

En kartläggning av marknaden för en vätgasinfrastuktur i Vasa med omnejd

Carolina Blankenship
1800550

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)
Utbildningsprogrammet för produktionsekonomi

Vasa



EXAMENSARBETE

Författare: Carolina Blankenship
Utbildning och ort: Produktionsekonomi, Vasa
Handledare: Roger Nylund, Yrkeshögskolan Novia
Kaisa Penttilä, Handelshögskolan Hanken
Titel: En kartläggning av marknaden för en vätgasinfrastruktur i Vasa med omnejd

Datum 23.05.2022

Sidantal 54

Abstrakt

Europeiska unionen har fastställt ambitiösa mål, för att bli den första klimatneutrala kontinenten i världen senast år 2050. Medlemsstaterna bör definiera strategier med tydliga milstolpar, insatser och åtgärder för att uppfylla EU:s långsiktiga mål. Fossilfria lösningar inom energi och infrastruktur kan styra utvecklingen mot målsättningarna.

Den så kallade gröna omställningen ger stora möjligheter för den europeiska industrin, som kan skapa marknader för ren teknik och rena produkter. För att minska utsläppen av växthusgaser med minst 55 procent fram till år 2030, krävs en ökning av andelen förnybar energi och förbättrad energieffektivitet. Det finns en stor marknadspotential i energisystem som kunde leverera lösningar till decentraliserad kolneutral energiproduktion, -lagring och distribution.

Ren vätgas har en nyckelroll i kampen för att uppnå en kolneutral ekonomi. Vätgasen har blivit ett väldigt omtalat och aktuellt ämne för hållbara energisystem. I framtidens energisystem kan vätgas bidra till att jämna ut fluktuationer i energiproduktion och -förbrukning. Vätgasens egenskaper som energibärare och lagringsmedium kan även befrämja tillväxten av sol- och vindkraft. Grön vätgas har stor potential att ersätta fossila bränslen inom industrin och fordonsbränslen.

BACHELOR'S THESIS

Author: Carolina Blankenship
Degree programme: Industrial Management and Engineering
Supervisor(s): Roger Nylund, Yrkeshögskolan Novia
Kaisa Penttilä, Hanken School of Economics
Title: Market profiling for a hydrogen infrastructure in Vaasa
and its environs

Date 23.05.2022

Pages 54

Abstract

The European Union has set ambitious targets to become the first climate-neutral continent in the world by 2050. Member States should define strategies with clear milestones, actions and measures to meet the EU's long-term objectives. Fossil-free solutions in energy and infrastructure can steer the development towards those goals.

The so-called green transition provides great opportunities for the European industry, which can create markets for clean technologies and products. Reducing greenhouse gas emissions by at least 55% by 2030, requires an increase in the share of renewable energy and improved energy efficiency. There is a great market potential in energy systems that could deliver solutions to decentralized carbon-neutral energy production, storage and distribution.

Clean hydrogen has a key role in the fight to achieve a carbon-neutral economy. Hydrogen has become a very hot topic for sustainable energy systems. In future energy systems, hydrogen can help to even out fluctuations in energy production and consumption. Hydrogen's properties as an energy carrier and storage medium can also promote the growth of solar and wind power. Green hydrogen has also great potential to replace fossil fuels in industry and automotive fuels.

Innehållsförteckning

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUKTION | 6 |
| 1.1 | Bakgrund | 6 |
| 1.2 | Syfte | 7 |
| 1.3 | Avgränsning..... | 8 |
| 1.4 | Forskningsmetod..... | 8 |
| 2 | EU:s långsiktiga klimatåtgärder..... | 9 |
| 2.1 | Den europeiska gröna given | 10 |
| 2.2 | EU:s vätgasstrategi..... | 10 |
| 3 | Ekosystem | 12 |
| 3.1 | Decentraliserat ekosystem | 14 |
| 4 | Vätgasproduktion..... | 17 |
| 4.1 | Ångreforming..... | 17 |
| 4.2 | Metanpyrolys | 18 |
| 4.3 | Elektrolys..... | 19 |
| 4.3.1 | Elektrolysmetoder | 21 |
| 4.4 | BOP – Balance of Plant..... | 29 |
| 5 | Lagring, transport och distribution av vätgas | 30 |
| 5.1 | Gasledningar | 31 |
| 5.2 | Flytande organiska vätebärare (LOHC) | 32 |
| 6 | Bränslecell | 33 |
| 6.1 | FCEV | 34 |
| 6.1.1 | PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell | 36 |
| 6.2 | HRS..... | 37 |
| 7 | Pilotprojektet | 38 |
| 8 | Sammanställning av kartläggningen | 41 |
| 8.1 | European Clean Hydrogen Alliance | 41 |
| 8.2 | Krav och regelverk | 43 |
| 8.3 | Respons..... | 46 |
| 8.3.1 | Attityder..... | 46 |
| 8.4 | Vätgasekonomins utveckling | 49 |
| 9 | Sammanfattning och diskussion | 52 |
| 10 | Referenser | 54 |

Figurförteckning

| | |
|--|----|
| Figur 1. Aktörer inom ett innovations ekosystem (Georgia - Center of innovation)..... | 13 |
| Figur 2. Energiekosystem (Illustrationen lånad från (Smart Energy Åland, 2021)) | 16 |
| Figur 3. Vätgasens olika färger (Redigerat av illustrationen från (Energy Industry Review, 2021))..... | 19 |
| Figur 4. Förenklad illustration av vattenelektrolys (iStock by Getty Images) (Uniper Energy, 2021)..... | 20 |
| Figur 5. Förenklad illustration av alkalisk elektrolys på cellnivå (Ny Teknik, 2021) | 22 |
| Figur 6. Förenklad illustration av PEM elektrolys på cellnivå (Ny Teknik, 2021)..... | 23 |
| Figur 7. Cellkonstruktion i en PEM-elektrolysör (Scienc Direct) | 24 |
| Figur 8. Stack konstruktion i en PEM-elektrolysör (Hiat gGmbH, u.d.) | 25 |
| Figur 9. Illustration av högttemperaturelektrolys på cellnivå (Ny Teknik, 2021) | 26 |
| Figur 10. Förenklad illustration av en AEM elektrolysör på cellnivå (Ny Teknik, 2021) | 28 |
| Figur 11. BOP, Balance of Plant kring ett PEM system (IRENA, 2020)..... | 30 |
| Figur 12. Förenklad illustration av konstruktionen i en FCEV (Hyundai Motor Group, 2021)..... | 35 |
| Figur 13. Bränslecellssystemet (Hyundai Motor Group, 2021) | 35 |
| Figur 14. Illustration av en tankstation med decentraliserad vätgasframställning och -lagring samt vätgastankning (Premac, 2022) | 38 |
| Figur 15. Pilotprojekt | 39 |
| Figur 16. Vätgasanläggningssystem för fastigheter..... | 40 |
| Figur 17. Illustration på HRS lösningar..... | 40 |
| Figur 18. Projekt inom Europa (European Commission - European Clean Hydrogen Alliance) | 42 |
| Figur 19. SWOT-analys över responsen | 49 |

1 INTRODUKTION

Europeiska unionens (EU) långsiktiga klimatåtgärder kräver innovationer till en hållbar utveckling. EU har fastställt ambitiösa mål för att göra vår kontinent till den första klimatneutrala regionen i världen senast år 2050. Medlemsstaterna bör definiera strategier med tydliga milstolpar, insatser och åtgärder för att uppfylla EU:s långsiktiga mål. Fossilfria lösningar inom energi och infrastruktur kan styra utvecklingen mot målsättningarna.

Klimatförändring är ett faktum, vilket påverkar oss som individer varje dag. Man kan se den destruktiva effekten, genom världsomfattande miljöproblem och den ostabila världsekonomin. Konkreta åtgärder för att minska följderna av klimatförändringen, krävs omedelbart. Den så kallade gröna omställningen ger stora möjligheter för den europeiska industrin, som kan skapa marknader för ren teknik och rena produkter. För att minska utsläppen av växthusgaser med minst 55 procent fram till år 2030, krävs en ökning av andelen förnybar energi och förbättrad energieffektivitet. Det finns en stor marknadspotential i energisystem som kunde leverera lösningar till decentraliserad kolneutral energiproduktion, -lagring och distribution.

Ren vätgas har en nyckelroll i kampen för att uppnå en kolneutral ekonomi. Vätgasen har funnits till länge, men den har blivit ett väldigt omtalat och aktuellt ämne för hållbara energisystem. I framtidens energisystem kan vätgas bidra till att jämna ut fluktuationer i energiproduktion och -förbrukning. Vätgasens egenskaper som energibärare och lagringsmedium kan även befrämja tillväxten av sol- och vindkraft. Grön vätgas har stor potential att ersätta fossila bränslen inom industrin och fordonsbränslen. Bränsleceller och grön vätgasproduktion erbjuder stora möjligheter, som främjar övergången till en smart, hållbar, cirkulär och koldioxidsnål ekonomi. Förnybar energi är en avgörande drivkraft för utfasningen av fossila bränslen i Europas energisystem.

1.1 Bakgrund

Examensarbetet grundar sig på ett pilotprojekt i Vasa, som har fokus på grönt boende och transport genom utnyttjande av förnybar energi och vätgas. Projektet H2 Ecosystem Roadmap for Ostrobothnia bidrar även till arbetet, i och med att målet med projektet är att hitta och föra samman lokala aktörer inom ämnet.

Kaisa Penttilä fungerar som projektledare för Hanken Svenska Handelshögskolans del i projektet, som är ett samarbete mellan VAMK, Hanken och Novia. Projektet är finansierat från Europeiska regionala utvecklingsfonden (ERUF) av landskapsförbunden i Västra Finlands strukturfond.

För att en vätgasekonomi skall åstadkommas, krävs långsiktighet och genuint samarbete. I framtiden kommer företag samt forsknings- och utvecklingsorganisationer att behöva införa nya sätt och anpassa tidigare arbetssätt genom samutvecklingsmetoder. Affärskulturen bör bli mera transparent och visionerna inkludera ren teknik samt strävan att nå en verksamhet som kunde drivas i ett ekosystem. Ekosystemet bör gynna alla involverade parter, med syfte på att göra det lönsamt för varje intressent.

Nilsson Energy i Sverige har lyckats skapa ett decentraliserat ekosystem som grundar sig på grönt väte. Tanken med systemet är att grön vätgas kan produceras på plats, användas som bränsle och till lagring av energi. Detta system fungerar som en levande laboration och är ett så kallat "Off-Grid" energisystem. Termen off-grid syftar på att inte vara ansluten till elnätet, men kan också omfatta andra verktyg som vatten, gas och avloppssystem. Off-grid boende gör det möjligt för byggnader och människor att vara självförsörjande. Nya innovationer som saknar erfarenhet, kan bli lättare att begripa genom möjligheten att få medverka och utforska det okända. Så kallade levande laboratorier är nätverk som består av heterogena aktörer, resurser och aktiviteter som integrerar användarcentrerad forskning och öppen innovation. Ur ett infrastrukturperspektiv kan de ses som anläggningar, som möjliggör experiment och samskapande med användare i verkliga miljöer. (Leminen, 2015)

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att forska kring möjligheterna för att bygga ut ett vätgasnätverk, med fokus på vätgasfordon och tankstationer. En lönsam vätgasinfrastruktur kräver en marknad med potentiella användare av vätgasfordon. Detta skapar behovet av att undersöka den potentiella marknadens attityder och intresse kring vätgaslösningar. Resultatet från examensarbetet skall stöda pilotprojektet och även bidra till projektet H2 Hydrogen Roadmap for Ostrobothnia. Målet med forskningen är att skapa en uppfattning om miljömålsättningar, ekosystem, produktionen och distributionen av vätgas samt attityderna gentemot vätgas i vardagligt bruk.

Resultatet skall även ge information om krav och regelverk kring vätgas och vätgasanläggningar, vilka är av stor betydelse gentemot möjligheter för systemutveckling, kostnadsreduktion och utveckling av vätgasinfrastruktur.

1.3 Avgränsning

Grundprincipen för examensarbetet är att forskningen skall ge kunskap om varierande faktorer som bildar en vätgasinfrastruktur. Undersökningen skall vara gynnsam för uppdragsgivarna. Vätgasproduktion, ekosystem, myndighetskrav och miljömålsättningar tas upp i arbetet. Uppdraget kräver forskning kring tekniska lösningar, möjliga förordningar och lagar samt en undersökning av den potentiella marknaden på regional nivå. Utöver dessa kräver arbetet forskning i vätgastankstationer, vätgasdistribution och bränslecellsbilar.

Avgränsningsområden:

- Europeiska unionens krav och klimatmålsättningar
- Ekosystem
- Vätgas
 - egenskaper
 - produktion, lagring och distribution
- Pilotprojekt
- Marknadsundersökning
 - regleringar
 - attityder och marknadspotential
 - vätgasinfrastrukturen i Norden och EU

1.4 Forskningsmetod

Som forskningsmetod användes designvetenskaplig forskning, vilket är på engelska "*Design Science Research (DSR)*". Denna metod används mycket inom teknik och medicinsk vetenskap. Forskningsmetoden grundar sig på att samla kunskap med syfte på förbättring och utveckling. Designvetenskaplig forskning drivs av fältproblem, som kan definieras som situationer i verkligheten, som enligt intressenter kan eller borde förbättras, såsom motorernas bränsleeffektivitet, mikroprocessorernas hastighet, cancer- eller hjärtpatienters tillstånd och trafikstockningar.

Oftast är målet med denna typ av forskning att skapa ett konkret resultat, såsom en förbättrad produkt, en innovation eller en ny teknologi som löser fältproblemet som forskningen grundar sig på. Forskningen kan ske såväl genom kvantitativa som kvalitativa metoder. Design-baserad forskning leder ofta till artefaktprototyper, som testas och utvärderas efter funktion, användning, effekter och miljön. Artefakt är föremål som avsiktligt eller oavsiktligt tillverkats av människor, som kan såväl vara fysiska objekt som även metoder och riktlinjer. (Aken, 2013)

2 EU:s långsiktiga klimatåtgärder

Kommissionen presenterade sin vision för ett klimatneutralt EU i slutet av år 2018. Visionen ligger i linje med Parisavtalets mål om att hålla den globala temperaturökningen väl under 2°C och att fortsätta ansträngningarna för att hålla den på 1,5°C. Målet är att vara världens första klimatneutrala region senast 2050. Den 21 juli 2021 lade kommissionen fram ett förslag till ett reviderat direktiv, som en del av paketet för att genomföra den europeiska gröna given. Det reviderade direktivet siktar på att minska utsläppen av växthusgaser med minst 55 procent tills 2030. Målet för förnybar energi föreslås höjas till 40 % från tidigare 32%. Detta innebär förstärkta åtgärder för transport, uppvärmning och kylning.

Kommissionen strävar också efter ett mer energieffektivt och cirkulärt energisystem, som underlättar elektrifiering baserad på förnybar energi och främjar användningen av förnybara bränslen och koldioxidsnåla bränslen, inklusive vätgas. Omställningen är väldigt utmanande, men kan däremot skapa nya möjligheter och drivkraft för innovationer i strävan för en hållbar framtid.

Alla delar av samhällena och ekonomin inom länderna, bör involveras i klimatarbetet. Samtidigt måste hänsyn tas till vikten av att främja rättvisa och solidaritet mellan länderna. Klimatförändringarna kommer att medföra oundvikliga effekter, som kan anpassas efter med klimattåliga lösningar och genuint samarbete. EU:s klimatlag och långsiktiga klimatåtgärder ser till, att alla bidrar till målet och att alla tar sitt ansvar. (European Commission , 2021)

2.1 Den europeiska gröna given

Den europeiska gröna given innehåller en lång lista av åtgärder för klimatinitiativ, som styr ekonomin och samhället i EU mot klimatneutralitet tills 2050. Den europeiska klimatlagen omvandlar dessa målsättningar till bindande lagstiftning, vilket kräver konkreta resultat av medlemsstaterna.

De främsta målsättningarna är att minska utsläppen, skapa arbetsplatser och tillväxt, tackla energifattigdomen, minska det externa energiberoendet samt att förbättra hälsa och välbefinnandet. Samtidigt strävar det att skapa lika möjligheter för alla medborgare och att stärka de europeiska företagens konkurrenskraft.

Övergången till grönare transport, boende och framför allt en grönare industri, förutspår nya arbets- och affärsmöjligheter. Genom lämpliga incitament från skattesystemet för energiprodukter, kan man bidra till motivation och stöda den gröna omställningen. Kommissionens förslag till eventuella incitament var att minimiskattesatserna för uppvärmning och transport skulle anpassas till våra klimatmål, samtidigt som konsekvenserna för sociala faktorer skulle mildras och utsatta medborgare skulle förses med stöd.

Kommissionen föreslår även att sätta krav på boende och byggnadssektorn, genom att medlemsstaterna ökar användningen av förnybar energi vid uppvärmning och kylning med +1,1 procentenheter varje år fram till 2030. De vill fastställa ett riktvärde på 49% för förnybara energikällor inom byggnader tills 2030. EU:s klimatstöd kommer att ge 72,2 miljarder euro under sju års tid till bland annat finansieringen av byggnadsreoveringar. Förutom bostäder måste offentliga byggnader också reoveras för att använda mer förnybar energi och för att bli mer energieffektiva. (Delivering the European Green Deal, 2021)

2.2 EU:s vätgasstrategi

Vätgasen erbjuder stora möjligheter till utfasningen av fossila bränslen inom industrin, transportsektorn, kraftverk och byggnader i hela Europa. EU:s vätgasstrategi innehåller åtgärder som strävar efter att omvandla potentialen i vätgasen till verklighet, genom investeringar, reglering, samt forskning och innovation. EU-kommissionens omfattande strategi innebär att det satsas dryga 400 miljarder euro fram till 2030, för att stärka

vätgasens roll i framtida energilösningar. Vätgasen kan förse lagring till rörliga flöden av förnybar energi och driva sektorer som inte är lämpliga för elektrifiering. Detta kräver samarbete och strategiska åtgärder mellan den offentliga och den privata sektorn på EU-nivå. Prioriteringen är att utveckla förnybar vätgas, som produceras med främst vind- och solenergi. På kort sikt krävs dock även andra former av koldioxidsnål vätgasproduktion, för att snabbt minska utsläppen och samtidigt stödja utvecklingen av en livskraftig marknad.

Det finns många skäl till prioriteringen av vätgas i EU:s strävan att övergå till ren energi, där framför allt förmågan att säkerställa energilagring och -distribution under säsongvariationer är av stort intresse. Dessutom kan vätgas ersätta fossila bränslen i vissa koldioxidintensiva industriprocesser, som inom stål- eller kemisektorn, minska utsläppen av växthusgaser och ytterligare stärka den globala konkurrenskraften för dessa industrier. Vätgasen kan erbjuda lösningar för transportsystem, utöver vad som kan uppnås genom elektrifiering och andra förnybara och koldioxidsnåla bränslen. Ett gradvist utnyttjande av vätgaslösningar kan också leda till att delar av den befintliga naturgasinfrastrukturen återanvänds. I kommissionens återhämtningsplan, betonas behovet av att frigöra investeringar i ren teknik och värdekedjor.

Rent väte framhävs som ett av de viktigaste områdena att ta itu med i samband med energiomställningen. Jämfört med fossila energilösningar är förnybar vätgas ännu inte kostnadseffektivt. För att utnyttja alla möjligheter med vätgas, behöver EU en strategi för detta. EU har tagit fram en ambitiös plan tills 2030, för att via elektrolysanläggningar uppnå en output på 40 GW i Europa och 40 GW i Europas grannskap med export till EU. Nästan alla medlemsstater har inkluderat åtgärder för ren vätgas i sina nationella energi- och klimatplaner, varav 26 har undertecknat "väteinitiativet", och 14 medlemsstater har inkluderat vätgas inom ramen för sina nationella strategier för alternativa bränslen. Analytiker uppskattar att ren vätgas kan möta 24 % av världens energiefterfrågan tills 2050. Framväxten av en vätgasvärdekedja kunde sysselsätta upp till en miljon människor både direkt och indirekt.

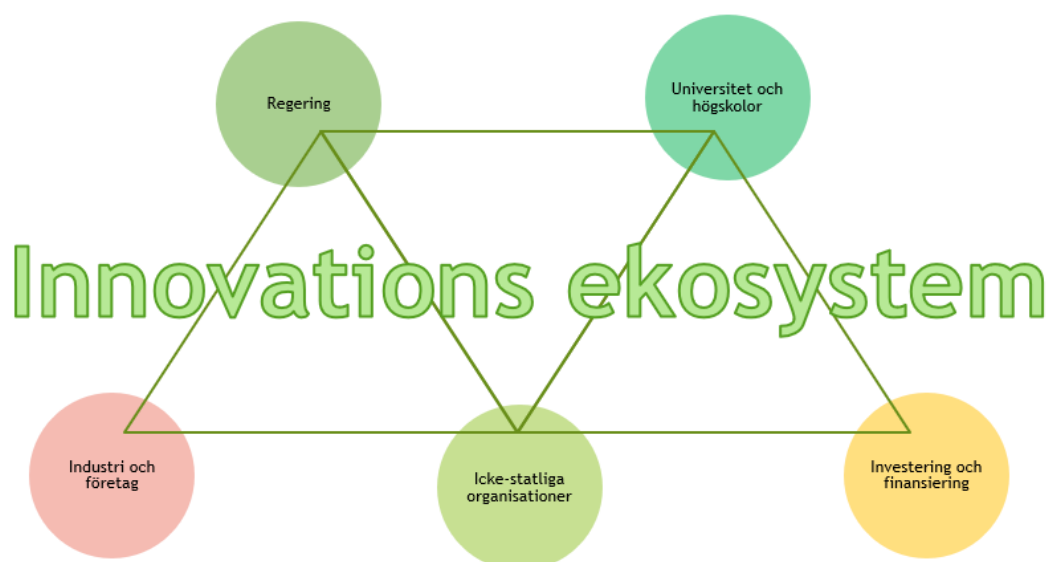
Det krävs en fullständig värdekedjestrategi för att bygga upp en kostnadseffektiv vätgasekonomi i Europa. Produktionen av vätgas från förnybara eller koldioxidsnåla källor och utvecklingen av infrastrukturen till slutkonsumenterna samt skapandet av efterfrågan på marknaden måste gå parallellt, för att skapa en kretsgång av ökat utbud och efterfrågan på vätgas.

Innan en kostnadseffektiv vätgasekonomi kan åstadkommas, krävs minskade kostnader för ren teknik och energitillförsel. Decentraliserad produktion av förnybar vätgas anses ytterligare som ett alternativ i detta sammanhang. (A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, 2020)

3 Ekosystem

Den enklaste definitionen av ett ekosystem är att det är en gemenskap eller en grupp av levande organismer som lever och interagerar med varandra i en viss miljö. Definitionen av ett ekosystem varierar efter situationen, syftet och dess involverade parter. Karakteriseringen beror på verksamhetsprincipen, systemets aktörer eller informationsflöden mellan aktörerna. Det som alla ekosystem har gemensamt är, att genom symbios sträva till att skapa värde och nytta för alla aktörer inom ekosystemet.

Ett innovationsekosystem omfattar nätverk av företag och andra aktörer, som samarbetar med funktioner kring en gemensam uppsättning tekniker, kunskap och färdigheter för att konkurrenskraftigt och hållbart få utveckla nya produkter och tjänster. Nya tekniker kräver stora investeringar och klimatförändringen kräver stabila och hållbara lösningar. Behovet av hållbara innovationer inom energiteknik och infrastruktur, har skapat samarbete och relationer på en global nivå, där företag, regeringar, universitet och andra aktörer måste arbeta mot gemensamma mål. Målet är att skapa en hållbar ekonomi och framtid. (Technovation - Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition) (Webinarier och diskussioner, 2021 - 2022)



Figur 1. Aktörer inom ett innovations ekosystem (Georgia - Center of innovation)

Figur.1 visar hur olika aktörer kan bilda relationer inom ett innovations ekosystem. Ekosystemet bidrar till en gemensam styrka av kompetens, kapital och utveckling. Vissa projekt är för stora att tackla själv. Genom samarbete kan man minska riskerna och sänka ribban för att våga ta an stora utmaningar. Stora omställningar kräver nya synvinklar, som kan bäst fås genom synergi mellan varierande aktörer.

Som ett exempel av händelser inom teknikutveckling, kan nämnas VHS innovationsekosystemet från 80-talet. Då konkurrerade Sonys Betamax och JVC:s VHS system inom marknaden för videobandspelare. Sony var den innovativa ledaren på 70-talet, som kom ut med en kompakt videobandspelare och var ovillig att samarbeta med andra om utvecklingen av Betamax. JVC däremot byggde aktivt upp en grupp av samarbetspartners och licenstagare av VHS-teknik, bland annat med Hitachi och Sharp. Samarbetet fungerade genom så kallad korslicensiering där aktörernas kunskap från produktionserfarenhet och processförbättring kunde utnyttjas och delas mellan gruppmedlemmarna. JVC:s strategi kunde betraktas som en innovativ affärsmodell på den tiden. Strategin ledde till en blandning av samarbete och konkurrens (*coopetition*) bland aktörerna inom VHS innovationsekosystemet. Detta ledde i sin tur till lägre priser och större utbud av hårdvara och videofilmer anpassade till VHS format. Slutligen blev Sonys Betamax format utkonkurrerat och Sony fortsatte som licenstagare av VHS-tekniken.

Konkurrerande samarbete, s.k. cooptition, sker ofta inom dagens marknader, speciellt inom utveckling, teknik och innovation. Dagens energibransch och infrastruktur påverkas av en konstant utveckling inom teknologin, men även av påfrestningar från statliga beslut och regleringar. Det råder en stark konkurrens om innovationer för alternativa bränslen och energi mellan olika länder och kontinenter, fastän målet är det samma, att stoppa klimatförändringen. Det krävs dock samarbete och ekosystem inom vissa ramar, för att skapa lösningar till enorma problem. Samarbete kan leda till snabbare resultat och kostnadseffektivitet. Vätgasen anses som ett komplement till andra gröna energilösningar och bränslen, vilket gör det naturligt att koppla ihop innovationer, kunskap och finansiering från olika aktörer. (Technovation - Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition, 2020) (Tampereen yliopisto / Tampereen ammattikorkeakoulu, 2021) (Webinarier och diskussioner, 2021 - 2022)

3.1 Decentraliserat ekosystem

Utvecklingen av ett vätgasnätverk kan kännas överväldigande, speciellt ur en storskalig synvinkel. Som idiomet "Rom blev inte byggt på en dag" tyder, kräver stora omställningar mycket tid och arbete. Tyvärr är tiden en knapp resurs, när det gäller genomgripande klimatåtgärder. Hur skall dilemmat tacklas när tiden är knapp men arbetet tidskrävande? Stora energi- och bränslenätverk omfattar bräda marknader och kan därmed göra tillgängligheten samt ekonomin betydligt sårbara. Samhällen är beroende av stora energinätverk och produktionsanläggningar, vilket ställer stora krav på funktionalitet och tillgänglighet. De senaste åren har påvisat betydliga klimatförändringar och en fluktuerande världsekonomi. Ändringarna kan ske plötsligt och är ofta oförutsägbara eller till och med oundvikliga. Det är besynnerligt utmanande att göra riskhanteringar i dagens värld när det gäller energi och annan industri. Det är även utmanande att få beslutsfattare och investerare att utgå från gemensamma riktlinjer, när behoven, intressen och synpunkterna varierar.

Småskaliga energisystem orsakar lindrigare konsekvenser från potentiella risker, än vad större energisystem gör. Flodvägen sträcker sig inte lika långt inom decentraliserade nätverk som inom ett landsomfattande eller globalt nätverk. Ifall om avbrott eller andra skador inträffar inom ett ekosystem, blir skaran drabbade inte så utspridd. Scenariot kan betraktas också tvärtom; ett decentraliserat ekosystem är inte sårbart, ifall avbrott i energi – och bränsletillförsel inträffar på en landsomfattande nivå.

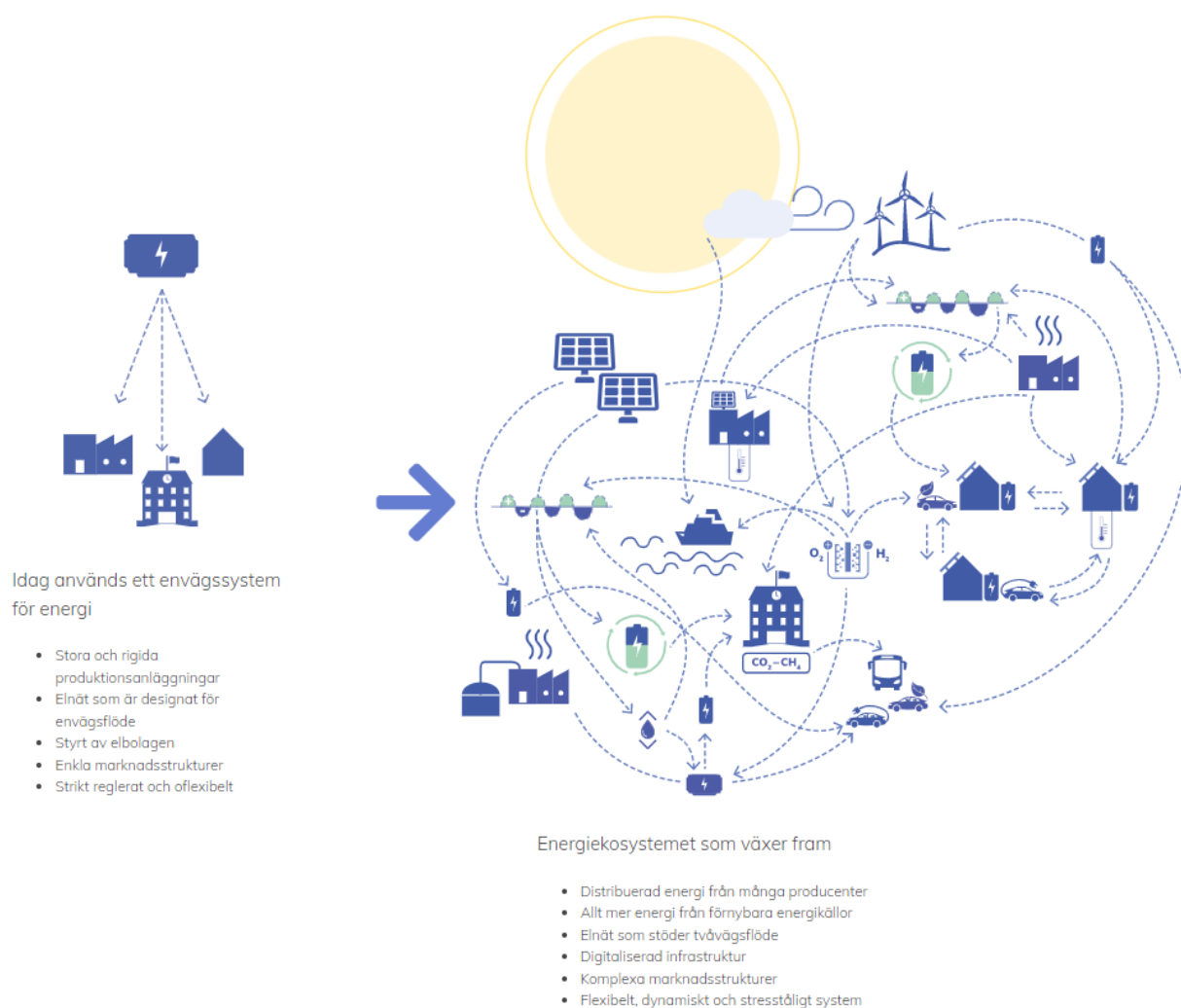
Decentraliserade ekosystem kan även stöda varandra under krissituationer. Kartläggning av potentiella risker och åtgärder är speciellt viktigt inom dagens ostabila miljö och utveckling. Fastslagna riktlinjer kan behövas justeras på kort varsel. Därmed kan mindre regionala nätverk tänkas gynna riskhanteringsprocesser, i och med att en mindre skala är lättare och snabbare att kartläggas och anpassas enligt omständigheterna.

Decentraliserade energisystem kan tänkas sänka ribban för beslutsfattare, speciellt när det gäller tid och pengar. En energiomställning kräver mycket resurser, men om man bygger upp det genom mindre nätverk, är sannolikheten för drift innan EU:s utsatta deadline större än om man skulle satsa på färre storskaliga energinätverk. Stora projekt styrs ofta av endast ett fåtal intressenter och är därmed strikt reglerade. Väldigt tidskrävande projekt riskerar att dö ut innan man kan se ljuset i ändan av tunneln.

Utvecklingen sker så snabbt att ändringar inte hinner göras i tid och finansieringen tar slut. Finansieringsstöd har däremot visat sig gynna större projekt, eftersom mindre inte skapar avsevärd nytta. Beslutsfattare hoppas på snabba och lukrativa resultat som helst omfattar stora marknader. När det gäller nya tekniker och dyra investeringar, är tröskeln väldigt hög för att hoppa med på innovationståget. Dessutom finns det politiska hinder och regleringar som påverkar beslutsfattandet. Ofta saknas en varierande kompetens bland beslutsfattare. Trenden har dock påvisat, att beslutsfattare alltmer vänder sig mot experter och entreprenörer inom energiärenden, för att skynda på utvecklingen. Nu krävs input från alla som har intresse och kunskap inom kolneutral energiteknik, eftersom prognoser påvisar att den destruktiva utvecklingen bara accelererar under nuvarande omständigheter.

Dagens energisystem fungerar via elnät designade för envägsflöde, som styrs av elbolagen och är strikt reglerade. Dessa envägs energisystem är väldigt oflexibla. Energiekosystem kunde erbjuda klimatsmarta och hållbara energisystem, där energin distribueras från många producenter och ökar antalet förnybara energikällor. Decentralisering stöder övergången till tvåvägsflöden av energi samt gör energisystemet flexibelt, dynamiskt och stresståligt.

Decentraliserade energi- och bränslenätverk minskar riskerna och fungerar genom samspel mellan användare och producenter samt så kallade prosumenter. En prosument producerar energi och vätgas för sitt eget behov, men kan även erbjuda resurser vidare inom nätverket om överproduktion inträffar. Decentraliserade ekosystem är organiska och följer smidigt säsongvariationer. Flexibiliteten är deras styrka och varje ekosystem strävar efter gemensamma spelregler som gynnar alla aktörer. (Se Figur.2.). (Smart Energy Åland, 2021) (Premer, 2021) (Webinarier och diskussioner, 2021 - 2022)



Figur 2. Energiekosystem (Illustrationen lånad från (Smart Energy Åland, 2021))

Figuren ovan är lånad från Smart Energy Åland. Den beskriver skillnaden mellan dagens energisystem och ett smart energiekosystem. (Smart Energy Åland, 2021)

4 Vätgasproduktion

Vätgas består av två väteatomer och har kemiska beteckningen H₂. Väte, H, är det vanligaste och lättaste grundämnet som finns. Grundämnet är gasformigt vid rumstemperatur under normalt tryck och övergår till vätskeform vid -253°C. En normalkubikmeter vätgas vid rumstemperatur väger 90 gram medan en motsvarande mängd bensin väger 750 kg. Vätgasen är doftlös, färglös, giftfri, lättantändlig och väldigt flyktigt. När dessa två väteatomer (H₂) reagerar med syre (O), bildas H₂O som är vatten. Den frigör stora mängder energi när den kommer i kontakt med syre. Vätgasen är en energibärare och kräver en energiomvandlare för att kunna användas som bränsle, el eller värme.

Som energiomvandlare kan användas bränsleceller som omvandlar vätgasens kemiska energi till elektricitet. Stora fördelen med vätgas som energibärare är, att den kan lagra energi från alla energikällor. De vanligaste produktionsmetoderna för vätgas är ångreforming, metanpyrolys och elektrolys. (Söderbergh, 2021) (Uniper Energy, 2021) (Kiesilä, 2021)

4.1 Ångreforming

Inom EU är den mest förekommande vätgasen så kallad grå vätgas, som bidrar genom ångreforming (Steam-Methane Reforming, SMR). Metoden utnyttjar naturgas där majoriteten av innehållet består av metan. Genom ångreformationen spjälkas naturgasen upp till väte och koldioxid. Vid reformeringen reagerar metanen först med vatten och producerar syntes gas som består av kolmonoxid och väte (Formel 1.). Syntesgasen reagerar sedan under vattengasprocessen (WGS, Water - Gas shift) med vattenånga och producerar ytterligare väte samt koldioxid (Formel 2.).

Reaktionsekvationen för ångreformationen:



Reaktionsekvationen för vattengasprocessen:



Produktionen av grå vätgas är relativt förmånligt, men ger däremot upphov till stora koldioxidutsläpp. Grå vätgas används bland annat för att tillverka ammoniak som i sin tur kan användas för att göra konstgödsel. Ett annat exempel på användningsområde är inom raffinaderier, där grå vätgas används för att omvandla tjockolja till bensin och diesel.

Blå vätgas tillverkas på samma sätt som grå vätgas, men skiljer sig genom tekniker för avskiljning och lagring av koldioxid (CCS, Carbon Capture and Storage). Fossilt bränsle omvandlas till vätgas utan att ge upphov till stora koldioxidutsläpp, eftersom kolet kan lagras i fast form djupt under jorden eller användas i industriella processer.

Genom CCS tekniken kan man minska koldioxidutsläppen rejält eller till och med åstadkomma kolneutral vätgasproduktion. Processen är däremot väldigt energikrävande och ger upphov till extremt miljöfarliga metanutsläpp. (Söderbergh, 2021) (Uniper Energy, 2021) (Kiesilä, 2021)

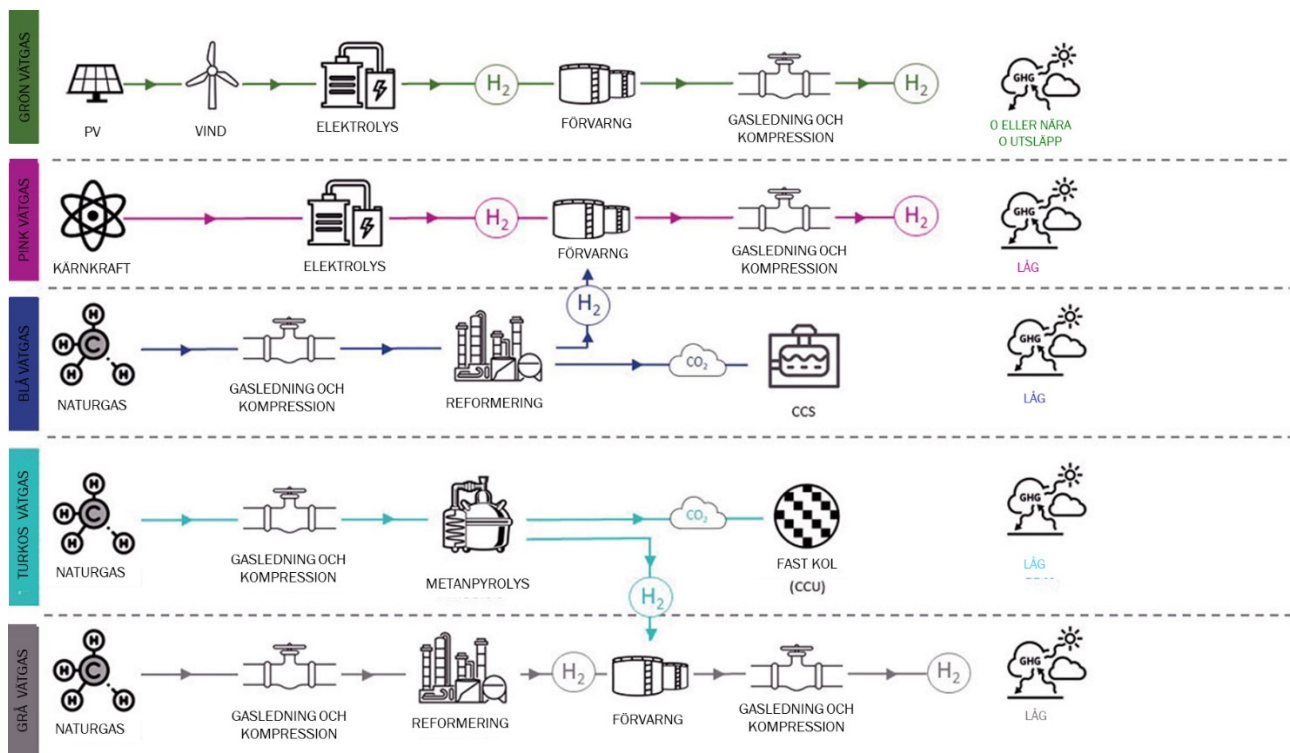
4.2 Metanpyrolys

Genom metanpyrolys (Thermal decomposition of methane, TDM), tillverkas så kallad turkos vätgas. Metanpyrolys innebär att metan värms upp till över 1000°C och bryts ner till vätgas och fast kol genom en smält metallkatalysator (Formel 3.). Även här precis som med den blåa vätgasen, finns det risker för metanutsläpp. Produktionsmetoden är en relativt ny och kräver vidare utveckling, men anses som en språngbräda under övergången till en vätgasekonomi.

Reaktionsekvationen under metanpyrolys:



Under vissa förhållanden kan turkos vätgas anses vara koldioxidneutralt. För det första måste värmeförsörjningen för produktion komma från förnybara energikällor. För det andra måste permanent bindning av kolet garanteras. Det fasta kolet kan användas till någon nytta som jordfyllning eller byggmaterial. (Söderbergh, 2021) (Uniper Energy, 2021) (Kiesilä, 2021)

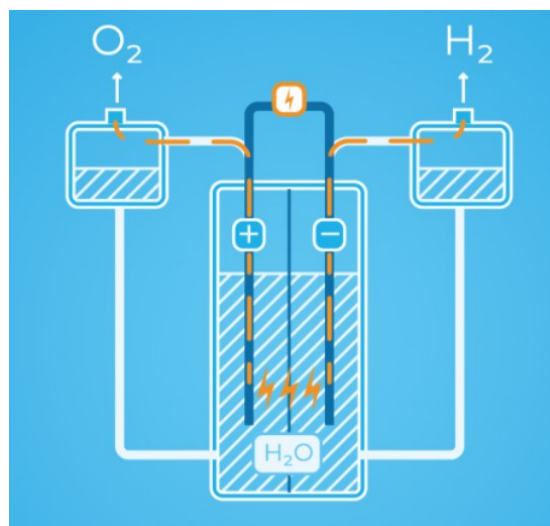
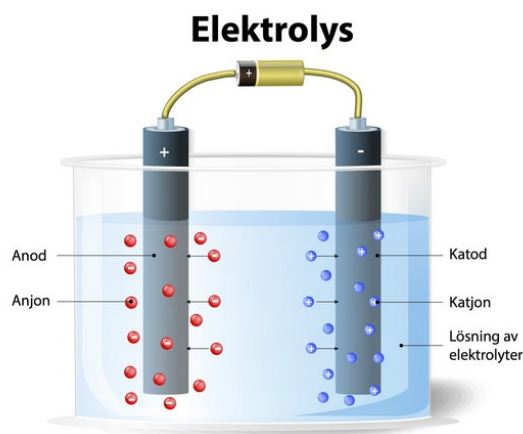


Figur 3. Vätgasens olika färger (Redigerat av illustrationen från (Energy Industry Review, 2021))

Figuren ovan visar hur olika metoder för vätgasproduktion kan fungera, från energiresurs till utsläpp. GHG står för Greenhouse Gas Emissions, vilket betyder utsläpp av växthusgaser. Som figuren visar, ger grå vätgas upphov till höga koldioxidutsläpp, jämfört med andra produktionsmetoder och den gröna vätgasen erbjuder däremot största möjligheterna till kolneutralitet.

4.3 Elektrolys

Elektrolys metoden är av speciellt intresse i detta examensarbete. Med miljöaspekten i fokus är elektrolys processen en omtalad produktionsteknik tack vare ringa eller i bästa fall inga koldioxidutsläpp. Elektrolys kräver endast vatten och elektricitet för att producera vätgas. För att vätgasen skall få kallas grön, bör elektriciteten komma från förnybara energikällor såsom vind-, sol- och vattenkraft. Ifall elektriciteten kommer från kärnkraft, kallas vätgasen pink. Restprodukten från elektrolys är vatten och värme som kan tillvaratas. När vätgasen används i en bränslecell för drift av olika typers fordon, består utsläppet enbart av vatten och värme. Redan länge sedan upptäcktes att elektricitet kan användas för att bryta ner vattenmolekyler till väte och syre. Elektrolys är en kemisk reaktion som skapas med hjälp av elektricitet. Processen är en redoxreaktion, som inte är spontan utan tvingas fram med en elektrisk ström (Figur.4). (Kiesilä, 2021) (Uniper Energy, 2021)



Figur 4. Förenklad illustration av vattenelektrolys (iStock by Getty Images) (Uniper Energy, 2021)

En elektrolysör består av en spänningskälla, elektroder; en anod och en katod och en elektrolytlösning eller en fast elektrolytmembran. Cellen är elektrolysörens kärna och det är där den elektrokemiska processen sker. Elektronerna är antingen nedsänkta i en flytande elektrolyt eller intill ett fast elektrolytmembran. Vid katoden som är ansluten till minuspolen, kommer elektroner att tryckas ut i elektrolyten och där sker en reduktion av något ämne. Vid anoden som är ansluten till pluspolen, kommer elektroner att tas upp från elektrolyten och det sker en oxidation av ämnet. Jonerna som dras till anoden kallas anjoner och jonerna som dras till katoden kallas katjoner. Detta resulterar i att vattenmolekylerna delas upp i väte och syre (Figur 4.).

Den elektriska strömmen är en viktig faktor inom elektrolys, vilket påverkar både processens lönsamhet och de möjliga utsläpp som genereras. Utnyttjandet av förnybar energi för eltillförseln av elektrolys, bidrar till kolneutral vätegasproduktion. I Skandinavien ligger det bra till med fossilfira energisystem. I Finland står 40 % av energimixen från förnybar energi, i Sverige över 50 % och kring 70 % i Norge. Genom elektrolys kan man även producera riktigt rent väte jämfört med fossila produktionsmetoder. Elektrolys producerar 99,95 % väte, medan väteets renhet ligger mellan 87 – 93 % vid andra produktionsmetoder såsom ångreforming. Elektrolysen kräver dock mycket elenergi. Det går åt ca 50 kWh för att producera ett kilo vätegas, vilket ger 33 kWh energi som räcker till ungefär 100 kilometer med en bränslecellsbil. Verkningsgraden vid elektrolys är mellan 60 - 70 %, men kan ökas till 95 % genom att ta vara på överskottsvärmen exempelvis till fjärrvärmesystemet. (Uniper Energy, 2021) (Vätgas Sverige)

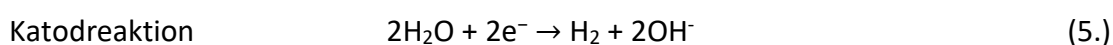
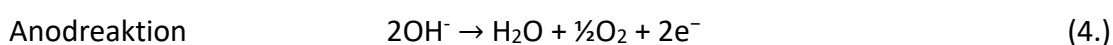
4.3.1 Elektrolysmetoder

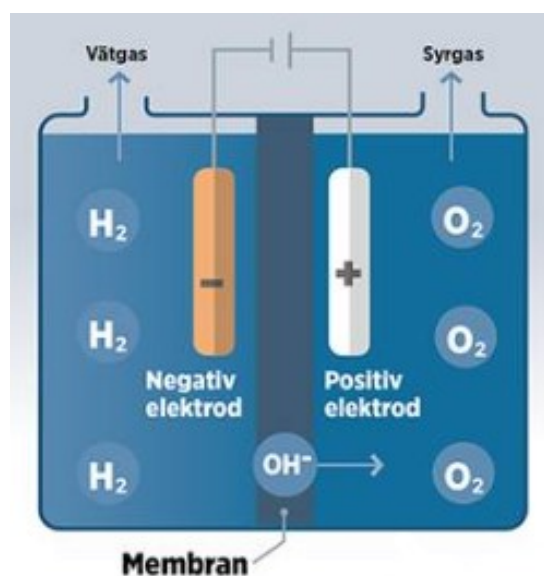
Principen för vattenelektrolys är enkel, men den tillåter däremot sammansättning och uppbyggnad av olika tekniska variationer baserade på olika fysikaliska och elektrokemiska aspekter. Härnäst presenteras tre olika metoder för vattenelektrolys; alkalisk elektrolys, polymerelektrolys och högttemperaturelektrolys. Alkaliska elektrolysen är den som funnits till länge och protonutbytesmembran-metoden är den som för tillfället är mest intressant och mest beprövat för decentraliserat och kolneutralt ändamål. Högttemperaturelektrolysen är en ny teknologi som fortfarande kräver utveckling och testning.

Alkalisk elektrolys

Den mest förekommande och etablerade elektrolysmetoden är alkalisk elektrolys. Alkalisk elektrolys använder en flytande alkalisk elektrolytlösning såsom kaliumhydroxid (KOH) eller natriumhydroxid (NaOH) och vatten. Elektrodena är vanligtvis tillverkade av nickel legerat rostfritt stål. Elektrodena, anoden och katoden, separeras med en porös jonledande membran, för att undvika reaktionen mellan väte och syre. Från den endotermiska reaktionen följer det med vattenånga och rester av elektrolyten, vilket kräver rengöring av vätgasen innan den lagras eller används i andra processer. Driftstemperaturen är mellan 60 – 90 grader Celsius och elektriska verkningsgraden ligger mellan 50 – 70 %. Alkalisk elektrolys har en lång livslängd och kräver inga dyra metaller. De har en enkel stack och systemdesign som är relativt enkla att tillverka men är oftast rätt stora och därmed inte lämpliga för decentraliserade vätgaslösningar eller fordon. Anläggningarna kräver jämn drift och kan inte drivas direkt med intermittenta energikällor. (IRENA, 2020) (Kiesilä, 2021) (Ny Teknik, 2021)

Reaktionsekvationen under alkalisk elektrolys:





Figur 5. Förenklad illustration av alkalisk elektrolys på cellnivå (Ny Teknik, 2021)

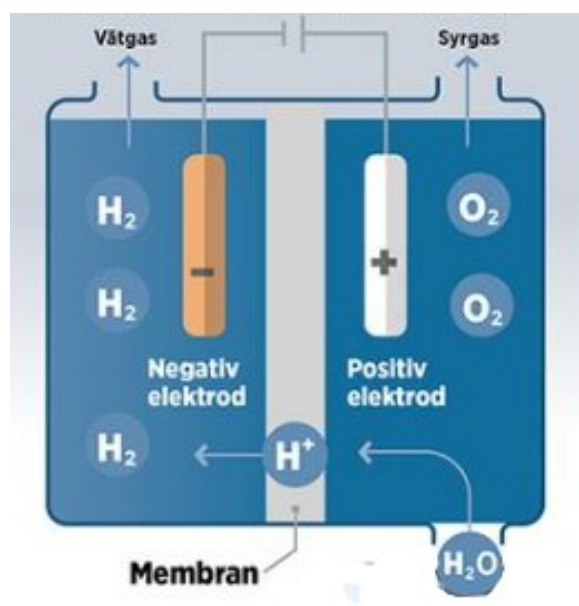
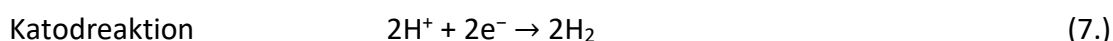
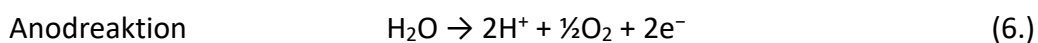
Polymerelektrolys

PEM, står för Proton Exchange Membrane eller Polymer Electrolyte Membrane, som kan översättas till protonutbytesmembran och polymerelektrolytmembran. Denna metod kallas polymerelektrolys, där en fast polymer membran fungerar som elektrolyt. Metoden har utvecklats under 60- och 70-talet, för att övervinna nackdelarna med den alkaliska elektrolystekniken.

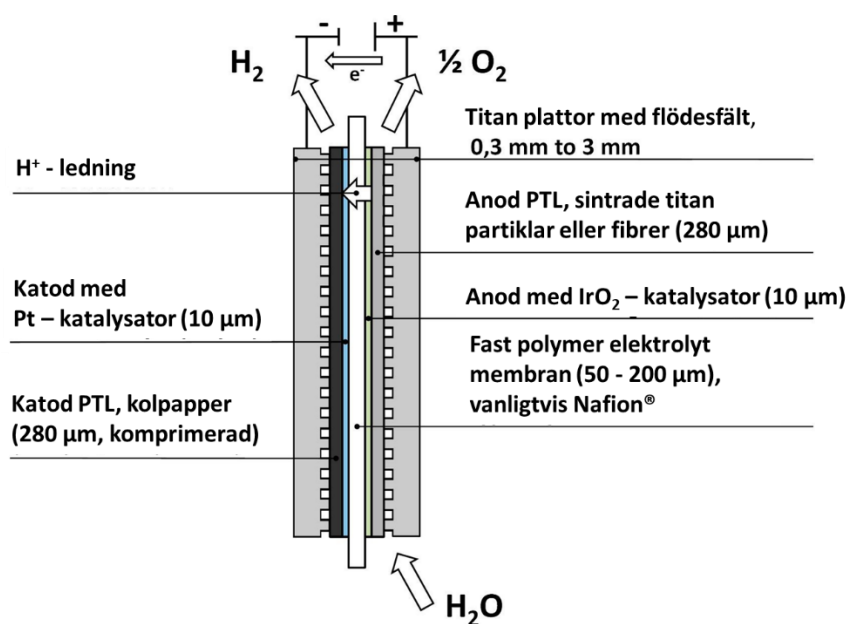
Den fasta polymerelektrolyten möjliggör en mycket tunnare membran samtidigt som det tillåter ett högt tryck. Den tunna och fasta membranen bidrar till låga ohmska förluster och till mycket hög gasrenhet, vilket är speciellt viktigt för lagringssäkerheten och direkt användning i bränsleceller. Eftersom vätejoner eller protoner förekommer inuti polymermembranen, är ytan mycket sur. Därmed bör katalysatorerna vara av ädla metaller för att undvika korrosion. Elektroden separeras av en elektronisolerande fast elektrolyt, som ansvarar för transport av joner från en elektrod till en annan och samtidigt fysiskt separerar de producerade gaserna. Det finns inget behov av att tillsätta en flytande elektrolyslösning och jontransporten sker inom protonutbytesmembranen. PEM-elektrolysen sker under 70 – 90 grader Celsius och har en elektrisk verkningsgrad mellan 60 – 80 %, vilket förutspås stiga till knappa 90% tills år 2030.

PEM-elektrolysens höga kapitalkostnader beror bland annat på dyra materialpriser för iridium och platina. Komponenternas materialalternativ studeras och utvecklas för att få ner nuvarande kostnaderna. Stora fördelarna med denna teknik är dess förmåga att producera mycket ren vätgas under högre strömtäthet och varierande spänning, vilket gör det optimalt för intermittenta energilösningar såsom vindkraft. Därmed finns det i princip inga praktiska begränsningar till energitillförseln och produktionen kan ske lokalt och decentraliserat på en global nivå. Dessutom möjliggör PEM-elektrolysen kompakta anläggningslösningar. (IRENA, 2020) (Kiesilä, 2021) (Ny Teknik, 2021)

Reaktionsekvationen under polymerelektrolys:

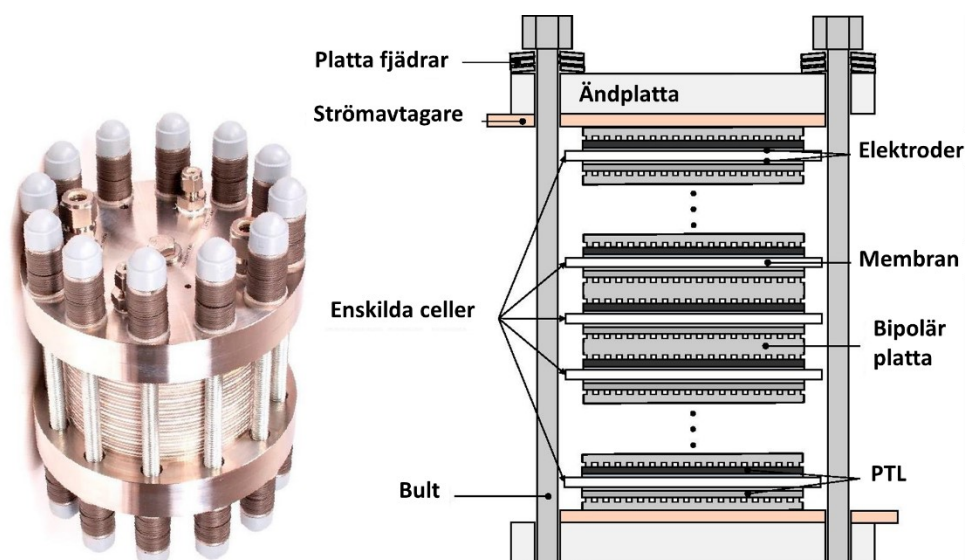


Figur 6. Förenklad illustration av PEM elektrolys på cellnivå (Ny Teknik, 2021)



Figur 7. Cellkonstruktion i en PEM-elektrolysör (Scienc Direct)

Den allmänna processen i en PEM-elektrolys cell kan ses i Figur.7. Protonledande membranerna är oftast mellan 60 – 200 μm tjock och vanligtvis gjort av materialet Nafion[®]. Längs vardera sida av membranet ligger tunna skikt av elektroder som är direkt bundna till ytan. Membranelektrodenheten är klämd mellan porösa transportsikt (PTL, Porous Transport Layers) och bipolära plattor. PTL skikten är vanligtvis av kolpapper på katodsidan och av sintrade titanpartiklar eller -fibrer på anodsidan. Bipolära plattorna är gjorda av titan och har vanligen kanalliknande strukturer för transporterering av vatten och gas. Stacken har ett bredare omfång, som inkluderar flera celler som är anslutna i en serie, där enskilda celler är separerade med bipolära plattor. I den övre och nedre ändan av cellstackeln finns installerade strömsamlare och tjocka ändplattor av aluminium eller stål. Flera bultar och uppsättningar av platta fjädrar används för att säkerställa en jämn kompression av cellerna (Figur 8.). Stackens livslängd för kommersiella system är vanligtvis mellan 40 000 – 60 000 timmars drift, vilket förväntas ökas till 90 000 timmar eller 10 år genom utvecklingen i framtida system. Delarna som är benägna att försämrans är membranelektrodenheten och den anodiska PTL, vilka kan ersättas med nya komponenter. (IRENA, 2020) (Hydrogen Europe, 2022)



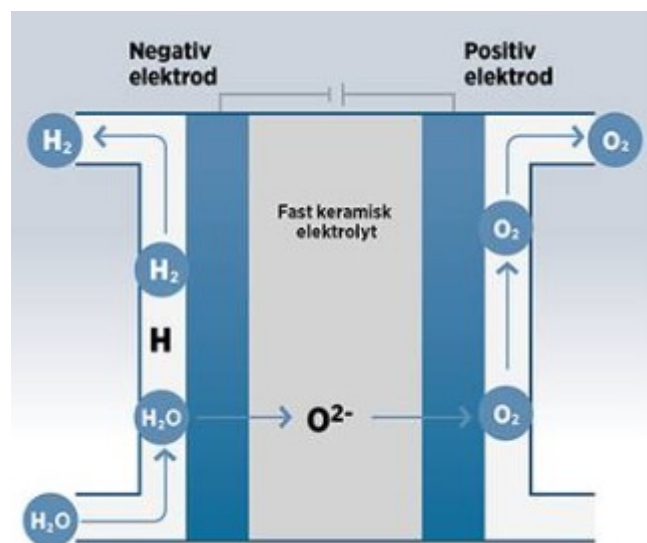
Figur 8. Stack konstruktion i en PEM-elektrolysör (Hiat gGmbH)

Högtemperaturrelektrolys

SOE, står för Solid Oxide Electrolysis som kan översättas till fastoxidelektrolys men det pratas om högtemperaturrelektrolys. I denna teknik används en fast keramisk elektrolyt och precis som namnet säger, jobbar elektrolysen under hög temperatur kring 700 – 900 grader Celsius. SOE omvandlar vattenånga direkt till vätgas, kolmonoxid och syre. Vanligtvis består materialet på katoden av en nickel – zirkoniumoxid blandning och anoden av keramisk oxid. Under processen riktas vattenånga till katoden, där vattnet bryts ner och syre överförs till anoden och bildar syrgas. Samtidigt överförs en vattenångblandning till andra sidan av elektrolyten som sedan riktas till väterengöringsprocessen.

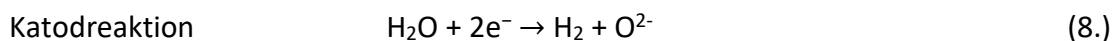
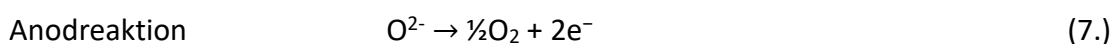
Tack vare teknikens gynnsamma termodynamik och kinetik under högre driftstemperaturer, har den högre konverteringseffektivitet. Tekniken kan integreras med flera befintliga nedströms industriella processer, som genererar syntetiska bränslen, ammoniak och återvinning av uppfångad koldioxid. Den kan även användas för samelektrolys av koldioxid och vatten för att producera syntes gas. SOE kan uppnå en mycket hög verkningsgrad på 90 % och till och med 100 %, förutsatt att man har tillgång till spillvärme.

Tekniken kräver inga dyra ädelmetaller men däremot andra höga kostnader. Elektrolysen kräver värmeförsörjning, vilket gör den speciellt lämplig för solkraft och framför allt kärnkraft. Elektrolysen kan utnyttja intermittenta energikällor, vilket gynnar förnyelsebar energiförsörjning. SOE tekniken är fortfarande rätt obeprövad och kräver därmed vidare utveckling. (Ny Teknik, 2021) (Kiesilä, 2021) (IRENA, 2020)



Figur 9. Illustration av högttemperaturelektrolys på cellnivå (Ny Teknik, 2021)

Reaktionsekvationen under högttemperaturelektrolys:



Slutliga reaktionsekvationen under vattenelektrolys:



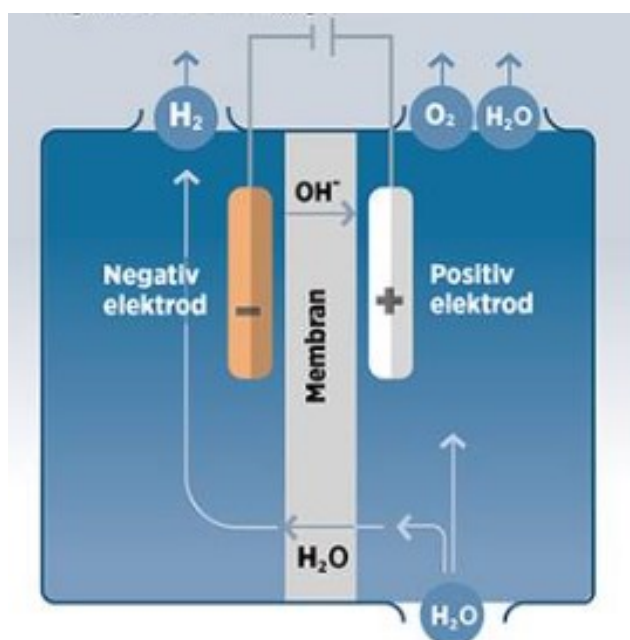
Antalet producerade vätemolekyler är alltid dubbelt så många syremolekyler, vilket gäller under alla elektrolysmetoder.

AEM – Anion Exchange Membrane

AEM – Anion Exchange Membrane kan översättas till anjonutbytesmembranelektrolys. Denna elektrolysteknik är ännu på forskningsstadiet men är en potentiell teknik för produktionen av grön vätgas, eftersom den klarar av varierande driftsförhållanden precis som PEM-tekniken gör. Det som gör AEM speciellt intressant att utforska är dess kapacitet för drift utan användning av icke-ädla katalysatorer och titanfria komponenter. AEM har en fast membran och en liten mängd elektrolytlösning. När vattnet har trängts genom membranen, delas den upp i hydroxid- och vätejoner på katodsidan där vätgas bildas. Hydroxidjonerna transporteras genom membranen tillbaka till anodsidan. Den elektriska verkningsgraden ligger på samma nivå som för PEM-tekniken, mellan 60 – 80 %. AEM-tekniken producerar mycket ren vätgas.

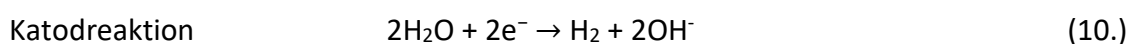
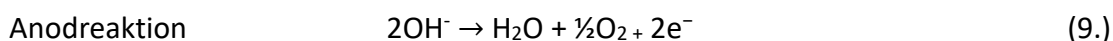
Anjonutbytesmembran och jonomerer är de grundläggande kärnkomponenterna i AEM elektrolysteknik. Vanligtvis bildas de av en polymerstomme med förankrade katjongrupper som ger anjonselektivitet. Oftast består anjonbytesgruppen av ammoniakföreningar som är fästa vid polymerkedjor som polystyren och polysulfon eller bensyliska metylengrupper. Största bristen hos AEM material är deras begränsade termiska och kemiska stabilitet, speciellt under högt pH-värde. Ny forskning har involverat utveckling av nya anjonutbytesmaterial med högre termisk och kemisk stabilitet i alkaliskt medium för användning i elektrokemiska tillämpningar. De flesta AEM system har utvecklats för alkaliska bränsleceller.

AEM-elektrolysörer är kompakta och stabila samt använder ett billigare membranmaterial och kräver inga dyra ädelmetaller. Nackdelen är dess låga ledningsförmåga som begränsar uteffekten. Stackens nuvarande livslängd uppskattas vara högst 50 000 timmar. När tekniken mognar förväntas den nå samma som de andra elektrolysteknikerna. AEM kan potentiellt liksom PEM förse stabilitet till elnätet. Utvecklingen av icke-ädla elektrokatalysatorer och förmånligare membranmaterial är nödvändig för att åstadkomma en konkurrenskraftig bränslecells- och vattenelektrolysteknik. AEM har potential till hög prestanda med låga kostnad. (IRENA, 2020) (Hydrogen Europe, 2022)



Figur 10. Förenklad illustration av en AEM elektrolysör på cellnivå (Ny Teknik, 2021)

Reaktionsekvationen under anjonutbytesmembranelektrolys:



Slutliga reaktionsekvationen under vattenelektrolys:



Varje elektrolysteknik har sina utmaningar, från kritiska material till prestanda, hållbarhet och mognad, vilket medför möjligheter för konkurrens och innovation för att sänka nuvarande kostnader. För tillfället är polymerelektrolysen den mest lämpliga tekniken för bränslecellsbilar och decentraliserad vätgasproduktion. PEM-system har flera designalternativ eftersom systemet kan jobba under variabelt tryck. Detta minskar kostnaderna från underhåll och systemkomplexitet. Differentiell tryckdesign kräver dock tjockare membran för att förbättra den mekaniska stabiliteten och för att minska gaspermeabiliteten, vilket i sin tur minskar verkningsgraden. PEM tekniken kräver mycket energi men klarar av drift under intermitterent och väderberoende elproduktion. Tillgången på de dyra och sällsynta metallerna kan bli ett problem när vätgasanvändningen ökar.

Just nu ligger det stor fokus på att utveckla nya lösningar, som kunde begränsa användningen och behovet av kritiska råvaror, samtidigt som de totala kostnaderna kunde minskas. Elektrolytisk vätgas ligger i frontlinjen när det gäller utvecklingsområden för att säkerställa vätets energicykel ”från vatten till vatten”. (IRENA, 2020) (Kiesilä, 2021) (Ny Teknik, 2021) (Hydrogen Europe, 2022)

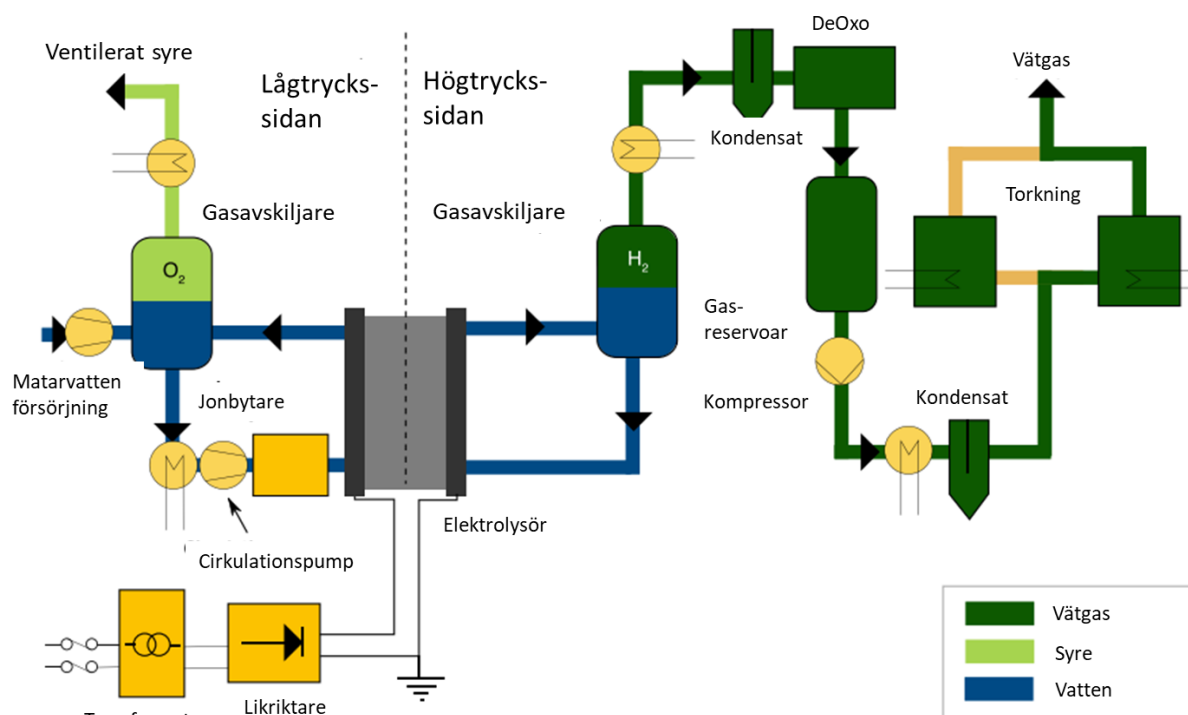
Sammanfattning som jämförelse mellan de fyra olika elektrolysmetoderna (IRENA, 2020):

| Elektrolysör | Alkalisk | PEM | SOEC | AEM |
|---|--|--|---|---|
| Temperatur | 60 – 90°C | 70 – 90°C | 700 – 900°C | 40 – 60°C |
| Elektrolyt | flytande | fast polymer | fast keramisk | fast polymer |
| Verkningsgrad | 50 – 70% | 60 – 80% | 70 – 90% | 60 – 80% |
| Effektivitet vätgas | 50 – 80 kWh/kg H ₂ | 50 – 85 kWh/kg H ₂ | 40 – 50 kWh/kg H ₂ | 60 – 70 kWh/kg H ₂ |
| Livslängd | 60 000 h | 50 000 – 80 000 h | < 20 000 h | > 5 000 h |
| Mogenhet | Kommersiell | Tidig kommersialisering | Forskningsstadiet | Forskningsstadiet |
| Fördelar | <ul style="list-style-type: none"> - mogen teknologi - bevisat lång livslängd - låga investeringskostnader - Icke-ädla material | <ul style="list-style-type: none"> - hög strömöverföringskapacitet - enkel design - kompakt design - dynamisk drift - kort responstid - reversibel process | <ul style="list-style-type: none"> - hög verkningsgrad - Icke-ädla material - låga investeringskostnader - reversibel process - Co-elektrolys möjlig | <ul style="list-style-type: none"> - Icke-ädla material - icke-frätande elektrolyt - kompakt design - låga investeringskostnader - inget vätskeläckage |
| Nackdelar | <ul style="list-style-type: none"> - stor anläggning - låg strömöverföringskapacitet - frätande elektrolyt - icke-dynamisk drift | <ul style="list-style-type: none"> - dyrt membran - ädelmetaller - frätande miljö för cellerna | <ul style="list-style-type: none"> - stor anläggning - ostabila elektroder - läckage - ömtåligt material | <ul style="list-style-type: none"> - låg strömöverföringskapacitet - snabb degradering av membranet - kraftiga spänningsfall |
| Lämplighet med intermittert energikälla | Låg | Hög | Låg | Hög |

4.4 BOP – Balance of Plant

Systemnivån (BOP, Balance of Plant) omfattar utrustning kring hela vätgasanläggningen, såsom vattentillförsel, bearbetning av vätgas såsom komprimering eller rengöring samt omvandling av el tillförsel via en transformator eller likriktare. Figur.10 visar de processer och komponenter som vanligen ingår i system designen och systemanläggningen kring en PEM-elektrolys. PEM-system kräver vanligtvis användning av cirkulationspumpar, värmeväxlare, tryckkontroll och övervakning endast på anodsidan där syre förekommer.

På katodsidan krävs det en gasavskiljare, en syreborttagningskomponent (DeOxo) för att avlägsna kvarvarande syre, gastorkning och ett sista kompressionssteg. Ytterligare obligatoriska systemkomponenter är kraftelektronik såsom likriktare och spänningstransformator, styrelektronik och säkerhetsutrustning. De flesta PEM-system är integrerade i standardiserade 6 och 12 meters containers. Livslängden för anläggningen (BOP) antas vara ungefär 20 år. (IRENA, 2020)



Figur 11. BOP, Balance of Plant kring ett PEM system (IRENA, 2020)

5 Lagring, transport och distribution av vätgas

Det finns flera alternativ för lagring, distribution och transport av vätgas. Utvecklingen inom dessa områden är avgörande, för att skapa en kostnadsmässigt konkurrenskraftig vätgasinfrastruktur. Det krävs även effektiva och säkra sätt för dispensering av vätgas genom vätgastankstationer för mobilitetstillämpningar. Dessutom bör säkerhetsaspekter beaktas över hela vätgasinfrastrukturen. Val av metod beror på avståndet och på mängden samt sammansättningen av vätgasen som transporteras eller lagras. En av utmaningarna är att en stor del av vätgasen går förlorad både i transport- och lagringsprocessen, eftersom vätgasmolekylen är väldigt liten.

Gasformig vätgas kräver mycket utrymme. Ett kilogram vätgas tar upp ungefär 11 normalkubikmeter. Gasen kan komprimeras genom trycksättning eller kondensering. Komprimerad vätgas innebär att den trycksätts och lagras under extremt höga tryck mellan 350 – 700 bar. Lagringskärlen för komprimerad vätgas kräver därmed trycktålighet och volymkapacitet. Vätgasen kan också komprimeras till flytande form och lagras i välisolerade termosar. Flytande vätgasen är relativt enkelt att hantera och bidrar till bra energitäthet. Flytande vätgas lämpar sig bra till storskalig lagring och långa transporter. Lagring av väte i vätskeform genom kryokomprimering, kräver kryogena temperaturer eftersom vätets kokpunkt vid ett atmosfärtryck är $-252,8$ grader Celsius. I flytande form har vätgasen en högre energitäthet. Kryokomprimerad väte har ungefär dubbelt så hög energitäthet per volymenhet, än komprimerad trycksatt vätgas i rumstemperatur. Den har även något högre energitäthet än flytande vätgas. Det är även möjligt att lagra stora mängder vätgas under jorden eller i saltgrottor.

Idag transporteras vätgas från produktionsplatsen till användningsstället främst via vätgasrörledningar och via vägtransporter i tankbilar rustade med kryogena eller högtryckståliga lagringskärl. Tankbilarna är ofta utrustade med en container som består av flera sammansatta cylindrar avsedda för komprimerad vätgas. Komprimerad vätgas kräver specialiserad hantering, vilket skapar stora utmaningar för infrastrukturen och utvecklingen av tankningsnätverk. Det krävs lösningar för en säkrare, mer praktisk och kostnadseffektiv vätgasinфраstruktur. Även energiförluster i samband med komprimering och förvätskning av vätgas, samt kostnadskrävande material för detta ställer till ytterligare utmaningar. Vätgasbärare lagrar väte i något annat kemiskt tillstånd än som fria vätemolekyler. Ytterligare forskning och analyser pågår för att undersöka nya kemiska bärare av flytande eller fast väte för användning vid transport. Potentiella bärare inkluderar metallhydrider, kol eller andra nanostrukturer och reversibla kolväten eller andra vätskor. (Hydrogen Europe, 2022) (ENERGY.GOV)

5.1 Gasledningar

Gasledningar har funnits till länge, för att förse raffinaderier och industrier med vätgas. Det finns gasledningsnätverk bland annat mellan Belgien och Frankrike samt Nederländerna och inom Tyskland och USA. Dessa används till distribution av vätgas i regioner med stor efterfrågan, kring hundratals ton per dag. Efterfrågan förväntas förbli stabil ännu i årtionden.

Gasledningarna är huvudsakligen privatägda inom olika industriområden och placerade passligt för distribution från produktion till användning. Gasledningarna är kring 30 cm i diameter och tål ett tryck upp till 100 bar. Genom gasledningar kan man distribuera kostnadseffektivt stora volymer vätgas på långa avstånd. Det uppstår tryckfall under transporter av gaser i ledningar. Tryckfallet beror på friktionen i röret och varierar beroende på rörets diameter, gasflödet, gasens densitet, trycket i röret samt rörets material. Tryckfallet bör kompenseras på tryckstationer som krävs efter varje 200–300 kilometers sträcka.

Gasledningarna har låga driftskostnader men kräver stora investeringar i början. Det vill säga att bygga ut helt nya gasledningar inom områden som saknar befintliga ledningsnätverk, kräver tid och pengar. Därför undersöks möjligheterna med att utnyttja befintliga naturgasledningar runt om i Europa. Alternativt skulle naturgasledningarna anpassas helt enligt kraven för distribution av vätgas, eller så skulle man transportera en blandning av komprimerad vätgas och naturgas i ledningarna. Blandningen kunde spjälkas upp till naturgas och vätgas igen, ifall användningsändamålet så kräver. (Gasgrid Finland Oy, 2022)

5.2 Flytande organiska vätebärare (LOHC)

LOHC-teknik, Liquid Organic Hydrogen Carrier, vilket kan översättas till flytande organiska vätebärare, erbjuder stora möjligheter till lagring och transporter av vätgas. Tekniken fungerar så att den kemiskt binder vätgasen till en stabil organisk vätskebärare, vilket eliminerar behovet av komprimering. När väte absorberas i den flytande organiska vätskebäraren, används en hydrogeneringskatalysator. Vätskebärare möjliggör transporter av vätgas med en hög lagringstäthet. Genom LOHC tekniken kan väte lagras och transporteras i flytande form under omgivningstemperatur och tryck., vilket minskar riskerna och ökar kostnadseffektiviteten. LOHC kan transporteras med vanliga transportmedel och har potential att kopplas till befintliga infrastrukturen för bensin och dieselbränsle. Därmed skulle det finnas en färdig infrastruktur som kunde utvecklas och byggas vidare på.

Bränslecellsbilar (FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle) kunde drivas direkt och effektivt med väterika LOHC. Vätgasen skulle frigöras ombord med hjälp av en dehydrogeneringskatalysator, dvs. en katalysator som frigör vätet. Vätefrigöringskatalysatorer kräver dock vidare utveckling för att bli kompatibla med nuvarande krav för inbyggda applikationer på bränslecellsbilar. Bränsleceller och bränslecellsbilar behandlas närmare under nästa huvudrubrik.

En effektiv omställning från förnybar och koldioxidsnål vätgas till flytande vätgasbärare och tillbaka till vätgas måste utvecklas. Fokus krävs särskilt på utvecklingen av avancerad teknik och material för hydrogenering och dehydrogenering av flytande vätebärare. (IRENA, 2020) (Umicore)

6 Bränslecell

Bränsleceller fungerar som energiomvandlare, vilka förvandlar vätgasens energi till elektricitet. Dessa behövs för att kunna använda vätgasen som bränsle, el eller värme. Principen i en bränslecell är att den genererar elektrisk energi när reaktionssubstansen reagerar med syre. Det sker ingen förbränning i cellen men oxidations- och reduktionsreaktioner. Processen har uppfunnits redan i början av 1800-talet och använts i rymdfarkoster sedan 1960-talet. Bränslecellens höga tillverkningskostnader har påverkat användningen i vardagliga tillämpningar, men under senaste år har tekniken fått uppmärksamhet speciellt inom bilindustrin. Flera fordonstillverkare har börjat utveckla och presentera sina bränslecellsdriva bilmodeller. Många märken säljer eller hyr redan bränslecellsbilar till företag och regioner som har tillgång till vätgas. Intresset för bränsleceller finns också inom industriella processer såsom kraftverk.

Bränslecellens konstruktion liknar ett batteri, men till skillnad från ett slutet system tillsätts reaktions- och oxidationsmedlet från en extern källa. Oxidanten är vanligtvis syret från atmosfären. Den externa kretsen kan exempelvis innehålla en elmotor som används i fordon. Restprodukten från processen är endast rent vatten och lite värme som kan utnyttjas för att förbättra bränslecellens effektivitet. För att öka spänningen kan bränsleceller liksom batterier anslutas till en serie, en cellstack som presenterades under elektrolystekniker. Bränslecellssystemet består av en bränslecellstack, bränslebehandlings-, luftbehandlings- och värmehanteringssystem.

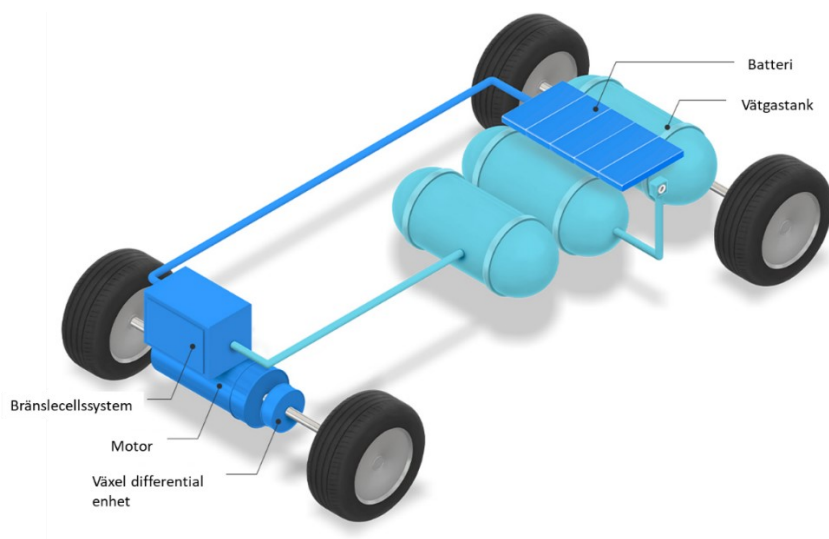
Bränslecellen kan producera elektrisk energi under en lång tid, eftersom reaktionssubstansen och oxidationsmedlet kan tillsättas från externa källor. Så länge bränsle kontinuerligt transporteras till bränslecellen kommer el, vatten och värme att produceras. Därmed kan bränslecells-bilar köra längre sträckor än batteribilar och driftenergin fås snabbare än genom laddning av batterier. Tack vare bränslecellens höga verkningsgrad, kan den kompensera för den energiförlust som uppstår vid vätgasproduktion och vätgaslagring. Förbränningsmotorns faktiska effektivitet under variabel körning är cirka 15 – 20 %. Jämförelsevis uppnår vätebränslecellen en faktisk verkningsgrad på mer än 50 % och den beräknade maximala verkningsgraden kan nå upp till 80 %. Batteridrivna elbilar har en hög verkningsgrad som kan nå över 90 %. När vätgas används som reaktionssubstans måste det accepteras att det krävs mycket energi för att producera vätgas, vilket i sin tur minskar vätebränslecellens totala effektivitet.

I teorin kan alla flytande eller gasformiga ämnen som oxideras, användas som bränsle i bränsleceller. Väte är dock vanligaste drivmedlet eftersom tillsammans med syre från atmosfären, blir reaktionshastigheten snabb och utsläppen miljövänliga. Bränsleceller tillverkas för olika användningsändamål och kan klassificeras enligt elektrolytmaterial och driftstemperatur. (Motiva, 2020)

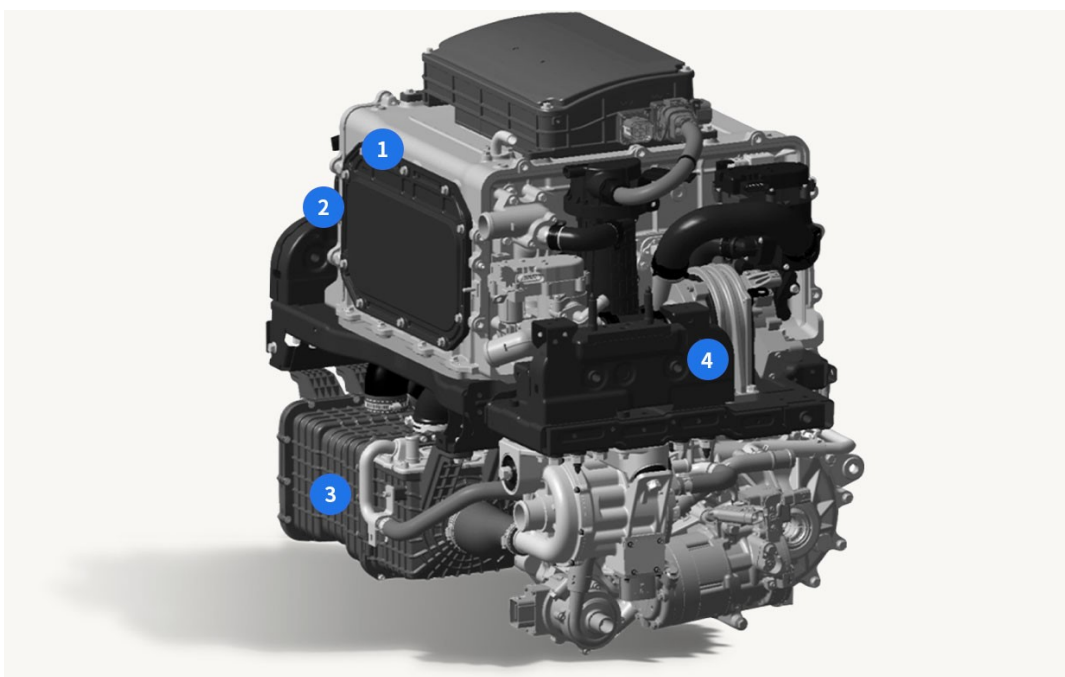
6.1 FCEV

FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle är en bränslecells-bil. FCEV drivs av elektricitet som genereras från de elektrokemiska reaktionerna mellan väte som dispenserats i FCEV-vätetankar och syre. I ett vätgassamhälle är bränslecells-bilar mer än bara miljövänliga fordon. De ger biltillverkare möjligheter att testa och utveckla ny teknik, som kan erbjuda stabil prestanda, hållbarhet och kraft. Detta bidrar till behovet av att främja tillväxten av relaterade industrier, såsom energi och materialutveckling som krävs för en fungerande och hållbar infrastruktur. Utvecklingen sker vanligtvis genom samarbete med centrala och lokala myndigheter. Under senaste år har bland annat Hyundai och Toyota varit i fronten med att kommersialisera vätgasbilar, vätgaslastbilar och vätgasbussar. I framtiden planeras användning av vätebränsleceller inom flygindustrin, stora fartyg och järnvägar. För att FCEV-marknaden skall kunna expandera, bör infrastrukturer för vätgasladdning aktivt byggas ut.

Det finns olika typer av bränslecellssystem som PEMFC, SOFC och MCFC. Högtemperatur bränsleceller, alltså SOFC-bränsleceller är bättre lämpade för storskaliga fasta installationer, medan PEMFC-bränsleceller fungerar bra i fordon och som reservkraft. Stora nackdelen med MCFC, Molten Carbonate Fuel Cell, är att de använder kolvätebränslen och ger upphov till utsläpp av växthusgaser. Därmed kommer PEMFC att behandlas närmare under nästa rubrik. (Hyundai Motor Group, 2021) (Motiva, 2020)



Figur 12. Förenklad illustration av konstruktionen i en FCEV (Hyundai Motor Group, 2021)



Figur 13. Bränslecellssystemet (Hyundai Motor Group, 2021)

Figur 13. visar hur bränslecellssystemet är uppbyggt.

1. Bränslecellstack

Viktigaste och dyraste delen. Den består av hundratals celler och varje cell består av ett elektrolytmembran, separator och katalysator, en bränsleelektrod och en luftelektrod.

2. Bränsle bearbetningssystem

Systemet ansvarar för att överföra vätgas som förvaras säkert i vätgastanken från högt tryck till lågt tryck och därefter till bränslecellstacken. Det förbättrar även vätgasförsörjningens effektivitet genom återcirkulationsledningen.

3. Luftbehandlingssystem

Syret som dras in i FCEV passerar genom ett luftreningssystem som rengör det från partiklar och andra oönskade ämnen. Detta krävs för att hålla bränslecellstacken oförorenad.

4. Värmeledningssystem

Värmeledningssystemet krävs för att hantera temperaturen på bränslecellstacken och därmed förhindra att elektrolytmembranet utsätts för hög värme, vilket skulle bromsa optimal prestanda och livslängd.

6.1.1 PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell

Bilar använder vanligtvis lågtemperaturbränsleceller som arbetar vid en temperatur under 250°C. Polymerbränslecellen (PEMFC) med fast polymerelektrolytmembran arbetar vid cirka 80°C och använder platina som katalysator. PEMFC:n lämpar sig bra till fordon. Bränslecellen är också nästan ljudlös, vilket minskar bullerföroreningar från trafiken och möjliggör att lätta på ljudisoleringen i fordon.

PEMFC har fördelen med att vara lätt och fri från frätande vätska samt levererar hög effekttäthet. Dessa egenskaper bidrar till en längre cell-livslängd jämfört med andra bränsleceller. Deras höga energieffektivitet gör dem användbara i en mängd olika tillämpningar såsom transport samt stationär och portabel kraft.

Polymer membranet står för cirka 30 % av materialkostnaderna för hela bränslecellstacken. Optimerade proton- och vattentransportegenskaper hos membranet är viktiga, eftersom uttorkning kommer att minska protonledningsförmågan och överskott av vatten kan översvämma elektroderna. Olika metoder och utvecklingar angående membranmaterial har gjorts, för att förbättra egenskaperna.

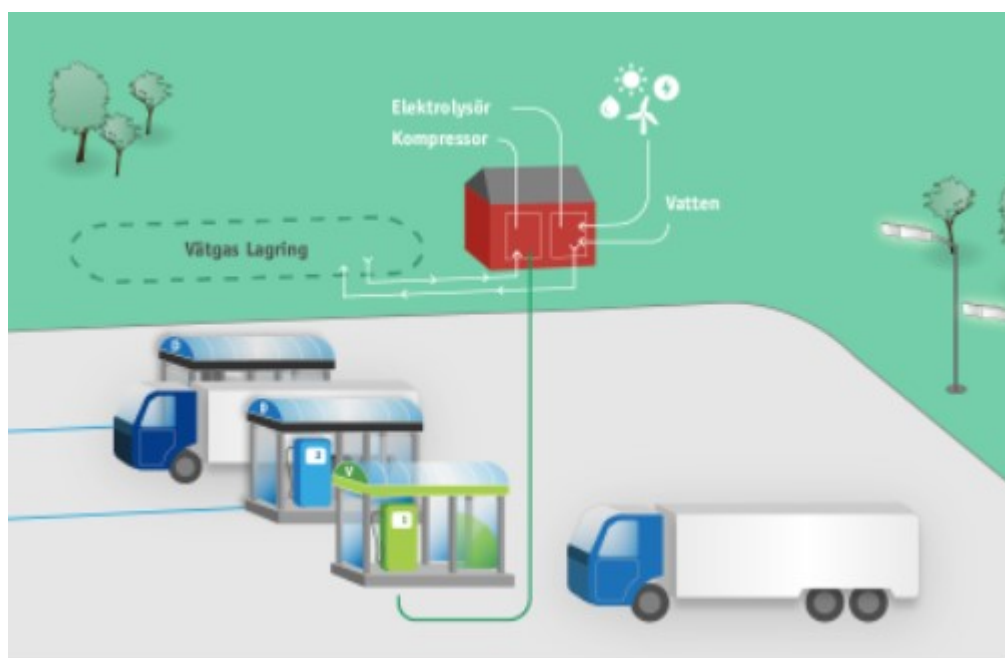
Under senaste åren har högtemperatur PEMFC:n fått mycket uppmärksamhet tack vare deras goda egenskaper såsom hög effektivitet och effekttäthet samt låg föroreningsgenerering. Möjligheten för användning av en PEMFC vid en hög temperatur är önskvärt, särskilt för fordonstillämpningar. Driftstemperaturen är begränsat med vanliga PEMFC, eftersom membranet kan utsättas för svår uttorkning vid höga temperaturer. Möjliga lösningen till detta problem kunde fås genom utveckling av membran som tål högre temperatur.

PEM bränsleceller erbjuder tydliga fördelar jämfört med batterier för specialfordon såsom truckar. Båda tekniker kan användas inomhus tack vare föroreningsfri drift, men bränslecellerna visar bättre produktivitet eftersom tankningen tar kortare tid än laddning eller utbyte av batterier. Dessutom kräver de mindre underhåll än batteridrivna truckar. Specialfordon för marktjänster på flygplatser öppnar också en potentiell marknad för bränslecellsdrift. Bränsleceller kan överträffa batterier när det gäller tyngre fordon, eftersom batterier inte ger den effekt som krävs för exempelvis bogsering av ett stort flygplan. (Science Direct, 2019) (IRENA, 2020)

6.2 HRS

HRS står för Hydrogen Refuelling Station, vilket betyder vätgastankstation. Trycksatt vätgas kan tankas från dessa stationer i bränslecellsbilar. Typiska HRS system består av bland annat kompressorer, vätgastankar och vätgasdispensrar. Vätgasen kan antingen produceras på plats (Figur 14.) eller transporteras till tankstationen med en tankbil. Vätgasen doseras trycksatt på 350 eller 700 bar beroende på fordonstyp. Det har även utvecklats bränslestationskoncept för flytande vätgas, som tack vare höga energitätheten kräver en sjundedel av lagringsvolymen för gasformigt väte. Dessa lämpar sig speciellt bra för stationer som kräver transporter och dryg lagring av vätgas. Tankning av flytande vätgas kräver ingen komprimering eller kylning av gasen, men däremot omvandlingsfaser från gasform till flytande form som medför förluster.

Tanken i en personbil rymmer i genomsnitt 6 kg vätgas, vilket innehåller runt 200 kWh energi. Personbilen förbrukar cirka 0,1 kg vätgas och 3,3 kWh under en 10 kilometer lång normal körning. En full tank vätgas räcker till cirka 600 kilometer, enligt dessa parametrar. (Premac, 2022) (EnergiForsk, 2018)



Figur 14. Illustration av en tankstation med decentraliserad vätgasframställning och -lagring samt vätgastankning (Premac, 2022)

7 Pilotprojektet

Kaisa Penttilä fungerar som projektledare för Hanken Svenska Handelshögskolans del i vätgasprojektet H2 Ecosystem Roadmap for Ostrobothnia, som syftar på att föra samman aktörer inom ämnet. Pilotprojektet introducerades via hennes engagemang och själva projektansvariga framstår som anonym. Verksamheten bakom pilotprojektet strävar efter att skapa mervärde för samhället, via positiva effekter från sina projekt. Kvalitet och hållbarhet har en nyckelroll i alla deras arbeten. Pilotprojektet strävar efter utsläppsfria byggnader och transport genom vätgaslösningar. Genom att producera vätgas via elektrolys och förnybar energi, kunde fossilfritt bränsle, elektricitet samt värme försörjas till byggnader och fordon.

Fakta från planeringsstadiet:

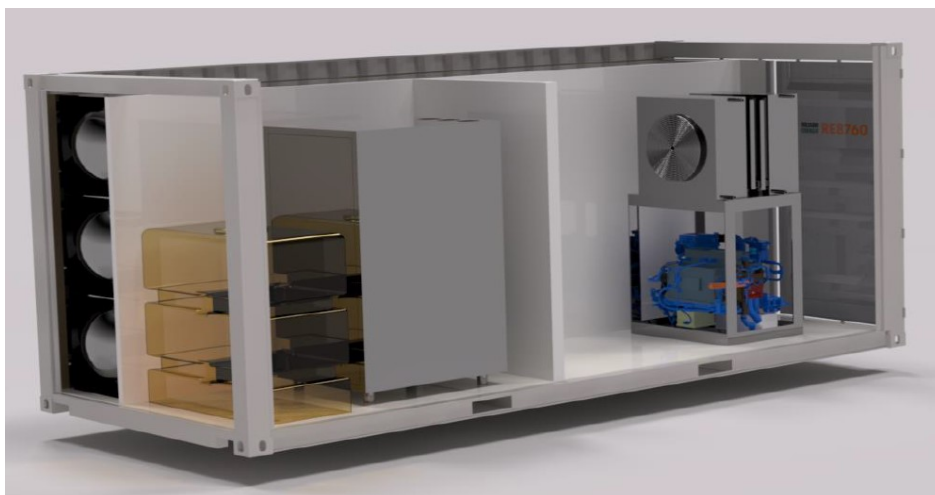
- Plats: Vasa, Finland
- Projektets storlek: 15 000 m²
- Solpaneler: cirka 900 kWp
- Egenskap H₂ behov: 1,9 ton
- H₂ till HRS: 7,8 ton
- Uppvärmning från elektrolys och bränslecell: 171 749 kWh/a



Figur 15. Pilotprojekt

Verksamheten undersöker möjligheten i att integrera vätgastekniken i fastighetsutvecklingsprojekt runtom landet och därmed även möjligheten i uppbyggnaden av FCEV hubbar och kluster. Fordonstillverkare som sysslar med bränslecells-bilar såsom Toyota anses som lämpliga samarbetspartners i projektet.

Genom att bygga en komplett systemanläggning för vätgas, kunde fastigheter försörjas med off-grid elektricitet och värme på ett smidigt och säkert sätt. Systemet kunde utnyttjas i varierande fastighetsändamål såsom bostäder och kommersiella byggnader. Figur 16. visar hur en komplett vätgasanläggning för fastigheter kunde se ut.



Figur 16. Vätgasanläggningssystem för fastigheter

Projektet innehåller också HRS system till mobilitetsbehov. Vätgasen skulle produceras decentraliserat genom elektrolys och dispensereras genom mobila containers. Containerarna skulle försörja trycksatt vätgas mellan 300 – 700 bar för att förse bränsle både till personbilar och tunga transporter. (Presentation över pilotprojektet)



Figur 17. Illustration på HRS lösningar

8 Sammanställning av kartläggningen

I detta examensarbete var huvudsakliga målet att kartlägga möjligheterna för en vätgasinfrastuktur i Vasa med omnejd. Information har samlats genom en undersökning kring attityder, möjligheter samt kunskap angående vätgas, hos diverse intressenter och potentiella målgrupper samt via observationer från webinarier och diskussioner. Kunskapen som samlats via den teoretiska delen i arbetet, utnyttjades i frågeställningen och analyseringen av responsen. Resultatet behandlar även krav och regelverk som gäller för vätgasanläggningar och bränslecellsfordon. Utöver detta sammanställs en kartläggning av en del vätgasprojekt, som är aktuella i Europa. Kontakterna framstår som anonyma, men marknaden där dessa är verksamma presenteras.

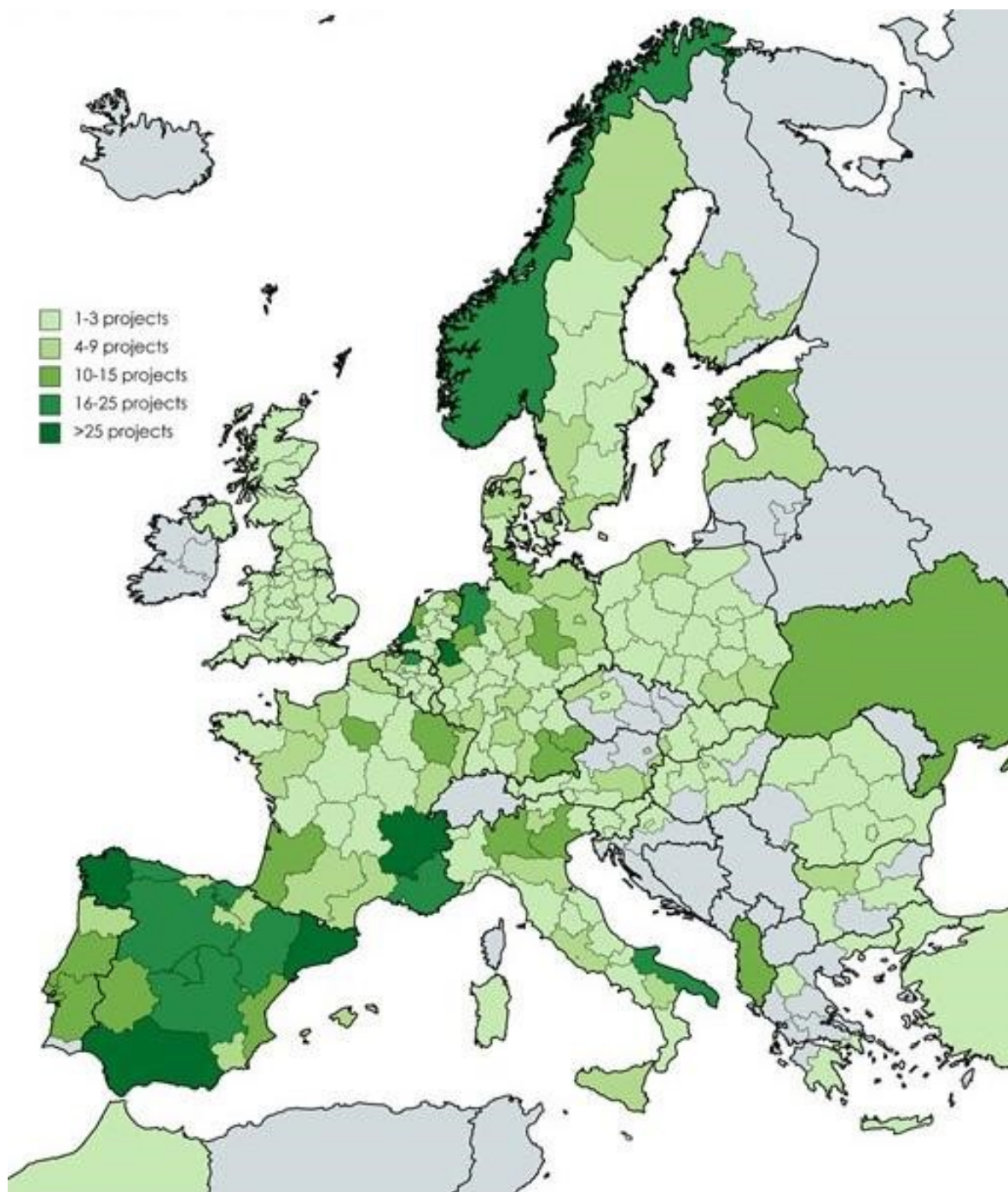
8.1 European Clean Hydrogen Alliance

Den europeiska alliansen för ren vätgas (European Clean Hydrogen Alliance), har skapats för att åstadkomma ett samspel bland aktörer med varierande erfarenhet och kunskap. Alliansmedlemmarna består av personer från industrin, offentliga myndigheter, det civila samhället och andra intressenter som träffas två gånger om året i vätgasforumet för att diskutera kring utvecklingen av en kolneutral vätgasekonomi i Europa.

Alliansmedlemmarna är delade i mindre arbetsgrupper, som har kontakt under hela året och fokuserar sig på olika delar i värdekedjan för vätgas. Man försöker identifiera de viktigaste hindren för storskalig utvidgning av ren vägas, och samtidigt föreslå samt utveckla förebyggande åtgärder. Alliansen har presenterat en förteckning av ambitiösa projekt som industrin inom Europa skall genomföra, för att skapa en storskalig vätgasekonomi. Det handlar om flera hundra projekt, vilket bevisar dynamiken och viljan som råder inom hela Europa när det gäller utvecklingen av en ren vätgasekonomi. Projektens innehåll sträcker sig från ren vätgasproduktion till dess användning inom industri, mobilitet, energi och byggnader. Sedan projekten offentliggjordes ingick kommissionen avtal med Europeiska investeringsbanken och EIT InnoEnergy, med avsikt att de kunde tillråda projektansvariga om lönsamhet, riskhantering, investeringsberedskap och due-dilligence. De har även möjlighet att investera i enskilda projekt och profilera dem på den finansiella gemenskapen för investeringar.

En stor del av projekten omfattar vätgasproduktion och dess användning inom industrier som kemikalier, raffinering, stål eller transport. Stor fokus ligger på tunga vägtransporter

och sjöfrakt. Många projekt är målsatta att tas i drift på slutet av år 2025. Alliansmedlemmarna deltog med över 1 000 projekt, varav 750 valdes av kommissionen enligt projektomfattning, -storlek, -mognad och utsläppsminskningar. Figur 18. visar hur projekten är lokaliserade kring Europa. Enligt kartan kan man konstatera att Norge och Spanien ser väldigt ambitiösa ut, med dryga 20 pågående vätgasprojekt.



Figur 18. Projekt inom Europa (European Commission - European Clean Hydrogen Alliance)

Enligt statistik som samlats in sedan februari 2021, har Spanien största potentialen för vätgasproduktion inom Europa med en kapacitet på över 3 000 TWh per år. Detta beror bland annat på landets geografiska och meteorologiska egenskaper, dessutom har landet bra tillgång till existerande gasledningar. Norge däremot har lång erfarenhet och stark kompetens inom olje- och gasindustrin, både som producent och distributör. Landets geografiska egenskaper erbjuder stor potential för vind- och vattenkraft. Norge har länge varit bland de 20 största exportörerna av el i världen och exporterar i genomsnitt mellan 10 och 15 TWh ren elektricitet till europeiska marknader årligen. En växande vätgasindustri kan snabbt byggas vidare på Norges starkaste tillgång, vilket är dess befintliga förnybara energikapacitet. När man ser på Finland, kommer majoriteten av aktuella vätgasprojekt från västra Finland, inklusive pilotprojektet bakom denna forskning. Den europeiska alliansen för ren vätgas är en gemenskap där projektansvariga har möjlighet, att skapa viktiga relationer och dela kunskap med varandra. Samarbetet och entusiasmen inom alliansen kan i bästa fall bidra till eftersträvarade ekosystem. Det finns flera aktörer inom utvecklingen för vätgaslösningar, som avsiktligt delar med sig av sina innovationer och sin kompetens för att skynda på energiomställningen. (European Commission - European Clean Hydrogen Alliance) (Webinarier och diskussioner, 2021 - 2022)

8.2 Krav och regelverk

Det finns ingen särskild lagstiftning som gäller tankstationer för vätgas eller vätgas i sig. Lagring och användning av vätgas tillämpas av samma lagstiftning, som för andra kemikalier klassificerade som farliga. Det innebär bland annat att det inte finns några färdiga säkerhetsavstånd till vätgas, utan placeringen bedöms från fall till fall. Placeringen av vätgasanläggningen ska baseras på resultaten av riskbedömningar och identifierade olycksscenario. Syftet är naturligtvis att minimera effekterna av identifierade olyckor på platsen och dess omgivning redan under stationeringsfasen. Gasföreningen har utarbetat riktlinjer till tankstationer avsedda för natur- och biogas, som kan användas till utredningen av vätgasstationer och -lagring. Det bör dock noteras att instruktionerna som sådana, inte lämpar sig på vätgasinstallationer.

Säkerhets- och kemikalieverket Tukes fungerar som en tillstånds- och tillsynsmyndighet, vilket styrs av flera ministerier. Tukes finns till för att främja säkerheten och tillförlitligheten hos produkter, tjänster och inom industriell verksamhet. De verkställer relaterad lagstiftning, med syfte att skydda individer, egendom och miljön från säkerhetsrisker. Verksamheten erbjuder nödvändiga riktlinjer för lagring och användning av kemikalier och explosiva ämnen.

Standardiseringsarbetet inom system och anordningar för produktion, lagring, transport, mätning och användning av vätgas sker i huvudsak inom den internationella ISO standarden TC197. Det finns 18 publicerade standarder under direkt ansvar av ISO TC197 och ytterligare 17 standarder under arbete. Antagandet av standarder, både nationellt och internationellt är avgörande för framgången av hela vätgassektorn. Standarder behövs för att minska utsläppen och därmed stöda övergången mot koldioxidneutralitet, med fokus på en innovativ användning av vätgasteknik.

ISO standarden TC105 syftar på att utarbeta internationella standarder för bränslecellsteknik (FC, Fuel cell) till alla FC-typer och olika tillhörande tillämpningar såsom stationära bränslecellskraftsystem, framdrivningssystem, hjälpkraftenheter samt allmänna elektrokemiska flödessystem och processer. Projekt med tillämpningar på området vätgasfordon kommer att samordnas med ISO standarden TC 22 och dess relevanta underkommittéer med hjälp av de samarbets sätt som definieras i ISO/IEC-direktiven.

IEC, International Electrotechnical Commission, är en global icke-vinstdrivande medlemsorganisation, vars arbete ligger till grund för kvalitetsinfrastruktur och internationell handel med elektriska och elektroniska varor. Syftet med deras arbete är att främja teknisk innovation, utvecklingen för en kostnadseffektiv infrastruktur, effektiv och hållbar tillgång till energi, smart urbanisering och transportsystem, lindra klimatförändringar samt öka säkerheten för människor och miljön. Organisationen samlar dryga 170 länder och tillhandahåller en global, neutral och oberoende standardiseringsplattform till tiotusentals experter. IEC har publicerat kring 10 000 internationella IEC standarder, som gör det möjligt för regeringar att bygga upp nationella kvalitetsinfrastrukturer och verksamheter med säker och pålitlig handel. Standarderna fungerar som grund till risk- och kvalitetshantering och används vid testning och certifiering.

Den Globala tekniska förordningen (GTR, The Global Technical Regulation) revideras regelbundet för att säkerställa FCEV-säkerhet på internationell nivå. Varje FCEV marknad har eller utvecklar lokala säkerhetsbestämmelser och förordningar baserade på internationella standarder. Dessa handlar i allmänhet om säkerheten kring elektricitet och vätgas. FCEV- och bränslecellstillverkare bör följa standarder och föreskrifter fullt ut genom mycket robust testning och utvärdering. I kommissionens förordning (EU) nr 406/2010 av den 26 april 2010 om tillämpning av Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 79/2009, fastställs grundläggande bestämmelser om krav för typgodkännande av motorfordon med avseende på vätgasframdrivning, för typgodkännande av vätgaskomponenter och vätgassystem och för installation av sådana komponenter och system. Det är nödvändigt att anta harmoniserade regler för vätgasbehållare, inklusive behållare som är konstruerade för att använda flytande vätgas, för att säkerställa att vätgasfordon kan tankas i hela Europa på ett säkert och tillförlitligt sätt.

Aktiebolaget Gasgrid Finland ägs av finska staten och ansvarar för hela gasöverföringsnätet i landet. Bolaget inledde sin verksamhet i januari år 2020, då gasmarknaden i Finland öppnades för konkurrens. En öppen rörgasmarknad följer naturgasmarknadslagen som trädde i kraft år 2018, och möjliggör avgiftsfri gasöverföring från Baltikum till Finland. Gasgrid Finland fungerar även som registerförare för ursprungsgarantiregistret, som omfattar gaser inklusive vätgas samt uppvärmning och kylning. Lagen om ursprungsgarantier har varit kraft sedan december 2021 och ursprungsgarantisystemet togs i bruk i april år 2022. Ursprungsgarantin bevisar att en viss andel av energin har producerats från förnybara energikällor och möjliggör i fortsättningen överföringar av ursprungsgarantier mellan EU-länder. Systemet är öppet för producenter och användare av gas samt andra marknadsaktörer, med villkor att produktionen skett via förnybara energikällor. Ursprungsgarantier gäller även för gas som produceras eller används utanför gasnätet, det vill säga gas från off-grid produktion. (EUR-Lex) (ISO) (Gasgrid Finland Oy, 2022) (International Electrotechnical Commission)

8.3 Respons

Inom forskningen för detta uppdrag samlades information från potentiella användare av vätgasfordon och själva vätgasinfrastrukturen. Syftet med forskningen var att skapa en uppfattning om deras attityder och kunskap när det gäller vätgas, både som drivmedel och som energibärare. Målgruppen bestod av personer inom lokaltrafik, logistik, bilförsäljning, servicestationer, jordbruk och avfallshantering inom Österbotten. Frågeställningen var uppbyggt med hänsyn till målpersoners intressen och strukturerat för att skapa en öppen dialog. Därmed gav frågeställningen upphov till en spontan diskussion och flexibilitet. Målet med diskussionerna var att få svar utan att påverka inställningarna, varken innan eller under frågeställningen.

Frågeställningens tyngdpunkter:

- kunskap och kännedom i ämnet vätgas
- åsikter kring vätgas som drivmedel och energibärare
- attityder gentemot energiomställning
- faktorer som anses viktiga inom respektive marknad
- spekulationer om marknadsutvecklingen

8.3.1 Attityder

Individens och gemenskapens attityder påverkar förloppet i energiomställningen. Attityder är formade enligt erfarenheter från decennier som dessutom kan ha starka anknytningar till kulturer och sedvanor. Man kan konstatera att attityder är synnerligen utmanande att påverka, speciellt när det gäller nya tekniker och stora omställningar. Kostnadseffektiv energiteknik och en fungerande infrastruktur, skapar nytta och bidrar till trygghet. Känslor såsom trygghet och oro, har stor inverkan på våra attityder. Klimatomställningen är beroende av producenter och konsumenter, som ser nyttan i miljövänliga och hållbara investeringar. Därmed är målgruppens attityder av stort intresse i denna kartläggning. Attitydfrågorna togs upp genom diskussioner kring framtida energilösningar, där vätgas kunde ersätta eller komplettera målgruppens nuvarande system.

Största delen av målgruppen utnyttjar fossilt bränsle för sina mobiliseringsändamål. Majoriteten av de intervjuade som sysslar med tunga transporter, ansåg att biogas skulle vara den mest naturliga lösningen, vid eventuella övergången till fossilfrihet inom närmaste framtid. Samma gäller med intervjuade från jordbruk och avfallshantering.

Elbilar prioriterades hos intervjuade inom personbilsbranschen. Byggandet av en fungerande vätgasinfrastuktur ansågs som tids- och kostnadskrävande, vilket hade största påverkan på attityderna kring möjliga investeringar i vätgasfordon. Biogas är ett drivmedel som man känner till i nejen och som förknippas med lokal produktion. Tekniken bakom biogasdrivna fordon kändes till, tack vare färjor, lokaltrafik och personbilar som drivs med biogas.

Enligt intervjuades första reaktioner och tolkade attityder, kan man konstatera att vätgasfordon och en vätgasinfrastuktur ansågs som ett stort kliv i framtiden. Majoriteten av målgruppen kände att det krävs mera tid och vetenskapliga belägg på vätgasanläggningar. De skulle gärna se och uppleva konkreta vätgasfordon och vätgastankstationer samt produktionstekniken bakom vätgas. Hittills har dessa endast upplevts som rubriker på internet och olika nyhetsflöden.

För närvarande ansågs vätgasfordon och produktions- samt lagringsanläggningar kostsamma. Den snabba utvecklingen och övermättade informationsflödet förvirrar konsumenternas förmåga att bearbeta informationen. Den ostabila världsmarknaden väckte oro inom många och bidrog till ovilja för risktagande. Ordet utveckling förknippades med vätgasfordon och vätgasanläggningar, vilket bidrar till osäkerhet. När man som företagare inom fordons- och transportbranschen investerar i ny utrustning, är det avgörande med fungerande och pålitlig teknik samt en hållbar infrastrukturer. Ifall vätgas skulle övervägas som bränsle inom lokaltrafiken, föredrogs samarbete mellan flera kommuner. Om vätgasinfrastrukturen kunde infiltreras i den befintliga infrastrukturer såsom bensinmack, skulle övergången till vätgas kännas mindre riskabelt. Bensinstationer har fördelen med att ha relevant kunskap och färdighet inom bränslesystem och -hantering. Dessutom är deras marknad oftast väletablerat och förstärkt med erfaren och stabil verksamhet. Servicestationer kunde framstå som föregångare genom samarbete med lämpliga systemleverantörer inom vätgaslösningar. Man kan konstatera att en fungerande infrastrukturer för vätgas är det som krävs innan marknaden kan börja satsa i vätgasfordon. Finlands klimat är en viktig faktor i utvecklingen av vår infrastrukturer och olika bränslelösningar. Våra kalla vintrar hade väckt mycket tankar hos de intervjuade kring modern fordonsteknik.

Vätgasens egenskaper som energilagrarare och förmågan att tillföra värme lockade speciellt inom jordbruk. Inom växthusodling förbrukas mycket energi framförallt under kalla perioder. Vätgasen kunde försörja den förnybara energin året runt och dessutom generera drivmedel till transporter. Inom jordbruk upplevs risker i energitillförseln och stigande energikostnader som flaskhalsar. Höga investeringskostnader ansågs som största tröskeln till energiomställningen genom vätgas. Även energibehovet eller närmare energiförlusten som sker via elektrolys upplevdes som en nackdel.

Höga energi- och bensinkostnader oroade majoriteten av målgruppen. Även osäkerheten på tillgången av råmaterial och komponenter ansågs som riskfaktorer inom alla branscher. Vissa tog upp diskussioner om icke hållbara råmaterial i elbilarnas batterier samt nyheter om ostabila batterier som förorsakat bränder. Samma osäkerhet upplevdes med bränslecellsbilar och högtryckstankar, vilket ytterligare stärker behovet av konkreta exempel och vetenskapliga bevis på vätgasanläggningar och vätgasfordon.

Alla ansåg att det är viktigt med åtgärder mot klimatneutralitet och skulle gärna bidra till arbetet. Största hindren ligger i resurserna; tid och pengar, men även i osäkerheten. Kommentarer kring energiomställningen varierade från att ett energisystem borde satsas på, till att flera kompletterande tekniker kunde utnyttjas. Majoriteten skulle gärna se vätgastekniken i bruk på en bredare skala, innan de själva ens skulle tänka tanken om att övergå till vätgaslösningar. Detta tyder på okunskapen inom marknaden men även på osäkerheten kring olika energi- och bränslelösningar.

Över lag ansågs Österbotten och Vasa som en innovativ och tekniskt kunnig region, som kunde fungera som föregångare i innovativa energilösningar. Sammanfattningsvis kan man ändå dra slutsatsen, att en energiomställning skulle kräva landsomfattande samarbete. Vätgastekniken behöver mogna lite till, både inom de intervjuades tankar och på teknologinivån, innan beslut kunde tas. Infrastruktur och kostnadseffektivitet är väsentliga för att en marknad för vätgasfordon skall slå igenom. Det var osäkerheten som styrde attityderna på majoriteten av målgruppen. Därmed bör den rådande osäkerheten försäkras genom exempelvis demonstrationer och statistik över lovande resultat.

Figur 19. visar en sammanfattning över responsen i form av en SWOT-analys ur ett regionalt perspektiv. Sammanfattningen fokuserade på styrkor, svagheter, möjligheter och hot enligt informationen från intervjuerna.



Figur 19. SWOT-analys över responsen

8.4 Vätgasekonomins utveckling

Flera projekt med fokus på vätgaslösningar är under arbete i Europa och omvärlden. Vätgasfordon och vätgastankstationer finns redan på marknaden både när och fjärran. Som teorin lyfte fram, satsar EU stort i utvecklingen av en vätgasmarknad och en vätgasinfrastruktur inom Europa. Man ser stor potential i vätgasen som medel för utfasningen av fossila bränslen inom industrin, logistiken och mobilitetssektorn. Vätgasen kan erbjuda eftertraktade lösningar till kontinuerlig användning av förnybara energikällor. För att få perspektiv till aktuella projekt i Norden och i Europa, kommer några av dem att presenteras under nästa stycken.

FinH2

Forskningsprojektet FinH2, strävar efter att förstärka den nationella värdekedjan inom vätgasteknik i Finland. Projektet involverar 17 olika företag såsom Wärtsilä, Valmet, Helen, Fortum och Neste samt forskningscentralen VTT, LUT- och Aalto universitet. Syftet är att genom gemensamma ansträngningar förbättra Finlands kunnande och konkurrenskraft inom produktionen av ren vätgas och därmed sammanhängande affärsverksamhet. FinH2 projektet hjälper finländska företag i utvecklingen av deras vätgasverksamhet och möjliggör en öppen miljö för testning, produktion och eventuella tjänsteutbyten mellan parterna. Finland har stor exportpotential inom elektrolysteknik och genom projektet utvecklas lösningar för ren vätgas genom omfattande samarbete. Projektarbetet syftar även på att påskynda den inhemska produktionen av hela systemlösningar. (VTT, Teknologiska forskningscentralen)

Nilsson Energy

Nilsson Energy i Göteborg är pionjär inom vätgasteknik, inte endast i Europa men även på en global skala. Grundaren till bolaget heter Hans-Olof Nilsson och betraktas som Herr Vätgas (Mr.Hydrogen). Allt började med att Nilsson gjorde verklighet av sin teknikkunskap inom vätgas och investerade i att utveckla ett stort toppmodernt off-grid egnahemshus. Genom att använda bränslecellsteknik för att omvandla vätgas till el och värme är hushållet helt självförsörjande även när det är ont om solsken. Huset har väckt mycket uppmärksamhet internationellt och haft flera tusen besökare. Tillsammans med Martina Wettin och Pontus Lundgren har de skapat skräddarsydda lösningar för förnybar energi och erbjuder kompletta kommersiella off-grid system. Verksamheten grundar sig på att förse kommersiella kunder med förnybara energilösningar för alla de 8 760 timmar om året, därav har systemet fått namnet RE8760. (Nilsson Energy)

ElectriVillage

År 2019 invigde Mariestad i Sverige, världens första vätgastankstation som drivs med solkraft och är beläget längs E20 och riksväg 26. Tankstationen är försedd med Nilsson Energy:s RE8760 system. Kommunen har skapat ElectriVillage som fungerar som ett modellområde för hållbar utveckling. Modellområdet är unikt och presenterar en kombination av hållbara transportlösningar och energisystem. På området genomförs olika tester i öppen miljö och för daglig drift. Nyaste projektet på området är en självförsörjande förskola, som beräknas bli färdig under år 2022.

Nilsson Energy är involverad med sin vätgasanläggning även i detta projekt. Detta är ett exceptionellt exempel inom senaste teknologi på ett decentraliserat mikronät för grön vätgas och fossilfri skolmiljö. (Nilsson Energy) (Mariestad, ElectriVillage)

REH2

Investeringsbolaget Qarlbo leder ett unikt projekt genom bolagen REH2 och Nilsson Energy, som skall etablera ett vätgasnätverk av 24 tankstationer i Sverige. Projektet har fått finansiellt stöd från Klimatklivet. Planen är att grön vätgas produceras på plats, genom användning av förnybar energi från vindkraft och lokalt vatten. Stationerna kommer att byggas vid Rastas serviceanläggningar och försörja grön vätgas för främst tunga fordon som lastbilar, bussar och andra fordon. Rasta är en servicestation och Sveriges största lastbilshållplats som dagligen besöks av cirka 15 000 tunga fordon. Investeringen är unik för Europa eftersom projektet har förutsättningar att kunna leverera ett nätverk av vätgastankstationer med enbart grön vätgas. Fastän det finns vätgastankstationer i andra länder, finns det ingen annan som kan bidra med endast grön vätgas. Genom Rastas anläggningar kan investeringskostnaderna minskas. Det finns även färdigt utbildad personal som har tillstånd att hantera olika former av bränsle. (REH2) (Nilsson Energy)

CaetanoBus

CaetanoBus i Portugal tillverkar bussar och karosser monterade på chassin av olika märken och med olika specifikationer för stads-, turism och flygfältsservice samt andra produkter med unika lösningar för nischmarknader. Verksamheten satsar i utvecklingen av elektriska lösningar inom mobilitet och strävar efter införandet av ren energi, inom olika segment, speciellt i urbana städer och flygfält. Caetano H2 City Gold är en modern elbuss som drivs på vätgas. Modellen erbjuder en modulär design, längre räckvidd, kapacitet, säkerhet och användarvänlighet. Den går smidigt att anpassas till varierande stadsmiljöer. Vätgasdrivna bussen möjliggör längre körsträckor än eldrivna bussar, med över 400 kilometers räckvidd på en enda påfyllning. Tankningstiden går snabbt på mindre än nio minuter. CaetanoBus gör varumärkessamarbete med Toyota, vilket ytterligare förstärker expansionen av hållbara mobilitetslösningar. Toyota Motors Europe (TME) förser sin bränslecellsteknik för vätgasbussarna. Samarbetet bevisar teknisk kapacitet och kompletterande teknik samt en verklig allians till utfasningen av fossila bränslen. (CaetanoBus)

Smena Catalysis

Smena Catalysis är ett nanoteknikföretag i Göteborg, som tillverkar nanostrukturerade skiktade material. De arbetar med Van der Waals-material (TMD), som har potential för nya forskningshorisonter och framtida användningsområden. TMD-egenskaper kan ändras via nanomönster genom ett strukturberoende sätt. TMD material är tilltalande för en mängd olika applikationer. Baserat på forskning vid Chalmers tekniska högskola, har Smena Catalysis lösning potential inom flera branscher, särskilt inom vätgasproduktion. Platinan vilket används som katalysator för vätgasproduktion, kunde ersättas med Smenas lösning. Materialet modifierar en naturlig mineralisk varelse genom att skapa små hål, vilket skapar unika egenskaper för interaktionen med väte och vatten. (Smena Tech)

Hysilabs

Franska verksamheten HySiLabs har utvecklat innovativa kemiska processer, för att ladda och frigöra väte via flytande vätebärare. Lösningen gör det möjligt att transportera och lagra vätgas som vilken konventionell vätska som helst. Den kan sannolikt använda befintliga infrastrukturen för fossila bränslen, vilket kan ha en omvälvande inverkan inom mobilitetssektorn. Den har potential att lösa utmaningarna med säkerhets- och regleringsfrågor, som för närvarande hindrar en bredare utbyggnad av vätgasbaserade tillämpningar. För att övervinna utmaningarna med transporter och lagring av komprimerad och nerkyld vätgas, utforskas HySiLabs flytande vätebärartekniker i samarbete med olika företag och industrier, inklusive kompatibiliteten i bränsleceller. Innovationen har stor potential att bli en avgörande faktor inom vätgasdistribution, vilket i sin tur skulle främja utvecklingen av en vätgasekonomi. (HySiLabs)

9 Sammanfattning och diskussion

Ständig utveckling inom vätgasanläggningar och förnybara energilösningar pågår inom Europa. Utvecklingen omfattar teknik, standardisering, samarbetsmöjligheter, miljöuppföljning och många fler ämnesområden. Det omfattande tillämpningsområdet är nödvändigt när en global energiomställning eftersträvas. Oförutsägbara klimatförändringar och konjunktursvängningar kräver snabba lösningar som kunde bromsa destruktiva påföljder. Transparenta verksamhetsprinciper, samarbete och delad kunskap kunde främja klimatmålsättningarna.

Fastän vår nation kan betraktas som liten från en global synvinkel, kan finländskt kunnande och innovationer leda till storskaliga resultat. Den lilla kommunen Mariestad i Sverige med sina förnybara energilösningar och ambitiösa initiativ, bevisar att mindre aktörer kan prestera stort och med samma fungera som levande modeller.

Bilindustrin behöver en stadig och fungerande infrastruktur innan en potentiell marknad för vätgasfordon kan bli lukrativ. Genom samarbete med en landsomfattande bensin- och servicestation, kunde etableringen av ett vätgasnätverk kostnads effektiviseras. Ordentlig testning av bränslecellers klimatprestanda krävs innan större satsningar kan göras i vätgasfordon inom den nordiska marknaden. Majoriteten av potentiella användare av vätgasfordon saknar konkret erfarenhet av utrustningen. Kunskapen i vätgaslösningar baserar sig på information från nyhetsflöden och den så kallade djungeltelegrafan. Vätgasfordon, tankstationer och vätgassystem för off-grid ändamål borde mera aktivt demonstreras i Finland för potentiella användare. Genom dessa åtgärder kunde man öka förtroendet i vätgaslösningar och förnybar energi.

Osäkerheten på bränslecellers prestanda och lagringsmöjligheterna för vätgas samt de höga anläggningskostnaderna, är faktorer som påverkar attityderna på marknaden. Dessa faktorer har medfört till flera utvecklingsprojekt, som syftar på att erbjuda prisvärda material- och lagringsalternativ som samtidigt skall garantera säker hantering och drift med vätgas. Stränga klimatstrategier och ambitiösa miljömålsättningar både regionalt och globalt, tvingar till samarbete mellan varierande kunskapsområden. Klimatförändringar är ett faktum, som berör hela världens befolkning. Utfasningen av fossila bränslen krävs snabbt. Ett klimatsmart samhälle bör uppfostras genom begripliga och användarvänliga lösningar.

10 Referenser

A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. (08 07 2020).

European Commission:

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf

Aken, J. E. (2013). *Design Science: Valid Knowledge for Socio-technical System Design.*

Schweiz: Springer International Publishing.

CaetanoBus.

<https://caetanobus.pt/en/esta-ai-o-h2-city-gold-o-novo-autocarro-caetano-a-hidrogenio/>

Delivering the European Green Deal. (14 07 2021).

European Comission: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en

EnergiForsk. (2018).

<https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/25628/vatgaslagring-i-vagfordon-energiforskrapport-2018-553.pdf>

ENERGY.GOV.

<https://www.energy.gov/search/site?keywords=hydrogen+storage>

EUR-Lex.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32010R0406>

European Commission . (15 09 2021).

https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en

European Commission - European Clean Hydrogen Alliance.

https://ec.europa.eu/growth/industry/strategy/industrial-alliances/european-clean-hydrogen-alliance/project-pipeline_en

Gasgrid Finland Oy. (2022).

<https://gasgrid.fi/sv/gasnat/overforingsnat-for-gas/#overforingsledningar>

Georgia - Center of innovation.

<https://www.georgia.org/center-of-innovation/innovates/what-innovation-ecosystem>

Granstrand Ove, H. M. (2020). Technovation - Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition. Göteborg och Cambridge, Sverige och UK.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0166497218303870?token=A155CBC88CF44EBC0421B3425126F7EF78516A076524D8F77E9BF93E704264737FAAD1F486DF3FDEC3BD70E95267089A&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220130132631>

Hiat gGmbH.

<https://www.hiat.de/en>

Hydrogen Europe. (2022).

<https://hydrogeneurope.eu/>

HySiLabs.

<https://www.hysilabs.com/>

Hyundai Motor Group. (2021).

<https://tech.hyundaimotorgroup.com/fuel-cell/fcev/>

International Electrotechnical Commission.

<https://www.iec.ch/standards-development>

IRENA. (2020).

https://irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf

ISO.

ISO/TC 197 : <https://www.iso.org/committee/54560.html>

iStock by Getty Images.

<https://www.istockphoto.com/>

Kiesilä, P. (Juni 2021). Vetytalous ja vedyn tuotanto eri teknologioilla - Teknistaloudellinen vertailu. Tammerfors.

Leminen, S. (2015). *Living Labs as Open Innovation*. Helsinki: Unigrafia Oy.

Mariestad, ElectriVillage.

<https://mariestad.se/Mariestads-kommun/Hallbarhet--miljo/Strategiskt-hallbarhetsarbete/Agenda-2030/ElectriVillage-Mariestad>

Motiva. (2020).

http://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen

Nilsson Energy.

<https://nilssonenergy.com/>

Nilsson Energy. (16 10 2021).

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

Ny Teknik. (2021).

<https://www.nyteknik.se/premium/elektrolysorer-blir-nyckeln-i-lkab-s-omstallning-7009896#7010164>

Paasi Jaakko, N. H. (20 12 2021). *Tampereen yliopisto / Tampereen ammattikorkeakoulu.*

Sustainable Industry Ecosystem: <https://sites.tuni.fi/sie/tapahtuma/vttm-sie-tyopaja-suomalaisen-teollisuuden-uudistaminen-yhteiskehittaminen-ja-ekosysteemit/>

Premac. (2022).

<https://premac.se/vatgas/>

Premer, F. (2021). *SSE Executive Education.*

<https://main.exedsse.se/ekosystem-kan-oka-konkurrenskraften>

Presentation över pilotprojektet.

REH2.

<https://www.reh2.se/>

Science Direct. (2019).

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/proton-exchange-membrane-fuel-cells>

Scienc Direct.

<http://sciencedirect.com/science>

Smart Energy Åland. (2021).

<https://smartenergy.ax/energiekosystemet/>

Smena Tech.

<http://www.smena-tech.com/>

Söderbergh, I. (Augusti 2021). *Umeå Universitet.*

https://www.umu.se/nyheter/fem-fragor-till-vatgasforskaren-thomas-wagberg-_10794520/

Tanase, L. (20 April 2021).

Energy Industry Review: <https://energyindustryreview.com/opinion/underpinning-the-transition-ec-prefers-green-h2/>

Umicore.

<https://www.umicore.com/en/>

Uniper Energy. (2021).

<https://www.uniper.energy/sverige/vatgas>

VTT, Teknologiska forskningscentralen.

<https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/finland-has-significant-export-potential-electrolysis-technology-clean-hydrogen>

Vätgas Sverige.

<https://vatgas.se/faktabank/faq/>

Webinarier och diskussioner. (2021 - 2022).