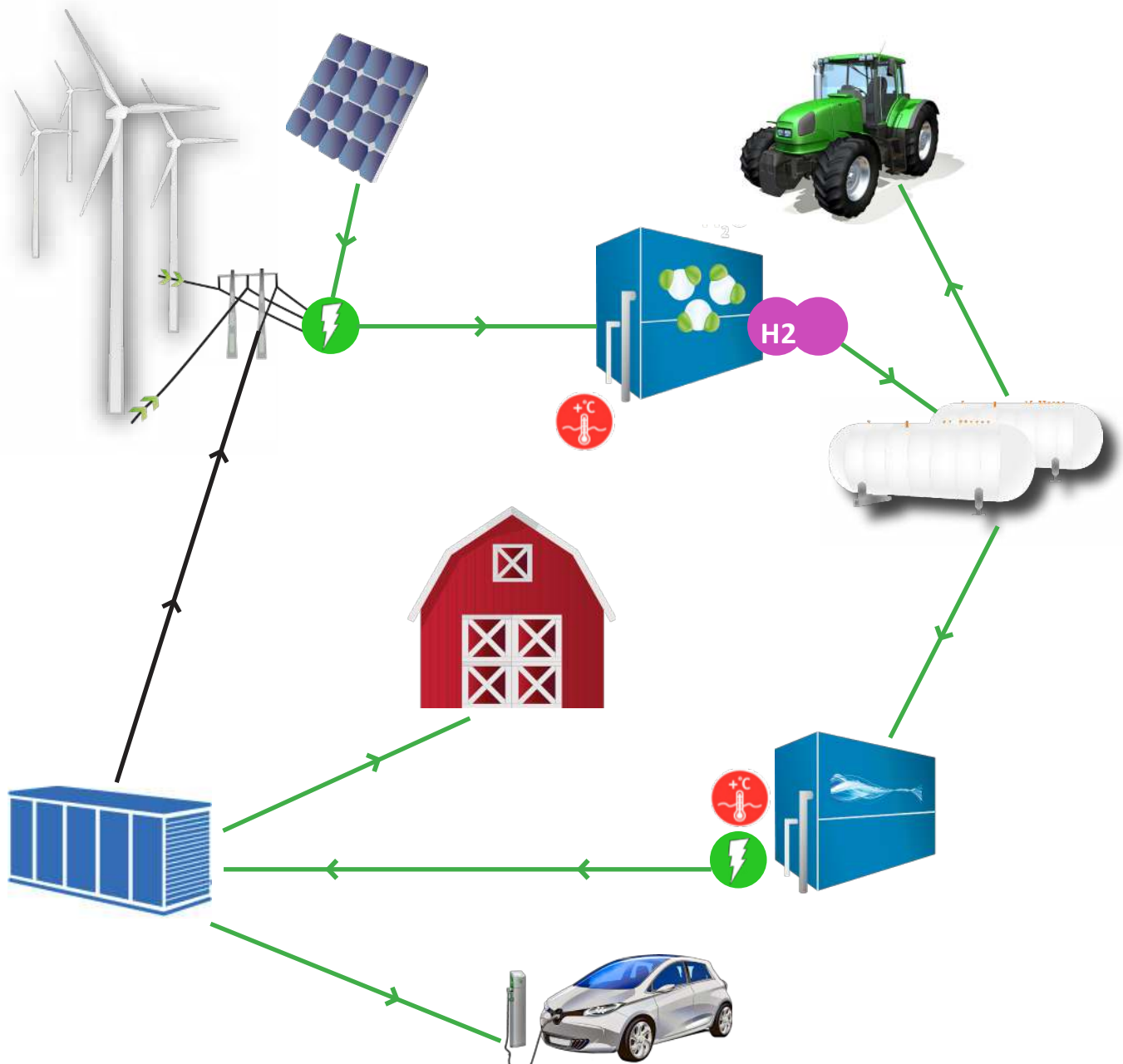


Vätgas och energilagring



Förord

På Gotland har LRF drivit flera olika energi- och klimatprojekt som "fossilfritt kött", "energiomställning grönt näringsliv" och nu senast ett om vätgas och energilagring. LRF vill ta ansvar för utvecklingen av långsiktigt hållbara lösningar för verksamheten inom de gröna näringarna. Målet är att ha en fossilfri livsmedelsproduktion till 2030¹.

Idén till det här projektet kommer från Per och Kickan Karlsson Gangvidefarm När på Gotland som har arbetat med vätgas i sex år. Deras vision är ett system med småskalig energilagring som i stort antal ger möjlighet till elnätsnytta, tankning av vätgasfordon och laddning av elfordon.

En energiomställning kommer att kräva användning av många olika tekniker. Vätgas från fossilfria energikällor är en av dem som ger helt utsläppsfri energi. Tekniken ger dessutom möjlighet för flexibel användning inom många användningsområden som fordonsbränsle, energilagring, stöd till elnät, tillverkning av ammoniak och syre, reservkraft mm.

Med mer väderberoende energikällor, som ger en ojämnare elproduktion, kommer behovet av att lagra energi bli större och nya affärsmodeller för detta kommer att uppstå.

Tekniken är fortfarande kostsam, men med mycket stora investeringar i teknikutveckling och när tillverkningsvolymerna kraftigt stiger, så kan ekonomin inom en relativ närtid ge en intressant konkurrenskraft.

De gröna näringarna har stora möjligheter att bidra i den stora energi och klimatomställning som pågår. Det öppnar sig också nya affärsmöjligheter som kan ge en förbättrad lönsamhet för branschen. Sverige ligger långt fram i omställningsarbetet och med framtida kloka politiska beslut som ger ekonomiska incitament finns definitivt möjligheter att lyckas.

Anna Törnfeldt och Andreas Nypelius

LRF Gotland

¹ <https://www.lrf.se/mitt-lrf/nyheter/riks/2020/03/sveriges-bonder-klimatmal-fossilfritt-lantbruk-2030/>

Innehållsförteckning

Förord	2
Sammanfattning	5
Inledning och bakgrund till projektet	7
Arbetssätt	8
Beskrivning av energilagring i vätgas	9
Elektrolys av vatten till vätgas	9
Så fungerar en bränslecell	10
Så fungerar ett bränslecellsystem	10
Så fungerar ett energilagringssystem	11
Förluster	13
Formfaktor	13
Anläggningar i andra länder	13
Syrgas	14
Tankstationer för vätgas	14
Säkerhet	15
Fokusområde 1 Förutsättningar för vätgasproduktion och lagring	15
Gotlands energisituation	15
Solceller Gotland	16
Lantbrukare och vindkraft	16
Olika användningsområden	17
1. Gårdsanläggning för egenproducerad el	17
2. Tre exempelgårdar	17
3. Gårdsanläggning Gangvidefarm	20
4. Ett antal aggregerade anläggningar för drift mot elnätet	21
Fokusområde 2 Användningsområden för vätgas	22
Uppskattad förbrukning av vätgas för den gotländska fordonsflottan	22
Vilka fordon finns tillgängliga för att byta ut befintliga fossila?	23
Lantbrukstraktor med vätgasdrift	24
Inblandning av vätgas i biogas och flytande naturgas	28

Biogas till vätgas	28
Jordbruket och kvävegödselmedel	29
Beredskap och säkerhet	29
Reservkraft med vätgas	30
Fokusområde 3 Ekonomi kring vätgasproduktion	30
Var finns det liknande produkter?	30
1. Ekonomi för gårdsanläggning egenproducerad el	30
2. Ekonomi för tre exempelgårdar	31
3. Ekonomi för Gårdsanläggning Gangvidefarm	32
4. Ekonomi för ett antal aggregerade anläggningar för drift mot elnätet	33
Elnätstjänster från distribuerade småskaliga energilager	33
Befintliga Systemtjänster och marknadsplatser	38
Olika marknadsplatser	39
Ägandeformer	42
Utbildning och information	43
Nätverk för vätgas	43
Handlingsplan och områden att arbeta vidare med	44
Diskussion och slutsats	44
Fördjupningsbilaga 1 Syrgas till sjukvård	45
Fördjupningsbilaga 2 Vätgas för kvävegödselframställning	46

Sammanfattning

Projektet har undersökt hur energi från sol och vind kan lagras småskaligt i vätgas på gårdsnivå och till olika användningsområden. Tekniken är under snabb utveckling och bedöms att vara nära ett genombrott. En energiomställning kommer att kräva användning av många olika tekniker, varav vätgas från fossilfria energikällor är en av dem som ger helt utsläppsfri energi och möjlighet till energilagring. Målet för projektet har varit att göra en rapport med kartläggning och analys kring förstudiens fokusområden:

Förutsättningar för vätgasproduktion och lagring

Gotland har speciellt bra förutsättningar för att demonstrera och utveckla ny teknik. Hög andel vindkraft i energimixen och många solcellsanläggningar, speciellt på lantbruk. Gotland är också pilotlän i energiomställningen för ett hållbart energisystem, ett projekt pågår för att stärka totalförsvaret och ön är dessutom pilotområde för att öka reservkraften till mobilnätet. Inom alla dessa områden kan vätgas och energilagring spela viktiga roller.

I projektet har identifierats fyra olika användningsområden på gårdar med utgångspunkt från småskalig energilagring i vätgas.

- En gård som kopplas från elnätet och sparar sommarens solen för åretrunddrift.
- Tre gårdar som med utökade solcellsanläggningar som förutom egen elanvändning tillverkar fordonsbränsle eller ammoniak.
- En gård som från sol försörjer den egna gården och kan dessutom stödja det lokala elnätet med balanskraft. Energilagringen ger dessutom möjligheten att köpa och sälja el. Dessutom finns möjligheten för snabbbladdning av elbilar och vätgastankning.
- Ett antal anläggningar som föregående som kan aggregeras till att dessutom utföra nättjänster för det regionala elnätet.

Användningsområden för vätgas

Vätgas är en flexibel energibärare med många användningsområde. En sammanställning är gjord på behovet av vätgas om alla fordon skulle gå över till drift med bränsleceller. På många områden utvecklas nu bränslecellsfordon men för traktorer finns ännu inga kommersiella alternativ. Att bygga en helt ny traktor från grunden ser ut att vara den mest intressanta lösningen. Ur totalförsvars och beredskapssynpunkt har vätgas ett flertal användningsområden som ger möjlighet att skapa ett robustare samhälle.

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

Vid alla introduktioner av ny teknik är det kostsamt i början. När serie- och volymproduktion kommer igång på allvar ökar konkurrensen och priset sjunker. Det gör att vätgastekniken på några års sikt kommer att vara konkurrenskraftig. För de användningsområden som projektet har undersökt är det idag inte kommersiellt lönsamt, vilket heller inte var förväntat. Det saknas också affärsmodeller som värdesätter tillgången till småskaligt lagrad energi. Men här pågår en utveckling mot att man på ett bättre sätt värderar decentraliserad produktion och lagring när eldistributionssystemen blir mer ansträngda. Det gäller inte enbart Gotland utan förekommer även på många andra platser i landet.

Handlingsplan och nätverk

I projektet har det tagits fram en handlingsplan där det viktigaste har varit att söka stöd för att bygga en eller två demonstrationsanläggningar på Gotland så att de olika användningsområdena kan testas och att kunna visa upp systemen för intresserade. Det är även viktigt att bibehålla och utveckla det nätverk som skapats i projektet.

Inledning och bakgrund till projektet

Det görs stora investeringar i forskning och utveckling runt om i världen framförallt i Japan, Sydkorea, Kina och Tyskland. Det är mestadels företag och institutioner som är kopplade till fordonsindustrin som investerar. Det sker en snabb teknikutveckling där Sverige är en av de ledande i utveckling av teknik, men ambitionen för användning av vätgas i Sverige är inte prioriterad i dagsläget.

Teknikutveckling kommer att leda till högre effektivitet och lägre kostnader. Hydrogen Council som är en organisation för stora världsomspännande företag har släppt en rapport som visar hur kostnaden för vätgasapplikationer kommer att minska radikalt under det kommande decenniet².

Vätgas kan användas på många områden men man tror att det framförallt är inom fordonsindustrin och då speciellt inom den tunga fordonssektorn som genombrottet kommer att ske. Ren eldrift är inte ett alternativ för lastbilar eftersom batterierna idag blir för tunga så att de tar bort alltför stor andel av nyttolasten. Hyundai kommer att leverera 1600 vätgasdrivna lastbilar till Schweiz fram till år 2025. Norge siktar på 1000 vätgasdrivna lastbilar till år 2023. Andra områden där utveckling sker i snabb takt är exempelvis drift av fartyg, tåg och stationära applikationer.

Behovet av att kunna lagra energi ökar när det blir fler förnyelsebara och intermittenta energikällor (el som kommer ojämnt över tid, från vind och sol). Produktionen av vindkraft på Gotland motsvarar på årsbasis 50% av elförbrukningen på ön. Tidvis rådet överskott på el i det gotländska elnätet, då kan det exporteras el från Gotland, men det finns också ett avtal mellan GEAB Elnät och öns vindelproducenter som möjliggör bortkoppling av vindkraftverk. För att istället kunna producera så mycket som möjligt när det blåser och sedan kunna sälja el när det är efterfrågan i det lokala nätet, kan lagring i vätgas vara en möjlighet. I andel är solcellsanläggningar ännu inte mer än någon enstaka procent men för den enskilde producenten och lokalt på vissa platser kan den ha stor betydelse. Totalt fanns installerat över 9 MW³ solceller vid 825 solcellsanläggningar på Gotland i slutet av 2019. Ju mer intermittent kraft det finns i nätet desto större är behovet av lagring. Vätgas är en av möjligheterna för att kunna balansera elsystemet. Efterhand som produktionskostnaderna för vätgas kommer att minska och behovet att balansera elnätet kommer att öka kan det bli ekonomiskt intressant⁴. Genom att bygga ett antal anläggningar och kunna styra dessa gemensamt och finns det möjlighet för balansering av elsystemet.

Energimyndigheten har fått i uppdrag av regeringen att verka för att Gotland ska vara ett pilotområde som går före i omställningen till ett hållbart energisystem, utifrån energipolitikens tre grundpelare; försörjningstrygghet, konkurrenskraft och ekologisk hållbarhet. I regeringens budget för 2020 finns inga särskilda medel avsatta för Energipilot Gotland. Energimyndigheten finansierar inom ordinarie anslag ett antal projekt på Gotland och söker för närvarande (våren 2020) ytterligare finansiering för att kunna göra projektutlysningar för Gotlands del, främst inom färdplanens fokusområde transporter och bebyggelse. I regleringsbrevet för Svenska Kraftnät 2020 ingår att göra en bedömning om Gotland har en trygg och säker elförsörjning på kort och lång sikt. Redovisningen av försörjningstrygghet och leveranssäkerhet avseende elproduktionen ska göras i samverkan med

2

https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study-1.pdf

3

https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/N%C3%A4tanslutna%20solcellsanl%C3%A4ggningar/-/ENO123_1.px/?rid=5e71cfb4-134c-4f1d-8fc5-15e530dd975c

4

https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/static.wm3.se/sites/400/media/405190_Slutrapport_f%C3%B6rstudie_v%C3%A4tgas.pdf?1583828769

Energimyndigheten. Återstående livslängd för nuvarande HVDC-anslutning från Gotland till fastlandet är 10-15 år. Inom den tidsramen måste nya lösningar fram. Industrins omställning bedöms här bli en drivande faktor. Ö-läget och pilotuppdraget kan medföra att på Gotland finns förutsättningarna för att utveckla affärsmodeller för energilagring tidigare än i andra regioner, liksom pilotuppdraget behöver medföra goda möjligheter till att driva energiomställningsprojekt. En framgångsfaktor för Gotland som pilot i ett hållbart energisystem är att olika tekniker får tillfälle att utvecklas och demonstreras här.

Gotland har ett centralt läge i Sveriges för försvarsförmågan. En av de avgörande funktionerna som behöver finnas på Gotland är en säker elförsörjning sett ur totalförsvarsperspektiv. Den pågående uppbyggnaden av totalförsvaret på ön, som Länsstyrelsen i Gotlands län ansvarar för, lyfter särskilt denna aspekt.

Lantbruket har god tillgång till tak för utbyggnad av solenergi och arealer för vindkraft. Samtidigt som man är en storförbrukare av elenergi framförallt inom animalieproduktionen. Genom att lagra in energi under soliga dagar från solceller och på så sätt spara för senare användning eller att kunna minska toppbelastningen av elnätet, alternativt använda lagrad el under tider när elpris är högt. Gårdarna har ofta behov av reservkraft, speciellt 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.

Lantbrukets beroende av fossil energi för drivmedel och mineralgödsel behöver minska. Vätgas ger möjligheter, tekniken finns men applikationerna är ännu inte färdigutvecklade.

Målet för projektet har varit att göra en rapport med kartläggning och analys kring förstudiens tre fokusområden:

1. Förutsättningar för vätgasproduktion och lagring.
2. Användningsområden för vätgas.
3. Ekonomi kring vätgasproduktion ur ett samhälls-, marknads- och konkurrensperspektiv.

Målet är även att ta fram en handlingsplan baserad på förstudiens resultat som visar vilket som är nästa steg i utvecklingen. Vid projektets slut skall det finnas ett upparbetat nätverk av intressenter kring vätgasfrågor.

Arbetssätt

Arbetet har finansierats av Europeiska Regionala Utvecklingsfonden genom Tillväxtverket som är förvaltande myndighet för programmet Småland och öarna, Region Gotland och LRF.

Förstudien har sett lagring och användning ur ett brett perspektiv. Det har innefattat olika användningsområden för elnätstjänster, fordonsdrifter, säkerhet/ beredskap, värme, ammoniak och syrgasproduktion. Projektledare: Bernt Pettersson och Josefin Knudsen. Styrgrupp: Petter Engström LRF, Anna Törnfeldt LRF, Helena Andersson Region Gotland och Anna Sorby Länsstyrelsen Gotland. Det har också funnits en brett sammansatt referensgrupp som har tillfört projektet mycket och samtidigt är en del av det nätverk som är ett av projektets mål. Arbetet har pågått från juni 2019 till april 2020. På grund av Covid 19 har slutseminariet som skulle ha hållits i mars blivit framflyttat till hösten 2020. Olika delar av rapporten är författade av Erik Wiberg RISE/Vätgas Sverige, Josefin Knudsen GVP,

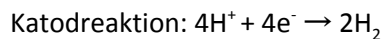
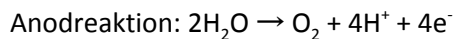
Beskrivning av energilagring i vätgas

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), som liknar bränslecellsbilarnas bränsleceller 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

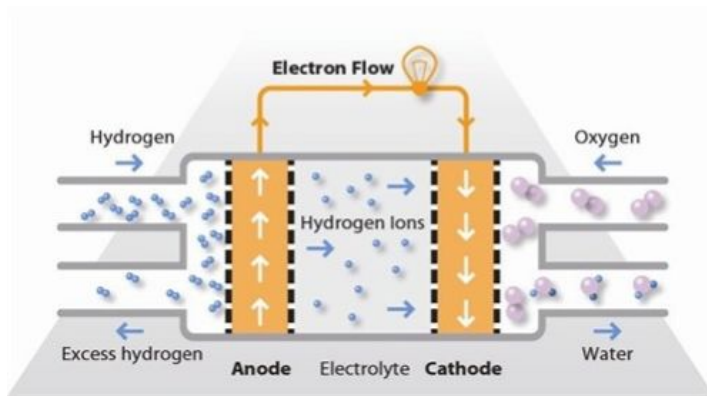


Bild 1. Bränslecell av PEM-typ

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

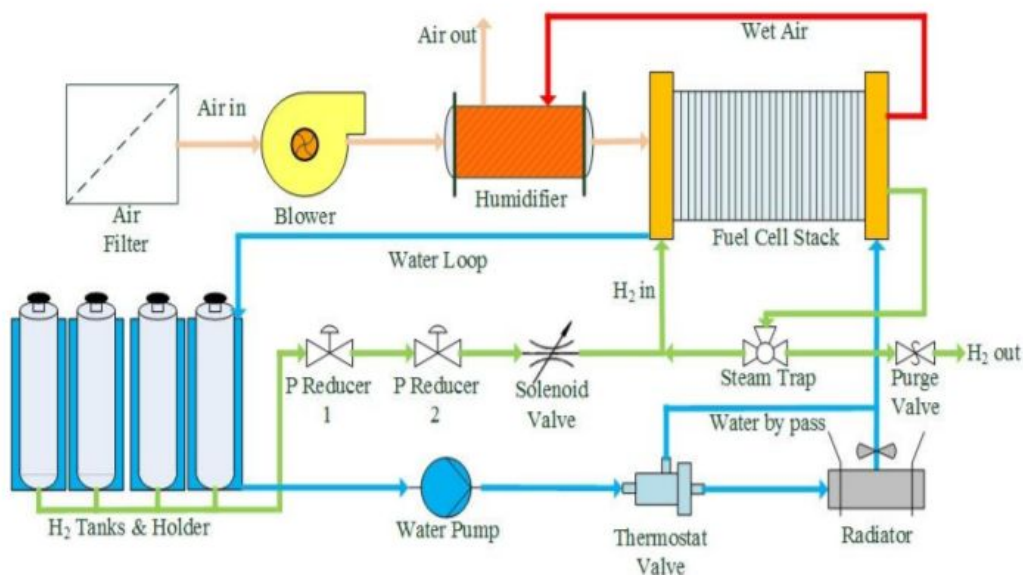


Bild 2. Bränslecellsystem⁵

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 hybridsystem användas med såväl batterier som vätgaslager.

Som alternativ till ellager går det i regel att bygga ut elnätsanslutningar enligt devisen att det alltid är blåstigt eller soligt någonstans, och därmed går att flytta vind- eller solceller 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:

⁵ <http://www.electrochemsci.org/papers/vol12/120706266.pdf>

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

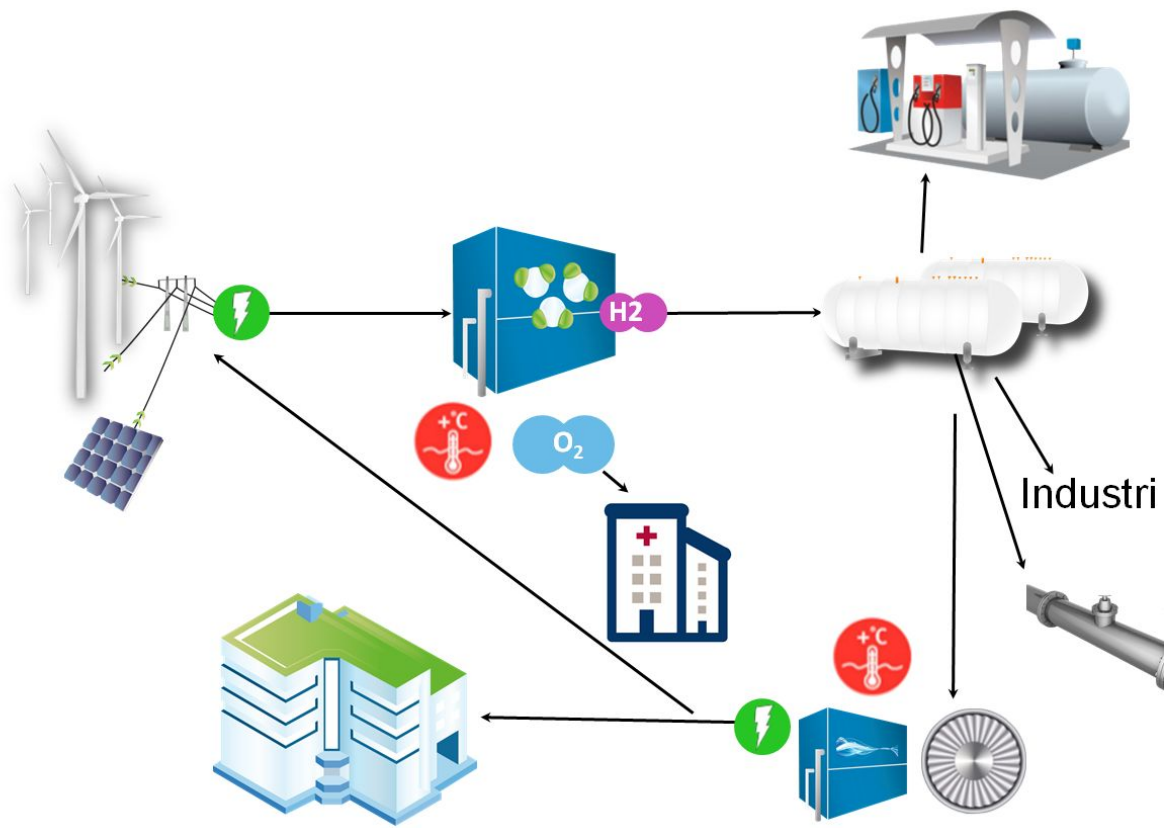


Bild 3. exempel på energilagringssystem

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. Elektrolysöretillverkaren 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 över huvud taget kan tas tillvara på.

Alkaliska elektrolysörer har använts i över 100 år men i storlekar betydligt större än vad som föreslås i detta projekt 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 polymerelektrolytelektrolysörer. 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 tid⁶. 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 % förutspåddes.⁷

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 energilager 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 energilager 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 strömbrott 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-containerar 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 containerar. 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.

Anläggningar i andra länder

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 bergum för naturgas och vätgas.

⁶ https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/19006_hydrogen_class8_long_haul_truck_targets.pdf

⁷ <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-hydrogen-production-electrolysis>

Utöver detta finns projekt för att kombinera flera elektrolysörförsedda 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 Gotland finns ett sjukhus och flera vårdcentraler som använder syrgas, där sjukhuset är den dominerande användaren. 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. Läs mer om syrgas och sjukvård i fördjupningsbilaga 1.

I projektet har vi inte funnit industrier på Gotland som använder syrgas i någon större omfattning. Ett nytt område som kommer att förbruka syrgas är inomhusodling av fisk i recirkulerande system där det första företaget just har startats på ön.

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 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, 400 och 900 bar tankas sedan fordonet i tur och ordning. Detta gör dels att tanken blir mer full, 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 komprimerats till 900 bar. Denna process kallas kaskadfyllning.

Energin 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. Om det fylls på från lastbil gör det att mindre mängd användbar gas kommer med i varje last men om den produceras med elektrolysör kan den produceras vid exempelvis 30 bar om vattnet höjs till detta tryck, vilket gör att en hel del energi kan sparas. Det finns flera olika typer av kompressorer där kolvkompressorn är vanligast.

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 mer 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.

Säkerhet

Som andra energilager är säkerhetsaspekterna viktiga när det gäller vätgaslager. Detta gäller även batteriet som inkluderas i det hybridenergilager som beskrivs i denna rapport. För batteriet är det viktigt att det skyddas från objekt som kan skada eller kortslua, vilket vanligtvis löses med en inneslutning eller placering så att detta uppnås. I de fall batterier med litiumkemi används behövs relevant elektronik som skyddar batteriet från över- och underspänning samt från för snabb i och urladdning. Batteriet behöver även hållas inom ett givet temperaturintervall. Denna typ av skyddselektronik levereras i regel med batterisystemet.

Vätgaslagret i sig behöver skyddas från yttre påverkan, om än inte lika noggrant som batterierna eftersom de har ett starkare hölje. Att skydda tankarna från övertryck är i regel inget problem då kompressor eller trycket från elektrolysör inte är tillräckligt över normalt lagringstryck för att detta ska kunna ge problem. Även gastankarna behöver skyddas från värme men problem uppstår först vid betydligt högre temperaturer än batteriet. Detta löses med smältsäkringar som släpper ut vätgasen kontrollerat åt en gynnsam riktning bort från människor och egendom. När gas leds från elektrolysören till lagret och från lagret till bränslecellsystemet används gasledningarna i rostfritt stål. Det bör tas hänsyn till att vätgasen stiger mycket snabbt i luft, vilket gör att ventilation och detektorer bör placeras i den högsta punkten av ett rum som innehåller en gasinstallation. Eftersom vätgas har använts i industrin i över 100 år finns tillämpbara metoder och erfarenheter för att sköta vätgasinstallationer på ett säkerhetsmässigt tillfredsställande sätt med hjälp av ventiler som stänger av respektive leder om flödet vid olika riskscenarier.

Fokusområde 1 Förutsättningar för vätgasproduktion och lagring

Gotlands energisituation

Gotlands egna behov täcks idag till 50 % av förnybar energi från vindkraft på ön, och resten av elen kommer från fastlandskablarna, där vattenkraft och kärnkraft dominerar. Eftersom Gotland är ett pilotområde som av regeringen utsetts till att gå före i att ställa om till fossiloberoende, är det av stor vikt att el- och övrig energiförsörjning är helt förnybar. Utöver detta finns en försörjningstrygghetsmässig och säkerhetspolitisk fördel om Gotland kan vara självförsörjande och därmed inte lika beroende av kabelanslutningarna. Utöver detta är det Region Gotlands mål och av klimatomställning om exporten av el till fastlandet kan ökas, vilket även ökar landets export eller användning för att elektrifiera transporter och industri. Detta kräver en vindkraftsutbyggnad som inte är möjlig utan att energilager etableras, då kabeln inte klarar att ta transportera mer el till fastlandet vid blåsiga dagar. För att täcka Gotlands behov av el behöver vindkraften byggas ut med 200-300 MW.

För att Gotland ska vara det pilotområde för klimatomställning som regeringen beslutat behöver även transporterna ställas om; allt från personbilar och lastbilar till färjetrafiken till fastlandet. Även

här finns aspekten säkerhetspolitik och försörjningstrygghet då Gotland är helt beroende av importerade drivmedel.

Solceller Gotland

Gotland lämpar sig utmärkt för produktion av solel, där finns den högsta solinstrålningen (1050-1100 kWh/år) i Sverige och är lika bra som i södra Tyskland. Gotland ligger i topp⁸ bland länen vid fördelningen av solcellsstöd per invånare för installation av solceller. Vid slutet av 2019 fanns det över 9 MW installerade solcellsanläggningar på Gotland. Hur mycket av dessa som är installerad på lantbruksbyggnader finns ingen separat statistik för, men kvalificerad uppskattning är att det finns 250 st. Anläggningarna på gårdar är också större än genomsnittet.

Vid lokalavdelningsmöten i LRF 2020 delades en enkät ut till närvarande lantbrukare. På frågan om investeringsviljan i solceller svarade 199 personer. Det visade att 23 % redan hade solceller installerade och att 46 % planerade att investera i solceller inom de närmaste 5 åren. Det finns alltså en vilja att fortsätta att investera i solceller hos gotländska lantbrukare, men det avgörs om det är tillräckligt bra ekonomiskt utsikter för investeringen.

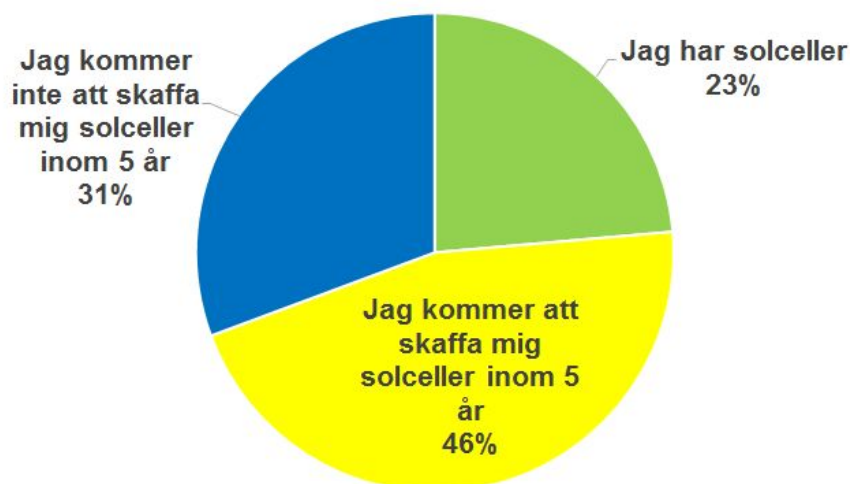


Bild 4. LRF enkät vid lokalavdelningsmöten 2020

Från årsskiftet har det lokala elbolaget på Gotland GEAB ändrat sitt regelverk för solelsproducenter. Huvudsäkringens storlek har nu inte längre någon betydelse utan den regel som gäller är att anslutningen skall vara nettokonsument av el på årsbasis.

Lantbrukare och vindkraft

Det finns bara två vindkraftverk som är direkt kopplade till gårdar på Gotland. De byggdes i början av 90-talet när storleken på verken var relativt liten och möjligheten att få tillstånd att sätta upp vindkraftverk i närheten av bostadsbebyggelse fanns.

8

http://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/solenergi/manadsrapporter/2019/solel-manadsstatistik_dec19.pdf

Däremot är det fortfarande vanligt att lantbrukare äger andelar eller aktier i vindkraftverk. Vid den enkät som delades ut vid LRF:s lokalavdelningsmötena var 20% av lantbrukarna delägare i vindkraftsproduktion.

Olika användningsområden

Beroende på vilket det tänkt användningsområde dimensioneras anläggningen för att optimera prestanda och ekonomi. Vi har identifierat 4 användningsområden

1. En gård med egen solcellsanläggning där man framförallt vill använda så mycket egenproducerad el som man spar från sommaren så att det räcker året runt och gården kan kopplas från elnätet.
2. Gårdsanläggning utgående från tre exempelgårdar med en solcellsanläggning som utökas till 250 kWp (kilowatt peak, den högsta möjliga produktionen) där den utökade produktionen används antingen för att tillverka ammoniak eller fordonsbränsle.
3. En scenariogård med en solcellsanläggning på 125 kWp med en bränslecell på 60 kW som kan stödja det lokala elnätet både genom att kunna öka förbrukning vid elöverskott och leverera effekt när det finns behov i elnätet. Lagringsmöjligheten kan användas till att köpa el när priset är lågt och sälja när priset är högt. Anläggningen skall också kunna användas för att ladda elbilar och tanka vätgasfordon.
4. Scenario där man bygger ett antal anläggningar (100-300 st) enligt punkt 3 där anläggningarna kan aggregeras för att stödja elnätet på ett koordinerat sätt. Detta möjliggör en fortsatt utbyggnad av vind och sol och kan påverka behovet av en tredje elkabel. Ett antal av dessa byggs för att kunna användas för snabbladning av elbilar och tankning av vätgasfordon.

1. Gårdsanläggning för egenproducerad el

I exemplet används förbrukningen från gården Dede 2018 (beskrivning senare i texten).

Förutsättningen är att gården har byggt ut till 50 kWp solceller så att den egna produktionen i solcellsanläggningen motsvarar energiförbrukningen. Det som produceras på sommaren skall räcka även under den mörka delen av året. Det innebär att gården skulle kunna kopplas bort från elnätet och drivas off-grid. Det innebär att gårdens elkostnad kommer att bli förutsägbar under lång tid framöver och man kommer inte att drabbas av eventuella taxe- eller skattehöjningar.

Gården har idag ett reservkraftaggregat som kopplas på traktorn vid ett strömavbrott vilket nu kan ersättas med lagrad vätgas. Som livsmedelsproducent av ägg kan gårdens förbättrade klimatprestanda ge en ytterligare attraktion på marknaden och betinga ett högre pris.

Varmvattnet som produceras i både elektrolysör och bränslecell kan användas för uppvärmning av bostad och verkstad, varmvattenförbrukning samt för att torka ströbäddarna för hönsen och därigenom skapa ett bättre stallklimat

2. Tre exempelgårdar

De lantbrukare som här studerats har produktion av spannmål som mjölk, kött och ägg. Samtliga har solkraftsproduktion men ingen har ellager. Solcellsanläggningarna är dimensionerade för de förutsättningar utan lager som finns idag, varför ingen av dem har tillräcklig produktion för att kunna täcka hela årets behov. I beräkningarna nedan utgår vi dels från hur anläggningarna producerar idag, dels utifrån hur det skulle se ut om de byggde ut till 250 kWp, vilket är gränsen för att inte behöva betala skatt på den producerade elen. Målet är att energin ska räcka till el- och värmebehov samt kunna producera ammoniak som kan användas som kvävegödselmedel där det behovet finns samt

kunna användas i fordonsbränsle. Detta kan ske i steg, där en variant kan vara att kapa effekttoppar för att sänka kostnaden kopplad till huvudsäkring, vilket till störst del hanteras av ett batteri men även vätgaslagret kan där vara en variabel. Gårdarna är fortsatt kopplade till elnätet men med en reducerad huvudsäkring.

Gangvide

Lantbruket på Gangvidefarm drivs av Per och Kickan Karlsson med familj. I dagsläget sker odling av oljeväxter och vall till en närliggande mjölkproducent som utför skötsel och skörd. Gården har varit ansluten till KRAV (ekologisk odling) sedan 1988 och är därmed bekant med nya synsätt och ny teknik.

En allt större del av verksamheten är aktiviteter av olika slag. Gangvidefarm har haft Energiexpo - en publik aktivitet om energiomställning - i 8 år med över 15 000 besökare. Motto: "se, lära, prova, och det är på riktigt". Det finns en bra kunskap i att förmedla teknik och synsätt publikt som handlar om förnyelsebar energi och klimatfrågor. På gården finns möjlighet att bygga ut solcellsanläggningen till 250-300 kWp. Besöksverksamheten och övernattningarna är en allt viktigare verksamhetsgren som kräver mycket varmvatten. Uppskattningen är att det går åt 30 000 kWh per år.

Ajmunde

Ajmunde är en mjölkgård drivs av Lars och Annika Ejderdun med familj. Gården har 140 kor som mjölkas av två mjölkrobotar. Det finns även rekrytering och kötttdjur på gården. Växtodlingen är mest vall och majs samt en del spannmål för egen förbrukning i uppfödningen. Stallgödseln täcker behovet av kalium och fosfor, det är enbart rent kvävegödsel som köps in. I mjölkproduktionen går det åt en hel del varmt vatten för diskning och rengöring. Varmvattnet värms med en elektrisk varmvattenberedare. Det finns ingen mätning av förbrukningen men med tabellunderlag kan beräknas att det åtgår ca 25 000 kWh för att värma varmvatten till en så här stor mjölkbesättning. På gården finns stora takytor som gör att går att bygga ut solcellsanläggningen betydligt. Reservkraftverk finns för drift av de viktiga funktionerna vid strömavbrott.

Dede

Gården drivs av Per-Olof Ekstrand med familj. Huvudinriktningen är äggproduktion med 3000 frigående höns. Hönsen har också en utegård där de kan gå ut när vädret tillåter. Växtodlingen drivs i samarbete med en granne. På befintliga takytor i lämpligt läge kan solcellproduktion byggas ut till ca 75 kWp. Bostadshuset värms med bergvärmepump. Varmvatten från en vätgasanläggning kan användas för värmning av hönshuset och gårdsverkstad under den kalla perioden och för värmning av tappvarmvatten året runt. Som reservkraft vid strömavbrott finns en generator som kopplas till traktorn.

Tabell 1. Verksamhet tre exempelgårdar

	Gangvide	Ajmunde	Dede
Elproduktion idag	58 kWp sol	43 kWp sol	25 kWp sol

Inköp el kWh	47 900	145 400	30 800
Försäljning el kWh	35 900	7 600	14 300
Växtodling hektar	55	240	50
Inköp Kväve Kg N	0	13 800	5100
Dieselolja m³	0,1	29	4,5

Förslag på modulärt lagringssystem

Nedan följer beräkningar och kostnadsuppskattningar för ett föreslaget energilager på gårdarna. Hypotesen var att detta skulle vara modulärt men det har visat sig att effektbehovet från elektrolysör och bränslecell är så pass litet att det för flera komponenter ändå är det minsta eller näst minsta produktsegmentet som är aktuellt.

Bränsleceller

Bränslecell och batteri behöver vara dimensionerat för att kunna leverera den maximala effekten för året om gården ska kunna drivas helt off-grid. För gårdarna är maxförbrukningen som följer:

Gangvide: 40,2 kW (genomsnittligt för 12 h innan och 12 h efter: 15,1 kWh)

Ajmunde: 48,3 kW (genomsnittligt för 12 h innan och 12 h efter: 32,1 kWh)

Dede: 19,2 kW (genomsnittligt för 12 h innan och 12 h efter: 8,04 kWh)

Om vi antar att batteriet dimensioneras för att klara det mest krävande dygnets lagring blir då effektbehovet från bränslecellen 32, 8 och 15 kWh.

Det bränslecellsystem som integrerats hittills av Nilsson Energy är Powercells PS5 med en storlek upp till 5 kW. Med moduler om 5 kW som bas kan sedan batterimängden finjusteras till respektive fall så att det täcker hela gårdens behov. I sådana fall bör Ajmunde ha 6-7 moduler, Dede 1-2 och Gangvide 2-4 moduler. I realiteten är dock systemen från Powercell mest prisvärda i storlekar om 5 eller 30 kW, därför är det rimligt att dimensionera med dessa storlekar. För att dessa bränsleceller ska kunna leverera el behövs en betydande överproduktion av solen som kan användas för vätgasproduktion.

Att ta i beaktande är att en stor del av maxkonsumtionen kan vara möjlig att tillgodose med hjälp av el direkt från solcellerna. För att göra en systemdimensionering med lagring som dessutom ska vara tillräcklig för såväl självförsörjning som fordonsbränsle och konstgödseltillverkning fokuserar beräkningarna nedan på att en solcellsanläggning med 250 kW effekt (strax under gränsen för beskattning). Att dimensionera för årlig maxkonsumtion och bortse från samtida produktion och batterilagring är därför inte rimligt ur ett ekonomiskt perspektiv, istället görs antaganden som resulterar i följande storlek på bränsleceller: Ajmunde: 30 kW, Dede: 5 kW, Gangvide: 5 kW.

Elektrolysör

Elektrolysören producerar vätgas från el. Eftersom batteriet tar hand om fluktuationerna i produktion över dagen samt mellan dag och natt behöver elektrolysören enbart vara dimensionerad för att klara att lagra in överbliven energi från dygnet. Elektrolysörer produceras i regel främst i större storlekar, och även de minsta kommersiellt kompatibla elektrolysörerna klarar av samtliga installationer med en enhet, vilken producerar 30 Nm³/h, vilket motsvarar en energiförbrukning av ungefär 130 kW.

Batteri

Ett standardbatteri på 48 kWh är tillräckligt för samtliga installationer, och det skulle vara möjligt med ett mindre på vissa gårdar, men då behövs noggrannare siffror på energiförbrukning uppdelat på värme- och elbehov. Batterikostnaden är dock en relativt liten del av den totala systemkostnaden.

Vätgaslager

Vätgaslagret är i högsta grad skalbart och modulärt men vissa praktiska begränsningar föreligger. I beräkningarna har en tub med en volym 1925 liter med en längd av 6 meter och diameter av 0,8 meter. Dessa tankar kan placeras fritt där så är lämpligt, men en enkel lösning ur tillståndssynpunkt och transportmässigt är att de placeras i containrar med ISO-mått. En 20 fots-container är lagom för en sådan tank och enkel att frakta på lastbil. Den kan redan hos tillverkaren utrustas med ventilation och sensorer som krävs för tillståndet. En sådan tank rymmer 390 kg vätgas vilket motsvarar nära 13000 kWh. Dimensioneringen motiveras i textavsnitten ovan.

Tabell 2. Beräknad energiproduktion och konsumtion på tre exempelgårdar

Företag	Installerad kWp	Sol-produktion kWh	Gårdens förbrukning kWh	Solöverskott att nyttja kWh	Solöverskott omvandlat till Nm ³ vätgas	Solöverskott omvandlat till kg vätgas
Gangvidefarm	250	283 425	87 672	195 753	35 373	3 149
Ajmunde	250	281 945	187 061	94 884	17 146	1 526
Dede	250	271 287	43 922	227 365	41 085	3 658

3. Gårdsanläggning Gangvidefarm

Här är beräknat för ett scenario med en anläggning på Gangvidefarm som är anpassad till en utbyggd solcellsanläggning till 125 kWp och möjliga affärer kring detta.

För Gangvide är besöksverksamheten och boende i stugor en viktig verksamhetsgren som kräver mycket varmvatten. Uppskattningen är att det går åt 30 000 kWh per år. Det gör att verkningsgraden stiger från både elektrolysör och bränslecell som producerar vatten på omkring 65 °C vilket är utmärkt för att lagra in i ett varmvattensystem.

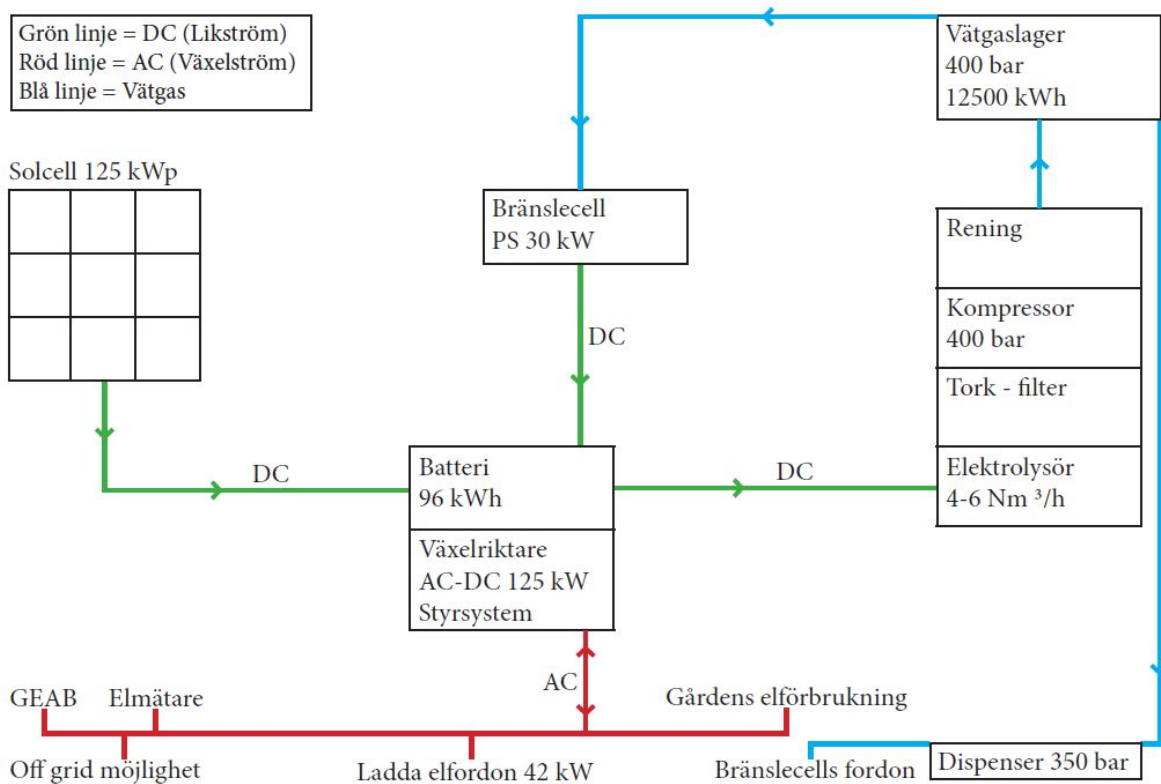


Bild 5 Gårdsanläggning exempel Gangvide

Anläggningen kan också användas för reservkraft vid strömavbrott. Gården kopplas då bort från övriga elsystemet och körs off-grid eller kopplas vidare till samhällskritiska behov. Andelen elfordon kommer att öka och infrastruktur för att kunna snabbadda behöver öka. Med denna anläggning kan man på ett kostnadseffektivt sätt bygga för att kunna snabbadda med likström upp till 42 kW.

Vätgaslagret är trycksatt till 400 bar vilket gör det möjligt att tanka vätgasfordon upp till detta tryck. Idag kan inte vätgasfordon besöka ön eftersom inga tankstationer finns tillgängliga och det finns då inte heller någon praktisk möjlighet att köpa ett fordon för att använda på ön. Om denna demonstrationsanläggning kan byggas skall den påvisa möjligheter, nya system och synsätt runt energilagring i ett framtida energisystem med vätgas som drivmedel till bränslecellsfordon och även snabbaddning av elfordon. Systemet bygger också på att från nya rön vad gäller klimat och miljö för att undvika miljöbelastande metaller i anläggningen. En sådan anläggning ger goda möjligheter för att prova material, testbädd för företag och institutioner och vidare arbete för Energicentrum Gotland. Elnätet kommer också ges möjlighet till en testbädd för nya marknadsplatser för elhandel.

4. Ett antal aggregerade anläggningar för drift mot elnätet

För att kunna öka självförsörjningen av elenergi på Gotland så behöver sol och vindkraft byggas ut. Men eftersom solen inte alltid lyser eller vinden blåser uppstår ett behov av att kunna reglera både produktion och konsumtion. Då detta ändå inte kommer att klara alla situationer uppstår ett behov och en marknad för lagrad energi. Det är svårt att idag exakt kunna förutse hur stort behovet kommer att vara men genom att bygga ett antal anläggningar enligt exemplet för gårdsanläggningen på Gangvide kan man på ett flexibelt sätt bygga där behovet är som störst.

När anläggningarna finns ute i nätet nära förbrukarna så skapas en flexibel kapacitet som tillsammans bygger en robust elförsörjning med låga förluster i elöverföringen. Det kommer att kräva en styrning

som gör att anläggningarna kan samordnas och att de både kan verka för det lokala nätet och även kunna aggregeras för att stötta elnätet på regionalt plan. Både elektrolysör och bränslecell har snabba reaktionstider och fungerar bra för balansering.

Fokusområde 2 Användningsområden för vätgas

Uppskattad förbrukning av vätgas för den gotländska fordonsflottan

För personbilar dominerar bensindrift följt av diesel och för lastbilar det omvända. En personbil på Gotland kör i genomsnitt 1000 mil per år⁹.

För personbilarna, där flest alternativ av bränslecellsfordon finns, innebär detta att 36 042 000 mil körs. Ett bränslecellsfordon förbrukar 0,8-1,0 kg vätgas/100 km; i följande beräkningar används 0,9. Total mängd vätgas som skulle behövas för att täcka dessa körsträckor, om de förblev oförändrade, skulle vara 3 244 ton¹⁰. Med en produktionseffektivitet i en vätgasanläggning på 65 % skulle det gå åt ca 162 200 MWh. Detta motsvarar en installerad effekt med 93 MW¹¹ solceller eller 56 MW¹² vindkraft (ca 20 vindkraftverk). För andra typer av bränslecellsfordon är det svårare att få fram verklig förbrukning för ersättningsfordon; dels då storlek, fyllnadsgrad och tjänstevikt varierar kraftigt, dels då det finns färre motsvarande fordon. Därför används här följande antaganden:

- En lätt lastbil förbrukar 50 % mer än en bil.
- En tung lastbil förbrukar 4,6 kg per 100 km, vilket uppges vara förbrukningen för Nikola One.
- En buss förbrukar 6,5 kg vätgas per 100 km
- Den årliga körsträckan för lätt lastbil är 1374 mil, tung lastbil 4139 mil och buss 5816 mil.¹³

I det gotländska jordbruket är dieselanvändningen 9 482 m³¹⁴. Nedan antas att den genomsnittliga verkningsgraden i en dieseldrivlina i jordbruket är 25 % genom samtliga moment, som förvisso skiljer sig betydligt i lastcykel, skulle följande mängd vätgas åtgå för att ersätta detta:

- Antagen energieffektivitet i en bränslecellsdrivlina: 60 %
- Antagen energieffektivitet elektrolys: 65 %
- Resultatet blir att jordbrukets behov för är 763 ton vätgas per år.¹⁵

Detta gör att jordbrukets vätgasbehov på Gotland är lägre än för såväl lätta som tunga lastbilar.

9

<http://extra.lansstyrelsen.se/rus/Sv/statistik-och-data/korstrackor-och-bransleforbrukning/Pages/default.aspx>

¹⁰ 360420000*0.009

¹¹ 162200 *5/8760= 93

¹² 162200 *3/8760= 56

¹³ https://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/korstrackor/2019/korstrackor_2018_blad.pdf

¹⁴ <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=104721>

¹⁵ 9800 kWh/m³ x 9482 m³ = 92 923 600 kWh; 92 923 600 kWh / (33/0,65) = 1 830 ton; 1830 x (25/60) = 763 ton

Tabell 3. Totalt antal registrerade fordon på Gotland¹⁶ och beräknad förbrukning av vätgas vid total övergång till vätgasdrift

	Bensin	Diesel	El	Elhybrider	Ladd hybrid	Etanol	Gas	Totalt	Ton vätgas per år
Personbilar	25 699	7 603	115	457	144	1 367	655	36 042	3244
Lätta lastbilar	980	4 630	19	0	0	7	80	5 716	1178 ¹⁷
Tunga lastbilar	11	650	0	0	0	0	7	668	1272 ¹⁸
Bussar	1	48	0	0	0	0	5	54	204 ¹⁹
Jordbruksmaskiner									763

Den totala vätgasförbrukningen vid en övergång till enbart vätgas som bränsle inom vägtransporter och jordbruksmaskiner skulle därmed vara 6 661 ton/år.

Vilka fordon finns tillgängliga för att byta ut befintliga fossila?

För personbilar finns flera modeller tillgängliga, Främst Hyundai ix35 och Nexo som är SUVar, Toyota Mirai och Honda Clarity som är femsitsiga sedaner. Hyundai Nexo vann Teknikens Värld:s stora teknikpris för 2020 bl.a. med motiveringen "en elbil som tar tre minuter att "ladda". Vätgasbilen har aldrig varit bättre"²⁰! Flera andra tillverkare har modeller på väg att lanseras. För lätta lastbilar finns Renault Kangoo som är av typen mindre hantverkarbil och för tunga lastbilar finns Nikola och Hyundai, där båda bara levererat ett fåtal, men har planer och kontrakt för att leverera tusentals de kommande fem åren. Scania har även tillverkat lastbilar för distribution- och renhållning som körs på vätgas. För bussar finns flera tillverkare och det rullar hundratals bussar i olika städer inom och utanför Europa, däribland i Sverige. Några av tillverkarna som bidragit till dessa flottor är: Van Hool, Daimler, Wrightbus och Solaris. För personbilar är det i regel fordonstillverkaren som även utvecklar och producerar bränslecellsstacken, för lastbil- och busstillverkare ser det lite annorlunda ut, där de asiatiska tillverkarna är undantaget. Leverantörer av bränslecellsstackar till bussar är främst Ballard, Hydrogenics och UTC, samtliga nordamerikanska.

Det bör därför vara möjligt att byta ut personbilarna relativt omgående och börja med lätta lastbilar men inom ett par år bör det vara möjligt även med tunga lastbilar. Bussar bör kunna gå före på samma sätt som de gjort med biogasen för att skapa en grundkonsumtion av vätgas och rättfärdiga den första uppbyggnaden av vätgastankstationer.

Inom jordbruket finns bara en prototyp än så länge, som inte kommersialiserats trots att den visats upp redan för flera år sedan; New Hollands NH2. Flera tillverkare av andra typer av arbetsmaskiner såsom tunga gaffeltruckar vilka kan ha liknande körcykler börjar dock tas fram, så det är inte orimligt

¹⁶

<http://extra.lansstyrelsen.se/rus/Sv/statistik-och-data/korstrackor-och-bransleforbrukning/Pages/default.aspx>

¹⁷ $5716 \cdot 13740 \cdot 0,015 = 1178$

¹⁸ $668 \cdot 41390 \cdot 0,046 = 1272$

¹⁹ $54 \cdot 58160 \cdot 0,065 = 204$

²⁰ <https://teknikensvarld.se/teknikens-varlds-stora-bilpris-2020-och-vinnaren-ar/>

att anta att bränslecellstraktorer kommer göras tillgängliga inom en inte alltför avlägsen framtid. Här blir pris och tillgänglighet avgörande i förhållande till andra förnybara alternativ.



Bild 6. New Holland NH2

Lantbrukstraktor med 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 utvecklats 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 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 typisk för jordbrukstraktorn. Varierande arbeten på skilda 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 bli 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 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 chassiekomponenter. Detta byggnadssätt gör det relativt svårt att byta ut någon komponent såsom till exempel motorn, mot något annat. Dessutom är utrymmena väl utnyttjade så det är svårt att placera vätgastankar utan att de inkräktar på sikt eller yttermåttan på traktorn. Det finns ett fåtal traktorer som är byggda med rambyggt friliggande chassie, som exempelvis JCB Fastrac och MB trac.

Det finns två vägar för att bygga en vätgasdriven jordbrukstraktor. Det ena är att utgå från en traditionell dieseldriven maskin och då få med alla basfunktioner som beskrivits ovan. Det som talar mot en sådan lösning är att traktorn tappar en del i verkningsgrad när ordinarie transmission och axlar behålls.

Alternativet till detta är att bygga ett rambyggt traktorchassie 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 bättre sätt. Ett sådant förfarande kan knappast kallas konvertering utan blir ett helt nytt traktorkoncept.

Energilager på traktorer

En stor fälttraktor har ofta en dieseltank på över 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 är det viktigt att kunna köra relativt långa arbetspass när ekipaget väl är på plats. Alternativet är att ta med sig fälttank på något vis.



Bild 7. 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 som är konverterad 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.

- En stor tungdragande traktor tankar 300 liter diesel vilket motsvarar 3000 kWh energi.
- 100 kg vätgas innehåller ca 3300 kWh energi.
- Vätgasdrift 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 chassie 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 för vätgas blir mer svårplacerade då de skapar outnyttjat tomrum runt omkring sig.

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 motorhuven 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 nedstyrd effekt. Det är fullt tänkbart att montera flera bränslecellsmoduler parallellt. Bränslecellerna är relativt kompakta enheter. En bränslecell på 90 kW är i storleksordning med en resväska.

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 kyld 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 även det 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 drivlina 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 lådformigt 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 ca 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 huven kommer det att finnas en helt annan fri volym nedåt som inte finns i traditionella traktorer pga. att transmissionen till framhjul saknas.

Ett sådant här maskinbygge kommer att bära mindre vikt då man ersätter den traditionella transmissionen med komponenter som är mycket lättare. Troligen kommer det att behövas 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 stora traktorer även där.

Slutsats traktorer

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 överväga konvertering finns att hämta i traditionen av att en traktor ska se ut och arbeta som kunderna är vana att se den. När ny teknik presenteras kan det vara motiverat att låta marknaden känna igen sig. Det går dock inte att bortse från att många tekniksteg skulle bli bättre av att starta 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. Ett måttligare lager och vid behov nyttja påhängt eller externt energilager förenklar avsevärt installationen på traktorn. Arbetsmiljömässigt så blir vätgasdrift en förbättring genom att avgaser, ljud och vibrationer från dieselmotorn försvinner bort. Även från transmissions- och kraftöverföringsutrustning försvinner ljud och vibrationer.

Inblandning av vätgas i biogas och flytande naturgas

Inblandning av vätgas i biogas används för att förbättra förbränningsegenskaperna främst genom att höja temperaturen. Eftersom vätgas är lättare än biogas kommer det viktmässiga energiinnehållet att minska men på grund av den högre förbränningstemperaturen blir ändå bränsleförbrukningen lägre. När detta introducerades för många år sedan kunde ofta betydande bränslebesparingar uppvisas men med moderna motorer är skillnaden liten för en välinställd motor. Eftersom detta innebär att vätgas förbränns istället för att användas i en bränslecell blir energieffektiviteten lägre. Det kan ändå vara önskvärt att ha det som möjlighet för att alltid kunna ha avsättning för vätgasen, även innan en större fordonsflotta byggts upp. Mellan 2 och 8 viktprocent vätgas har testats att blanda in i biogasen utan att fordonen som använder den behöver ändras men det är möjligt att ännu högre nivåer kan nyttjas. Alternativet är helt beroende på totalsystemets sammansättning och vilken utbyggnadstakt som önskas i produktion och konsumtion.

För inblandning i LNG (flytande naturgas) behöver vätgasen först metaniseras, en process som sker genom att kombinera väte med koldioxid till metan. Detta eftersom vätgas behöver kylas till -253 C för att bli flytande och metan blir flytande redan vid -162 C. Metaniseringen kan antingen använda koldioxid från ett punktutsläpp från exempelvis Cementa, eller använda koldioxid separerad från luften. Då de flesta punktutsläpp orsakas av fossila bränslen kan metanisering rättfärdiga att fortsätta använda sådana bränslen, men om koldioxid från biobränslen används tillförs ingen ny koldioxid till systemet. Cementa ligger mellan dessa eftersom fossil energi används men koldioxidutsläppen från delar av processen är oundvikliga. Dessa delar skulle kunna användas för metanisering utan att för den sakens skull uppmuntra fortsatt användning av fossila bränslen.

Biogas till vätgas

Biogas kan reformeras till vätgas i en ångreformeringsprocess. Det är samma process som används då naturgas omvandlas till vätgas, men eftersom biogas inte är lika ren som naturgas krävs flera reningssteg i processen för att få fram vätgas. Lantbrukare har tillgång till bra substrat i gödsel från animalieproduktionen eller restprodukter från växtodlingen vilka är fossilfria. Genom produktion till biogas minskas avgången av miljöskadliga gaser som metan och lustgas från gödseln och ger också bättre möjligheter att dra nytta av gödslingseffekten i växtodlingen.

Denna process ger energimässiga förluster i reformeringssteget med ungefär 20 % men genom att vätgasen kan användas i en bränslecell blir ändå den totala effektiviteten högre än i en förbränningsmotor.

Med ett antal av biogas-vätgasproducerande gårdar i Sverige så kan försörjningsgraden vid krislägen förstärkas. När lantbruksmaskinerna drivs med el från bränsleceller blir verkningsgraden mycket högre och då räcker även vätgasen även till att vara reservkraft vid störningar i elnätet.

Biogas på Gotland idag

Biogas är nu ett etablerat drivmedel på Gotland och används till fordon med förbränningsmotorer som personbilar, bussar och renhållningsbilar samt för värmepannor i Arlas mejeri och vid Gotlands slakteri²¹. Biogasen produceras av företaget BroGas. Biogasanläggningen i Bro framställer gasen ur restprodukter från lantbruks- och livsmedelsindustrin på Gotland. Det finns två uppgraderingsanläggningar för biogas, båda placerade i Visby. Den ena uppgraderar den biogas som bildas i reningsverket och den andra från gödsel och avfall från lantbruk, industri och hushåll. Det finns fyra tankstationer för biogas på ön. Dessa är belägna i Lärbro på Norra Gotland, Alva på södra Gotland och två i Visby²². Från Visby fraktas biogasen till Alva och Lärbro

Jordbruket och kvävegödselmedel

Jordbrukets näst största utsläppskälla från fossil energi efter dieselolja är tillverkningen av kvävegödselmedel (N). Det sker idag med naturgas i stora fabriker. Det förekommer inte längre någon svensk tillverkning av mineralgödselkväve. Vid tillverkningen är första steget att framställa ammoniak som sedan i de flesta fall förädlas till urea eller ammoniumnitrat som är lättare att transportera och sprida. Ammoniak går att använda som ett fossilfritt gödselmedel som när det produceras lokalt är transportmässigt hanterbart. Läs mer om framställning och användning av ammoniak i fördjupningsbilaga 2.

Beredskap och säkerhet

Omvärldsläget har förändrats kraftigt de senaste åren. Det har haft stor påverkan på Sverige som land där såväl det militära försvaret som totalförsvaret håller på att rustas upp. Speciellt gäller det Gotlands där militären nu är återetablerad. Dessutom pågår ett projekt för att stärka totalförsvaret som drivs av Länsstyrelsen på Gotland och Forsvarsmakten. Arbetet att bygga ett modernt totalförsvaret i Sverige kommer att ske successivt under många år framöver. En utgångspunkt i arbetet är att bygga på befintliga strukturer i genomförandet av uppdraget liksom att strukturerna kan behållas mer långsiktigt²³. Arbetet bedrivs på Gotland som med sitt utsatta läge ger en bra utgångspunkt för hur sårbart samhället är och erfarenheterna kan appliceras på många andra platser. Ett av de känsligaste områdena är tillgången till elenergi där dagens centraliserade distributionssystem gör samhället sårbart även vid kortare avbrott. Ett mer decentraliserat energisystem med lagringsmöjligheter ute i nätet skulle kunna ge betydligt robustare elförsörjning. Samhället har blivit betydligt känsligare för störningar i elleveranserna och även kvaliteten på den levererade elen där även kortare dippar kan orsaka skador på elektronik mm. Det gäller industrin men även i allt högre grad lantbruket som använder mycket elektronisk utrustning framförallt på gårdar med animalieproduktion. För gårdar med djur finns också lagkrav på att man skall ha reservkraft så att djurens välfärd inte äventyras. Även för kritiska verksamheter som sjukvård ställs krav och där man idag ofta använder dieselgeneratorer för att lösa strömavbrott. Samhället har blivit mycket sårbarare på senare år där exempelvis betalsystem inte fungerar utan elektricitet. Mobilnätet har viss reservkraft men den räcker bara för kortare elavbrott. Med bakgrund av det ökande beroendet av mobilnät har Post och Telestyrelsen utsett Gotland som ett pilotområde för att utöka reservkraften till mobilnätet. Ett projekt är startat 2019 som skall föreslå lösningar för att få

²¹ <https://www.gotland.se/biogas>

²² <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/fordonsgas-och-gasbilar/tanka-gas/>

²³

<https://www.regeringen.se/artiklar/2017/12/forsvarsmakten-och-lansstyrelsen-pa-gotland-far-i-uppdrag-att-starka-totalforsvarsformagan/>

grundläggande täckning så det går att ringa och surfa även vid längre elavbrott. Det handlar dock inte om att mobilnäten ska ha full kapacitet och den inomhustäckning som är normalt. Det handlar om en grundläggande funktion med utomhustäckning²⁴.

Reservkraft med vätgas

För många verksamheter borde möjligheten att använda vätgas och bränsleceller för reservkraft vara mycket intressant. Det har hög tillförlitlighet och driftsäkerhet, litet behov av tillsyn under drift, låga underhållsbehov, volymmässigt hanterbart, tyst, avger inga avgaser, god lagringsstabilitet för gasen, lokalt producerad energi mm. Det skapar också en marknad för den som producerar vätgas i närområdet att förse de olika reservkraftstationerna med energi. En överenskommelse mellan parterna behöver då utformas så att tillgången på gas för förbrukaren kan garanteras. Med en anpassad lagringsvolym hos producenten borde detta vara lösbart.

Verksamheter som kan behöva bättre tillgång till robust reservkraft är t.ex. mobilmaster, livsmedelsbutiker, vatten och avloppsverksamhet och andra samhällsviktiga funktioner.

Fokusområde 3 Ekonomi kring vätgasproduktion

Var finns det liknande produkter?

Det finns en uppsjö leverantörer av komponenter till system men mindre projekt för exempelvis gårdar är svåra att hitta. De demonstrationsprojekt som finns är snarare i storleksordningen öar eller stadsdelar, exempelvis Orkneyöarna.²⁵ Utöver detta finns Nilsson Energys projekt med Vårgårda²⁶ och Mariestads vätgastankstation och energilager,²⁷ såväl som demo-siten med ett enfamiljshus i Göteborg²⁸. Det finns även en villa i Skellefteå med vätgaslager som tillhör Skellefteå kraft²⁹.

1. Ekonomi för gårdsanläggning egenproducerad el

Förutsättningarna i exemplet för denna gårdsanläggning är 50 kWp solceller och elektrolysör som är anpassade för den produktionen. Batteriet skall kunna reglera de effektvariationer som finns och tillsammans med bränslecellen klara gårdens skiftande effektuttag. Lagret dimensioneras för att kunna hantera upplagring under sommaren och klara vinterperioden och kan därigenom kopplas bort från elnätet. Genom att delar av varmvattnet kan tas tillvara ökas effektiviteten i elektrolysören (75%) och bränslecellen (80%). Det skulle ändå innebära ett stort vätgaslager som behöver kunna lagra ca 18 000 kWh.

En anläggning som skall kunna koppla bort sig från elnätet kräver att allt måste dimensioneras för toppbelastning som används under korta perioder vilket ger en hög investeringskostnad. Eftersom lagret skall räcka ett helt år ger det också en hög investeringskostnad. Men det visar också att genom en dubblering av solcellsytan kan gården kopplas från elnätet men investeringskostnaden blir i detta

²⁴

<https://www.pts.se/sv/bloggen/pts-bloggen/pilotprojekt-pa-gotland-utokad-reservkraft-till-mobilnaten-for-att-hantera-langvariga-stromavbrott/>

²⁵ <http://www.surfnturf.org.uk/page/introduction>

²⁶ <https://nilssonenergy.com/portfolio-item/public-housing-estate/>

²⁷ <https://nilssonenergy.com/portfolio-item/solar-powered-refuelling-station/>

²⁸ <https://nilssonenergy.com/portfolio-item/demo-site/>

²⁹ <https://www.zerosun.se/>

fall alltför hög för att få lönsamhet. I ett fall där el inte finns tillgängligt i närheten kan en sådan investering bli intressant.

2. Ekonomi för tre exempelgårdar

Då anläggningarna producerar ett betydande överskott med 250 kW solcellsanläggning kan detta användas för produktion av ammoniak som kan användas för gödsling eller fordonsbränsle, se respektive rubrik i rapporten. Med en 20'-container per gård kan en viss del av denna vätgas lagras, men merparten behöver tankas eller omvandlas inom ungefär en månad. Med en ökad utbyggnad av vindkraft på Gotland är det rimligt att anta att prisfluktuationerna kommer öka ytterligare, vilket gör det lönsamt att köpa vindkraftsel under vintermånaderna för att producera vätgas till fordonsbränsle eller konstgödsel. Då produktionsmönstren för den egna solkraften och den till lågt pris köpta vindkraften kompletterar varandra bra under året bör det gå att förse en tankstation med vätgas från enbart den egna elektrolysören.

Väteåtgången för kvävegödsel till ett hektar är 25,5 kg väte per år³⁰ och hektar. 3658 kg vätgas produceras i överskott (utöver den egna vätgasförbrukningen) på Dede som är den gård som har högst överskott se tabell 4.

Kostnaden per kg rent kväve i mineralgödsel är idag ca 10 kr/kg när det framställts från fossila källor, och uppskattningsvis 13 SEK/kg om det är förnyelsebart, se kapitlet om kvävegödsel. Detta kvävepris ger en ersättning för vätgasen med 60 SEK/kg.

Två av gårdarna köper in kvävegödsel idag; Ajmunde och Dede. Dede skulle kunna ersätta allt konstgödsel med egen och även kunna erbjuda till försäljning, medan Ajmunde beräknas kunna täcka ungefär halva sitt behov med egen produktion. Gangvide kan antingen sälja konstgödsel, eller anlägga en vätgastankstation för att få avsättning för den vätgas som överproduceras.

Det uppstår värme både vid produktion av vätgas i elektrolysör och elproduktion i bränslecell. Elektrolysören kan leverera värme till varmvattenbehov på sommaren, och om den körs med inköpt vindkraftsel på vintern även användas till lokaluppvärmning. Värmeproduktionen från bränslecellen är betydligt mindre men i gengäld mer sammanträffande med behovet av lokaluppvärmning även utan inköpt el. Detta dels då bränslecellen är mindre, dels då vätgas från elektrolysören används till både konstgödselproduktion och fordonsbränsleframställning. En begränsning i denna studie är att energikonsumtionen angetts som en totalsumma och inte uppdelad på el respektive värme. Därför har hela energiåtgången antagits vara i form av el, vilket gör att den värme som producerats från el i exempelvis en värmepump egentligen hade kunnat minskas med den värmeproduktion som sker i elektrolysör och bränslecell.

Tabell 4. Intäkter och besparingar för el, bränsle och ammoniakproduktion

Gård	Gangvide	Ajmunde	Dede
Solöverskott omvandlat till kg vätgas	3149	1526	3658
Möjlig intäkt bränsle ³¹	141 705	68 670	164 610

³⁰ $0,07 \cdot 365 = 25,5$ se fördjupningsavsnitt 2 nedan

³¹ Kalkylerat pris 45 kr/kg

Antal ha egen gård	55	240	50
Kg N som kan produceras	14 542	7 047	16 893
Inköp kg kväve idag	0	13 800	5 100
Besparing mineralgödselinköp SEK	0	91 611	66 300
Maxintäkt vätgas SEK	141 705	91 611	181 213
Kostnadsbesparing elinköp minskat med elförsäljning SEK	39 774	172 264	33 736
Årliga intäkter/besparingar SEK	181 479	263 875	214 949

Tabell 5. Uppskattad kostnad i KSEK för komponenter för varje gård inklusive solcellsanläggning.

	Gangvide	Ajmundede	Dede
Solceller 250 kWp	2 550	2 550	2 550
Elektrolysör 30 Nm ³ /h	5 264	5 264	5 264
Kompressor 30 Nm ³ /h	1 027	1 027	1 027
Vätagaslager 4 300 Nm ³ /h	1 848	1 848	1 848
Bränslecell 5 kW resp. 30 kW	420	1 046	420
Batteri 48 kW	308	308	308
Summa exkl. moms	11 418	12 044	11 418

Totalkostnaden i systemen blir relativt lika oberoende av gård, då vi utgått från 250 kW solelproduktion. Bränslecellen är dimensionerad beroende av gårdens förbrukning enligt tidigare resonemang. Det ska dock noteras att priset för en småskalig utrustning för ammoniakframställning inte är medräknat i exemplet ovan, då en sådan inte finns tillgänglig i marknaden.

3. Ekonomi för Gårdsanläggning Gangvidefarm

I detta scenario har den befintliga solcellsanläggningen dubblerats och ger möjlighet till nya tjänster förutom att förse gården med el året runt. På den egna elförbrukningen försvinner de rörliga kostnaderna för energi, elöverföring och energiskatt. Dessutom kan i många fall storleken på huvudsäkring minskas och det går att kapa effekttoppar i förbrukningen.

Snabbladdning av elbilar blir möjligt med likström direkt till bilens batteri upp till 46 kW. Priset för detta brukar ligga i storleksordningen 3 kr/kWh. Det blir också möjligt att tanka ett vätgasfordon upp till vätgastankens tryck. Om man i framtiden vill tanka fordon till högre tryck kräver det en investering i ytterligare kompressorkapacitet. Vätgas säljs för ca 90 kr/kg vid tankning på en vätgasmack.

I en affärsmodell för köp och sälj av el ger ett energilager nya möjligheter att arbeta på elmarknaden. Förväntningarna är att energipriset kommer att bli mer volatilt (prisorrligt) framöver. Med allt högre andel vind och sol i energisystemet kommer perioder uppstå där energipriset är nära 0. Dock tillkommer rörliga överföringsavgifter och energiskatt. I faktiska kostnader borde den energi som då köps in inte belastas med full nätavgift eftersom man gör en nättjänst som lyfter bort överskott och levererar ut när behov finns. För detta finns ännu ingen affärsmodell. Energiskatt på den del som skickas tillbaka ut på nätet efter lagring bör inte heller belasta kalkylen eftersom den betalas av slutförbrukaren. Priset på el förändras timme för timme vilket ger en chans att köpa in vid ett lågt pris och sälja när priset går över en viss nivå. Hänsyn behöver då tas till energiförluster och driftkostnad. Ett vätgaslager ger inte några lagringsförluster och om energilagret är stort finns möjligheten att lagra över tid. Genom att kunna lagra sin egen energi blir företaget inte på samma sätt påverkat av variationerna i elpris eller nätkostnader och skatter vilket gör att elkostnaden blir förutsägbar. Anläggningen kan också användas för effektereglering av det lokala nätet (se nedan om systemtjänster). Med dagens regler och affärsmodeller finns inte möjligheten för små aktörer att delta i dessa tjänster men det pågår arbeten bland annat CoordiNet³² som arbetar för att sätta upp demonstrationsanläggningar med lokala marknadsplatser för effektivare användning av elnätet där Gotland är ett av områdena.

4. Ekonomi för ett antal aggregerade anläggningar för drift mot elnätet

Att räkna ekonomi för detta användningsområde har inte gått att göra eftersom det inte finns affärsmodeller som täcker det regionala balansbehovet. Det regleringsystem som finns gäller för de fyra elhandelsområdena som Sverige är uppdelat i. Där är det framförallt vattenkraft som kan agera med reglerkapacitet. Vattenkraft finns det gott om så priset på balanskraft är relativt lågt i Sverige utom vid vissa extrema förhållanden. Däremot för ett område som Gotland som har att ta hänsyn till begränsningar i fastlandskablarna och en mycket hög andel vindkraft i energimixen så ser behoven annorlunda ut. Om Gotland görs till ett eget område för reglerkraft skulle den som hade tillgång till lagrad energi eller som kan styra sin förbrukning få en möjlighet att skapa sig en affär samtidigt som det kan ge utrymme för att öka mängden vind och solkraft. Det kan också ge nya förutsättningar för kabelförbindelsen med fastlandet. Om det inte kommer en tredje kabel i närtid kommer så småningom de befintliga att behöva bytas ut. Att under tiden fram till dess och vid dimensionering av en kommande förbindelse ha tillgång till balanskraft ger en stor ekonomisk nytta.

Elnätstjänster från distribuerade småskaliga energilager

För att ett elsystem ska fungera bra och vara stabilt behövs två saker – god tillgång på el och hög elkvalitet. Eftersom det idag inte finns några bra sätt att lagra el i större volymer, måste vår el produceras i samma stund som den används. Det måste därför finnas en balans mellan den el som vi producerar och den el som vi förbrukar. Detta brukar kallas för effektbalans. Elen behöver också hålla hög elkvalitet. Det innebär att elnätet hela tiden håller rätt frekvens – normalt 50 Hertz. Annars finns

32

<http://swedishsmartgrid.se/smart-nat-i-sverige/fler-projekt-i-branschen/coordinet--samarbete-for-smartare-anvandning-av-elnetet/>

det risk för störningar eller omfattande elavbrott som kan bli mycket kostsamma för både samhället och industrin.

Svenska kraftnät (SvK) är ansvarig för att upprätthålla effektbalans och har ett antal "verktyg" för att se till att det i varje stund tillförs samma mängd el till systemet som det används. Om det finns risk för att elleffektbrist (tex en kall vinterdag) uppstår, finns en effektreserv. Den skapas genom att SvK varje år ingår avtal med ett antal elproducenter, elleverantörer och elanvändare om att producera extra effekt eller minska sin elanvändning alternativt så används som en sista åtgärd manuell förbrukningsfrånkoppling (MFK). Detta innebär att elnätsföretag på mycket kort varsel kopplar ifrån vissa delar av nätet för att inte elförsörjningen i hela landet ska kollapsa.

Idag dimensioneras elkraftssystem för alla extrema fall. Alla anslutningar som har större effekt än 2 MW måste klara ett fel och samtidigt kunna klara eldistributionen (oberoende av typ av fel). Inom branschen kallas det -1 kriteriet. Om avkall ges på vissa av dessa dimensioneringsregler av eldistributionen och i stället använder mer lokala resurser och anläggningar kan liknande möjligheter uppnås, där tex vätgaslagring möjliggör support till elnät och elsystem. För att det skall ha ett värde måste systemet vara tillförlitligt och ha en styrning som medger snabb respons.

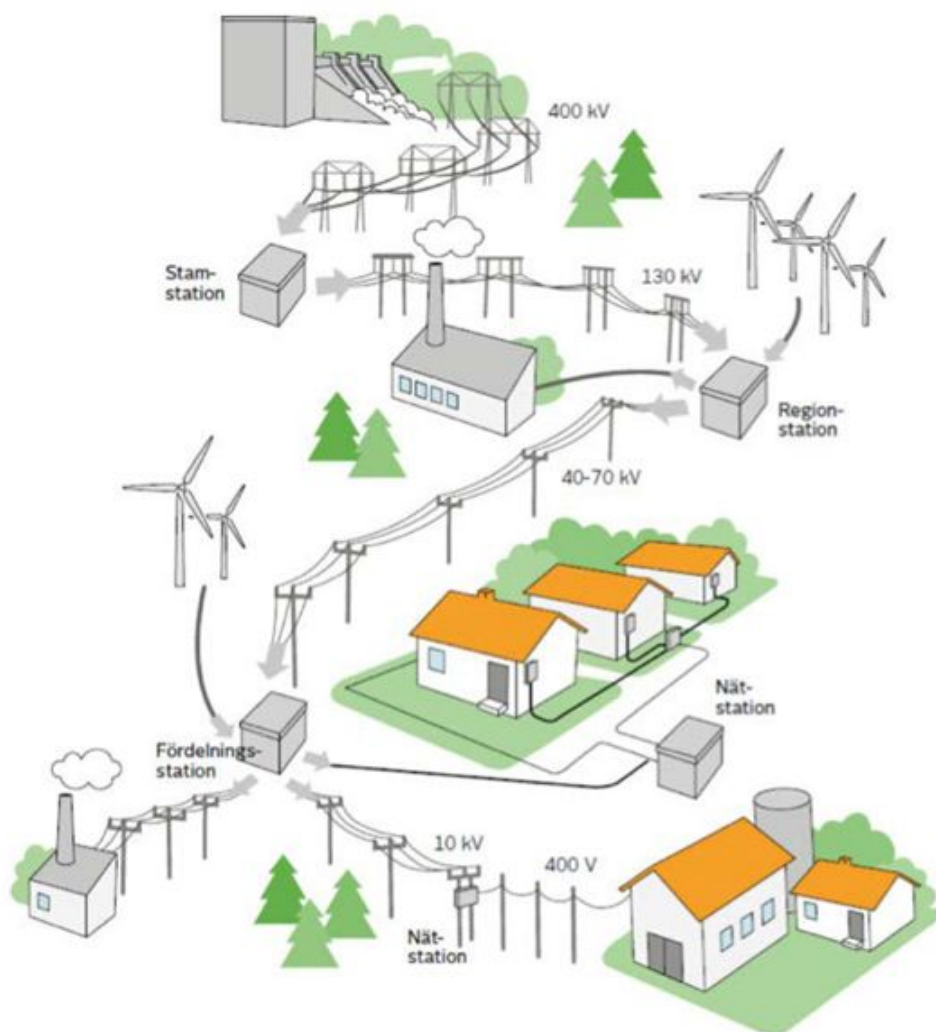


Bild 8. Eldistributionssystem

Detta delas in i olika grupperingar

1. Nationell effektbalans
2. Regional effektbalans eller transmissionsbegränsningar
3. Lokala effektbegränsningar

1. Nationell effektbalans

Effektproduktionen planeras nationellt timme för timme. När det uppstår situationer där produktion och konsumtion inte stämmer överens går SvK in och upphandlar kraft med kortare framförhållning. För att kunna medverka på denna handelsplats så krävs en viss volym. Detta innebär att små enheter av vätgas sannolikt behöver aggregeras för att kunna medverka. Här anses det gotländska befintliga systemet Vindstyr ha en stor möjlighet. Vindstyr är utvecklat och ägs av Gotlands Vindelproducenter (GVP). Vindstyr medför att 98% av all vindkraft på Gotland kan styras centralt i realtid. Detta bidrar till flexibilitet och ökar robustheten i befintligt elnät. Ytterligare en effekt är att mer vindkraftsproduktion kan tillåtas i normalläget då systemet tillåter snabb nedreglering. Detta innebär en situation där både elnätsägare och producent gynnas. Givet att detta system används för att inkludera annan aggregerad kraft ökar robustheten ytterligare, vilket innebär att elnätet kan nyttjas bättre och effektivare. En grund för att kunna delta på befintliga marknadsplatser är att vara balansansvarig. Detta innebär att aggregerad kraft i ett och samma system behöver ha en motpart med balansansvar. En balansansvarig aktör planerar produktion efter den förväntade konsumtionen som det specifika området som omfattas. Då det fattas produktion köps kraft in på timbasis - detta skapar marknadsplattformen för handel. På Gotland medverkar GEAB i ett Horizon 2020 projekt kallat CoordiNet. Detta ser över behovet av att skapa lokala marknadsplatser för flexibilitet.

Förutom effekthandel kan frekvenssupport erbjudas med samma tanke som ovan enligt Energimarknadsinspektionens föreskrifter om fastställande av generellt tillämpliga krav för nätanslutning av generatorer, den nya "grid code" EIFS2018:2. Detta innebär att i de fall när frekvensen sjunker under de föreskrivna 50 Hz, tex 0,5 Hz, mata in en viss mängd effekt, eller ökar produktionen (en tjänst Vindstyr idag bidrar till men som vätgasen kan utföra givet att svarstiden är kort). Svarstiden på leveransen av effekt eller produktion sker inom delar av sekunder. Det kräver ett kommunikationssnitt som är generellt och säkert. Här är tillförlitligheten en faktor som har ett värde. Tillförlitligheten på vätgas får bedömas som hög. Själva produktionen av vätgas och dess svarstid sker inte inom delar av sekunder, men med hjälp av tex ett batteri som har snabb responstid eller i kombination med Vindstyr kan tjänsten erbjudas. Med dagens kommunikationslösningar ser det ut att vara möjligt.

2. Regional effektbalans eller transmissionsbegränsningar

Gotland är ett mycket tydligt exempel där regional effektbalans tillämpas och där det finns transmissionsbegränsningar i elnätet. Detta har sedan 2010 varit ett problem. Sedan dess har problemet blivit mer tydligt runt om i Sverige, tex Lund och Uppsala. I just Lund och Uppsala klarar Eon respektive Vattenfall inte -1 kriteriet vid hög last. I elnät som har dessa problem skulle energilager kunna bidra när problem uppstår. Övrig tid ska det finnas tillgängligt "startklar", dvs ha möjlighet till produktionsökning på kort tid och därmed bidra till att uppfylla -1 kriteriet.

Eldistributionsledningar kan under korta tider tillåtas köras med överlast. Att göra det kan reducera eller fördröja stora investeringar i mångmiljonklassen, dvs man undviker att bygga ut elnätet genom att frångå normal dimensioneringsstandard.

På Gotland uppstår situationer med överlast frekvent. Tekniskt går det förhållandevis bra men hur affärsplanen bör se ut för en långsiktig lösning är oklart. Olika lösningar är möjliga, flexibilitet, uppgradering av befintliga ledningar eller lagring. GEAB, GVP och industrin på Gotland ligger långt fram med hänseende på flexibilitetslösningar. På Gotland finns det flera delar i elnätet med behov som tex nuvarande HVDC länk som går mellan Visbyområdet och södra Gotland.

Att vara frekvenssupport är något som GEAB tittar på för vindkraften. Frekvenssupport är lika relevant för vätgas. För att det skall vara till någon nytta måste det finnas effekt att tillgå i minst MW klassen. Det krävs mer än 17 stycken med 60 kW bränslecell (1000 kW) innan GEAB tycker det värt att göra ett separat system för frekvenssupport. För att få ut samma effekt som ovan krävs det ca 100-400 elbilar som står laddade (1 MW). Elbilar med funktionen "vehicle to grid" (V2G), kräver ca 200- 1000 st elbilar innan de når samma dignitet (1MW). Det lägre antalet avses om bilarna kan ge 10 KW styck, vilket är tveksamt att de kan bidra med. Det finns många begränsningar och kostnaderna för funktionen är inte i proportion till nyttan. Regionalt har Gotland även ett behov av reaktiv effekt. I dag har GEAB möjlighet att styra den reaktiva effekten. Affärsmässigt är det reglerat som villkor vid anslutningen.

3. Lokala effektbegränsningar

Det lokala nätet kan vara hårt lastat i några dagar per år. Hur hårt det är lastat är beroende på hur man ligger till i revisionsprogrammet. Det görs bland annat årligen revision av de befintliga länkarna och dess styrstystem till fastlandet. Vid denna period tas länkarna ur drift växelvis vilket innebär hög belastning. Elnätet är byggt för att hålla i 40 år och förnyas (anpassas) vart 40:e år, givet att grundplanen följs. Då samhället förändras över tid innebär det ofta att tidigare anpassningar måste göras. GEAB har ca 2000 km 10 kV ledningar. Det gör att det tar tid att anpassa i alla delar. Syftet är också att nyttja ledningar fullt ut både i belastning och i tid. Vid revisioner eller fel som behöver åtgärdas har reservmatning byggts upp. I GEABs fall kallas detta "bakmatning". Orten När på sydöstra Gotland matas normalt från en transformator i Garda. Vid reservdrift matas det från Hemse. Det blir längre men det är framförallt mer last på den matande ledningen. Vid dessa tillfällen har det stor betydelse att producera effekt, men reaktiv effekt har nära samma betydelse. Den reaktiva effekten håller upp spänningen vilket gör att ledningarna kan nyttjas mer. Den reaktiva effekten finns ofta tillgång till i alla frekvensomriktarlösningar. Vid dessa tillfällen är tillgängligheten mycket viktig. Effekten måste vara tillgänglig och ha uthållighet. Då är "vehicle to grid"(V2G) inte tillräckligt pålitligt på lokal nivå (bilarna kanske är i rörelse och inte laddas då behovet uppstår). Vätgas har här ett större värde, framförallt med hänsyn till uthålligheten.

Sammanfattning elnät tjänster

Den tekniska nyttan med distribuerade småskaliga produktionskällor är lätt att se ur ett elnätsperspektiv. Utmaningen ligger i att hitta affärsmodeller som driver utvecklingen framåt. För att det skall kunna ske måste regleringar på sikt ändras för elnätsverksamheten och det regelverk som styr denna verksamhet, vilket tar tid och är svårt.

Under tiden det sker går det att redan nu arbeta med de lösningar som Vindstyr erbjuder och försöka med de regler som finns i dag i samband med upp och nerregleringsmarknaden som tillhandahålls av SvK. Regionalt finns ett behov, frågan är vem som ska driva frågan framåt.

På Gotland är GEAB bara en del i lösningen. Huvudansvaret ligger på Vattenfall Eldistribution AB, medan Svenska Kraftnät har ett övergripande ansvar. Frågor rörande elhandel blir inte drivande om inte initiativ som tex Vindstyr verkställs. Små styr-centrum som agerar på nätbolagens behov kan vara en framtida lösning i stället för centrala system. Bilden nedan är motsatsen som ofta presenteras i "smart grid" sammanhang³³.

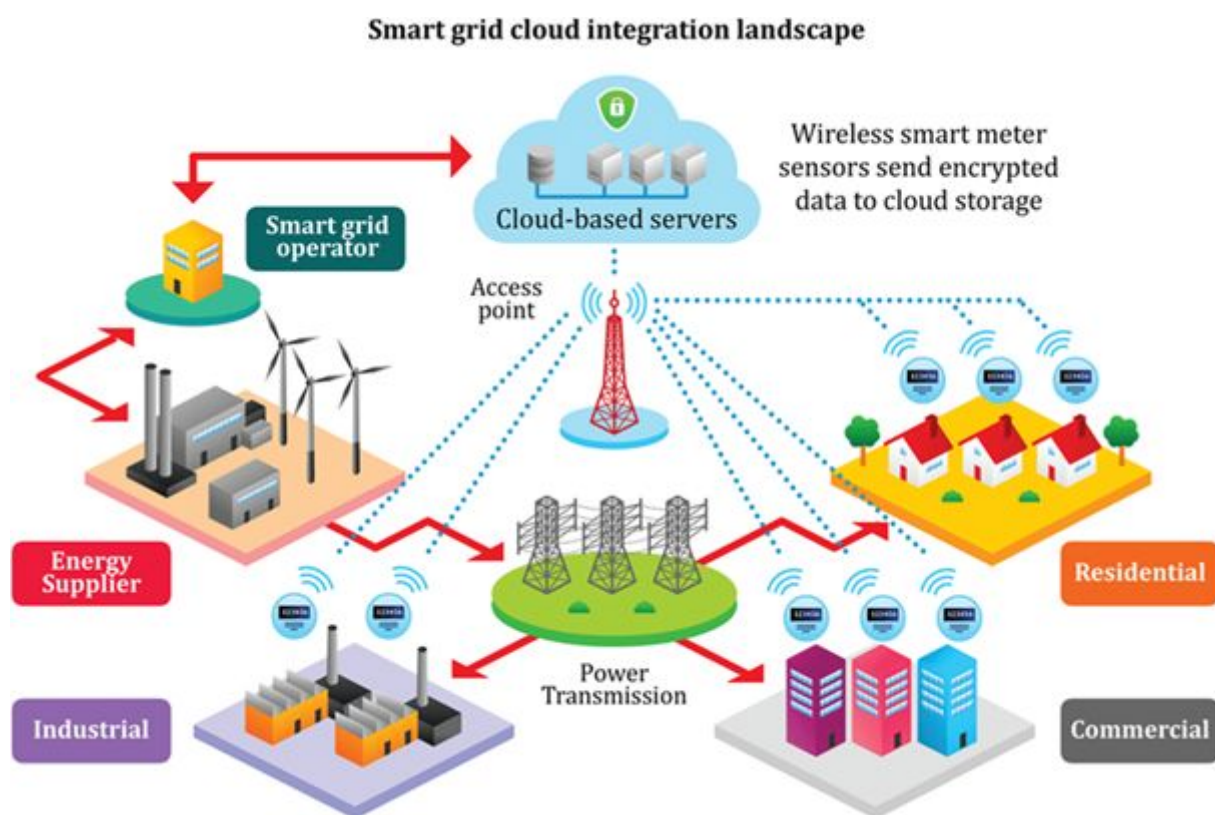


Bild 9. Decentraliserad styrning av elnät

Befintliga Systemtjänster och marknadsplatser

Det finns idag flera olika systemtjänster som teoretiskt skulle kunna tillhandahållas med hjälp av vätgas. Systemtjänster hanteras idag av Svenska Kraftnät. De olika systemtjänsterna tillhandahålls på nationell basis. Det finns inte idag ett lokalt system, Gotland tillhör det nationella systemet. Utbyte sker även mellan de nordiska länderna för några av marknadsplatserna.

Länkarna till Gotland ägs av Vattenfall och de är således ansvariga gentemot SvK. SvK ser för närvarande över nuvarande system och dess parametrar, vilket gör att förutsättningarna kan komma att ändras i framtiden. Gotlands elproduktion består idag av 50 % vindkraft på årsbasis. Elektrisk kraft från vindkraftverk har tre fördelar, den är lokalt producerad, den är förnybar och den är billig. Dess nackdelar är att den bland annat inte kan lagras. Elproduktionen från vindkraftverk är stötig på grund av att uteffekten är proportionell mot vindhastigheten i kubik (upphöjt till 3). Stötigheten kan lätt

³³ Källa: Gotlands vindelproducenter GVP och Cleps

haverera ett svagt nät om den inte kan styras. På grund av det har ett lokalt system Vindstyr utvecklats, systemet används kontinuerligt i normal drift på ön dvs i det som kallas elektrisk ö-drift. Vindstyr skulle med fördel kunna kombineras med annan aggregerad kraft, som vätgas, för att därmed erbjuda det gotländska nätet högre stabilitet och flexibilitet vilket är önskvärt. Vätgas kan leverera en Störningsreserv och Effektoreserv då ett visst krav på tillgänglighet krävs. Lokalt ingår GEAB i ett pågående EU projekt, CoordiNet, vilket syftar till att skapa flexibilitet i elnät och se över möjligheter för lokala marknadsplatser. Framöver kan lagring av vätgas erbjuda en viktig tjänst på en sådan marknadsplats både lokalt och nationellt.

Olika marknadsplatser

Det finns idag framförallt fyra olika systemtjänster som är relevanta för vätgasen, de är sorterade på snabbhet (snabbast/minst energi först) FCR-D, FCR-N, aFRR, mFRR.

Översiktlig kravbild för reserver

FCR-Normal Minsta budstorlek: 0,1 MW Aktiveras: automatiskt vid frekvensavvikelse inom 49,90 – 50,10 Hz Aktiveringstid: 63% inom 60 s och 100 % inom 3 min Volymkrav: ca 200 MW för Sverige Generella krav: - Godkänd förkvalificering - Realtidsmätning - Elektronisk kommunikation - Uthållighet Övrigt: - Symmetrisk produkt som ska klara att reglera upp och ned	FCR-Disturbance Minsta budstorlek: 0,1 MW Aktiveras: automatiskt vid frekvensavvikelse under 49,90 Hz Aktiveringstid: 50 % inom 5 s och till 100 % inom 30 s Volymkrav: ca 400 MW för Sverige Generella krav: - Godkänd förkvalificering - Realtidsmätning - Elektronisk kommunikation - Uthållighet	aFRR (automatic) Minsta budstorlek: 5 MW Aktiveras: automatiskt via central styrsignal när frekvensen avviker från 50,00 Hz, under de timmar reserven upphandlas Aktiveringstid: 100 % inom 120 s Volymkrav: ca 150 MW i Sverige Generella krav: - Godkänd förkvalificering - Realtidsmätning - Elektronisk kommunikation - Uthållighet	mFRR (manual) Reglerkraftmarknaden Minsta budstorlek: 10 MW (5 MW i SE4) Aktiveras: manuellt efter begäran från Svenska kraftnät Aktiveringstid: inom 15 min ¹ Generella krav: - Godkänd förkvalificering - Realtidsmätning² - Elektronisk kommunikation - Uthållighet
--	--	---	---

Bild 10. Systemtjänster för reglerkraft³⁴

Det är viktigt att förstå skillnaden mellan energiaktiveringsmarknad (EAM) och kapacitetsmarknad (CRM). En kapacitetsmarknad avser reservera kapacitet för att säkerställa att tillräckligt med resurser finns i driftsperioden (timme per idag). Således betalar Svk enbart för att leverantören skall tillhandahålla en viss kapacitet, för aktivering vid behov. Ersättning sker oftast separat från energiaktiveringsmarknad. Kapacitetsmarknaden kompletteras oftast med en energiaktiveringsmarknad, beroende på hur aktiveringen sker och vilka "energiaktiveringspriser" som finns vid ögonblicket för leverans i samma riktning, så avräknas aktiverad volym efter faktiskt behov och aktivering. En energiaktiveringsmarknad kan utgöra "komplement" till kapacitetsmarknaden.

³⁴ Svenska Kraftnät

FCR-N och FCR-D avser upp och nedreglering av kraftslag och upphandlas med relativt kort framförhållning medan aFRR i dess nuvarande form handlas upp med en veckas framförhållning. Detta leder till att prognososäkerheten är för stor för tex intermittent kraft som vind och sol men som kan lämpa sig väl för vätgas. mFRR bedöms idag vara kommersiellt ogynnsamt då reglerkraftpriser inte är tillräckligt höga (uppreglering) respektive låga (nedreglering). mFRR-marknaden skiljer mot övriga produkter då detta idag är en energiprodukt där enbart energibud läggs och ropas av vid behov, vilket kan jämföras med kapacitetsprodukter (aFRR, FCR-N/D). De olika systemtjänsterna samspelar och har olika användningsområden. Framöver skulle olika kraftslag kunna samverka i ett gemensamt aggregatorsystem vilket medför att fler tjänster kan erbjudas gemensamt. Nedan visas hur de olika produkterna aktiveras med hänseende på tid.

De olika systemtjänsterna samspelar och har olika användningsområden

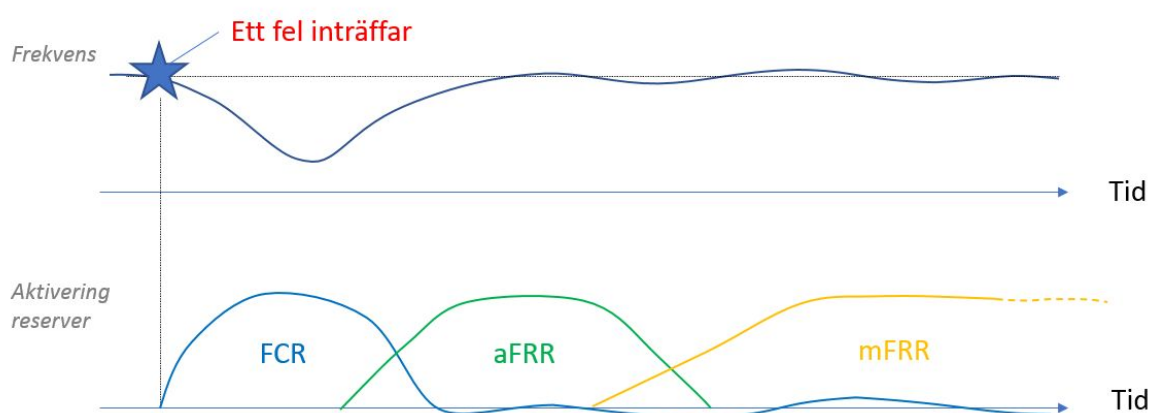


Bild 11. Systemtjänsternas funktioner vid fel

Olika ersättningsmodeller gäller för olika produkter, Paid as Bid (PAB) eller Paid as Cleared (PAC). PAB innebär att avropade bud ersätts enligt enskild budkostnad, i motsats till marginalprissättning (PAC). I nuläget så prissätts samtliga reserver, undantaget mFRR, enligt PAB. Generellt så förväntas Svk gå från PAB till PAC, drivet av de legala ramverken. Det finns även en reell poäng med PAC (marginalprissättning) då det stimulerar teknikutveckling och konkurrens. För PAB betyder det att aktörerna "gissar" marginalpris om de budar strategiskt, medan PAC stimulerar att buda in kapacitet efter faktiska kostnader. Marknadspriset som publiceras av Svk avser det viktade genomsnittspriset, dvs det pris som aktörerna får betalt i genomsnitt för respektive bud.

FCR-N/D handlas upp löpande på D-2 respektive D-1 (två respektive en dag innan leverans, per timme). Ersättning utgår idag enligt Pay as bid, med andra ord ett accepterat bud ersätts mot faktisk budkostnad. Detta är att jämföra med marginalpris där det högsta avropade budet sätter priset/ersättningen för alla accepterade bud. aFRR handlas idag på en veckomarknad och kräver stor prognososäkerhet. Det är en relativt ny produkt sedan 2013. Den aktiveras precis som FCR-N av frekvensavvikelser. Framöver kommer denna sannolikt att kompletteras med en energiaktiveringmarknad. Den handlas generellt under "svåra" frekvenstimmar (morgon/Kväll). Sannolikt kommer detta framöver ske dygnet runt. Minst bud storlek är idag 5MW men kommer

troligtvis att bli lägre i framtiden. mFRR (reglerkraftsmarknad) sker idag genom energiaktiveringsmarknad, denna domineras av vattenkraft och aktiveras på 15 minuter från aktivering. För att börja leverera FCR-N/D så krävs det att en rad tekniska punkter tillgodoses. Primärt handlar det om att säkerställa att IT-säkerheten för en aggregator är tillfredställande, samt att genomgå en teknisk kvalificering (dokumenterat test som medför att man lyckas styra aktiv effekt enligt ett fördefinierat "program"). Processen från ansökan till godkänd anläggning för leverans förväntas ta ca 5 månader. Vätgas finns idag inte med på denna marknad, inte heller vindkraft.

De olika systemtjänsterna är olika mycket fokuserade på energi respektive kapacitet/effekt

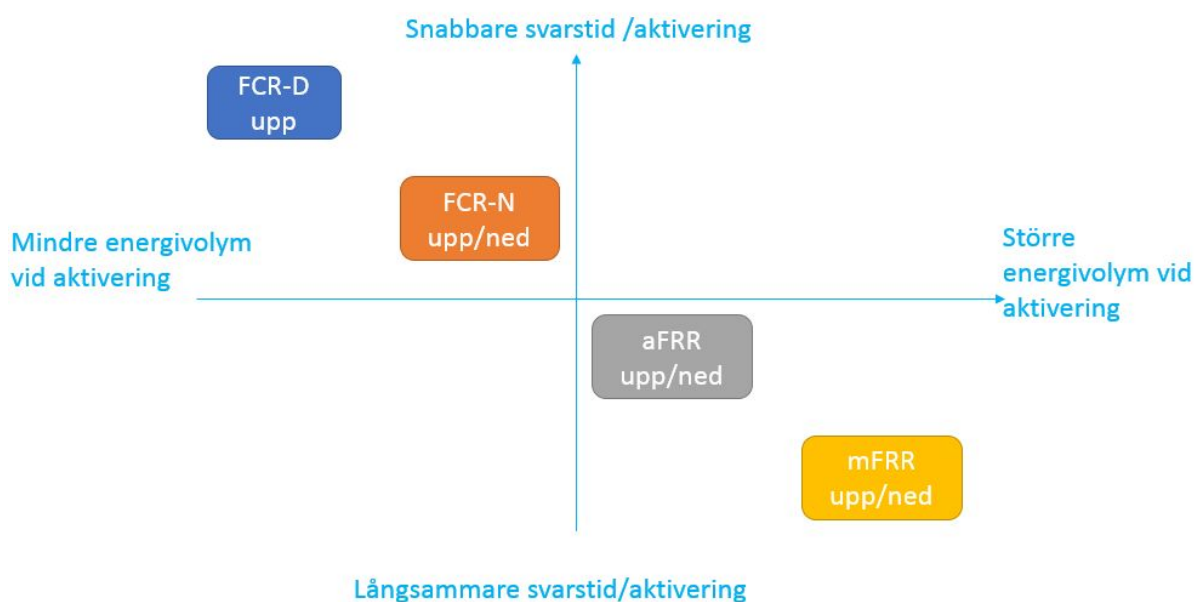


Bild 12. Fokus för systemtjänster

Prisnivåerna är (mycket) volatila. Anledningen till detta är att vattenkraften tillhandahåller ca 99% av all FCR-kapacitet i nuläget i Sverige, och att vattenvärdet (alternativkostnaden) blir den kostnadsparameter som blir dominerande. Balansansvarig part (BRP) har en kritisk roll i den faktiska leveransen av systemtjänster, då alla bud på marknaden måste läggas av BRP. Det är oklart huruvida befintlig BRP har förmåga/kompetens att göra en säker prognos för dessa typer av leveranser som omfattas idag. Bedömningen är att prisnivåerna kommer att vara relativt bibehållna framöver och att relativa intjäningsförmågan jämfört BAU (sälja på spot) kommer att öka rent teoretiskt. Värdet av vätgas och lagring ökar också i takt med att vi ser låga priser på elmarknaden. I början av 2020 har vi sett historiskt låga priser, vilket gynnar vätgasmarknaden.

Några utvalda knäckfrågor för lönsamheten av att leverera systemtjänster är

- prognos av produktion (relativt låg osäkerhet),
- OPEX för leverans av tjänst jämfört Business as usual som ökat slitage, administrationskostnader till följd av prognoser, etc.
- Avtal med BRP (alla anläggningar som ingår i måste idag ligga under samma balansansvar)

- Kostnadsutveckling till spotpris relativt de olika produkterna

För en framtida strukturerad produkt så kan lokal- och regionnätsföretag, balansansvariga och systemtjänsteleverantörer vara köpare av flex-tjänster. Här kan en aggregator spela en betydande roll. Att skapa ett parallellt system till det befintliga Vindstyr för att därmed kunna aggregera flertalet vätgasanläggningar framöver är en god idé. Redan befintliga avtalsmodeller kan anpassas för att omfatta vätgasen. På kort sikt går den svensk/nordiska marknaden mot att gå från 60 min avräkning till 15 min vilket innebär att möjligheter ökar för fler att bidra. Upphandlingshorisont sänks generellt, Nätkoderna stipulerar idag att åtminstone 70% av kapacitet av "systemtjänsterna" skall handlas dagen före (D-1), även om SvK ansökt om undantag från detta krav. Detta underlättar för att olika aktörer som idag är för små kan vara med på marknadsplatsen, eftersom prognososäkerheten minskar. Energilager har börjat introduceras på marknaden idag men i mycket små volymer. Det avser främst batterilager och UPS³⁵.

Ekonomisk utveckling

Utifrån detta är det svårt att utan stödmedel eller att på annat sätt förändra affärsmodellen, se en marknadsekonomisk potential i en sådan investering idag. Till detta ska läggas möjligheten att få intäkter från elnätsnyttor. Det ska också tilläggas att priserna på elektrolysörer såväl som bränsleceller och lager går ner och vid beställning i större antal, om en standardiserad lösning tas fram, kan priserna sjunka betydligt. För att återbetalningstiderna ska röra sig ner till 5-10 år behövs en kostnadsminskning på 75 %, om allt annat är lika. För att sammanfatta kan följande saker påverka kalkylen positivt:

- Högre betalningsvilja för fossilfritt inhemskt producerad mineralgödsel eller stöd för att minska importberoendet.
- Sjunkande priser på komponenter.
- Standardiserade serieproducerade lösningar.
- Flera bränslecellsfordon
- Affärsmodeller kopplade till elnätsnytta.
- Ökade prisskillnader på el.
- Uppvärdering av reservkraft
- Subventioner av investeringskostnader eller driftskostnader, exempelvis för att stödja robusthet i matproduktion eller för att stödja elnätet.

Ägandeformer

En lösning för att komma förbi eventuella problem med investeringskostnad är att anläggningen ägs av ett bolag som levererar den eller också av en utomstående aktör. Lantbrukaren förbinder sig då att betala ett visst pris per kWh som systemet levererar och behöver inte betala någon investering. Detta kallas power purchasing agreement (PPA). Denna typ av lösning används bland annat av Bloom Energy³⁶ i USA som har flera natur- och biogasdrivna bränsleceller som de ställer upp hos sina kunder

³⁵ Källa: Gotlands vindelproducenter GVP och Cleps

³⁶ <https://www.bloomenergy.com/>

som är bundna av ett PPA. Detta ger en förutsägbar kostnad för användaren och för den som äger anläggningen aggregeras flera anläggningar vilket gör investeringskalkylen mer förutsägbar och gör det därmed enklare att belåna bolaget.

Utbildning och information

Kunskapen om vätgas i Sverige är i många fall låg men under projektiden har det märkts ett stort intresse från många håll. Det gör att det finns en bra grund för möjligheten att sprida kunskapen kring vätgas. Under projektiden så har projektledarna hållit ett 15-tal informationstillfällen för olika grupper som myndigheter, politiker, studenter, lantbrukare och allmänhet som har varit mycket positivt mottagna. Denna rapport och presentationer kring den är en del av informationen för vilka användningsområden det finns gällande vätgas speciellt kopplat till lantbruk och småskalig lagring av vätgas från sol och vind.

Genom de projekt som under senaste åren drivits exempelvis vid Vårgårdabostäder har riktlinjer tagits fram tillsammans med MSB och den lokala räddningstjänsten om säkerhet kring vätgas när den hanteras ute i samhället. Sedan tidigare finns riktlinjer som är avpassade för industriellt bruk.

Det finns många missuppfattningar om riskerna med vätgas. Det är viktigt att ha stor respekt och kunskap vid hantering men med rätt utrustning och ett säkerhetstänk går det att minimera riskerna. När det gäller bränslecellsbilar går de igenom omfattande krocktester och har ett säkerhetssystem som gör dem minst lika säkra som vanliga bensinbilar. Bränslecellsbilar testas efter samma krockteststandard (NCAP) som konventionella bilar och bedöms efter samma stränga krav. Att en tank skulle explodera undviks på flera olika sätt.

Nätverk för vätgas

I projektet har en referensgrupp med olika bakgrund och kompetenser medverkat. Detta för att få in så många aspekter på användningen som möjligt.

Deltagare i referensgrupp:

Martina Wettin Nilsson Energy, Niklas Bergman LRF, Simon Härenstam Länsstyrelsen Gotland, Per Karlsson Gangvide Farm, Stefan Ivanell Uppsala universitet Campus Gotland, Ola Pettersson RISE, Erik Wiberg RISE/ Vätgas Sverige, Per-Anders Hansson SLU, Sara Johansson GEAB, Josefin Knudsen GVP, Anders Ylipää Region Gotland, Björn Aronsson Vätgas Sverige, Bernt Pettersson LRF.

Utöver dessa har många andra under projektets gång visat intresse för vätgas och är samlade i en maillista som kan användas för informationsspridning.

I detta projekt har också gjorts en studieresa till Göteborg för 12 personer med besök på bränslecellstillverkaren Powercell som då hade 75 anställda och är inne i en mycket snabb tillväxtfas. Företaget arbetar med strategiska partners som Bosch för fordonsindustrin och Siemens för fartygsdrifter.

Jan Thorsson som är vd för Vårgårda Bostäder berättade om den renovering av 176 lägenheter i ett miljonprogramsområde som nu genomförs. Från solceller på taken lagras energi i vätgas och används för bostadsuppvärmning, varmvatten och fastighetsel under hela året. Genom sänkta driftkostnader och höjt fastighetsvärde räknas investeringen hem.

Gruppen besökte också Hans-Olof Nilssons villa där energi från solceller lagras i vätgas och försörjer det stora huset med energi för hus, elbilar, värme och varmvatten under hela året. Installationen har varit i drift sen 2015.

Handlingsplan och områden att arbeta vidare med

I projektet har framkommit att nästa steg bör vara att bygga en eller två demonstrationsanläggningar på Gotland för att visa att tekniken är utvecklad för praktisk drift.

Under projektiden har Vätgas Sverige sökt medel från Horizon 2020 i ett program för fossilfritt lantbruk. Gangvide Farm finns med som en av 16 partners runt Östersjön. Om ansökan godkänns kommer det att byggas en pilotanläggning på platsen med elektrolysör, energilagring och bränslecell och eventuellt tankmöjligheter för vätgas. Beslut beräknas i juni 2020.

LRF planerar att göra en ansökan under hösten 2020 till Tillväxtverket ur fonden för Småland och öarna. Detta projekt tillsammans med tidigare arbeten är underlag till ansökan. Syftet är att i praktisk drift kunna demonstrera ett energilager med möjlighet för snabbladdning av elbilar och tankning av vätgasfordon. Anläggningen kommer att vara öppen för visningar, studiebesök och utvärderingar från exempelvis skolor och universitet. Det ger möjlighet att utvärdera vätgas ur tekniskt, ekonomiskt och miljöperspektiv.

Arbetet för att skapa en marknad för lagrad energi bör fortsätta. Dels inom projektet CoordiNet men även för att tillsammans med elnätsföretag arbeta med att fram affärsmodeller och prissätta nyttorna med energilager ute i det lokala elnätet.

Aktörerna på Gotland har under projektets gång samlat ihop både kunskap och intressenter och har därigenom skaffat sig ett kunskapsförsprång inte bara i Sverige utan även utanför landet när det gäller småskalig energilagring i vätgas. Här har aktörer som LRF, GVP, Gangvide Farm med energiexpo och Energicentrum Gotland viktiga roller för att bibehålla och utveckla kompetensen.

Den dialog som har startats med myndigheter som är ansvariga för samhällets beredskap och säkerhet som Länsstyrelse, Försvarmakten, PST och Region Gotland bör fortsätta för att minska samhällets sårbarhet.

Det är nu viktigt att bibehålla och utveckla det nätverk av intresserade som byggts upp under projektets gång. Ambitionen är att ha minst två träffar per år varav en i samband med energiexpo på Gangvide.

Diskussion och slutsats

De gröna näringarna har stora möjligheter att bidra i den stora energi och klimatomställning som pågår. Det öppnar sig också nya affärsmöjligheter som kan ge en förbättrad lönsamhet för branschen. Utvecklingsmöjligheter till fossilfritt lantbruk med drivmedel och växtnäring kan bli verklighet. Men det kräver att någon tillverkare av traktorer tänker nytt och utvecklar ett fordon från grunden. För att använda vätgas för växtnäringsproduktion behöver utrustning utvecklas som är i anpassad storlek för lokalt bruk. Troligtvis är vindkraft ett bättre alternativ än solkraft för att kunna finna ett anpassat storleksintervall. Ett lagrings och distributionssystem behöver byggas upp för ammoniak samtidigt som mer forskning behövs för att värdera miljö och arbetsmiljörisiker.

Vätgastekniken är under snabb utveckling och bedöms vara nära ett genombrott. En energiomställning kommer att kräva användning av många olika tekniker varav vätgas från fossilfria energikällor är en av dem som ger helt utsläppsfri energi.

Fordon för vätgas utvecklas på många håll och när tillverkningsvolymerna ökar kommer också inköpspriset att bli konkurrenskraftigt. Området där vätgas kommer att slå igenom snabbast bedöms vara för tunga transportfordon.

Kostnadsbilden kommer att bli konkurrenskraftig när volymproduktion av utrustningar kommer igång. Verkningsgraden förbättras betydligt när energilagringen sker småskaligt på en verksamhet som kan ta tillvara på det varma vattnet som kommer både från elektrolysör och bränslecell.

Några fullständiga ekonomiska kalkyler för de olika scenarierna har inte genomförts då de priser som går att få fram för investeringen gäller enstaka anläggningar så länge volymproduktionen av utrustning inte har kommit igång. För intäkter på elnätstjänster finns idag inte affärsmodeller som är anpassade till småskalig lagring.

Energi lagrad i vätgas ger möjlighet för flexibel användning inom många användningsområden som fordonsbränsle, energilagring, stöd till elnät, tillverkning av ammoniak och syre, reservkraft mm.

Gotland är ett mycket lämpligt område för test av småskalig lagring med stor andel vind och solkraft i energisystemet och ön är dessutom utpekad som pilotområde för energiomställning, totalförsvar och reservkraft för mobilnätet. Ön är bra för att testa ny teknik inom elområdet när allt finns inom ett begränsat nät, den enda externa anslutningspunkten är kablarna till fastlandet.

Att ha tillgång till lagrad energi bör bli en tillgång i elsystemet framförallt lokalt men dagens affärsmodeller är i första hand utvecklade för ett centraliserat eldistributionssystem. Därför behöver en ny affärsmodell tas fram där de fördelar som lokalt lagrad energi innebär, ges ett värde. För att det skall bli intressant att köpa/sälja el från en lagringsanläggning måste det finnas större variationer i elpriset än dagens förhållande, något som bedöms komma att ske i framtiden.

Samhället är idag mycket sårbart för störningar i elleveranserna. Genom att ha energilagring decentraliserat så går det att bygga ett mer robust system. På speciellt känsliga verksamheter är möjligheten för reservkraft en nödvändighet. Om man på dessa ställen använder vätgas så kan de försörjas med lokalproducerat fossilfritt bränsle.

Under projektiden har det visats ett stort intresse kring vätgas och det finns nu ett nätverk av engagerade personer som för arbetet vidare.

Nästa steg är att få prova tekniken i praktiken på Gotland för att kunna demonstrera funktionen och att fortsatt visa på möjligheterna. Det ger också goda möjligheter för universitets och forskningsvärlden att utvärdera tekniken under praktiska förhållanden.

Fördjupningsbilaga 1 Syrgas till sjukvård

Priset till sjukvården för syrgas skiljer sig extremt; från 8,5 SEK/kg till 400 SEK/kg. Utöver detta tillgodoses en stor del av behovet idag med flytande syre, men eftersom kostnaden att kondensera syrgasen är stor och betalningsviljan låg, fokuseras helt på gasformigt syre. Tyvärr har fortfarande

ingen information hittats om någon aktör gått igenom processen för att få en anläggning på plats där syrgasen används för medicinskt bruk i Europa. I USA är detta möjligt men i Europa verkar det alltså än så länge obeprövat.

Genom kontakt med läkemedelsverket har processen och associerade kostnader utretts. Syrgas räknas som läkemedel varför två tillstånd behövs från en anläggning som ska leverera medicinsk syrgas; ett tillverkningstillstånd från Läkemedelsinspektionen vad gäller tillverkningsprocessen och en registrering från regulatoriska enheten där registrering av läkemedel sker. Farmaci- och biotechavdelningen har det vetenskapliga kunnandet och deltar därför i utredningarna för tillstånd.

Av de fyra befintliga tillverkarna av medicinsk syrgas (Praxair, AGA, Air Liquide och Strandmöllen) framställer samtliga genom luftseparering, alltså inte genom elektrolys. Luftseparering är en relativt billig teknik men betydligt mer rening behövs än om syrgas från elektrolys används. De flesta som söker tillstånd för medicinsk syrgas har levererat till industrin först, eftersom tillstånden är dyrare för medicinsk tillverkning, även om renhetskraven i industrin kan vara betydligt högre.

Bedömningen för tillverkningstillståndet utgår från EU:s riktlinjer om god tillverkningssed för medicin ämnad för människor. Om tillverkning sker i en kontrollerad process som följer ISO:9001 bör det inte vara några problem att få tillverkningstillstånd. Registrering hos regulatoriska enheten följer mallen för Common Technical Dossier (CTD). Flytande och gasformigt syre är olika läkemedel så separata tillstånd krävs om båda skall levereras från samma anläggning. Om en elektrolysör som del av ett energilagrar placeras vid ett sjukhus för att förenkla leveransen av syrgas är processen något annorlunda. Normalt sett godkänns en batch av läkemedel i taget efter att ha kvalitetssäkrats, likaså vid leverans av syrgas för medicinskt bruk. Vid kontinuerlig tillverkning finns det numera möjlighet i reglerna med så kallad real-time release som innebär att produktionen kvalitetssäkras genom kontinuerlig processkontroll. Detta tillvägagångssätt är vanligt i annan industri men har först nyligen börjat användas för läkemedelsproduktion.

Kostnaden för att registrera ett läkemedel är ungefär 400 kSEK om processen fortgår utan problem. Detta är en engångskostnad för varje ny anläggning som producerar syrgas. Kostnaden för tillverkningstillståndet är 30 kSEK per år, där en inspektion var tredje år är inkluderat.

Medicinskt bruk är inte den användning av syrgas som ger störst avkastning per levererad enhet; där finns istället flera industriprocesser. Syrgas för medicinskt bruk är dock geografiskt utbrett och därför intressant om energilagringsskonceptet ska kunna användas även på andra platser. En synergier är att energilagret ger ökad redundans för elleverans till sjukhuset, och kan därmed kombineras med budget för reservkraft. Det vore en stor kostnadsmässig fördel om en tillverkningsprocess kunde godkännas en gång och anläggningen replikeras på vid andra energilagrar, men detta är alltså inte möjligt i dagsläget.

Fördjupningsbilaga 2 Vätgas för kvävegödselframställning

I lantbruket i världen är det mest använda gödningsmedlet urea (som kräver en koldioxidkälla). I Nordeuropa används mest ammoniumnitrat som bildas genom en reaktion av salpetersyra och ammoniak. Ammoniak i sin tur bildas av kväve och väte i en reaktion som kallas Haber-Bosch.

Ammoniumnitrat används även kommersiellt i sprängmedel inom gruv- och byggindustrin bland annat. Syftet med ammoniumnitrat är att förse grödorna med kväve i större mängd, vilket behövs för att de ska kunna växa. Det kan handla om en fördubbling av avkastningen genom att tillföra kväve. Det går även att använda ammoniak i ren form för att gödsla, men den behöver då brukas ner i marken för att inte dunsta till atmosfären, utan binda sig i jorden. För att ammoniak ska hållas flytande behöver det vara kylt till $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det kan även hållas flytande vid ett tryck på 10 bar men för att kunna spridas i marken behöver det vara flytande efter att det lämnat tanken och därmed nedkylt. En annan metod är att blanda ammoniak i vatten eftersom det är vattenlösligt. Då går det enklare både att förvara och att sprida utan att det behöver brukas ner.

Processen att framställa ammoniumnitrat är kraftigt exoterm (kemisk reaktion där värme avges), vilket innebär att reaktionen sker på ett sätt som kan vara svårt att kontrollera, varför det kan vara mer lämpligt att hålla sig till ren ammoniak eller ammoniak löst i vatten. Eftersom projektet fokuserar på att framställa gödningsmedel för lokal användning är dessutom nackdelarna vid lösning i vatten mindre då det inte behöver transporteras. I en mindre demonstrationsanläggning i USA används ca 14 kWh för att framställa en liter ammoniak, där 9,3 kWh åtgår för elektrolys, 3,5 kWh för att luftseparera kväve, och resten för att kombinera dem till ammoniak.

I ett exempel från majsodling i USA går det åt ungefär 320 liter ammoniak per år och hektar mark som odlas. Ett exempel med 100 ha mark som ska gödslas:

Förutsättningar:

Gravimetrisk densitet: 0,8843 vid $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Andel vätgas i ammoniak: 17,8 wt% är vätgas.

Kväveinnehåll i trycksatt vattenfri ammoniak är 82%

Beräkningar:

- 32 000 liter/år $\rightarrow$ 28 ton/år eller 77 kg/dygn.
- Vätgasbehovet blir då $77 \cdot 0,178 = 14\text{ kg H}_2$ per dygn.

Det skulle även enligt ovan behövas $14\text{ kg} \cdot 55\text{ kWh} = 770\text{ kWh/dygn}$, d.v.s. $770/24 = 32\text{ kW}$ kontinuerlig elförsörjning. Från exemplet i USA användes 50 % mer el för att luftseparera kväve och kombinera det med väte till ammoniak. Detta skulle innebära att 48 kW kontinuerlig elförsörjning behövs.

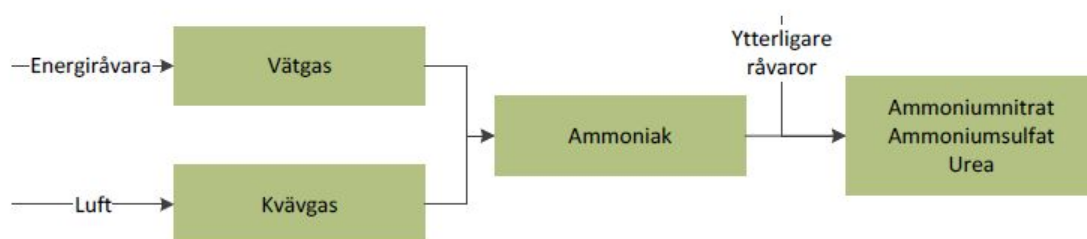


Bild 13. För att tillverka kvävegödselmedel behövs vätgas och kvävgas. Kvävgas kan tas från vanlig luft men vätgasen måste framställas och det kräver energi³⁷.

³⁷ https://pub.epsilon.slu.se/12077/11/ahlgren_s_et_al_150409.pdf

Om solceller skulle användas motsvarar detta ca $(48 \cdot 5) = 240$ kW installerad effekt solpaneler. Därmed ligger detta exempel inom storleksordningen för vad en gård kan producera lokalt men nära gränsen 250 kW för att inte behöva betala skatt på den producerade elen. Det finns då inte mycket el kvar att använda till övriga behov och för fordon.

Det ska dock noteras att kvävegödselbehovet vid odling i Sverige är ungefär hälften mot det amerikanska för majs, som används i studien som ligger till grund för beräkningarna ovan. Detta ger ett behov av 0,07 kg väte per dygn och hektar.

Ett problem är att anläggningar för att producera ammoniak typiskt producerar 500 000 ton per år, och det finns få mindre anläggningar. I det amerikanska exemplet har en specialbyggd reaktor använts. För att få ett konkurrenskraftigt pris på en sådan anläggning behövs istället massproduktion. En lösning kan vara att flera lantbrukare går samman för ammoniakproduktionen men då behövs transporter av såväl vätgas som ammoniak, vilket komplicerar och fördyrar systemet.

Det kan även vara möjligt att använda den syrefattiga kväverika luft som lämnar bränslecellen för att enklare få fram rent kväve för processen där det blandas med väte för att bilda ammoniak. Ett problem med detta är att bränslecellen används främst på vintern och elektrolysören som producerar väte mest är aktiv på sommaren och det är knappast lönsamt att lagra kväve istället för att luftseparera från vanlig luft. Med vindkraft kan det däremot finnas situationer där det är intressant.

Det finns en rapport från SLU om tillverkning av fossilfri kvävegödsel³⁸.

För spridning av ammoniak krävs mycket kringutrustning för att köra ut det. Det är en aggressiv produkt att använda för både maskiner och människor. Flytande ammoniak är ett bra gödningsmedel som kan användas till alla grödor. Viktigt är däremot att mylla ner gödningen direkt eftersom den lätt avdunstar³⁹. Ammoniak blandat med vatten ger betydligt mindre risker samtidigt som den inte behöver myllas så djupt som ammoniakgas.

I världen är ammoniak ett relativt vanligt gödselmedel. I USA är andelen av gödslingen 25%.

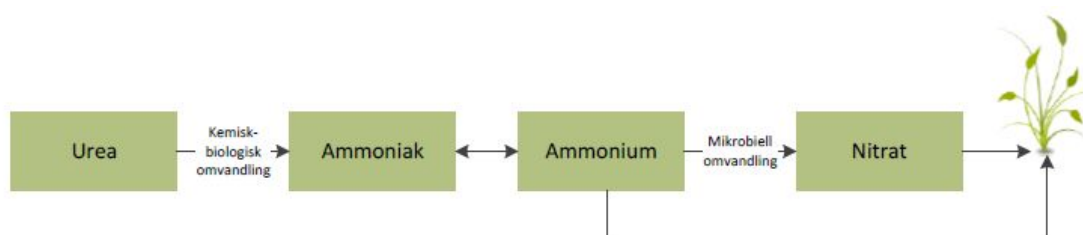


Bild 14. Kvävegödsel omvandling i mark. Baserad på bild i Yara (2014)⁴⁰.

Ammoniak omvandlas omedelbart till ammoniumkväve vid kontakt med fuktig jord. Eftersom ammoniak är en bas, kommer det indirekt att hämma bakterierna, vilket innebär att det kommer att ta längre tid för bakterier att omvandla ammoniumkväve till nitratkväve, som kan tvättas ut till jorden.

³⁸ https://pub.epsilon.slu.se/12077/11/ahlgren_s_etal_150409.pdf

³⁹ <https://www.atl.nu/lantbruk/flytande-ammoniak-billigt-godningsmedel-for-danskar/>

⁴⁰ https://pub.epsilon.slu.se/12077/11/ahlgren_s_etal_150409.pdf

För gödsling med ammoniak används en speciell utrustning som placerar ammoniaken på 10-20cm djup.



Bild 15. Gödsling med ammoniak

Ammoniak är användbart för grödor med långsam kväueupptagning som majs, spannmål och potatis. Gödselmedlets effekt beror inte på temperatur eller regn, vilket gör det särskilt fördelaktigt under torra perioder.

Priset för kvävegödsel idag är ungefär 10 SEK/kg kväve för det som är framställt av naturgas, och uppskattningsvis 30 % högre på fossilfri gödsel produkt, det vill säga 13 SEK/kg kväve. ⁴¹

⁴¹ https://www2.jordbruksverket.se/download/18.47f1061167704c09faaa019/1543994500651/jo18_18v2.pdf