

Flerbostadshus off-grid

Förstudie

Version: 3.0

Alla BeBo-rapporter finns att hitta på www.bebostad.se

2021:03

Karin Lindström, Diar Balata och Agneta
Persson, Anthesis
Bosse Wikensten, Aktea Energy

2021-12-14

Innehåll

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte och mål.....	1
1.3 Avgränsningar.....	1
1.4 Genomförande.....	2
2. Nuläge.....	2
2.1 Definition av ”off-grid”.....	3
2.2 Vätgas som energilager.....	4
2.2.1 Batterilager.....	6
2.2.2 Elektrolysör.....	8
2.2.3 Vätgastank.....	9
2.2.4 Bränslecell.....	9
3. Nyckelfrågor för svenska förhållanden.....	10
3.1 Den nationella vätgasstrategin - vätgasens framtida roll i Sverige.....	10
3.2 Säkerheten vid användningen av vätgas.....	12
3.2.1 Riskbedömningar i vätgasstrategier.....	13
3.3 Dimensionering av byggnader som är självförsörjande på energi i svenskt klimat.....	14
4. Svenska erfarenheter av energisystem med bränsleceller och vätgas.....	15
4.1 Vätterhem YEAH.....	15
4.2 Sjöbohem Hydrobust.....	18
4.3 Mariestad ElectriVillage.....	20
4.4 Vårgårda Bostäder.....	21
4.5 Region Uppsala.....	23
4.6 Projekt i andra länder.....	24
4.6.1 ABB i samarbete med Umwelt Arena, Brütten, Schweiz.....	24
4.6.2 HPS, Berlin, Tyskland.....	25
4.6.3 Siemens Energy, Green Hydrogen Project, Dubai, Förenade Arabemiraten.....	25
5. Slutsatser och förslag på fortsatt arbete.....	26
5.1 Åtgärder för att undanröja hinder för användning av vätgas i flerbostadshus.....	27
5.2 Förslag på vidare arbete.....	27
6. Referenser.....	28
Bilaga 1 Intervjufrågor.....	30



Förord

BeBo (Energimyndighetens nätverk för energieffektiva flerbostadshus) har funnits sedan 1989 och är ett samarbete mellan Energimyndigheten och några av Sveriges största fastighetsägare på flerbostadshussidan.

BeBos aktiviteter ska genom en samlad beställarkompetens leda till att energieffektiva system och produkter tidigare kommer ut på marknaden. Utvecklingsprojekten ska visa på goda exempel med effektiv energianvändning samtidigt som funktion och komfort inte försämras utan snarare förbättras.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Effektiv energianvändning i flerbostadshus är en av förutsättningarna för att Sverige ska nå de nationella målen om ett hållbart energisystem. Det behövs därför ett omfattande utvecklingsarbete både för att minska behovet av energi genom tekniska och beteendemässiga åtgärder, och för att energibehovet ska täckas på ett hållbart sätt. Det krävs även ett ökat fokus på att minska effektbehovet och skapa en ökad efterfrågefleksibilitet. Framtidens hållbara energisystem behöver också fokusera mer på försörjningstrygghet och robusthet.

Energieffektiva och effekt-effektiva, robusta och resurseffektiva lösningar är grunden i ett hållbart energisystem. Men det behöver också ske en utveckling av energiproduktions- och lagringsteknik, och vätgas har en stor potential att bidra till ett mer hållbart energisystem. Många aktörer, såväl fastighetsägare som andra, är intresserade av helt eller delvis självförsörjande byggnader, och det behövs en ökad kunskap om status, problem och lösningar kring detta.

1.2 Syfte och mål

Denna förstudie syftar till att bygga upp kunskap om status, problem och lösningar hos flerbostadshusägare avseende byggnader som är helt eller delvis självförsörjande på energi genom användning av vätgaslösningar. Förstudien ska ge en kunskapsinventering, teknikstatus, och förutsättningsanalys med specifikt fokus på lagringsteknik.

Målet med förstudien är att bidra till ökad kunskap om system för att byggnader ska kunna vara helt eller delvis självförsörjande på energi.

1.3 Avgränsningar

Denna förstudie har fokuserat på produktion och användning av vätgas i flerbostadshus. Därför har vätgaslösningar inom industrin, eller vätgas som bränsle för transporter, endast beskrivits när de också har en koppling till bebyggelsen.

Eftersom det finns väldigt få färdigställda lösningar med vätgas i flerbostadshus, finns dock exempel på användning i annan typ av bebyggelse, till exempel en förskola. Anledningen till detta är att tekniken fungerar likadant oavsett vilken verksamhet som bedrivs i huset, och förskoleexemplet är därför användbart även för flerbostadshus.

Förstudien har innefattat att beskriva de svårigheter som finns med att till exempel genomföra riskbedömningar, dimensionering av systemlösningar och lönsamhetsberäkningar. Det har dock inte ingått i uppdraget att ta fram mallar och hjälpmedel för dessa uppgifter.

1.4 Genomförande

Förstudien har genomförts i följande delar:

1. Kartläggning nuläge

Förstudien har inletts med en kunskapsinventering med fokus på teknikstatus för energisystem för flerbostadshus. Kartläggningen har inkluderat perspektiv för både helt och delvis självförsörjande energisystem. Här ingår miljö och klimat, teknik, energi och effekt, ekonomi, säkerhet, självförsörjande/oberoende med mera.

2. Nyckelfrågor för svenska förhållanden

Den andra delen av arbetet fokuserar på förutsättningar, problem och lösningar för svenska flerbostadshusägare. Här har fördjupat fokus lagts på framför allt säkerhet, vilka behov som finns på samhällelig nivå för att hantera risker (vilket hanteras olika i olika regioner i Sverige) vid energilagring i stadsnära miljöer samt självförsörjande/oberoende. Intervjuer har genomförts med ett antal relevanta aktörer, såväl fastighetsägare, leverantörer konsulter med flera.

3. Sammanställning av svenska erfarenheter av energisystem med bränsleceller och vätgas

I den här delen av arbetet har erfarenheter samlats in från svenska projekt med bränsleceller, batterilager och vätgas i flerbostadshusbebyggelse, bland annat Nilsson Energy, Vårgårda Bostäder och Vätterhem. Vi har även hämtat erfarenheter från projekt i annan typ av bebyggelse och i andra länder. Kontakter har tagits med bland annat MSB, länsstyrelser och brandskydd.

2. Nuläge

Vätgas är sedan länge en viktig råvara inom delar av processindustrin. Merparten av den vätgas som används idag i Sverige (cirka 180 000 ton, motsvarande 6 TWh/år) används inom industrin, främst inom kemi- och raffinaderiindustrin, och är av fossilt ursprung.

Större delen av den vätgas som produceras i Sverige används nära produktionsanläggningen. Mindre mängder vätgas transporteras till kunder i komprimerad form via gastuber på lastvagnar och i flytande form via tankbilar.

Det är dock väldigt ovanligt idag att vätgas används som energiråvara inom bebyggelsen.

2.1 Definition av "off-grid"

År 2018 stod bostadssektorn för 40 procent av Sveriges energianvändning och andelen förnybar energi var 56,4 procent (Energimyndigheten, 2020). Ett sätt för fastighetsägare att försäkra sig om att all energi som används inom den egna byggnaden är förnybar är genom att själv producera all energi som behövs i anslutning till byggnaden.

Termen "off-grid", på svenska önätsdrift, innebär helt enkelt ett självständigt system där försörjningen av el, värme och vatten samt avloppsrening inte är beroende av att byggnaden är uppkopplad till något nätverk. Byggnaden försörjer sig själv med dessa funktioner och systemet omfattar ofta en eller flera byggnader. Just termen "off-grid" har funnits länge. Off-grid nämns ofta tillsammans med klimatsmarta och moderna lösningar för att bekämpa klimatförändringen men faktum är att de miljontals diesel- och bensingeneratorer som finns världen över förser sitt system med el off-grid och är klimatskadliga (IRENA, 2015). Det är först på senare tid som termen har förknippats med hållbarhet.

Att vara energisjälvförsörjande på ett hållbart sätt innebär bland annat att energin som används kommer från hållbara källor som sol, vind eller vatten. Sol är idag det mest populära alternativet för elproduktion off-grid (Vartiainen, et al., 2019). Nackdelen med solceller är dock dess beroende på väder och variation över tid (dygn och säsong). I Sverige genererar solceller mest el under sommaren och minst under vintern. Samtidigt är byggnadernas energibehov under vinterhalvåret högre, både för uppvärmning och belysning. En lösning på detta är att lagra det energiöverskott som solcellerna ger under sommaren och använda det under vintern.

Alternativet att vara delvis off-grid existerar också. Detta innebär att byggnaden fortfarande är kopplad till nätet samtidigt som den har självförsörjande element. Delvis off-grid byggnader kan vara helt självförsörjande i kortare perioder och kan också underlätta belastningen på nätet under effekttoppar. Ett självförsörjande hus som är kopplat till elnätet har också möjligheten att sälja överskottsenergi.

Tabell 1 visar några skillnader mellan att ha ett system som är off-grid respektive on-grid.

Tabell 1: Jämförelse mellan on- och off-grid

Faktor	Off-grid	On-grid
Kostnad för energin som används	Ingen	Kostnad som kommer från elbolagen, kopplade på elnätet
Investeringskostnad	Hög investeringskostnad	Låg investeringskostnad gällande enskilda byggnader
Systemets storlek	Systemet omfattar bara en eller ett fåtal byggnader	Systemet är direkt kopplat till ett större nätverk som kan omfatta en hel stad eller mer
Lagringssystem	Lagring behövs i eller i närheten av byggnaden	Lagring behövs ej i eller i närheten av byggnaden

2.2 Vätgas som energilager

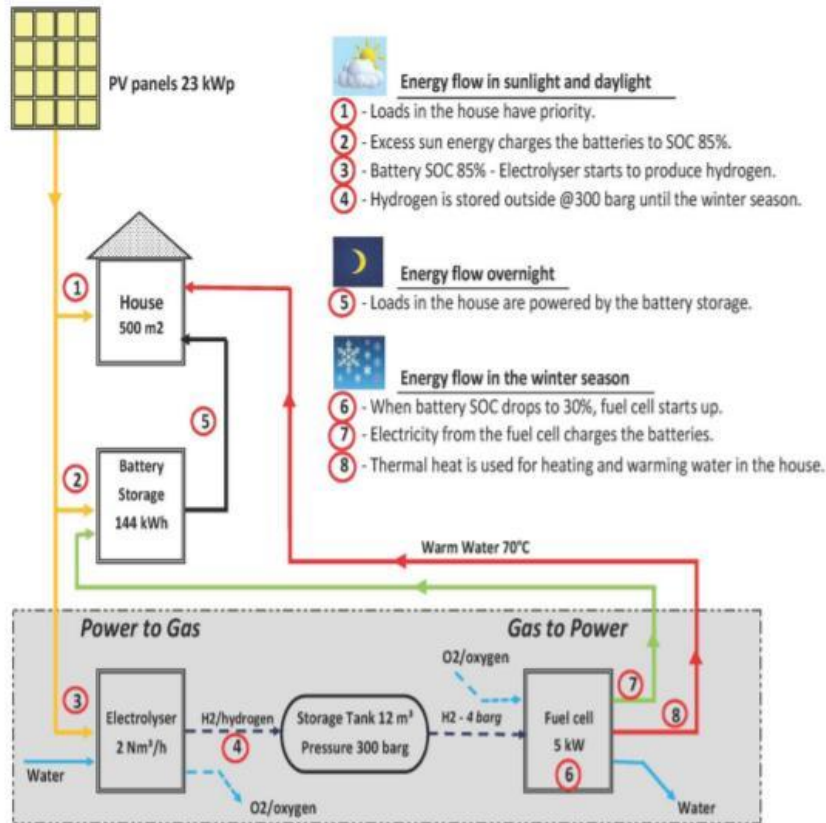
Det krävs en rad olika teknologier och komponenter för att vätgaslagring ska fungera. Till att börja med behövs en energikälla, som kan vara sol- eller vindkraft. I anslutning till byggnader är solenergi det vanligaste alternativet. Elproduktionen måste kombineras med någon form av lagring, för att byggnaden ska kunna vara självförsörjande även när solen inte skiner. Solceller i kombination med batterier är oftast tillräckligt i länder som har liten säsongsvariation (Yilanci, et al., 2009) och där lagringstiden inte är så lång. Batterierna fungerar med andra ord bra som dygnslager, där den el som produceras under dagen kan sparas till kväll och natt.

Även i Sverige är det, där lagring av el förekommer, i dagsläget vanligast att lagra i batterier. Här varierar dock mängden solenergi som genereras markant mellan vinter och sommar och det räcker inte med dygnslagringen. Det är också nödvändigt att kunna lagra energin från sommaren till vintern, eftersom energianvändningen i genomsnitt är högre under vinterhalvåret (Puranen, et al., 2021). För detta är batteritekniken inte tillräckligt effektiv. Dels är batteriernas lagringskapacitet begränsad och dels är förlusterna för stora vid lagring som sträcker sig över flera månader. När lagring behövs för att tillgodose energibehovet månader senare är det mer lämpligt att använda sig av en långvarig lagringsmetod som komplement, vätgas (Puranen, et al., 2021).

I ett system som ska göra huset helt självförsörjande på energi ingår nedanstående komponenter i energisystemet. Den principiella uppbyggnaden av systemet och energiflödet mellan komponenterna visas i Figur 1.

- Lokal elproduktion
I anslutning till bostadsbyggnader är solceller vanligast. För till exempel jordbruksfastigheter kan också en vindkraftanläggning vara aktuellt.
- Batterilager (2)
Används för dygnslagring av el.
- Elektrolysör (3)
Omvandlar vatten till vätgas och syrgas, med hjälp av tillförd elenergi
- Vätgastank (4)
Trycktank för lagring av vätgas
- Bränslecell (6)
Omvandlar vätgas till elektricitet

Power to gas installation keeps a family home and their EV's running around the year



Figur 1 Principiell uppbyggnad av ett självförsörjande energisystem med energilagring i form av vätgas.
Källa: Nilsson Energy

2.2.1 Batterilager

Idag går nästan alla människor runt med ett batteri i fickan. Batterier kan användas för att driva många typer av apparater och det är inte ovanligt att de används som ett lagringssystem för el. Användningen av batterier ökar i takt med det alltmer digitaliserade och elektrifierade samhället.

För stora system, exempelvis i byggnader som försörjs med solpaneler, används större batterier för dygnslagring av el. Dessa kallas BESS (battery energy storage systems). Vilken energimängd som batterier kan lagra (mätt i kWh) varierar mycket. Flera batterier kan kombineras för att öka kapaciteten. Batteriernas lagringskapacitet minskar ofta med tiden, ju fler gånger de laddas upp och ur. Både vid upp- och

urladdning har batteriet också energiförluster i form av värme, och i vissa fall kan spillvärmerna användas för att värma byggnaden.

Det finns olika typer av batterier som används för olika syften (Al Shaqsi, et al., 2020). Litiumjonbatterier, blysyrbatterier och NiMH (nickel-metallhydridackumulator) är de vanligaste som används för energilagring i byggnader.

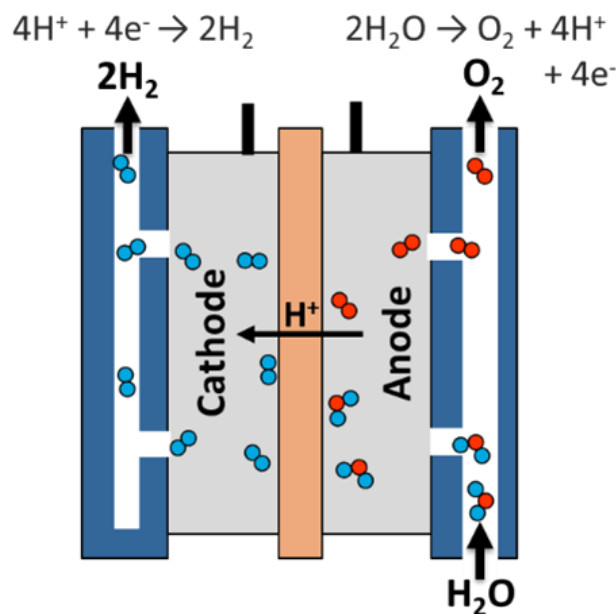


Figur 2: Batterilager, 144 kWh bly-kiselgel, i ett lågenergihus med önätsdrift. (Elsäkerhetsverket, 2016)

Batterilager kan också användas i byggnader som inte har några solceller installerade, eller under vintern när solcellerna endast ger små mängder energi. Batterierna laddas då med el från elnätet. Syftet med batterilagringen är då ofta att öka byggnadens försörjningstrygghet, det vill säga att försäkra sig om att kritiska system förses med el i samband med elavbrott. Vanliga tillämpningar för detta är avbrottsfri kraft för serverhallar och kortvarig reservkraft för sjukhus och vårdboenden. Det finns också tillämpningar där batterilager används för att minska eleffekttoppar. Batterierna laddas då upp med egenproducerad el eller el från nätet vid tider då byggnadens elanvändning är liten, och laddas ur när elanvändningen är som störst. Det jämnar ut elbehovet från elnätet över tid.

2.2.2 Elektrolysör

Elektrolysprocessen behöver el för att kunna separera vatten till vätgas och syre. Elektrolysören består av en katod och en anod. Vid katoden frigörs vätgas och vid anoden syrgas. Beroende på vilket material som används som elektrolyt mellan katod och anod, leds olika joner mellan dem. Figur 2 visar en så kallad PEM-elektrolysör (Polymer Electrolyte Membrane) där ett speciellt plastmaterial separerar katod och anod, och där vätejoner transporteras från anod till katod.



Figur 3: Elektrolysörens arbetsprincip (U.S. Department of Energy, 2021)

Elektrolysören producerar vanligtvis vätgas med ett tryck på mellan 10 och 330 bar. Det finns en rad olika elektrolysteknologier och tre av de vanligaste är PEM (polymer electrolyte membrane), AWE (alkaline water electrolysis) och SOE (solid oxide electrolysis) (Shiva Kumar & Himabindu, 2019).

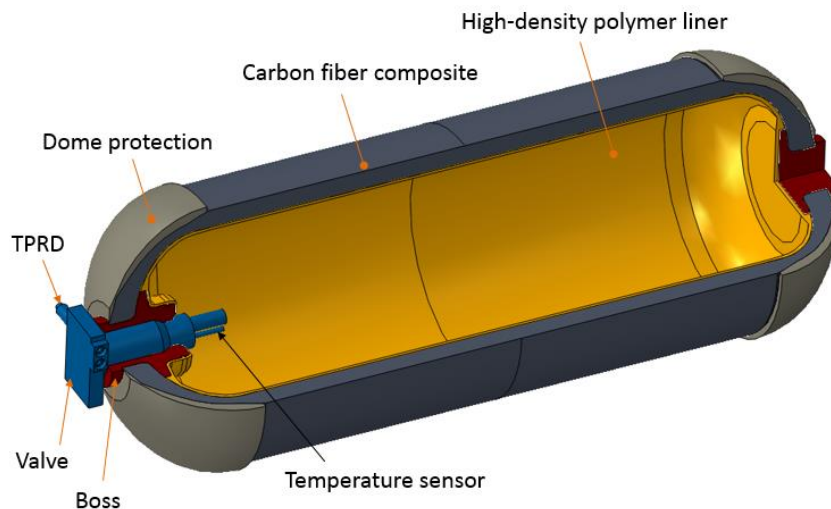
AWE är den mest utvecklade och förekommande teknologin i kommersiell användning. Den alkaliska elektrolysören har funnits länge på marknaden för bland annat kemisk industri, och använder en välbeprövad teknik. I cellen är anod och katod nedsänkta i en alkalisk lösning och de är åtskilda av ett membran som bara tillåter transport av hydroxidjoner. Cellen arbetar vid en temperatur på 60-80 °C och kan producera vätgas med upp till 30 bars tryck. En nackdel med alkalisk elektrolys är att elektroderna med tiden bryts ned av elektrolyten, vilket kan begränsa elektrolysörens livslängd. En AWEs effektivitet ligger på ungefär 62 – 82 % (Bhandari, et al., 2013).

Flera celler sätts sedan ihop och förses med kylning, för att ge en elektrolysör som levererar den mängd vätgas som behövs.

2.2.3 Vätgastank

Efter spjälkningen komprimeras vätgasen och förs vidare in i högtryckstankar. I tankarna lagras vätgasen med ett tryck på 200 – 700 bar (Zohuri, 2019). Tankarna är oftast cylindriska i form och kan vara gjorda av stål, aluminium eller kompositmaterial. Stål är den billigaste varianten men är samtidigt också den tyngsta. I de fall tyngden inte är ett hinder är stål det vanligaste valet, annars används tankar av kompositmaterial (Sherif, et al., 2014).

Vätgastanken har visserligen ett starkt hölje men den behöver ändå skyddas från yttre påverkan. Övertryck är i regel inget problem eftersom kompressorn sätter begränsningen för hur högt tryck det får vara i vätgastanken. Gastankarna behöver också skyddas från värme, vilket också ger en säkerhet mot att gasen fattar eld eller exploderar. Detta löses med smältsäkringar (i nedanstående principskiss TPRD) som släpper ut vätgasen kontrollerat i en riktning bort från människor och egendom.



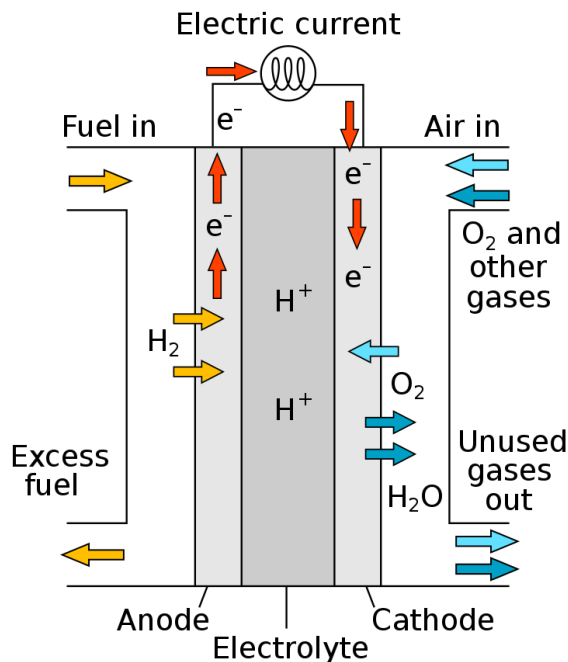
TPRD = Thermally Activated Pressure Relief Device
 Credit: Process Modeling Group, Nuclear Engineering Division, Argonne National Laboratory (ANL)

Figur 4: Principiell uppbyggnad av trycktank för vätgaslagring (U.S. Department of Energy, 2021)

2.2.4 Bränslecell

Bränslecellen producerar el av vätgasen. En bränslecell består liksom elektrolysören av en anod och katod, nedsänkta i en elektrolyt. Bränslet, som i detta fall är vätgas, förs in i anoden och luft förs in i katoden. I anoden separeras vätemolekylerna till protoner

och elektroner som förs olika vägar till katoden. Elektroner går genom den externa kretsen och skapar ett flöde av elektricitet medan protoner går genom elektrolyten till katoden där de tillsammans med syre och elektroner bildar vatten och värme (Williams, 2011).



Figur 5: Principiell uppbyggnad för en bränslecell. (Wikipedia, 2021)

Förutom elenergi frigörs också värme i bränslecellen. För byggnader med uppvärmningsbehov kan den frigjorda värmeenergin användas för uppvärmning. Många typer av bränsleceller har en hög arbetstemperatur, vilket innebär att de kan leverera högt tempererad värme till byggnaden.

3. Nyckelfrågor för svenska förhållanden

3.1 Den nationella vätgasstrategin - vätgasens framtida roll i Sverige

I Energimyndighetens förslag till nationell vätgasstrategi, som överlämnades till Regeringen den 25 november 2021, beskrivs fossilfri vätgas och elektrobränslen som potentiellt viktiga för vår framtida fossilfrihet. Strategin sätter nationella planeringsmål att

- till 2030 skapa förutsättningar för minst 5 GWel elektrolysörkapacitet, vilket kan leda till utsläppsminskningar på 1,5–3 miljoner ton koldioxidekvivalenter (CO₂ekv) motsvarande 3–6 procent av Sveriges totala utsläpp idag.
- till 2045 föreslås en ytterligare utbyggnad motsvarande 10 GWel elektrolysörkapacitet har skett, med potential att bidra till utsläppsminskningar på 7–15 miljoner ton koldioxidekvivalenter (CO₂ekv) motsvarande 15–30 % av Sveriges totala utsläpp idag.

Beroende på elektrolysörernas drifttid, skulle elektrolysörer på totalt 15 GW kunna kräva upp till 126 TWh el. Alternativt skulle man kunna se det som att 126 TWh el kan lagras i form av vätgas, för att kunna användas vid ett senare tillfälle. För fossilfrihet krävs då att vätgasen produceras med el från fossilfria produktionslag, till exempel sol- och vindkraft.

Vätgasstrategin betonar att vätgasen ska användas där den är samhällsekonomiskt effektiv och gör mest systemnytta. Att producera fossilfri vätgas är en energikrävande process och varje omvandlingssteg innebär energiförluster. För att åstadkomma ett energi- och resurseffektivt system krävs att vätgasen integreras i energisystemet och att användare och producenter är flexibla. Fossilfri vätgas har potential att bidra till ökad försörjningstrygghet genom energibalansering och lagring av förnybar elproduktion. Om vätgasproduktionen kan variera sitt uttag av el från elnätet väntas antalet timmar där utbudet inte kan möta efterfrågan minska markant. Användningen av vätgastekniken kan också stärka Sveriges konkurrenskraft.

På kort sikt, fram till 2030 förutspås i vätgasstrategin att fossilfri vätgas produceras och används främst i befintliga industrier (exempelvis järn- och stålindustri, kemi- och raffinaderiindustri). Några lokala installationer av elektrolysörer kan ske utanför industrins grindar, främst för verksamheter inom transportsektor och energisektorn samt i skärningen mellan dessa. Vätgastankstationer är ett exempel.

På något längre sikt, fram till 2045, fortsätter omställningen till fossilfrihet genom vätgas i sektorer som järn- och ståltillverkning, kemi- och raffinaderiindustrier. Inom transportsektorn byggs tankinfrastrukturen ut och mer fossilfri vätgas används i exempelvis tunga lastbilar, arbetsmaskiner och eventuellt i andra segment och transportslag. Här beskrivs också vätgasens möjlighet att bidra till sjöfartens och luftfartens klimatomställning.

Vätgasstrategin beskriver inte användningen av vätgas inom bebyggelsen som ett av de stora potentiella utvecklingsområdena. Däremot beskrivs att EU-kommissionens lagpaket "Fit for 55" innehåller förslag som kan påverka bebyggelsen, till exempel ett separat utsläppshandelssystem (EU-ETS) för vägtransporter och byggnader. Den föreslagna utvidgningen av EU-ETS till byggnader kan främja användningen av fossilfri vätgas i bebyggelsen.

Den ökade internationella efterfrågan på elektrolysörer kan driva ner marknadspriserna och sammanhängande infrastruktur för distribution och lagring för olika sektorer och branscher kan ta form och komplettera befintlig energiinfrastruktur. Detta underlättar också för introduktionen av vätgas i bebyggelsen.

3.2 Säkerheten vid användningen av vätgas

Det finns mycket åsikter om säkerhet kring vätgas, och frågan är kopplad både till förutfattade meningar och stigman som har varit svåra att bryta. Det är en naturlig process att ett nytt teknikområde ger upphov till viss rädsla och skepsis hos människor. För många människor går tanken om vätgas och bränsleceller dessutom direkt till vätebomber eller luftskeppet Hindenburg, även om det inte finns några större likheter mellan den och att producera vätgas och lagra i en trycktank på gården till ett bostadshus.

Vätgas har många säkerhetsmässiga fördelar jämfört med andra bränslen. En av de viktigaste fördelarna med vätgas är att gasen i sig är ofarlig för människor, djur, miljö och klimat. Vid ett ofrivilligt utsläpp kommer gasen snabbt att spädas ut och försvinna eftersom den är lätt och flyktig. Råvaran för att spjälka vätgas i en elektrolysör, rent vatten, är också ofarlig och tillgången på vatten är i det närmaste oändlig.

Inom industrin har vätgas använts länge. Tack vare det finns säkerhetsregler som handlar om hur vätgas ska transporteras, lagras och användas. Det finns rutiner för hur säkerhetsbedömningar ska göras vid vätgaslagring, till exempel i anslutning till en industri. Tekniken för att förse trycktankar med smältsäkringar är också välutvecklad, och det säkerställer att vätgasen kan släppas ut kontrollerat i en riktning bort från människor och egendom om problem skulle uppstå.

Av kontakter med de som har genomfört svenska projekt med vätgas i anslutning till bebyggelse framgår det att de inte har haft några betydande problem med att diskutera säkerhetsfrågorna med den lokala brandskyddsmyndigheten. De lokala brandskyddsmyndigheterna har erfarenhet av att hantera vätgas vid transporter och inom industrin, och vätgas ger inte heller några oväntade följdproblem i samband med släckning av en eventuell brand som är svåra att hantera. Brandskyddsmyndigheterna ser snarare ett problem med bränder som uppstår i en byggnad som har en solcellsanläggning på taket, eftersom sådana byggnader kan matas med el även om huvudströmbrytaren är avslagen. Att använda batterier för dygnslagring av el är också en mer riskfylld teknik. Vid en eventuell brand släpper batterierna ut farliga gaser som gör släckningsarbetet riskfyllt, och det kan dessutom vara svårt att släcka brinnande batterier. Det ska också noteras att människor i allmänhet inte uppfattar batterier som farliga, och det är människor som ser det som ett problem att ha en batteridrivna apparat i fickan.

En sak som saknas idag är en standardiserad metod för att göra säkerhetsbedömningen om trycktanken med vätgas ska placeras i ett bostadsområde, och inte ett industriområde. Avsaknad av standard och bristande rutin hos kommunens handläggare gör att de som hittills har genomfört pilotprojekt har fått lägga mycket tid på att kommunicera med tillståndsgivaren på kommunen.

Vid intervjuer med de som har drivit vätgaspilotprojekt i Sverige har det också framhållits att en stor anledning till att flera projekt har lagts ner i ett sent planeringsskede är politiska beslut, där säkerhetsfrågorna har varit avgörande. Här kan det helt enkelt vara så att tjänstemän och politiker inte vill stå ansvariga om en olycka skulle hända.

Det skulle alltså underlätta väsentligt, både för fastighetsägare/byggherrar och tillståndsgivande tjänstemän, om det fanns en standardiserad metod för säkerhetsbedömning av vätgaslagring i bostadsområden. Den nu pågående debatten kring säkerhetsfrågorna kommer sannolikt också med tiden att förändra vätgas upplevs. När användningen av vätgas som energiråvara upplevs som "normal" kommer frågan att avdramatiseras.

3.2.1 Riskbedömningar i vätgasstrategier

Vätgasstrategier som berör Sverige har tagits fram av flera organisationer. I dessa finns beskrivningar och mål som berör säkerhetsaspekterna.

Energimyndigheten har haft regeringsuppdraget att ta fram ett förslag till en nationell vätgasstrategi, som redovisades till Regeringskansliet den 25 november 2021. I detta uppdrag ingick att "identifiera hinder mot en introduktion av vätgas som en del av det svenska energisystemet". I förslaget beskrevs säkerhetsaspekterna som ett viktigt område där en ny branschstandard behövs:

"Idag saknas det tydliga branschstandarder ur ett säkerhetsperspektiv för hur man bygger vätgasanläggningar. Certifiering inom gashantering inkluderar så sent som 2021 inte information om vätgas. Det behövs stöd i utvecklingen av standarder för att bygga vätgasanläggningar på ett säkert sätt, både för enskilda produktionsanläggningar och hela värdekedjor. Vätgas inkluderas inte i regeringens standardiseringsstrategi och detta bör uppdateras. Även det rådgivande organet för innovativ och klimatfokuserad standardisering bör skyndsamt verka för att inrätta branschstandarder och certifiering."

EU:s ”En vätgasstrategi för ett klimatneutralt Europa” presenterades i juli 2020. Här beskrivs behovet av förbättrade säkerhetsstandarder och att frågan hanteras likartat i medlemsländerna:

”Slutligen behövs mer forskning som stöd för politikens utformning inom ett antal övergripande områden, särskilt för att möjliggöra förbättrade och harmoniserade (säkerhets)standarder samt övervakning, och för att bedöma effekterna på samhället och arbetsmarknaden.”

Fossilfritt Sverige presenterade ”Vätgasstrategi för fossilfri konkurrenskraft” för Regeringen i januari 2021. I ett handlingsförslag som syftar till att utveckla regelverk och marknadsförutsättningar för att öka takten för fossilfri vätgas beskrivs behovet av ett enhetlig nationell hantering av säkerhetsfrågorna:

”MSB bör under 2021 skapa nationella råd och rekommendationer för hantering av vätgas och vätgasledningar som bör användas av alla räddningstjänster och kommuner.”

3.3 Dimensionering av byggnader som är självförsörjande på energi i svenskt klimat

Eftersom det endast är några enstaka flerbostadshus som har ett energisystem där vätgas används som energilager, och det inte heller finns särskilt många andra typer av byggnader som har dimensionerats för att vara självförsörjande på energi, är erfarenheterna av hur man bör tänka när det gäller dimensioneringen begränsade. I de genomförda intervjuerna har dock flera aktörer varit samstämmiga i sina synpunkter.

En av erfarenheterna är att det krävs att samtliga system i byggnaden är energieffektivt utformade om byggnaden ska kunna bli helt självförsörjande. Byggnaden i sig måste vara så energieffektiv att dess energi- och effektbehov på vintern är lågt. Annars behöver en stor mängd vätgas produceras och lagras för att täcka husets energibehov. Utöver detta krävs också ett genomgående arbete med att återvinna energi på de ställen där detta är möjligt.

Samtliga pilotprojekt som har utvärderats i denna förstudie har haft lokal energiproduktion (solceller) och dubbla lagringsmöjligheter för den producerade elen. Dygnslagring sker i dessa byggnader med batterier som används för att utjämna kortvariga variationer i elproduktion och -användning. Elöverskott utöver det som lagras i batterier används för långtidslagring i form av vätgas. I dessa fall har alltså batterilagringen inte ersatts med vätgaslagring utan de två kompletterar varandra.

Sjöbohems erfarenhet var dessutom att energibehovet inte riktigt matchades mot tillgången på el respektive värme. I ett flerbostadshus där hushållselen till lägenheterna försörjs via individuella elanslutningar och -abonnemang, är användningen av fastighetsel i regel relativt låg medan energibehovet för uppvärmning och tappvarmvatten är betydligt större. Vintertid har Sjöbohem noterat att bränslecellen producerar för mycket el i förhållande till värme, och deras plan är därför att komplettera systemet med en vätgaspanna som enbart levererar värme. Då kan de genom driften av bränslecell och vätgaspanna balansera så att de får rätt mängd el och värme för att täcka byggnadens behov.

Sjöbohem beskriver också möjligheten att utesluta solceller och elektrolysör ur systemet för att skapa ett system som kostar mindre att installera och är lättare att dimensionera. Vätgasen skulle i så fall levereras till byggnaden med tankbil, lagras i en trycktank och användas i bränslecell och/eller vätgaspanna. Här finns möjlighet att fylla på tanken flera gånger perr uppvärmningssäsong om så skulle behövas. Det är också möjligt att planera leveranserna för att även kunna tanka vätgasfordon i framtiden. En ytterligare fördel med denna utformning bedöms vara att vätgasen kan produceras på den plats där tillgången på egenproducerad el är stor, till exempel i anslutning till en vindkraftanläggning eller solcellspark, och dimensioneringen blir inte begränsad av den takyta som är tillgänglig för att sätta upp solceller.

Det skulle också behövas mer kunskap om hur man dimensionerar ett vätgassystem för flerbostadshus. Avsaknaden av en standard och tidigare exempel gör det svårt för de som vill utföra dessa projekt att dimensionera vätgassystemet som skulle behövas till den tänkta byggnaden.

4. Svenska erfarenheter av energisystem med bränsleceller och vätgas

4.1 Vätterhem YEAH

Vätterhem har tillsammans med Yellon och Skanska utarbetat en plan att bygga två helt självförsörjande flerbostadshus i området Öxnehaga i Huskvarna. Avsikten var att de två byggnaderna skulle vara helt självförsörjande på avlopp, energi, vatten och ventilation. Något sådant projekt har aldrig tidigare genomförts för flerbostadshus, vare sig i Sverige eller någon annanstans i världen.

För att få mer information om projektet intervjuades Pär Löfstedt, Yellon, som är projektledare för projektet YEAH. Yellons pilotprojekt tillsammans med Vätterhem lades ner i ett sent skede efter politiska beslut, men Yellon fortsätter att driva projektet kring off-grid hus med vätgaslager. Deras förhoppning är att konceptet YEAH ska testas i ett pilotprojekt någon annanstans.

YEAH-konceptets energiförsörjning sker med hjälp av solceller, monterade både på tak och fasad. En del av solcellerna kyls med vätska för att öka livslängd och energiutbyte, och eventuell överskottsel korttidslagras i batterier. När batterierna är fulladdade går överskottselen istället till en elektrolysör för långtidslagring av energi i vätgas. Elektrolysprocessen ger dessutom restvärme som används för värmning av tappvarmvatten upp till en temperatur på 45°C. Den termiska energin från de vätskekylda solcellerna och från elektrolysprocessen på sommaren är högre än varmvattenbehovet så överskottet lagras i ett markvärmelager under huset till användning på vintern. Vätgasen komprimeras och lagras i högtryckstankar för användning under vinterhalvåret då energibehovet för byggnaden är som högst. Då används den komprimerade vätgasen som bränsle för att producera el i en bränslecell. Restvärmen från bränslecellens kylvatten kan användas både för att värma byggnaderna och bereda tappvarmvatten. Överskott på el och vätgas kan dessutom användas för att tanka bilar.

Elförsörjningen i byggnaden är tänkt att bestå av både likström och växelström. Genom att driva bland annat LED-belysning på likström minskas konverteringsförlusterna i likriktare. Den egenproducerade elen ska även klara all hushållsel för de boende (som ska debiteras för sin elanvändning av fastighetsägaren).

Konceptbyggnaden är också helt självförsörjande på vatten. 80–90 procent av vattenanvändningen ska komma från regn som samlas i en vattenreservoar (damm). Vattnet ska gå genom ett sandfilter innan det går till byggnadens reningsverk. Allt gråvatten recirkuleras genom reningsverket och används igen till tvätt, disk och dusch. På så vis spar man ca 90% av vattenförbrukningen och upp till 80% av energianvändningen för tappvarmvatten. Kallt dricksvatten ska hämtas från byggnadens egen brunn. Denna brunn ska även fungera som reserv om det inte har regnat tillräckligt mycket under en tid.

Toalettavloppet leds genom mekanisk avskiljning till en biologisk reningsanläggning. Den härmar naturens egna reningsprocesser men gör det på ca 12 timmar. Resultatet blir rent vatten som återcirkuleras till toalettspolning. I reningsanläggningen gör mikrober ett så gott arbete att till och med mer än 95% av alla medicinrester elimineras och slamtömning inte behövs.

Värmedistributionen i byggnaden är planerad att ske i ett vattenburet system där en del av värmen ska komma från en värmepump och en del komma från kylningen av solceller, elektrolysör och bränslecell. Restvärmen från de tekniska systemen ska användas för att stödja uppvärmningen av byggnaden. Om byggnaden ska kunna vara helt självförsörjande krävs dock att dess energiprestanda är god, så att uppvärmningsbehovet på vintern inte blir större än vad den lagrade vätgasen kan täcka.

Byggnaden ska ventileras med "termitventilation", där tilluften ska ledas in via en markförlagd kanal och få samma temperatur som den omgivande marken. På sommaren kommer detta att innebära att tilluften kyls ner och på vintern att den värms upp. Luften som tillförs byggnaden bedöms komma att hålla 14-16°C.

Som nämndes ovan lades projektet ner i ett sent skede av planeringsprocessen. Pär Löfstedt poängterar att det finns flera anledningar till det beslutet. En viktig anledning var osäkerhet kring och brist på kunskap om vätgas. Ett problem som sannolikt har bidragit är att vätgaslagring ännu är en oprövad lösning för flerbostadshus. De säkerhetsföreskrifter som finns idag är utformade för vätgastankar i industriområden, och det är avsaknaden av en standard för bostadsområden som sätter käppar i hjulen.

"De säkerhetsföreskrifter som finns är anpassade för industri och industriområden och när räddningstjänsterna ska översätta det till bostadsområden vet de inte vad de ska göra. Det som saknas är en standard för säkerhetsföreskrifter för vätgas i bostadsområden."

Pär Löfstedt påpekade att tveksamheten kring säkerheten vid vätgaslagring inte kommer från räddningstjänsten. De ställer sig ofta mer frågande till batterierna i systemet eftersom dessa anses vara en större brand- och hälsofara än vätgas. I många kommuner är man dock orolig för säkerheten kring vätgasen, som anses vara problematisk när man söker tillstånd för projekt. Ett flerbostadshus som är helt självförsörjande på alla sätt, som i konceptet YEAH, har heller aldrig byggts. Det kan vara en faktor som leder till tveksamhet att bevilja projektet och att ta det första steget om något skulle gå fel.

En annan orsak är att kommuner är vana vid att hantera gemensamma nätanslutningar i bostadsområden. Det är kontroversiellt att inte ansluta till de gemensamma näten och därmed inte betala anslutnings- och förbrukningsavgifter till "det allmänna".

"Att ta hand om sitt eget vatten och avlopp gör det möjligt för städer att exploatera områden med eftersatta avloppsnät utan några kostsamma ingrepp i infrastrukturen."

Vidare nämnde Pär Löfstedt att det är mycket svårt att skapa ett flerbostadshus som är helt självförsörjande på energi med bara solceller, även om huset i sig är byggt för att vara mycket energieffektivt. Alla ingående system i byggnaden måste vara självförsörjande och all energi ska återvinnas, annars räcker inte energin och effekten om man vill klara även hushållselen. En bidragande lösning är att återcirkulera vattnet i byggnaden och återvinna energin i avloppsvattnet. En annan bidragande lösning är de vätskekylda solcellerna, vilket medför att de både kan ta upp mer energi från solljuset och få en längre livslängd.

Om huset ska vara uppkopplat till ett gemensamt nät menar Pär Löfstedt att det bara ska vara el, och anslutningen ska bara användas för att huset ska stödja nätet vid eventuella energitoppar.

”Om vi täcker alla tak och fasader med solceller men i övrigt jobbar som vanligt med vatten och avlopp kommer energin inte att räcka. Då måste vi köpa plats på taken från grannarna. Därför måste energikonsumtionen dras ner inom fastigheten. Det kan vi göra bland annat genom att recirkulera gråvatten.”

Med traditionella energilösningar skulle projektet ha kostat ca 120 miljoner SEK och det självförsörjande systemet skulle addera en extra kostnad på omkring 40 miljoner SEK. Yellon har gjort en differenskalkyl avseende den ekonomiska skillnaden i drift. Kalkylen visar att vissa driftkostnader kommer att bli högre samtidigt som andra blir lägre. I helhet blir den initiala investeringen högre men driftkostnaderna betydligt lägre, förutsatt att man kan ta betalt för el och vatten av hyresgästerna. Samtidigt påpekade Pär Löfstedt att återbetalningstiden blir relativt kort eftersom hyresgästerna betalar sin elanvändning och vattenförbrukning direkt till fastighetsägaren. Kalkylen indikerar att investeringen ska vara återbetald inom 20 år. Därefter blir det en god affär. Pär nämnde att många av komponenterna i systemet har blivit billigare över tid, vilket också innebär att kostnaderna sjunker.

”Tittar man på kostnadsutvecklingen på solceller, elektrolysörer och bränsleceller så pekar kurvan ner. Redan nu ca ett år efter ursprungskalkylen ser investeringen ut att landa närmare 30 än 40 miljoner SEK.”

4.2 Sjöbohem Hydrobust

AB Sjöbohem var tidiga med en plan för att göra sin kontorsbyggnad energimässigt självförsörjande. Detta med hjälp av solkraft, vindkraft och vätgas. Kontorsbyggnaden är kopplad till elnätet men detta endast för att kunna sälja överskottsel. En intervju har genomförts med Kent Tillberg, som är förvaltningschef på Sjöbohem.

Byggnadens energiförsörjning sker med hjälp av en solcellsanläggning och ett vindkraftverk. Utöver dessa ingår samma energisystemkomponenter som andra vätgasprojekt, dvs elektrolysör, kompressor, vätgaslager och bränslecell. Detta system kommer eventuellt att kompletteras med en elpanna för att minimera energiförlusterna. Det är vidare tänkt att vätgasen ska användas till Sjöbohems fordonsflotta, där det är tänkt att fordonen ska bytas ut mot bränslecellbilar.

Systemets vindkraftverk har installerats för att komplettera solcellsanläggningen när den inte kan tillfredsställa energibehovet. Genom de två olika elproduktionssätten blir

tillgången på egenproducerad el jämnare, både över dygnet och över året. Sjöbohem har utrett olika lagringsformer, och beslöt att utesluta batterier eftersom de inte bedöms vara lämpade för halvsårslagring. I nuläget bedömer de inte heller att de kommer att ha produktionsanläggningar för vätgas i alla sina fastigheter, delvis för att investeringen för tekniken i dagsläget är hög, men framförallt för att tillståndsprocessen är svår i nuläget. De bedömer det därför mer tillämpligt att transportera vätgasen från någon annan anläggning som redan har gått genom tillståndsprocessen.

Sjöbohems erfarenhet är att energibehovet inte riktigt matchar tillgången på el respektive värme. Användningen av fastighetsel är relativt liten medan energibehovet för uppvärmning och tappvarmvatten är betydligt större. Vintertid har de noterat att bränslecellen producerar för mycket el i förhållande till värme, och en möjlig åtgärd är därför att komplettera systemet med en vätgaspanna som enbart levererar värme. Då kan de genom driften av bränslecell och vätgaspanna balansera systemet så att de får rätt mängd el och värme för att täcka byggnadens behov.

Eftersom det inte finns något entydigt regelverk för hur arbetet med säkerhet kring vätgas ska bedrivas faller denna uppgift ofta på den lokala räddningstjänsten. Kent Tillberg beskriver att deras erfarenhet av att arbeta med räddningstjänsten är positiv. Det har dock funnits tillfällen då räddningstjänsten menat att de inte har haft tillräcklig kompetens för att bedöma projektet och därför har skickat frågan direkt till Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Det finns således en brist på rutiner och/eller kunskap. Den lokala räddningstjänsten har också i detta fall uttryckt en större oro för solcellsanläggningen vid en eventuell brand för än vätgaslagringen.

”Tillståndsprocessen är väldigt svår av den enkla anledningen att det inte finns ett tydligt regelverk.”

Vad gäller projektets ekonomi uppger Kent Tillberg att det har varit svårt att få lönsamhet för ekonomi- och produktionskalkylerna. Produktionsaspekten har varit problematisk eftersom komponentleverantörerna inte har tillräckligt god kontroll på andra nödvändiga komponenters prestanda. Bakgrunden till detta är att den kombination av komponenter som Sjöbohem har använt är tidigare oprövad.

Brist på kunskap beskrivs generellt som det största problemet. Brandingenjörer och brandkonsulter som anlitas har inte fullständig kunskap om vilka underlag som behöver tas fram för ett sådant här projekt. Vidare har avsaknaden av regelverk och standard i Sverige gjort att Sjöbohem har vänt sig utomlands för att få fram underlag. I detta fall undersökte man vad som gäller i USA, och det är svårt att veta hur användbara de modellerna är eftersom de inte är anpassade efter svenska förhållanden.

Investeringskostnaden för Sjöbohems vätgassystem i byggnaden var 9 miljoner SEK. Återbetalningstiden har beräknats till 10 år. Den relativt korta återbetalningstiden beror till stora delar på att de har gjort andra vinster i samband med att systemet installerades. Det handlar till exempel om att optimera driften och ha god kontroll på energisystemet som helhet. Sjöbohem säljer också överskottsenergi till elnätet, vilket ger en viss intäkt.

Sjöbohem har planer på att installera vätgasanläggningar i fler byggnader. Det är dock i nuläget oklart hur stora dessa anläggningar ska vara eller om de ska vara kompletta med alla de komponenter som deras första system har. Sjöbohem ska jobba vidare med sin kontorsbyggnad i åtminstone ett år framöver. De kommer också analysera vilka av deras fastigheter som ska förses med lokal småskalig elproduktion.

4.3 Mariestad ElectriVillage

Mariestad kommun var först i världen med att bygga en solcellsdriven vätgastankstation och energisystemet H2E är unikt i sitt slag. I denna förstudie har Susanné Wallner intervjuats. Hon har tidigare arbetat som utvecklingsansvarig för ElectriVillage och är nu näringslivschef på Mariestad kommun.

H2E används för att tillverka vätgas som används för att lagra överskottsproduktion av solenergi. Välgas valdes som energilager tack vare dess förmåga att långtidslagra energi. I Sverige är el- och effektbehovet högst under vintermånaderna samtidigt som solceller producerar minst el under den perioden. För byggnader som ska vara självförsörjande på energi är lagring överskottsproduktion av energi därför viktig. Mariestad har också en välgasbilsflotta. Den finns för tillfället elva bilar i drift och den begränsande faktorn är i dagsläget tillgången på fordon. En biltillverkare har levererat de elva fordonen som finns idag, men vill inte leverera fler förrän det finns en tillräckligt utbyggd infrastruktur för välgas med tankställen som gör att fordonen kan användas utan fysiska begränsningar.

I Mariestad byggs för tillfället också en förskola som ska vara helt självförsörjande på el och värme med hjälp av ett energisystem bestående av bergvärmepump, solenergi och välgas. Förskolan är projekterad så att elproduktionen från solcellerna maximeras. Elen från solcellerna kan användas direkt men den kan också lagras vid tillfällena av energiöverskott. Korttidslagring sker i batterier och långtidslagring i välgastankar.

En av de uppgifter ElectriVillage-projektet jobbat med har varit att förklara för politiker, tjänstemän inom offentlig sektor samt företag att satsa på denna systemomställning, och att övertyga dem om varför omställningen är så viktig. En förstudie har därför gjorts kring Kinnekulletåget som går mellan Håkanstorp och Gårdsjö. Större delen av Kinnekullebanan är inte elektrifierad, och tågen drivs därför med diesel. Att ersätta det fossila drivmedlet med el skulle kräva stora investeringar i

infrastruktur, och det visade det sig i deras analys att det var billigare att övergå till vätgasdrift än att elektrifiera. I förstudien har man gjort ett förslag med kombitankstationer som både kan tanka tåget men också tunga fordon för att snabbt kunna reducera utsläppen i de 5 kommuner som ligger längs Kinnekullebanan, Gullspång, Mariestad, Götene, Lidköping samt Vara. Man har också tittat på en uppskalning för att kunna klara arbetspendling kopplat till ökat behov av kompetensförsörjning längs sträckan Örebro-Göteborg. Vilket gör att man föreslår att gå vidare för att söka till ett projekt där hela sträckan drivs att detta system för att klara omställningen och kunna visa en lösning som kan implementeras på många ställen.

Susanné Wallner påpekade vidare att det är svårt för olika intressenter kommuner och regioner och företag att veta vad som gäller kring tillståndsprövningen. Det är den lokala räddningstjänsten som utfärdar tillståndet, de är kunniga inom området då de jobbat med vätgas i industrin. Däremot finns en okunskap och inget tydligt regelverk i Sverige. Det är problematiskt att det inte finns någon standard för hur man ska hantera vätgas i bebyggelsen. Även om detta är ett pilotprojekt är det anmärkningsvärt att beslutsfattarnas kunskap om vätgas är låg. Susanné Wallner bedömer att det är avsaknaden av kunskap som leder till avslag för vätgasprojekt.

Man har strävat efter att sprida budskapet i media och via föreläsningar, men att det är ett tidskrävande arbete. Hon menar att mediaframträdanden är viktiga för att sprida information om energiomställningen via fler kanaler än bara via industrin och till intresserade aktörer. År 2030 kommer allt närmare, och då ska större delen av energiomställningen vara genomförd. Vidare kan det också vara inspirerande för andra kommuner att se att en liten kommun som Mariestad vara världsledande inom vätgaslagring med sin tankstation.

”Tekniken finns där, men det måste bli mer verkstad!”

Susanné Wallner menar att en av fördelarna med att vara först med detta projekt har varit att intresset för Mariestad har ökat. Andra aktörer har blivit intresserade av projektet och nya arbetstillfällen har genererats. I ElectriVillage jobbar man för tillfället med flera projekt. Just nu bygger man en förskola som beräknas vara klart under våren 2022. Tankstationen som redan finns samt det tilltänkta projektet kring Kinnekulletåget är några av de projekt som drivs under konceptet ElectriVillage.

4.4 Vårgårda Bostäder

Det kommunala bostadsbolaget Vårgårda Bostäder AB:s projekt om självförsörjande flerbostadshus fick stor medial uppmärksamhet när det startades. Projektet omfattade en totalrenovering av sex flerbostadshus från tiden för miljonprogrammet. Vid renoveringen förbättrades byggnadernas energiprestanda till nybyggnadsstandard. Husen försågs med solceller på taken och ett batterilager som täcker ca två dygns drift.

Tanken var att husen skulle göras självförsörjande av energi med hjälp av vätgaslagring. Projektet tilldelades "Årets miljömålspris" av Naturvårdsverket i kategori "mod och tempo". Projektet fick medial uppmärksamhet inte bara när det startades, det uppmärksammades också under hösten 2020 när Vårgårda Bostads AB beslöt att inte slutföra investeringen i vätgaslagring. I denna förstudie har Jan Thorsson, tidigare VD på Vårgårda Bostäder, intervjuats och kommentarerna speglar hans tankar efter projektet.

Vårgårda Bostäders energiprojekt omfattade totalrenovering av sex byggnader, med 173 lägenheter som sammanlagt har en area på 12 500 m². I projektet renoverades allt utom stommen. Av ekonomiska skäl, för att öka den uthyrbara arean, utökades byggnaderna dessutom med en extra våning. Syftet med projektet var också att byggnaderna skulle bli självförsörjande på energi och fungera delvis off-grid. Syftet med att ha kvar en koppling till elnätet var för att kunna sälja det elöverskott som med stor sannolikhet skulle produceras under sommaren. Att använda nätet som back-up. Byggnadens energiförsörjning planerades ske med hjälp av solceller. Elöverskottet från solcellerna skulle i första hand lagras i batteri, och när det var fulladdat skulle elen användas för att producera vätgas i en elektrolysör. Tanken var att vätgas skulle komprimeras och lagras i högtryckstankar för långtidsförvaring. Under vintern när elbehovet är högre skulle vätgasen omvandlas till el och värme i en bränslecell. Projektet blev till stora delar fullbordat genom att fyra av sex huskroppar försågs med teknikrum där bränslecell, batterier och kraftelektronik monterats. System för vätgasproduktion och lagring skulle ske i ett för området gemensam plats och en gammal panncentral fanns tillgängligt för detta ändamål.

Risken analysen för vätgaslagringen var den del av projektarbetet som blev mest krävande och tog längst tid. Den lokala räddningstjänsten hjälpte till med risken analysen, och den analysen godkändes.

Byggnadsnämnden tog aldrig beslut i ärendet. Dock genomfördes en komplett tillståndsansökan där både räddningstjänst, LST och MSB ingick. Ansökan var klar men politiskt beslut om att pausa installationen av energisystemet gjorde att byggnadsnämnden aldrig behandlade ärendet.

Jan Thorsson menar att det är vanligt med bristfällig kunskap om vätgasteknik hos beslutsfattare. Det kan vara problematiskt att vara pionjär inom ett område som vätgasen. Avsaknaden av ramverk och standard för hur en risken analys för vätgas i ett bostadsområde ska göras leder också till osäkerhet. Problemen handlar sällan om de tekniska aspekterna, utan det är snarare de politiska beslut eller ekonomiska nyckeltal som vällar störst svårigheter i den här typen av projekt.

"Avgörande är ekonomin. Gratis energi från sol är bra för en fastighets ekonomi. Kan man nyttja den hela årets timmar är det ännu bättre."

Renoveringen av Vårgårda Bostäders sex byggnader beräknades kosta ca 360 miljoner SEK, varav 40 miljoner SEK för det självförsörjande energisystemet. Jan Thorsson påpekar att den investeringskostnaden är hög men att byggnadernas självförsörjande system skulle medföra att lönsamheten skulle vara god redan från första dagen och att fastighetens värde ökar ännu mer när det inte finns några energikostnader. Om dessa aspekter beaktas i de ekonomiska kalkylerna blir projektet utan tvekan lönsamt.

Projektet stöttades ekonomiskt på flera sätt. Största ekonomiska stödet kom via Boverkets investeringsstöd för nyproduktion av de nya lägenheterna. Dessutom premierades projektet med högre stöd på grund av dess fina energiprestanda. Solcellstödet tillkommer dessutom och som lite extra bidrag valde Naturskyddsföreningen att bida med ekonomiskt stöd då projektet hade en hög innovationshöjd. Dessa stöd var avgörande för investering i teknik för energilagring. Uppskattningsvis var stöd för tekniken hela 50% av systemkostnaden, pengar som nu fått återbetalas eller ska återbetalas

4.5 Region Uppsala

De offentliga aktörerna i Uppsala har erfarenhet av att arbeta med vätgas. Redan år 2012 började diskussionerna om vätgasanvändning i en transportkontext för Uppsala kommun. I den strategiska samhällsplaneringen, som skett i samverkan mellan region Uppsala och Uppsala kommun, har vätgasens roll alltmer lyfts som en viktig del i omställningen till det fossilfria samhället. Mikael Åhlman på Region Uppsala har intervjuats gällande Uppsalaregionens och Uppsala kommuns arbete med vätgas.

Redan 2013–2014 togs en rapport som beskrev ett 2050 scenario som kallades ”Bortom det konventionella” som visade på ”Vätgassamhället”. Rapporten utvecklades i samverkan mellan aktörer inom näringsliv, offentlig sektor och akademien. Detta scenario stämmer väldigt bra överens med den bild som Fossilfritt Sverige levererade i sin färdplan för vätgas 7 år senare. De analyserade vätgas både som energibärare och som ”råvara” för olika tillämpningar. Region Uppsala har också forskat om hur vätgas kan produceras lokalt på ett hållbart sätt. Detta har lett till att de tillsammans med Uppsala Vatten och Avfall också har undersökt huruvida en biogasanläggning kan byggas om till en kombinerad biogas- och vätgasanläggning. Diskussioner har också förts för att använda vätgas som energilagring inom fastigheter men ännu har inga konkreta åtgärder inom området genomförts. Regionen har också undersökt möjligheterna att använda vätgas som reservkraft och/eller energilagring för Akademiska sjukhuset i Uppsala.

”Vi ser vätgasen som mycket viktig i energiomställningen, men den är mer än bara en energibärare.”

I dagsläget är det eleffektbrist i Uppsala, och vätgas ses som ett komplement till energisystemet eftersom man vill undvika att leverera mer effekt med fossila bränslen. Uppsala har primärt undersökt vätgasen som effektreserv för elnätet. De har dock också övervägt huruvida spillvärmens från elektrolysören kan användas för fastighetsuppvärmning i olika fallstudier där en sådan var att utreda möjligheter att uppnå synergier mellan ”vätgasmackar” som energinoder i bebyggd miljö och värmeförsörjning till fastigheter.

Mikael Åhlman menar att arbetet kring vätgas ofta hämmas på grund av en stigmatisering kring säkerhetsrisker med vätgasen som bottnar i tidigare händelser i USA på 1930-talet. Det leder till att beslutsfattare är extra försiktiga när vätgas är inblandat, särskilt när det är handlar om bostadshus. Ett sätt att ta sig an säkerhets- och tillståndsproblematiken när det gäller att introducera vätgas som en energibärare för värmeförsörjning är att utreda möjligheterna att lokala anläggning i industriområden med närhet till bostadsområden (om det är för dessa som värmeförsörjningen primärt är avsedd). Genom att utgå från dessa områden är det lättare att lagra vätgas i industriområden. Inom industriområdena har man ofta gjort riskanalyser och tänkt igenom potentiella säkerhetsproblem. Att försöka få in vätgasanläggningar i bostadsområden är en större utmaning givet gällande lagstiftning och eventuellt andra upplevda problem hos boende och allmänhet som baseras på en rädsla/oro för vätgas.

4.6 Projekt i andra länder

Det finns ett vätgasprojekt i Brütten, Schweiz, som omfattar ett off-grid flerbostadshus med vätgaslagring. Utöver detta finns en rad andra projekt som (både avslutade och pågående) som har vätgaslagring som fokus men där det handlar om andra typer av byggnader än flerbostadshus.

4.6.1 ABB i samarbete med Umwelt Arena, Brütten, Schweiz

Världens första helt off-grid flerbostadshus stod klart 2016 i Brütten i Schweiz. Det svensk-schweiziska företaget ABB och Umwelt Arena är de två aktörer som har drivit projektet. Byggnaden har nio lägenheter och är helt självförsörjande på energi. Systemets energisystem har solceller på tak och fasader. Konvertering till växelström sker med hjälp av en växelriktare. Överskottsenergi korttidslagras i batterier, respektive långtidslagras som vätgas med hjälp av en elektrolysör. Två tankar belägna under byggnaden, med ett arbetstryck på 27.5 bar, kan sammanlagt fyllas med 120 m³ vätgas. När det finns behov av elförsörjning från vätgasen transporteras vätgasen genom en bränslecell. Den spillvärme som produceras från bränslecellen används för att värma lägenheterna och tappvarmvatten.

Byggnaden använder också geotermisk energi. Energi hämtas från källvatten under byggnaden och uteluften för värme respektive kyla. För detta används värmepump och värmeväxlare.

Eftersom byggnaden är självförsörjande på energi är det extra viktigt att lägenheternas alla apparater och utrustning är energieffektiva. Energieffektiva vitvaror, t.ex. tvättmaskiner och kylskåp, har installerats i byggnaden och alla lägenheter har en digital display som de boende kan använda för att ha kontroll på sin energianvändning.

4.6.2 HPS, Berlin, Tyskland

HPS (Home Power Solutions) är ett tyskt företag som arbetar med vätgaslagring för småhus som försörjs off-grid. Deras vätgaslagringssystem kallas för Picea, och det använder samma typer av komponenter och principer som de svenska projekten. Lokalt producerad el med solceller lagras i ett batteri. Överskottselen används i en elektrolysör som spjälkar vatten och lagrar vätgasen i högtryckstankar. Spillvärmes från elektrolysören används för att värma tappvarmvatten. När solenergin och batterierna inte kan förse huset med den efterfrågade energin omvandlas vätgasen tillbaka till el i en bränslecell. Spillvärmes från bränslecellen används för att värma huset. Konceptet är framtaget för sådana småhus som ska vara helt off-grid och det finns en standard för systemet vilket gör det lättare att implementera.

4.6.3 Siemens Energy, Green Hydrogen Project, Dubai, Förenade Arabemiraten

Med hjälp av storskaliga vätgasproduktioner kan man få fördelar. Det kan underlätta i fall då man inte vill producera vätgas nära bebyggelse och istället vill transportera vätgasen när det finns behov. Elproduktionen kan på så sätt placeras på lämplig plats och vätgas flyttas dit när det behövs. Ett modernt exempel på storskalig vätgasproduktion är Siemens Energys utvecklingsprojekt i Dubai. Liknande projekt i mindre skala finns också på närmare håll. Utmärkande för detta projekt är att vätgasen inte bara lagras i tankar utan också distribueras via ett gasnätverk, och används som bränsle både för industrin och vid transporter.

Siemens Energy håller tillsammans med Dubais el- och vattenmyndighet på att utveckla Mellanösterns soldrivna gröna vätgasanläggning. Anläggningen kommer att omfatta cirka 10 000 m². Projektet är en viktig del i Dubais plan att bli klimatneutrala innan år 2050.

Anläggningen använder sig av PEM-elektrolys och är tänkt att fungera på samma sätt som de andra vätgasprojekt som har nämnts, men i betydligt större skala. El produceras med hjälp av sol och elöverskottet används i elektrolysörer för att spjälka vatten till vätgas. Vätgasen lagras i tankar och när elbehov uppstår omvandlas den

tillbaka till el via gasturbiner eller bränsleceller. Utöver det distribueras vätgas också till ett gasnätverk och kommer att användas i olika sammanhang inom industrin, bl.a. för gödselproduktion, oljeraffinering och metallproduktion. Det är också tänkt att vätgasen ska kunna användas som transportbränsle för både flyg och markfordon.

5. Slutsatser och förslag på fortsatt arbete

Vätgastekniken är en mycket intressant och miljövänlig form av energilagring som lämpar sig väl för storskalig lagring under längre tid. Tekniken att producera, transportera, lagra och använda vätgas är väl beprövad inom industrin. Vätgastekniken är tillgänglig och skalbar, det vill säga den kan anpassas till de energibehov som ska tillgodoses. I Sverige finns ännu så länge endast få exempel på projekt där vätgas har använts i energilösningar för bebyggelsen, och det finns ännu färre exempel på flerbostadshus där vätgastekniken har använts.

De exempel på genomförda vätgaslösningar i Sverige som har belysts i denna förstudie har en gemensam nämnare: Alla projekten har ett brett anslag som omfattar mer än bara att energiförsörjning av en byggnad. Det finns ett behov av att avdramatisera vätgas och öka acceptansen och den breda omfattningen skulle kunna hjälpa till med det. Det kan vara lättare att få acceptans för vätgas i till exempel transporttillämpningar. Då kan man också använda befintlig infrastruktur som bensinstationer som tankställen för vätgas.

Ofta finns andra värden som har bidragit till att ett vätgasprojekt har ansetts vara intressant att genomföra. En ingång till vätgasprojekt har varit att lösa ett transportproblem, där tillgången till vätgas har gett möjlighet att energiförsörja en byggnad. I andra fall har det varit en uttalad målsättning att göra huset helt självförsörjande på både energi och andra medier, där vätgasen är lösningen på ett lagringsproblem. En tredje grund till vätgasprojektet har varit en omfattande renovering av befintliga byggnader där man utnyttjade möjligheten att installera helt nya energilösningar där man inte behövde anpassa sig till befintliga, äldre system.

Priset på vätgasteknik och dess komponenter sjunker snabbt, framför allt på elektrolysörer. Detta i kombination med att det endast finns få installationer som visar hur stort verkligt energibyte som kan erhållas i ett flerbostadshus gör det svårt att analysera kostnader och lönsamhet för vätgasprojekt för byggnader.

I dagsläget är det största hindret för vätgastekniken att den antas vara mycket farlig. I kombination med att det inte finns någon standardiserad metod för riskbedömningar för lagring av vätgas i bostadsprojekt gör att endast få vätgasprojekt har fått tillstånd att starta.

Parallellt med detta pågår Energimyndighetens arbete med regeringsuppdraget att ta fram en övergripande strategi för vätgasens roll i det svenska energisystemet. Strategin ska underlätta omställningen till fossilfrihet. Detta uppdrag ska redovisas till Regeringskansliet 2021-11-25.

5.1 Åtgärder för att undanröja hinder för användning av vätgas i flerbostadshus

Det behövs bättre statistik över installationskostnaderna för vätgaslösningar, och vad den producerade energin kostar per kWh. Osäkerheten avseende de ekonomiska förutsättningarna för vätgaslösningar gör det svårt att bedöma om vilken lönsamhet ett projekt kommer att ha. Jämförande kostnadsstatistik finns idag för andra typer av energibärare, till exempel el, fjärrvärme och oljeprodukter. Det finns även kostnadsstatistik för solceller tack vare det tidigare installationsstödet och det nuvarande skatteavdraget för grön teknik.

En standardiserad metod för att genomföra riskbedömningar för vätgas i bostadsområden skulle underlätta beslutsprocessen väsentligt och minska de inledande kostnaderna för vätgasprojekt. Erfarenheterna från genomförda projekt är att det trots ett gott samarbete med lokala brandskyddsmyndigheter har tagit mycket tid och resurser att få tillstånd för vätgaslagring.

Det behövs också kunskapsuppbyggnad och kunskapsstöd för beslutsfattare, både i företagsledningar och kommuner, för att de ska våga ta beslut om att prova vätgastekniken i ett första projekt. Information särskilt riktad till privatpersoner skulle också kunna underlätta kommunikationen i samband med byggsamråd.

5.2 Förslag på vidare arbete

Användningen av och lämpligheten med vätgas som energibärare i bebyggelse diskuteras flitigt, inte minst för att möjligheten att lagra energi i stor skala och över längre tid kan möjliggöra att energisystemet avlastas och kapacitetsbrist förebyggs. I dagsläget finns dock endast få helt genomförda projekt. Det kan finnas anledning att senare återkomma till temat för denna förstudie för att beskriva hur nuläget ser ut då och vilken utveckling som har skett. Ett förslag är att om två eller tre år göra en ny nulägesbeskrivning och beskriva de goda exempel som då finns färdigställda.

Det finns behov av att göra fördjupade beskrivningar av hur fastighetsägare kan tänka kring vätgaslösningar när det gäller dimensionering, självförsörjningsgrad samt företags- och samhällsekonomisk lönsamhet. Här föreslås en uppföljande förstudie som specifikt fokuserar på dessa frågor.

En fråga som branschens aktörer kan behöva hjälp med är att minska de förutfattade meningar som finns om vätgas, t.ex. den om att vätgas är ett farligt ämne att hantera. Här föreslås att resurser satsas på att nå ut till olika målgrupper med relevant information om vätgasens för- och nackdelar. Här kan exempelvis nätverken BeBo, Belok och BeSmå användas för att nå ut till fastighetsägare. Man kan också dra nytta av vätgasens fördelar inom andra områden än fastighetsdrift, för att öka acceptansen hos allmänheten, till exempel genom att belysa vätgasens fördelar som transportbränsle. Här finns flera goda exempel där vätgasen används som bränsle för tåg, tunga vägtransporter och flyg.

Det kan också finnas behov av särskilda utbildningsinsatser riktade till beslutsfattare för att underlätta att framtida projekt ska kunna genomföras enklare och mer kostnadseffektivt. Här föreslås att en samordnad insats för länsstyrelser och Sveriges Kommuner och Regioner får att nå ut via deras respektive nätverk.

6. Referenser

Al Shaqsi, A. Z., Kamaruzzaman, S. & Al-Hinai, A., 2020. Review of energy storage services, applications, limitations and benefits. *Energy Report*, pp. 288-306.

Bhandari, R., Truewind, C. & Zapp, P., 2013. Life cycle assessment of hydrogen production via electrolysis - A review. *Journal of Cleaner Production* 85, 01 08, pp. 151-163.

Elsäkerhetsverket, 2016. *Informationsbehov och elsäkerhet rörande små- och storskalig energilagring av el*. [Online]

Available at:

<https://www.elsakerhetsverket.se/globalassets/publikationer/rapporter/elsak-rapport-informationsbehov-och-elsakerhetskrav-vid-energilagring-av-el.pdf>

[Använd 27 09 2021].

Energimyndigheten, 2020. *Energiindikatorer 2020 Uppföljning av Sveriges Energpolitiska mål. (ER 2020:18)*. [Online]

Available at: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=172610>

[Använd 27 09 2021].

IRENA, 2015. *Off-grid renewable energy systems: Status and methodological issues*. [Online]

Available at: [https://www.irena.org/-](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Off-grid_Renewable_Systems_WP_2015.pdf)

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Off-grid_Renewable_Systems_WP_2015.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Off-grid_Renewable_Systems_WP_2015.pdf)

[Använd 27 09 2021].

Puranen, P., Kosonen, A. & Ahola, J., 2021. Technical feasibility evaluation of a solar PV based off-grid domestic energy system with battery and hydrogen energy storage in northern climates. *Solar Energy*, 213(1), pp. 246-259.

Sherif, S., Goswami, Y., Stefanakos, E. & Steinfield, A., 2014. *Handbook of Hydrogen Energy*. Första upplaga red. u.o.:Boca Raton: CRC Press.

Shiva Kumar, S. & Himabindu, V., 2019. Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies, Volume 2, Issue 3*, 29 03, pp. 442-454.

U.S. Department of Energy, 2021. *energy.gov*. [Online]
Available at: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis>
[Använd 28 09 2021].

U.S. Department of Energy, 2021. *energy.gov*. [Online]
Available at: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/physical-hydrogen-storage>
[Använd 28 09 2021].

Vartiainen, E. o.a., 2019. Impact of weighted average cost of capital, capital expenditure, and other parameters on future utility-scale PV levelised cost of electricity. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 28(1), pp. 1-15.

Wikipedia, 2021. *Fuel cell*. [Online]
Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell
[Använd 29 09 2021].

Williams, M., 2011. *Fuel Cells: Technologies for Fuel Processing*. u.o.:Elsevier.

Yilanci, A., Dincer, I. & Ozturk, H., 2009. A review on solar-hydrogen&fuel cell hybrid energy systems for stationary applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 35(3), pp. 231-244.

Zohuri, B., 2019. Hydrogen Storage Processes and Technologies. i: *Hydrogen Energy: Challenges and Solutions for a Cleaner Future*. Cham: Springer International Publishing, pp. 257-279.

Bilaga 1 Intervjufrågor

Inledning

- Kan du berätta lite om din bakgrund och hur du kom att jobba med detta?
- Varför blev du intresserad av vätgas?

Specifika projekt

- Skulle du kunna berätta lite kort om projektet?
- Vad var det som drev projektet?
- Vilka var drivande i att få igång projektet?
- Vad är den främsta kostnadsdrivaren i projektet? (exempelvis komponenter)
- Vad tror du krävs (från er sida och eventuellt den juridiska och/eller energimyndighetens sida) för att ett sådant här projekt ska beviljas?

Teknologi

- Skulle du kunna ge en ungefärlig bild på hur det självförsörjande systemet ser ut?
- Vilken var det största hindret med systemet? Kostnad? Teknik?
- Verkningsgrad på hela systemet? Bränsleceller? Elektrolysörer?

Säkerhet

- Vad finns det för risker med enskilda komponenter i systemet?
- Finns det en standard gällande säkerhetsbedömningen?
- Vad är den största utmaningen med vätgaslagring gällande säkerhet?
- Vad för process krävs det för att få bygga/utveckla vätgaslagring?
- Anser du att de relevanta myndigheterna har tillräcklig kunskap för att kunna hantera ett vätgaslagringsprojekt (MSB, brandskydd, elsäkerhetsverket etc)?

Övrigt

- Hur ser du på vätgaslagringens utveckling?
 - Vilka utmaningar ser du för denna form av lagring?
 - Vilka utvecklingsmöjligheter ser du med vätgaslagring?
- Kommer utvecklingen att gå sakta eller snabbt? Varför?
- Vad behövs för att komma vidare? (från vem)
- Anser du att vätgaslagring har en viktig roll för Sverige att nå sina klimatmål? Varför/ Varför inte?
- Vad anser du vara den optimala lösningen? (Off-grid kontra semi off-grid). Och varför?
- Känner du till något projekt som görs utomlands?