brann i tio timmar efter blixtnedslaget.

Det råder en feluppfattning kring vätebomber vs. den vätgas vi använder i samhället. En vätebomb använder en ovanlig väteisotop som heter Tritium. Tritium förekommer inte naturligt. Det behövs en kärnreaktor för att producera den. Alla likheter med den vätgas, Protium, vi använder för produktion, lagring, distribution och användning saknas.

Specifika förutsättningar gällande vätgas

När vi talar om säkerhet kan det vara enkelt att endast beröra vissa skeden av användning som är helt uppenbara. Vätgasens närvaro i många olika miljöer gör det helt nödvändigt att arbeta metodiskt med riskanalyser och efterföljande riskreducering på de sätt som är mest lämpade. Att följa de säkerhetsföreskrifter/lagar/standarder som gäller för det specifika användningsområdet är ett ovillkorligt krav. Gällande vätgas finns det inte några tolkningsföreträden. Det kommer att tas många initiativ framåt kring säkerhetsaspekten kring vätgas.

Internationella regler tillåter vätgasbilar att användas på samma sätt som andra fordon. Vid transport klassificeras vätgas som "farligt gods" precis som andra drivmedel (t ex bensin och diesel).

Riskerna beror på ett flertal egenskaper hos bränslet, såsom explosionsgrupp, termisk tändtemperatur, explosionsgränser, densitet och flampunkt. Det går inte att dra generella slutsatser kring vad som är mest riskabelt. När det gäller vätgas är det essentiellt att alltid ha insikt om att;

- Vätgas medför risker, men det gör också bensin, diesel, och/eller stora litiumjon-batterier
- Riskerna med vätgas är annorlunda än för andra bränslen eller rena batterifordon
- Det viktigaste är att systemen är designade och integrerade specifikt för vätgas
- I fordonsperspektiv går det att hantera vätgasanvändning på ett säkert sätt

Vätgas har, i stora mängder och under lång tid, hanterats av definierade kategorier i samhället (främst inom industrin). Skillnaden som blir, nu och framåt, är att i och med en omfattande ökning av vätgas kommer också antalet personalkategorier i kontakt med vätgasen att öka väsentligt. Många aktörer behöver, och måste, arbeta med kunskapsuppbyggnad för just vätgas.

Vätgas har egenheten att påverka andra material genom s.k. väteförspredning. Vätgas är inkompatibel med många vanliga material, både metalliska och icke. Gasen är mycket svår att innesluta. De speciella förutsättningarna måste utan undantag beaktas och det går inte att experimentera med egna lösningar. Användning av vedertagna komponenter och delsystem tillsammans med stor egen eller andras kunskap inom området är absoluta krav.

Placeringen av vätgaslager måste ske med omtanke. Vätgastankar får under inga omständigheter spricka eller brista. För att skydda dem från chockvågor och fragmentering (det vill säga, yttre våld och nötande) krävs en genomtänkt placering. Man måste också säkerställa att brandskyddet är rätt för precis det systemet. Läckor måste förebyggas och ventilationskrav tillgodoses. Viktigt att kontrollera och detektera!

Det är viktigt att ha säkerhetsaspekten med sig i alla faser. Här följer ett antal exempel för att illustrera detta:

FAS

Utveckling

Produktion

Fordonsunderhåll

Tankning

Infrastruktur/Distribution

Underhåll

Missbruk

Nödsituationer

End-of-life

FÖRETEELSE

Lab, provning

Företag

Företagets egna

Stationärt/mobilt

Interaktion i samhället ex. tunnlar & garage

Verkstad

Vandaler, terrorism

Eld, räddningsuppdrag

Återbruk

Vätgas och brandrisk

För att en explosiv gasblandning skall kunna antändas krävs en tändkälla med tillräckligt hög energi. De vanligaste tändkällorna är en öppen låga, het yta, gnista från ett slag, gnista från elektrisk utrustning och statisk urladdning.

Mindre vanliga tändkällor är elektromagnetiska vågor, joniserande strålning, ultraljudsvågor och adiabatisk kompression.

En vätgasbrand kan ha varierande logik, kemi och utseende. För att skapa en första förståelse för hur komplicerat detta område är, beskrivs här de olika typerna av bränder:

Diffusionsflammar - oxidationsmedlet och bränslet är åtskilda åt från början, men diffunderar ihop. Flammar uppstår där dessa möts. Diffusionshastigheten är den begränsande faktorn.

Jet Fire - turbulent diffusionsflamma på grund av förbränning av en kontinuerlig bränsleavgivning med betydande momentum i en eller flera riktningar. Uppkommer för gasformiga, 2-fas eller flytande bränslen.

Poolbrand är en typ av diffusionsflamma där ett lager flyktigt flytande bränsle avdunstar och brinner.

Flash Fire (blixtrand) är en kortvarig brand där flamfronten sprider sig snabbt genom ett diffust bränsle (gas, ångor eller damm). Den kännetecknas av hög temperatur, kort varaktighet och en snabbt rörlig flamfront.

Vätgas i fordon

Risker med vätgashantering i fordon är tankning, olycka och brand. Vid tankning är det viktigt med täta anslutningar mellan tankstation och bil för att förhindra utsläpp av gasångor. Om vätgas ändå läcker ut stiger gasen snabbt uppåt. Tanken kan förslagsvis vara en kombination av plastlining för att hålla gasen innesluten och exempelvis kolfiber för att bibehålla formen.

Eftersom det inte finns något syre i tankarna kan det inte ske en explosion inne i dem. Om en brand skulle uppstå finns ventiler som först stänger av vätgasflödet helt. Det finns ytterligare ventiler som släpper ut vätgasen på ett kontrollerat vis, bort från de som sitter i bilen. Sensorer som upptäcker läckor av vätgas finns på flera ställen i bilen. Dessa larmar och vätgasen stängs då av. Till skillnad från flytande drivmedel som diesel och bensin stiger, vid läckage, vätgasen mycket snabbt uppåt och lämnar fordonet.

Tankarna ska vara placerade skyddat centralt och lågt i fordonet. Det krävs en mycket kraftig kollision för att skada systemet så mycket att gas läcker ut. Vid en kollision stängs skyddsventilerna, så gasen blir helt innesluten i tankarna. Säkerhetssystemets nästa fas är att vid brand, släppa vätgasen bort från kupén.

Om gasläckage uppkommer stiger gasen snabbt uppåt. Därför är det av vikt att skapa rätt förutsättningar så att detta kan ske obehindrat. Vätgas ska inte riskeras att hamna i ett slutet, oventilerat utrymme. Exempel på slutna utrymmen är tunnlar, parkeringshus, villagarage, industribyggnader och bilfärjor. Karakteristiken av spridningen i ett slutet utrymme beror på följande parametrar; typ av källa, massflödes hastighet, tryck, varaktighet, form på utrymme, anslutningar och ventilation.

Angående denna typ av utrymme (slutna) är det motiverat att också nämna att det finns risker med traditionella bränslen och med ett helt batterielektrifierat fordon. Vid eventuell brand i ett sådant går den inte att släcka och gaserna är mycket giftiga. En yttre brand kan skada tankarna och brandförloppet förvärras på liknande sätt som brand i en diesel-/bensindriven bil.

Bränslecellsfordon genomgår rigorösa krock-/säkerhetstester. Det bästa exemplet från bränslecellsdrivna personbilar är Hyundai NEXO, som 2019andra fick toppbetyg i NCAP. Några moment i dessa tester är att skjuta, elda och släppa 150 ton på tanken.

Bilen är toppval år 2021 av Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) och Highway loss Data Institute (HLDI)

Pågående initiativ inom industrin och noder i Sverige. Världsutblick och exempel.

Antal projekt inom vätgas (och även storleken på dessa) ökar. Media har senare tid rapporterat mer om vätgas. Detta bekräftar teknikens ställning i samhället och betyder mycket för människors inställning till vätgas. Kommunikation kring vätgas bidrar även till att aktörer finner varandra på ett lättare sätt. Ovanstående snabbar upp teknikens intåg och utveckling, både gällande teknologi och omfattning. I början av 2021 hade ett trettiotal länder en presenterad Road Map för vätgas. Det finns många projekt, investeringsplaner och nationella strategier satta inom detta.

Av de nationella vätgasstrategierna kan man konstatera att teknikutveckling- och användning av vätgas förväntas ske i sektorerna: industri, transport, energi, bebyggelse och export. Industri- och transportsektorn är generellt sett de mest centrala sektorerna för vätgas.

Fossilfri vätgas från elektrolys kostar enligt EU:s vätgasstrategi ca 2-4 gånger mer än fossilbaserad vätgas. Flera prognoser indikerar dock att priset på grön vätgas kommer att fortsätta falla (IRENA, 2020; ETC, 2021). De underlag som finns tillgängligt tyder på att fossilfri vätgas via elektrolys kommer att kunna konkurrera med grå vätgas men att det är osäkert när den brytpunkten infaller. De största osäkerheterna är prisutvecklingen för utsläppsrätter och el. (Källa: Energimyndigheten)

Projekt globalt är av olika slag:

- * Giga-scale initiativ inom förnybar produktion.
- * Storskalig industriell produktion
- * Transportprojekt. Mobila applikationer som exempelvis tåg, truckar, fartyg och bilar. Inom denna kategori kan det finnas initiativ som inte är officiella.
- * Integrerad H₂-ekonomi – branschöverskridande projekt med olika användare.
- * Infrastrukturprojekt; Distribution, transport, lagring och omvandling.

55% av projekt globalt finns i Europa, följt av Australien, Japan och Korea.

Det är tydligt att det är i Europa de branschöverskridande projektet drivs, i större utsträckning än i övriga världen.

Här följer exempel på satsningar runtom i landet:

HYBRIT (SSAB, LKAB, Vattenfall) Satsning utanför Luleå på fossilfritt stål med vätgas som reduktionsmedel, HYBRIT-tekniken innebär att masugnprocessen, som använder kol och koks för att ta bort syret ur järnmalm ersätts med en direktreduktionsprocess där fossilfri vätgas används. I satsningen ingår en pilot för lagra vätgas och lämpligt stål för detta.

I slutet av 2020 presenterade LKAB en långsiktig strategisk plan med målet att tillverka järnsvamp genom vätgasreduktion och exportera den mer vidareförädlade järnprodukten istället för järnmalmspellet. HYBRIT innefattar det stål som SSAB producerar medan LKAB:s satsning innefattar all järnmalm som LKAB säljer.

Ovako förbereder nästa demonstrationssteg i Hofors för ståluppvärmning med hjälp av fossilfri vätgas. Om fossilfri el finns tillgänglig kommer man använda samma vätgasteknik på sina tre andra anläggningar i Sverige.

Volvo-Daimler presenterade i april 2021 samriskbolaget Cellcentric. Företaget kommer att utveckla, producera och sälja bränslecellssystem för både fjärrtransporter och andra användningsområden.

Volvo CE startar ett testlab för bränsleceller i Eskilstuna.

Både Scania och Volvo AB investerar i utveckling av vätgasdrivna lastbilar.

Scania har ett samarbete med den norska matkedjan Asko där de testar fyra bränslecellslastbilar i Oslo. De samarbetar med PowerCell och Renova kring en bränslecellsdreven sopbil. Sopbilen rullar i Göteborg sedan mitten av juni 2021.

Perstorps satsning "Project Air", där de i Stenungsund tillsammans med Fortum och Uniper utvecklar en unik process för hållbar metanoltillverkning genom att kombinera CCU (Carbon Capture and Utilization) och förgasning.

Preem (Lysekil & Göteborg) och St1 (Göteborg) planerar öka sin biodrivmedelsproduktion med hjälp av fossilfri vätgas.

St1, Liquid Wind och Jämtkraft förbereder sig för olika satsningar inom elektrobränslen.

Nouryon har planer på att ersätta den fossila vätgasen med fossilfri vätgas för sin väteperoxidproduktion i Ånge och Bohus.

H2 Green Steel lanserade under våren 2021 en plan för att bygga en anläggning för produktion av fossilfritt stål i Svartbyn utanför Boden. Fullt utbyggd runt 2030 förväntas elektrolysröskapaciteten vara över 1800 MW.

Höganäs undersöker möjligheterna för att ersätta sin nuvarande vätgasproduktion från naturgas (som används i metallpulverproduktion) med vätgasproduktion genom biogasreformerings, förgasning av biomassa samt elektrolys.

Borealis i Stenungsund vill minska sina växthusgasutsläpp och undersöker olika möjligheter att använda vätgas i kombination med andra lösningar. Ett alternativ som undersökts är användning av vätgas från elektrolys som krackerbränsle.

Sjöbohem planerar för att kunna göra en av sina byggnader självförsörjande på el och samtidigt producera vätgas till sin fordonsflotta. Sjöbohem producerar förnybar energi. Fullt utbyggd kommer anläggningen bestå av drygt 800 solpaneler med en installerad effekt på och ett vindkraftverk.

Tankstationer

Antal tankstationer för vätgas över hela världen var i 492 stycken (International Hydrogen Fueling Stations - FY21Q4, sep 2021)

Länder som har flest antal tankstationen:

Japan	154
Sydkorea	112
Tyskland	91
Kina	39
Frankrike	18

I Sverige fanns det vid samma tid fyra stycken tankstationer (Arlanda, Mariestad, Sandviken och Umeå). Under hösten har flera orter namngivits som etableringsställen. Inom de närmsta åren kommer vi troligtvis se en avsevärd ökning av tankstationer, både de som ingår i specifika kontexter med eller utanför stödsystemet men också publika sådana.

Danska Everfuel planerar att bygga 15 vätgasmackar i Sverige till slutet av 2023. Åtta av stationerna kommer att etableras inom det delvis EU-finansierade Nordic Hydrogen Corridor. Trelleborg blev i maj 2020 första annonserade ort i projektet, och arbetar nu bl.a. med att

optimera upplägget tillsammans med övriga projektparter. Resterande sju planeras enskilt eller i samarbete med andra partners.

10 december offentliggjorde Klimatklivet (Naturvårdsverket) att de tar 70% av kostnaden i att etablera 24 publika tankstationer i landet. Dessa stationer är modulära och kan skalas upp efter behov. Varje tankstation har en egen elektrolysör som tillverkar vätgas på plats, i anslutningar till tankstationen. Tankstationerna kommer placeras vid Rastas anläggningar som är belägna vid Europa-/riksvägar i södra Sverige.

En tydlig trend är att otillgängliga turistattraktioner som idag försörjs av dieselaggregat kommer att ställas om. Det har många fördelar och den typiske besökaren på en sådan plats har värderingar i linje med hållbar kraftförsörjning.

Slutsats

Denna förstudie som genomförts under hösten 2021 visar att det är mycket troligt att vätgasteknologin som växer fram i samhället även kommer att nå lantbruket i Sverige inom en tio-årsperiod. Skiftet av teknik kan erbjuda stora tekniska fördelar. Risker med vätgassystemen finns, men inget talar för att de är större än vad de är för befintliga energisystem på gårdsnivå. Riskerna ser dock annorlunda ut och måste hanteras med andra metoder.

