

Vätgas för flexibelt och robust energisystem

En vätgasöversikt för Sverige i ett internationellt perspektiv

Hösten 2020 gav Energimyndigheten, EIT InnoEnergy i uppdrag att bjuda in till ett digitalt seminarium med berörda intressenter för att kartlägga möjligheter och hinder på temat ”Vätgas för ett flexibelt och robust energisystem”, och sammanställa en syntes av detta. Arbetet initierades inom ramen för Sektorsstrategier för energieffektivisering och resultatet, i form av ett kunskapsunderlag kan ni ta del av härunder. Rapporten ger en insikt i vad vätgasen kan bidra med i en svensk kontext, med särskilt fokus på vätgasens roll i ett flexibelt och robust energisystem. Vi hoppas rapporten kan utgöra ett underlag för att höja kunskapsnivån runt detta ämne.

Workshopen genomfördes den 11 december 2020 i form av en SWOT-analys och kartläggning av vätgasens möjliga värdekedjor i Sverige. Sammanställningen av denna redovisas i Appendix.

Kontaktpersoner från Energimyndigheten:

Viktor Döhlen, avdelningen Förnybar energi och internationellt samarbete

Tobias Walla, avdelningen Forskning, innovation och affärsutveckling
Projektledare för ”Sektorsstrategi för flexibelt och robust energisystem”



”Vätgas för flexibelt och robust energisystem”

En vätgasöversikt för Sverige i ett internationellt perspektiv



En kunskapsöversikt författad av:

Ilka von Dalwigk
Johan Söderbom
Sara Ghaem

Februari 2021

”Vätgas för flexibelt och robust energisystem”

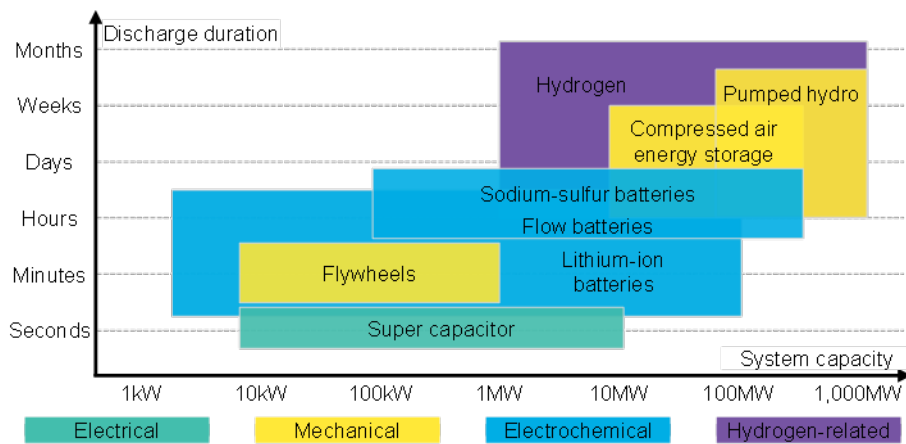
En vätgasöversikt för Sverige i ett internationellt perspektiv

Innehåll

1	Inledning	3
1.1	Kort marknadsöversikt.....	4
1.2	En internationell utblick.....	6
2	Utmaningar och möjligheter.....	9
2.1	Utmaningar kopplade till produktion av vätgas	9
2.1.1	Komplexa värdekedjor och sektorskoppling.....	11
2.1.2	Lokala värdekedjor	11
2.1.3	Lagring, distribution och säkerhet	12
2.1.4	Regelverk och policyåtgärder	12
2.2	Möjligheter kopplade till ökad användning av vätgas	12
2.2.1	Systemtjänster för det svenska elsystemet.....	13
2.2.2	Sjunkande kostnader för förnybar el är en möjlighet	13
2.2.3	Möjligheter med vätgas ur ett svenskt perspektiv	13
3	Grön vätgas i ett flexibelt och robust energisystem.....	15
3.1	En komponent i ett flexibelt och robust energisystem.....	15
3.2	Hur grön vätgas kan bidra i ett robust och flexibelt energisystem för Sverige.....	16
4	Litteraturförteckning	18

1 Inledning

Sverige ska bli ett av världens första fossilfria välfärdsländer och elektrifiering är en viktig metod för att nå målet. Även om direkt elektrifiering och förnybar uppvärmning oftast utgör de mest kostnads- och energieffektiva alternativen för att fasa ut fossila bränslen, finns det ett antal slutanvändningsområden, såsom ett antal industriprocesser (främst kemi, stål- och cementindustrin) men även olika sektorer inom transportområdet (främst tunga fordon, sjöfart, luftfart), där detta kanske inte är genomförbart eller innebär höga kostnader. I sådana fall kan vätgas utgöra ett viktigt alternativ. Genom en allt större andel förnybara, väderberoende och variabla produktionskällor uppstår utmaningar på flera nivåer i energisystemet. Stora variationer i elproduktionen, som ibland kan vara svåra att förutse, innebär nya krav på balansering av systemet. Energilagring är därmed en viktig komponent för att upprätthålla stabilitet i näten och en förutsättning för att helt kunna ställa om energisystemet till förnybara energikällor.



Figur 1: Olika lagringsteknologier baserade på effekt och energi¹

Vätgasen förmåga att lagra energi ger den därmed också en speciell roll i framtidens mer integrerade energisystem och kan genom sina olika användningsområden bidra till ett mer robust och flexibelt energisystem. Ett vätgaslager har dessutom en stor skaleffekt dvs kostnaden per lagrad enhet sjunker med ökad storlek.

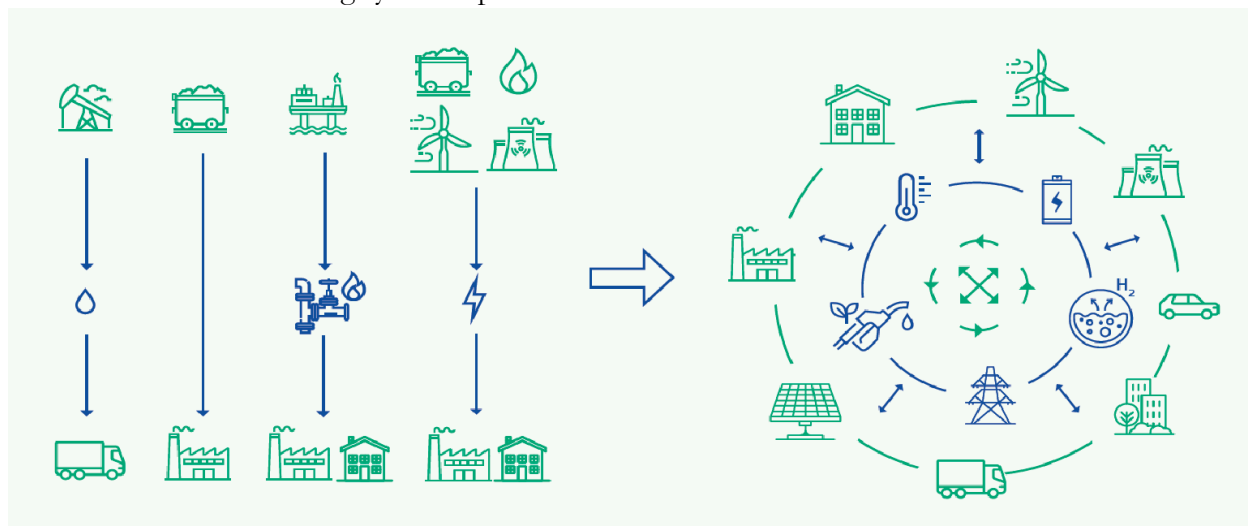
En integrering av vätgas i energisystemet måste ske där det finns tekniska och ekonomiska förutsättningar. Dessa förutsättningar kan se olika ut för olika länder. Sverige utmärker sig här genom sitt nuvarande elsystem med en hög andel av förnybara energikällor i energisystemet, en välfungerande elmarknad och unika lagringsresurser i form av vattenkraft. Samtidigt saknas en nationell distributionsinfrastruktur för gas. Drivkraften för produktion och användning av vätgas i Sverige skiljer sig därmed från länder med hög andel fossil elproduktion och redan befintliga naturgasledningar.

En gemensam utmaning är dock att skapa ett integrerat energisystem där olika energibärare, infrastrukturer och slutanvändare samverkar. I alltför stor utsträckning bygger dagens energisystem fortfarande på separata värdekedjor från specifika energiresurser till specifika

¹ Bloomberg NEF, 2017: Hydrogen as a source of grid flexibility.

slutanvändarsektorer med oftast egna marknadsregler och planeringsprocesser för distributionsinfrastrukturen.

Det här kunskapsunderlaget kommer att beskriva vätgasens roll i framtidens robusta och flexibla energisystem och hur den kan komma att utgöra en värdefull resurs i det svenska energisystemet. Genom starkare kopplingar mellan olika energibärare, infrastrukturer och förbrukarsektorer kan energisystemet planeras och förvaltas som en helhet.



Figur 2: Övergången från dagens energisystem med enkelriktade och isolerade energiflöden till ett integrerat energisystem²

1.1 Kort marknadsöversikt

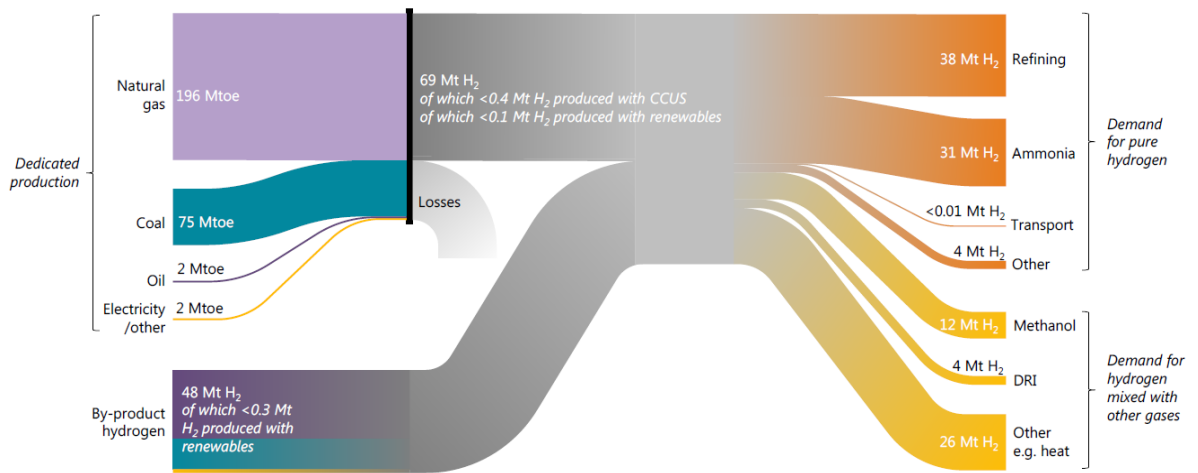
Det finns redan idag en väletablerad marknad för vätgas, och dess användning inom industrin, främst inom ammoniakproduktion och oljeindustrin, har mer än tredubblats sedan 1975. Beroende på hur vätgasen tillverkas ger den olika CO₂ avtryck (och benämns ibland brun, grå, blå eller grön). Hittills har den övervägande delen av vätgasen producerats med fossilt bränsle, naturgas och kol till en kostnad under 2,5 USD/kg där bränslekostnaden utgör 45–75% av den totala kostnaden. Vätgas som produceras av fossila bränslen kategoriseras som grå eller brun vätgas.

Den aktuella vätgasvärdekedjan visas i figur 3. Idag produceras vätgas nästan uteslutande med fossila bränslen och därför är dess produktion en viktig källa till utsläpp av växthusgaser. Enligt IEA³ uppgick utsläppen av växthusgaser från vätgasproduktionen under 2018 till omkring 830 MtCO₂/år globalt vilket är lika med de årliga koldioxidutsläppen från Indonesien och Storbritannien tillsammans. Enligt BloombergNEF⁴ motsvarar denna utsläppsmängd 2,2 % av de globala energirelaterade utsläppen för 2018.

² EU kommissionen, 2020: Factsheet on EU Energy System Integration Strategy: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/866407/EU_Energy_System_Integration_Strategy.pdf

³ IEA, 2019: The Future of Hydrogen for G20. Seizing today's opportunities. Rep. Prep. by IEA G20, Japan, vol. 6, no. June, pp. 246–256.

⁴ Bloomberg NEF, 2020: Hydrogen Economy Outlook 2020



Figur 3: Värdekedjor för vätgas, källa: Internationella energiorganet, IEA 2019

Den mest koldioxid-intensiva produktionen av vätgas kommer från kolförgasning som sedan genomgår en ångreformeringsprocess (SMR). Denna process ger en koldioxidpåverkan på cirka 19 kg CO₂/kg H₂. Grå vätgas produceras genom ångmetanreformeringsprocess av naturgas med en koldioxidpåverkan på cirka 10 CO₂/kg H₂. Med koldioxidavskiljning, -utnyttjande och -lagring (CCUS) kan koldioxidutsläppen minska med upp till 70–90%. CCUS kan förvandla fossilbaserad vätgas till så kallad blå eller koldioxidsnål vätgas med en koldioxidutsläppseffekt på under 3,5 CO₂/kg H₂. För närvarande är cirka 96% av den producerade vätgasen fossilbaserad och inte hållbar eller grön. Grön vätgas produceras med hjälp av el från förnybara källor i en elektrolytprocess utan direkta koldioxidutsläpp. Idag är mindre än 1% av den globalt producerade vätgasen grön vätgas främst på grund av den höga produktionskostnaden. Kostnaden är 3–7 USD/kg beroende på systemets storlek, plats och använd teknik. Produktionskostnaden är dock mycket känsligt för elpriset och därför pekar de snabbt minskande kostnaderna av el från sol- och vindkraft tillsammans med teknikutvecklingen på en betydande framtida kostnadsnedgång. EU-kommissionen pekar i sin strategi för energisystemintegration på att vätgas producerad genom elektrolyt med användning av förnybar el kan spela en särskilt viktig roll som ”knutpunkt” i ett integrerat energisystem, då den kan bidra till att integrera stora andelar av produktionen från varierande förnybara energikällor, genom att avlasta nät under perioder med överskott och tillhandahålla långtidslagring i energisystemet. Som energibärare som kan lagras och överföras underlättar vätgas sektorkoppling och kan ytterligare öka andelen förnybar energi i energisystemet genom den tillhandahållna flexibiliteten. Dessutom ökar energisystemets motståndskraft. Vätgas kan spela en viktig roll när det gäller utsläppsminskningar i sektorer där det är svårt att fasa ut fossila bränslen, särskilt som bränsle i vissa transporttillämpningar (t.ex. tunga vägtransporter, icke-elektrifierade järnvägstransporter och sjötransporter) och som bränsle eller råvara i vissa industriella processer (stål, raffinering eller kemisk industri).

1.2 En internationell utblick

Vätgas som den ultimata energibäraren har lyfts upp i flera perioder sedan 1970-talet då Lawrence W Jones, en kärnfysiker vid University of Michigan presenterade en uppsats med titeln "Toward a Liquid Hydrogen Fuel Economy"⁵ i vilken han noterade att: "Användningen av flytande väte som en långsiktig ersättning för fossila bränslen för land- och lufttransport måste allvarligt betraktas som den logiska ersättningen för kolväten under 2000-talet." Trots ett antal bakslag för vätgas ser vi nu ett globalt uppsving av vätgastillämpningar som ytterligare påskyndas pga. vätgasens förmåga att minska klimatutsläppen inom olika sektorer.

Många länder har visat intresse för att främja integrationen av vätgas i energisystemet men drivkrafterna skiljer sig på grund av olika förutsättningar. I Japan motiveras satsningar på vätgas framförallt för en ökad energisäkerhet, oavsett hur den produceras. Japans energiförsörjning är idag dominerad av import av olja och flytande naturgas (LNG). Detta innebär att landet är beroende av ett fåtal länder, framförallt i mellanöstern. Att ersätta delar av detta med vätgas som kan importeras från andra länder ses som en viktig lösning för att minska sårbarheten. Denna vätgas kommer dock troligen att mestadels produceras från brunkol i Australien⁶ vilket skulle kunna leda till högre koldioxidutsläpp totalt, även om vätgasen hjälper Japan att sänka sina utsläpp⁷. Ett alternativ är också att importera ammoniak som bränsle för storskalig elproduktion. I Tyskland har Energiewende förstärkt behovet av energilagring för att jämna ut såväl dygns- som säsongsvariationer i nätet medan det i USA satsas mycket på bränslecellsutveckling som använder vätgas i bland annat gaffeltruckar och som reservkraft för sjukhus, kontor och mobiltelefoner. Senast i december 2020 tillkännagav US Department of Energy (DOE)⁸ att man satsar 33 miljoner dollar i finansiering för att stödja forskning och utveckling av innovativa vätgas- och bränslecellslösningar som ska stödja genomförandet av deras vätgasplan⁹. Förutom kostnadsänkningar och prestandaförbättringar vill man med denna insats stärka framväxten av en inhemsk försörjningskedja för teknik och applikationer för vätgas och bränsleceller.

I studien "International Hydrogen Strategies" som har tagits fram av World Energy Council Germany¹⁰ finns en sammanställning över vätgasstrategier och policyåtgärder för sexton olika länder samt EU. Dessa länder valdes ut ur en första screening av 56 länder som täckte 90% av den globala BNP'n. Undersökningen visar att det finns många länder som på något sätt samordnar och främjar vätgassatsningar med hjälp av olika stödinsatser på nationell nivå och framtagandet av vätgasstrategier. Det gemensamma målet med dessa strategier är att minska växthusgasutsläpp oftast kombinerad med högre integration av förnybara källor, ett mer robust energisystem genom en diversifiering av produktionsmixen, stödja teknisk utveckling och ekonomisk tillväxt som i vissa länder också kopplas till exportmöjligheter.

⁵ Jones, L., 1970: Toward a Liquid Hydrogen Fuel Economy, Environmental Science.

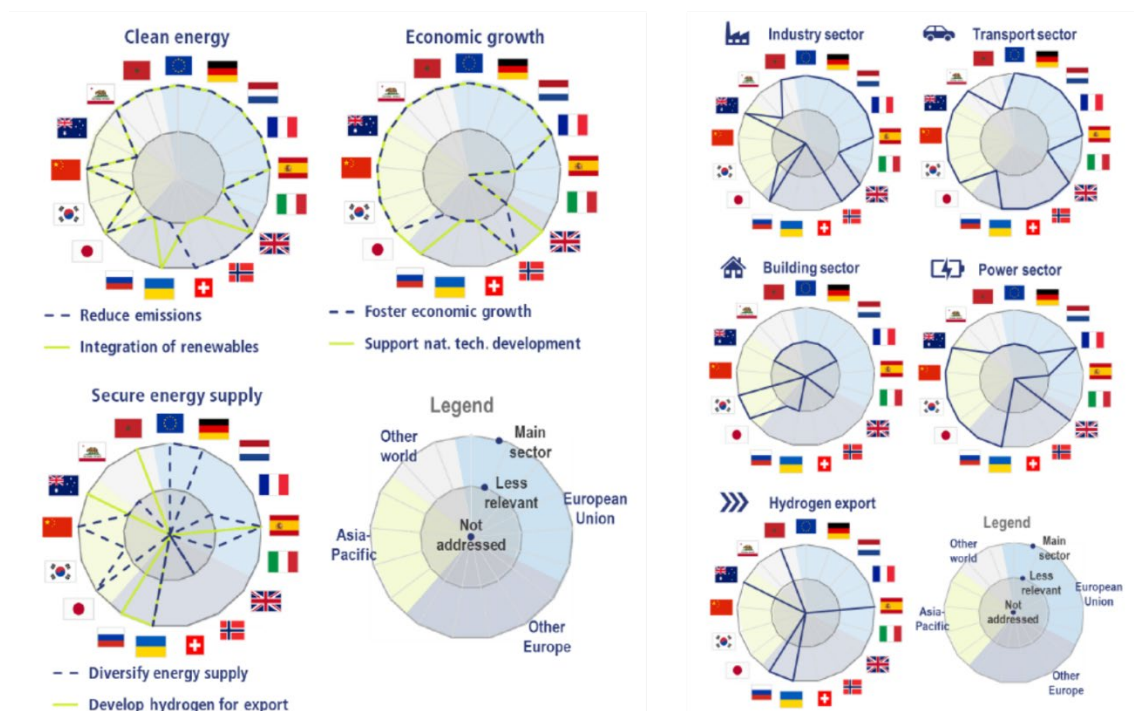
⁶ Financial Times, 2020: <https://www.ft.com/content/5a18dc92-ae8c-4b27-98fc-ed7f1465980e>

⁷ The Japan Times, 2020: <https://www.japantimes.co.jp/news/2020/11/04/business/japanese-new-hydrogen-project/>

⁸ U.S. Department of Energy (DOE), 2020: <https://www.energy.gov/eere/articles/energy-department-announces-33-million-advance-hydrogen-and-fuel-cell-rd-and-h2scale>

⁹ U.S. Department of Energy (DOE), 2020: <https://www.energy.gov/articles/energy-department-releases-its-hydrogen-program-plan>

¹⁰ World Energy Council, 2020: International hydrogen strategies: A study commissioned by and in cooperation with the World Energy Council Germany. Final Report.



Figur 4: Huvuddrivkrafter och målsektorer för aktuella vätgasstrategier per land, källa: World Energy Council, 2020

Mer information om vart och ett av dessa länder finns i de internationella vätgasstrategierna som den internationella studien hänvisar till.

Dessutom finns det ett omfattande engagemang från EU för att skapa en ekonomisk och hållbar vätgasvärdekedja för grön vätgas i Europa som en av åtgärderna i EU kommissionen sin nya tillväxtstrategi, den gröna given som lanserades hösten 2019¹¹. Den gröna given syftar till att göra ekonomin hållbar och omfattar alla sektorer av ekonomin, inklusive transport och energisektorn samt olika industrier samtidigt som man siktar på en minskning av utsläppen med 55% i förhållande till 1990 fram till 2030 och deras fullständiga eliminering till 2050.

Ambition om hållbarhet för alla steg i vätgasvärdekedjan och vätgasens centrala roll i ett integrerat energisystem manifesterades juli 2020 i två sammanlänkade kommunikationer från den Europeiska kommissionen, "EU's strategi för integrering av energisystemet"¹² som kompletteras av "En vätgasstrategi för ett klimatneutralt Europa"¹³. Vätgasstrategin beskriver närmare möjligheterna och de nödvändiga åtgärderna för att trappa upp användningen av vätgas inom ramen för ett integrerat energisystem fram till 2050.

EU:s prioritering är att utveckla vätgasproduktion från förnybar el, som man anser är den renaste lösningen men medger att man under en övergångsfas behöver andra former av så kallad "koldioxidsnål vätgas" för att ersätta befintlig vätgas. EU Kommissionen beskriver i detalj en omfattande plan för produktion och distribution av "grön vätgas", med andra ord

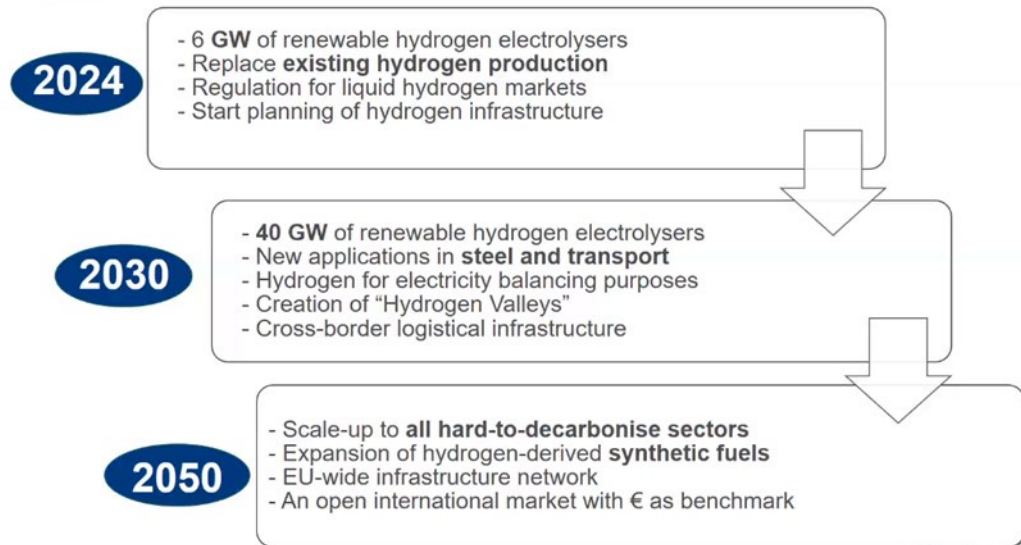
¹¹ EU kommissionen: COM(2019) 640 final: Den europeiska gröna given

¹² EU kommissionen COM(2020) 299 final: EU's strategi för integrering av energisystemet

¹³ EU kommissionen COM(2020) 301 final: En vätgasstrategi för ett klimatneutralt Europa

vätgas som elektrolyseras från vatten med hjälp av enbart förnybar energi. Denna övergång sker dock gradvis och i olika faser enligt Figur 5.

The Hydrogen Strategy – a roadmap to 2050



Figur 5: EU:s tidslinje för aktivering av vätgasmarknaden 2020–2050, Bildkälla: EU kommissionen

Planen är framförallt uppbyggd kring en ökning av elektrolyskapaciteten i EU från nuvarande 60 MW till 6 GW till 2024 och till 40 GW till 2030, till en kostnad av mellan 24 och 42 miljarder euro. Att förse alla dessa elektrolysörer med förnybar energi kommer att kräva ytterligare utgifter på 220–340 miljarder euro för investeringar i 80–120 GW för ny sol- och vindkraftsproduktion. Sedan tillkommer det 11 miljarder euro för att komplettera hälften av befintliga fossilbaserade vätgas-anläggningar med avskiljning och lagring av koldioxid och 65 miljarder euro för vätgas-, distributions-, lagrings- och tankningsstationer¹⁴.

Summan uppgår totalt till mellan 320 och 458 miljarder euro. En del av finansieringen kommer från den gröna given, var totala budget uppgår till 1 biljon euro, två tredjedelar i form av bidrag och en tredjedel i form av lån. Men detta måste täcka mycket mer än bara vätgasstrategin. Medlemsstaterna och den privata sektorn förväntas också bidra med finansieringsstöd - och i skrivande stund har fem länder åtagit sig att totalt 26 GW av 40 GW-målet för elektrolyskapacitet för 2030.

¹⁴ PV Magazine, 2020: EU hydrogen strategy could drive 120 GW of renewables capacity (<https://www.pv-magazine.com/2020/07/09/eu-hydrogen-strategy-could-drive-120-gw-of-renewables-capacity/>)

Full value chain approach	Actions oriented towards	Main tools involved	Progress so far
An investment agenda	<ul style="list-style-type: none"> • Create project pipeline • €220-340bln renewable power, €24-42bln electrolyzers, €65bln infrastructure 	Clean Hydrogen Alliance, Invest EU, IPCEI, State aid, Cohesion policy, EGHAC	<ul style="list-style-type: none"> • Clean Hydrogen Alliance • State Aid reforms and IPCEI (closed Dec 20) • RFF Flagship "Power Up" • Consultation on revision ETD (closed Oct 20) • Ongoing EU taxonomy for sustainable finance
Boosting demand and scale up production	<ul style="list-style-type: none"> • Comprehensive terminology and EU-wide certification of hydrogen • Support schemes and CCfD for renewable and low-carbon hydrogen • Demand-side policies in end-use sectors 	RED, EU ETS, Transport policy, Industrial strategies	<ul style="list-style-type: none"> • Smart and sustainable mobility strategy • Hydrogen with raw materials strategy • Launch of offshore energy strategy • Consultation on revision
Develop hydrogen infrastructure and markets	<ul style="list-style-type: none"> • Planning of hydrogen transport and storage infrastructure • Rules ensuring competitive markets, enabling infrastructure development (incl. repurposing) whilst retaining integrity of internal gas market 	TYNDPs, TEN-E, TEN-T, AFID, CEF, decarbonisation of gas package	<ul style="list-style-type: none"> • Ongoing TEN-E revision • CEF-renewables eligible for RRF • Preparation of decarbonisation of gas package
Research and innovation	<ul style="list-style-type: none"> • Scale up electrolyzers • Develop hydrogen value chain • Innovative hydrogen technologies 	Clean Hydrogen Partnership, ETS Innovation Fund, Horizon Europe	<ul style="list-style-type: none"> • Clean Hydrogen partnership • H2020 electrolyser call open (until Jan 21) • First call ETS Innovation Fund closed
International dimension	<ul style="list-style-type: none"> • International standards, regulation and definitions for hydrogen • Promote cooperation 	IEA, IRENA, CEM, G20, Neighbourhood policy, EU-Africa Green Energy Initiative, bilateral energy dialogues, € benchmark	<ul style="list-style-type: none"> • Technical meetings with India/US • Engagements with Australia/Chile/Morocco/UAE • EC is chairing green hydrogen platform under IRENA

Fig. 6: Översikt över EU's handlingsplan för vätgasstrategin, bildkälla: EU kommissionen, modifierad.

2 Utmaningar och möjligheter

Det finns både utmaningar och möjligheter vid introduktionen av vätgas i energisystemet – och nyttorna vätgasen kan ha i framtidens energisystem bör alltid ses ihop med utvecklingen av andra energibärare. Ökad flexibilitet och effektbalansering av elsystemet kan behöva en kombination av olika lagringsmöjligheter som kompletterar varandra och inte bör ses som konkurrenter, se figur 1. En kombination av vätgas och batterier öppnar upp för lagring från bråkdelar av en sekund till veckor och månader och kan därmed bidra med flexibilitets tjänster för både korta och långa tidshorisonter

2.1 Utmaningar kopplade till produktion av vätgas

Produktion av grön vätgas är mycket energiintensiv med många förluster över hela värdekedjan. Kostnader, teknisk omognad, systemeffektivitet, säkerhetsproblem och brist på standard i hela värdekedjan inklusive produktion, överföring, lagring och slutanvändning är några av de problem som behöver lösas.

Elektrolysörer är en viktig komponent i den gröna vätgasförsörjningskedjan och dess mognad, kostnad och effektivitet är avgörande. Tekniken måste utvecklas vidare för att förbättra effektiviteten och minska kostnaderna. De vanligaste elektrolysörerna är Alkaline (ALK), Proton Exchange Membrane (PEM) och Solid Oxide Electrolysis (SOE). Dessa teknologier och deras status beskrivs kort i tabell 1. Tabellen visar att PEM och alkaliska bränsleceller har driftsegenskaper som ger olika flexibilitetsförmåga beroende på den responstid och reglerbarhet som krävs.

		ALK	PEM	SOE
Maturity level		Commercial (85% of the market)	Commercial, small-scale and medium (early market)	R&D
CAPEX (\$/kW)		950-1750	1650-2500	N/A
Nominal stack efficiency (LHV)		63-71%	60-88%	100%
Operating Temperature (°C)		100-150	70-90	700-800
Flexibility Capability	Load range	15–100% of nominal load	0–160% of nominal load	
	Start-up	1–10 minutes	1 second–5 minutes	
	Ramp-up	0.2–20% per second	100% per second	
	Ramp-down	0.2–20% per second	100% per second	
	Shutdown	1–10 minutes	Second 's	

Tabell 1 Elektrolyser-teknik, IRENA 2019¹⁵

Elektrolysörers kostnader har sjunkit avsevärt de senaste åren. Bloomberg NEF har tillhandahållit en kostnadsprognos för alkaliska elektrolysörer¹⁶. Några av dessa beräknade kostnader visas i tabell 2.

År	Optimistisk (Kina)	Optimistisk (Övriga länder)	Konservativ (Kina)	Konservativ (Övriga länder)
2019	200	1200	200	1200
2030	115	115	135	135
2050	80	80	98	98

Tabell 2: CAPEX för Alkaliskt elektrolyssystem i Kina och andra länder: prognostisering (storskaliga projekt) (\$/kW). Datakälla: BloombergNEF (2020)

I tabellen ser vi ett dramatiskt prisfall utanför Kina under de närmaste 10 åren. Enligt Bloomberg NEF¹⁷, skulle anledningarna för detta kostnadsfall i Europa för alkaliska elektrolyssystem bero på att följande punkter uppfylls:

- Högre produktionsstakt och automatiserad tillverkning
- Billigare råvaror med en ökad och stabilare marknad
- Större projektstorlek och skalekonomi; för tillfället är de flesta av projekten under 10 MW, en storlek på +100 MW krävs för lägre kostnader pga. skaleffekter
- Modular konstruktion som kan få ner kostnaden ytterligare.

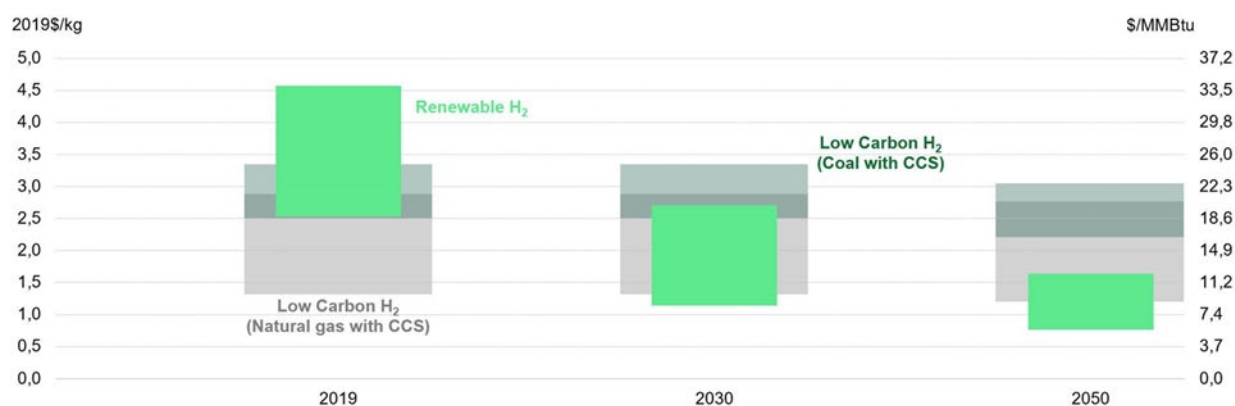
Modularitet och storskalighet kan antas vara parallella utvecklingsspår, speciellt då man fortfarande befinner sig i ett tidigt utvecklingsstadium. Även om kostnaden för elektrolysörer är betydande utgör kostnaden för den förnybara energin den viktigaste parametern i spannet. Här

¹⁵ IRENA, 2019: Innovation landscape brief: Renewable Power-to-Hydrogen, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

¹⁶ Bloomberg NEF, 2020: Hydrogen Economy Outlook 2020

¹⁷ Bloomberg NEF, 2020: Hydrogen Economy Outlook 2020

ligger vi i Skandinavien i det absolut lägsta området. År 2030 förväntas kostnaden för grön vätgas att ligga inom intervallet 7 – 20 \$/MMBtu enligt BloombergNEF. Det ska jämföras med snittpriser för naturgas i OECD som nu ligger på ca 11 \$. Med dessa prognoser kommer grön vätgas med största sannolikhet att vara billigare än naturgas 2030. Det gäller speciellt för länder där man har tillgång till billig förnybar el som till exempel Sverige.



Source: BloombergNEF. Note: renewable hydrogen costs based on large projects with optimistic projections for capex. Natural gas prices range from \$1.1-10.3/MMBtu, coal from \$40-116/t.

Figur 7: Kostnadsutveckling för grön vätgas i \$/MMBtu. Datakälla: BloombergNEF (2020)¹⁸

2.1.1 Komplexa värdekedjor och sektorskoppling

Värdekedjans komplexitet är en viktig som behöver adresseras. Dekarbonisering med hjälp av vätgas- och koppling till andra sektorer inom energisystemet involverar flera intressenter och samordningen är utmanande. Synkroniserade investeringar i hela värdekedjan inklusive produktion, lagring, transport, leverans och användning är nödvändiga för utvecklingen av vätgasekonomin mellan offentliga och privata aktörer, olika industrisegment och på lokal, nationell och internationell nivå. Ur ett svenskt perspektiv är dessutom värdekedjorna lokala vilket ger ytterligare komplikationer något som också bekräftades på workshopen som genomfördes av Energimyndigheten och EIT InnoEnergy i december 2020. Sammanställningen från workshopen finns i sin helhet som appendix i slutet av rapporten.¹⁹ Därför är regeringens roll i införandet av den nödvändiga politiken och samordningen av dessa komplexa värdekedjor avgörande.

2.1.2 Lokala värdekedjor

De specifika svenska förhållanden med en god lagringsförmåga i vattenkraften samt avsaknaden av ett utbyggt distributionsnät för gas gör att värdekedjorna blir lokala vilket utgör ytterligare utmaningar tex då vätgas utnyttjas för att absorbera överskottsproduktion av förnyelsebar el. [appendix 1]. Energimyndigheten har adresserat detta bland annat sitt arbete med strateginoder för sektorskoppling runt vätgas. Ett exempel på det är kopplingen mellan

¹⁸ Bloomberg NEF, 2020: Hydrogen Economy Outlook 2020

¹⁹ Appendix, 2020: Workshop "Vätgas för flexibelt och robust energisystem" hållen av Energimyndigheten och EIT Innoenergy 2020-12-11. Dokumentation som appendix till denna rapport.

havsbaserad vindkraft och lokal produktion av vätgas vilket kan bidra till en ökad nyttjandegrad av vindkraften och där vätgasen kan vidareförädlas till e-bränsle för att dekarbonisera sjöfarten.

2.1.3 Lagring, distribution och säkerhet

Lagring och distribution av vätgas och relaterade säkerhetsfrågor, samt teknisk omogenhet utgör några av de mest utmanande delarna av vätgas-värdekedjan och kan vara avgörande för kostnadsreduktion och genomförbarhet i ett projekt. Underjordisk trycksatt lagring av vätgas i naturliga geologiska formationer (bergrum, saltkupoler, akviferer eller utvunna naturgasgasfält) är ett kostnadseffektivt sätt att storskaligt lagra vätgas. I Sverige saknas naturliga geologiska formationer i Sverige (Appendix) och man behöver därför utveckla teknik som är anpassad till svenska geologiska förhållanden. Tekniken Lined Rock Cavern (LRC) används redan idag för naturgaslager men behöver utvecklas för vätgas, vilket görs som ett pilotprojekt inom HYBRIT²⁰. Det tillfälliga vätgaslagret inom HYBRIT's pilotprojektet uppfyller alla gällande normer och regler och har beviljats bygglov. Trots detta behövs, förutom teknisk utveckling, en vidareutveckling av nationella och internationella regler och standarder för att hantera utmaningar kring säkerhet, tillstånds- och acceptansfrågor när underjordiska trycksatta anläggningar ska implementeras i större skala.

2.1.4 Regelverk och policyåtgärder

Stödjande regelverk och policyåtgärder krävs för att skapa ett integrerat energisystem som fungerar som en helhet. Vätgas i Sverige är i först hand ett medel för dekarbonisering av industriella processer (Appendix) och vilket gör att ökat regleringstryck på minskade CO₂ utsläpp (ETS, CO₂ beskattning etc.) kommer att gynna vätgas-introduktion. Värdering av systemnyttor, ökad resiliens och ursprungsgarantier är några andra frågor som bör definieras och konkretiseras. I direktivet om förnybar energi ges till exempel möjlighet att statistiskt räkna in vätgas som produceras i anläggningar som är anslutna till elnätet som 100 % förnybar energi, förutsatt att vissa villkor är uppfyllda, även om elmixen har en låg andel förnybar el. Kommissionen kommer under 2021 att lägga fram en delegerad akt som fastställer villkoren²¹. EU kommissionen kommer även föreslå olika policy- och lagstiftningsåtgärder inom ramen för såväl strategin för ett integrerat energisystem som vätgasstrategin särskilt inom ramen för Next Generation EU som är en del av EU's större återhämtningsplan "Europe's moment: Repair and prepare for the next generation"²². Några generella hinder och möjliga policyåtgärder för olika sektorer visas i sammanställningen som återfinns i av IRENA vägledning för policymärkning²³.

2.2 Möjligheter kopplade till ökad användning av vätgas

²⁰ Energimyndigheten, 2018: HYBRIT Pilotanläggning - genomförbarhetsstudie

²¹ EU kommissionen: COM(2020) 301 final. En vätgasstrategi för ett klimatneutral Europa.

²² EU kommissionen, 2020: COM(2020) 456 final. Europe's moment: Repair and Prepare for the Next Generation

²³ IRENA, 2018: Power system flexibility for the energy transition, Part 1: Overview for policy makers.

En ökad användning av vätgas i samhället oavsett anledning kommer att ha en inverkan på energisystemet i stort. Nedan följer ett antal områden som möjliggörs genom en ökad andel vätgas i energisystemet.

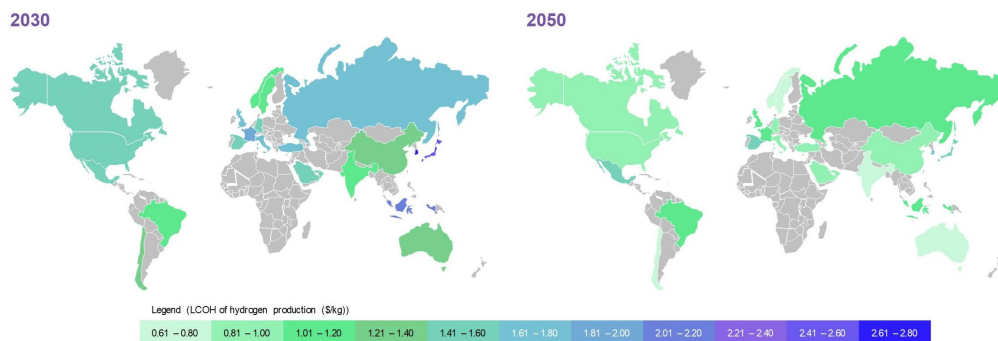
2.2.1 Systemtjänster för det svenska elsystemet

Genom framställningen av vätgas via elektrolys kommer en ny reglerresurs för elnätet att erbjudas där responstiden på elektrolysörerna styr vilken typ av systemtjänster som kommer att kunna erbjudas (Appendix). Utnyttjande av vätgas i industriella processer som direktreduktion av järn till stål innebär en möjlighet att ”lagra” el i en intermediär produkt och på så sätt absorbera överskott av el i systemet. Vätgas i vidareprocessad till flytande bränsle kan dessutom utgöra en möjlighet för energitransmission utanför elnäten.

2.2.2 Sjunkande kostnader för förnybar el är en möjlighet

Kostnaderna för förnybar kraft från vind och solceller kommer att minska i framtiden. Väteintegration i energisystemet kräver massiv utbyggnad av sol- och vindkraft. Detta kommer att sänka kostnaderna för solceller och vindkraft ytterligare på grund av industriella skaleffekter. På så sätt kommer vätgasintroduktionen oavsett anledning att skapa ett integrerat energisystem. Sverige har ovanligt goda förutsättningar för billig vätgas då vi har mycket låga priser för förnybar elproduktion. Bloomberg NEF²⁴ uppskattar att Sverige tillhör en av de mest gynnsamma regionerna i världen där redan 2030 grön vätgas kan produceras för runt 1\$/kg vilket gör att vätgasen kan direkt konkurrera med naturgas.

LCOH of hydrogen production from renewables - 2030



Source: BloombergNEF. Note: LCOH assuming our optimistic projection for alkaline electrolyzer costs. Costs would be 6% higher in 2030 and 18% higher in 2050 if the conservative projection for electrolyzer costs is used instead.

13 Hydrogen Economy Outlook | March 30, 2020

BloombergNEF

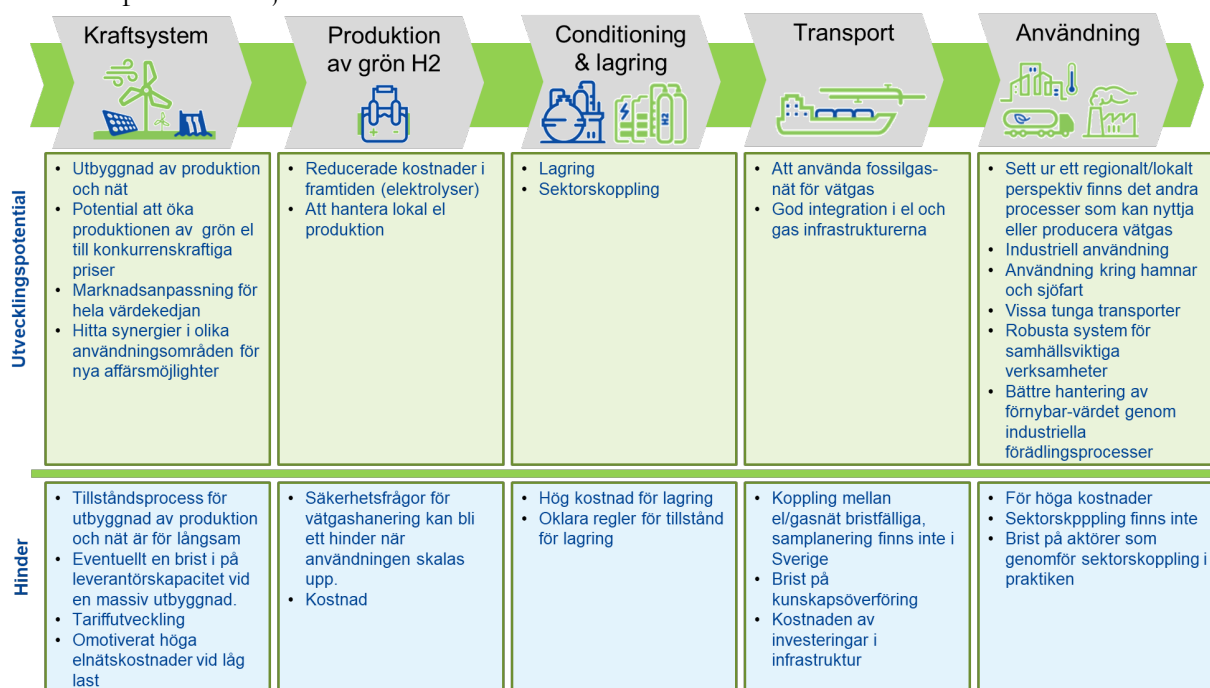
Figur 8: Förväntade produktionskostnader för grön vätgas för 2030 och 2050 enligt BloombergNEF, 2020.

2.2.3 Möjligheter med vätgas ur ett svenskt perspektiv

För att ytterligare kartlägga hur vätgasintroduktion kan utgöra en möjlighet specifikt för Sverige så genomfördes en värdekedjeanalys under workshopen (Appendix). I den diskuterades mer

²⁴ Bloomberg NEF, 2020: Hydrogen Economy Outlook 2020

ingående utvecklingspotentialen och hinder för olika sektorer ur ett svenskt perspektiv. Nedanstående figur reflekterar i en kondenserad form det som framkom på workshopen med avseende på värdekedjan.



Figur 9: En värdekedjeanalys för Sverige, utvecklingsområden och hinder²⁵

Förutom det som redovisats ovan framkom ytterligare några möjligheter under diskussionerna:

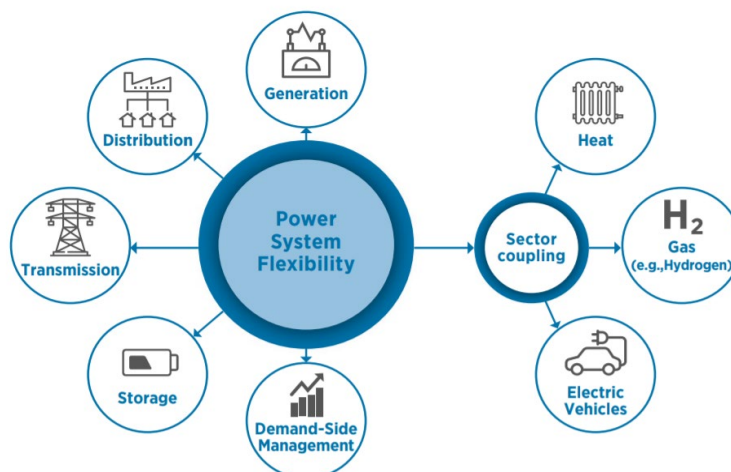
- Sett ur ett regionalt/lokalt perspektiv så finns det andra processer som kan nyttja eller producera vätgas. Exempel på detta är tätorter där det finns kommunala eller industriella uppvärmningsbehov.
- Det nationella reservkraftsystemet som idag baseras på fossila gasturbiner skulle kunna ställas om till fossilfrihet genom att utnyttja den senaste utvecklingen på vätgasturbiner.
- Skapa lokala, småskaliga värdekedjor som producerar många nyttor: flexibilitet, drivmedel för jordbruk, gödsel, syrgas.
- Minskat importberoendet av olja genom att utnyttja ”elektrobränslen” och vätgas som råvara i kemi-industrin.

²⁵ Workshop ”Vätgas för flexibelt och robust energisystem” hållen av Energimyndigheten och EIT InnoEnergy 2020-12-11.

3 Grön vätgas i ett flexibelt och robust energisystem

3.1 En komponent i ett flexibelt och robust energisystem

Traditionella kraftsystem, som saknar de svenska egenskaperna med mycket reglerbar kraftproduktion, har svårt att hantera de variabla energikällorna som vind och sol som nu byggs ut i en mycket hög takt. En växande andel intermittent förnybar energi orsakar komplexitet och flexibilitetsutmaningar. Ett flexibelt och robust kraftsystem kan bättre matcha efterfrågan och produktion. Det kan hantera fluktuationer och osäkerhet i ett system dominerat av RES samtidigt som slutanvändarnas krav tillgodoses²⁶. Sektorkopplingen i ett flexibelt energisystem illustreras i figur 5.



Figur 10 Möjliga sektors-kopplingar inom energisektorn, bildkälla:IRENA 2018

Definitionen av flexibilitet och robusthet är dock inte alltid enkel. International Smart Grid Action Network (ISGAN) har tagit fram ett förslag på definition för olika typer av flexibilitet som kan vara en bra ansats²⁷.

²⁶ IRENA, 2018: Power system flexibility for the energy transition, Part 1: Overview for policy makers.

²⁷ ISGAN, 2019: Power Transmission & Distribution Systems Flexibility needs in the future power system. Discussion paper.

Typ av flexibilitet	Behov	Motiv	Tidsskala för aktivering
Effekt	Kortsiktig balans i strömförsörjning och kraft och upprätthålla frekvensstabilitet över hela systemets frekvensstabilitet.	Ökad andel av RES i produktionsmixen.	Bråkdelar av en sekund upp till en timme
Energi	Balans på medellång till lång sikt mellan energitillgång och efterfrågan, krav på efterfrågescenarier över tiden i hela energisystemet.	Minskad mängd bränslelagringsbaserad energi-försörjning i produktionsmixen.	Timmar till flera år
Överföringskapacitet	Förmåga på kort till medellång sikt att överföra kraft mellan tillgång och efterfrågan, där lokala eller regionala restriktioner kan orsaka flaskhalsar som leder till trängselkostnader	Ökat utnyttjande med ökad toppefterfrågan och topputbud.	Minuter till flera timmar.
Spänning	Kortvarig förmåga att hålla busspänningarna inom fördefinierade begränsningar, ett lokalt och regionalt krav.	Högre andel distribuerad kraftproduktion i distributionssystemen, vilket resulterar i dubbelriktade kraftflöden och fler förändringar i driftscenarier.	Sekunder till tiotals minuter

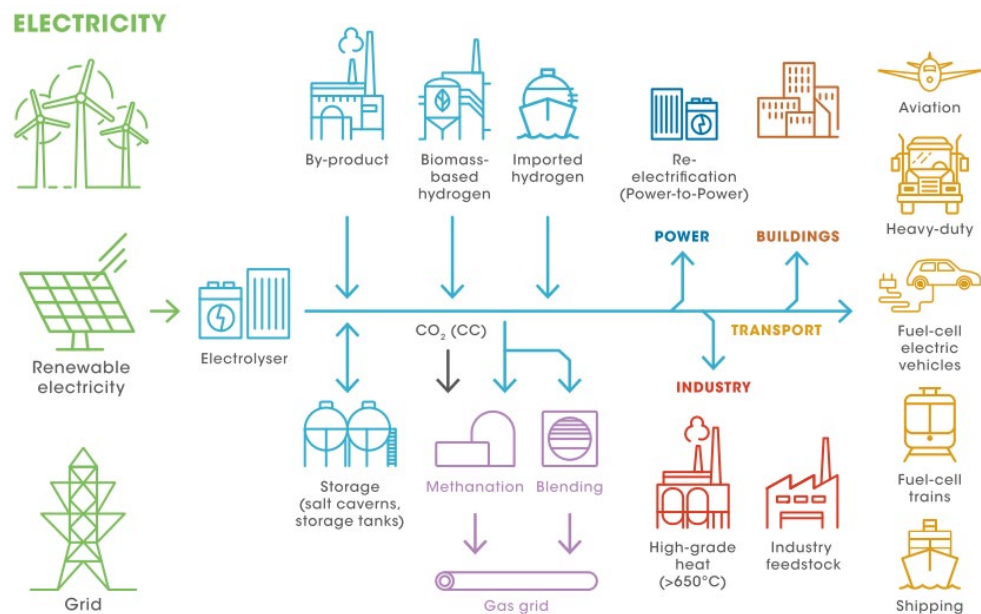
Figur 11 Flexibilitetsdefinition baserad på ISGAN (2019)

En koppling mellan vätgas-produktion och -användning och det existerande elsystemet har en potential att kunna stötta med flexibilitetstjänster för de flesta av de ovan angivna typerna av flexibilitetstjänster.

3.2 Hur grön vätgas kan bidra i ett robust och flexibelt energisystem för Sverige

Vätgasen kan användas som råvara, bränsle eller energibärare och för att lagra energi. Genom sin mångsidighet kan den i framtidens integrerade energisystem inte bara bidra till att minska utsläppen av växthusgaser inom industrin, transport, kraftproduktion och byggnadssektorn samt bidra till sektorkopplingar.

De olika aspekterna av sektorkoppling, dekarbonisering av energisystemet och flexibilitetspotentialen i hela försörjningskedjan illustreras i figur 8. Vätgasen kan produceras från olika energikällor och utnyttjas i olika sektorer vilket ökar robustheten i hela energisystemet.



Figur 12: Produktion av grön vätgas och dess bidrag vid sektorkoppling Bildkälla: IRENA 2019

Många strategier ser vätgas i första hand som en **lagringslösning** (långvarig och kortvarig) för att balansera fluktuerande förnybara kraftflöden och därigenom möjliggöra en högre andel intermittent förnybar energi såsom vind och sol i ett system. Vätgas som produceras i en elektrolysör kan användas i gasform, som bränsle eller omvandlas till elektricitet i en bränslecell eller gasturbin. I ett utbyggt gasnät kan vätgas injiceras direkt och därmed utgöra ett lagringsbart grönt bränsle. Som bränsle kan det användas inom transportsektorn antingen i bränslecellsfordon eller omvandlas till ett syntetiskt bränsle som kan användas inom marin- eller flygindustrin.

Ur ett **svenskt** perspektiv så är det inte lagringskapaciteten som betraktas som den primära nyttan av grön vätgas utan det är istället möjligheten till dekarboniseringen av industriella processer där det annars är svårt att minska CO₂ utsläppen.

Industrisektorer som stål, biobränsle, kemikalier och cement kan använda vätgas för att minska sina växthusutsläpp samtidigt som de kan bidra med flexibilitetstjänster i energisystemet. Några ytterligare industriella användningsområden:

- Ammoniak och syntetiska bränslen och produktion av konstgödsel
- Metanproduktion från med infångad CO₂ i en metaniseringsprocess
- Framställning av syntetiskt flytande bränsle från biomassa
- Direktreduktion med vätgas för produktion av järnsvamp och råjärn (t.ex. HYBRIT)

Industriella processer anses vara sektorer som är viktiga källor till flexibilitet och förutspås bli ännu viktigare i framtiden. Elektrolysören kan absorbera den genererade effekten av RES-källor som annars måste begränsas. Sverige har till exempel ambitionen att använda grön vätgas inom stålindustrin för att ersätta fossil koks och bränslegas (HYBRIT-projektet). Detta kräver en stor mängd förnybar elproduktion. Stålindustrin är huvudsakligen belägen i norr där det finns överskottskraft på grund av begränsningar i transmissionsnätet söderut. Därför skulle stålindustrin i ett vätgasscenario kunna fungera som aktör på balansmarknaden och en källa till flexibilitet

En av de möjliga vägarna för dekarbonisering av transportsektorn (tung transport, flyg, sjöfart) är att använda grön vätgas i bränsleceller eller produktion av elektro-bränsle. Med ambitionen att dekarbonisera de delar av transportsektorn som är svåra att komma åt på annat sätt så kommer en stor mängd vätgas att vara nödvändig därför kan det också fungera som en källa till flexibilitet vid produktionen. Ur ett svenskt perspektiv skulle detta kunna passa in i lokala värdekedjor för vätgas och således kunna bidra med lokala tjänster för exempelvis el-distributionsnät.

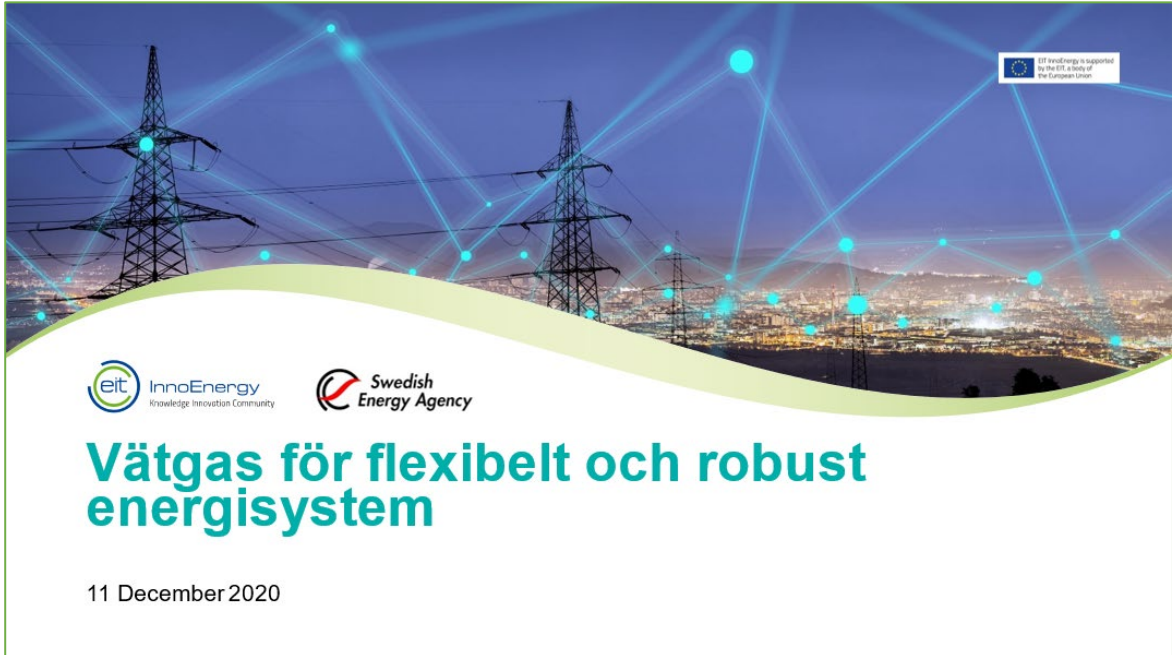
För att fullt ut fånga den potentiella flexibiliteten från industri- och transportsektorn är det dessutom viktigt att införa en marknadsmodell med förutsägbara, rättvisa och transparenta ersättningssystem för att hjälpa industrier att investera i elektrifiering och lagring.

● Litteraturförteckning

- Appendix, 2020: Workshop ”Vätgas för flexibelt och robust energisystem” hållen av Energimyndigheten och EIT InnoEnergy 2020-12-11. Dokumentation som appendix till denna rapport.
- Bloomberg NEF, 2017: Hydrogen as a source of grid flexibility.
- Bloomberg NEF, 2020: Hydrogen Economy Outlook 2020
- EU kommissionen: COM(2019) 640 final: Den europeiska gröna given
- EU kommissionen, 2020: Factsheet on EU Energy System Integration Strategy:
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/866407/EU_Energy_System_Integration_Strategy.pdf
- EU kommissionen COM(2020) 299 final: EU's strategi för integrering av energisystemet
- EU kommissionen COM(2020) 301 final: En vätgasstrategi för ett klimatneutralt Europa
- Financial Times, 2020: <https://www.ft.com/content/5a18dc92-ae8c-4b27-98fc-ed7f1465980e>
- IEA, 2019: The Future of Hydrogen for G20. Seizing today's opportunities. Rep. Prep. by IEA G20, Japan, vol. 6, no. June, pp. 246–256.
- IRENA, 2018: Power system flexibility for the energy transition, Part 1: Overview for policy makers.
- IRENA, 2019: Innovation landscape brief: Renewable Power-to-Hydrogen, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi
- ISGAN, 2019: Power Transmission & Distribution Systems Flexibility needs in the future power system. Discussion paper.
- Jones, L., 1970: Toward a Liquid Hydrogen Fuel Economy, Environmental Science.
- The Japan Times, 2020:
<https://www.japantimes.co.jp/news/2020/11/04/business/japanese-new-hydrogen-project/>
- U.S. Department of Energy (DOE), 2020: <https://www.energy.gov/eere/articles/energy-department-announces-33-million-advance-hydrogen-and-fuel-cell-rd-and-h2scale>
- U.S. Department of Energy (DOE), 2020: <https://www.energy.gov/articles/energy-department-releases-its-hydrogen-program-plan>
- World Energy Council, 2020: International hydrogen strategies: A study commissioned by and in cooperation with the World Energy Council Germany. Final Report.
- Workshop ”Vätgas för flexibelt och robust energisystem” hållen av Energimyndigheten och EIT InnoEnergy 2020-12-11.

Appendix:

Workshop ”Vätgas för flexibelt och robust energisystem” hållen av Energimyndigheten och EIT InnoEnergy 2020-12-11.



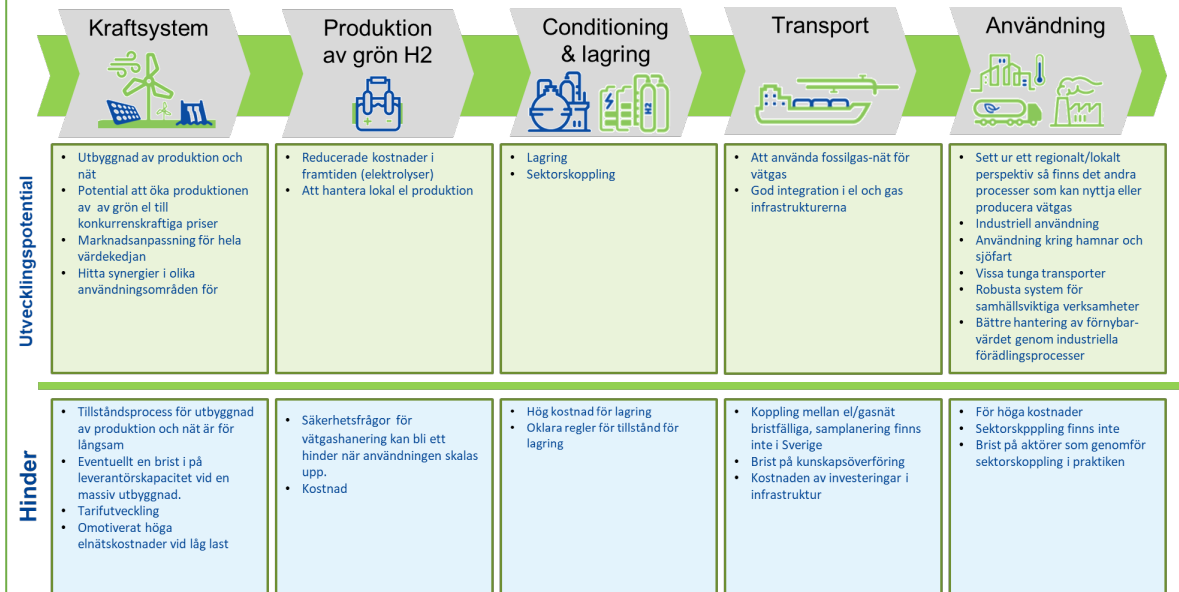
The cover features a night-time photograph of a city skyline with power lines and pylons, overlaid with a network of glowing blue lines and nodes. Logos for EIT InnoEnergy and the Swedish Energy Agency are visible. A small logo in the top right corner states 'EIT InnoEnergy is supported by the EIT, a body of the European Union'.

Vätgas för flexibelt och robust energisystem

11 December 2020

Frageställning som ligger till grund för diskussionen: Vätgasens roll i ett robust och flexibelt energisystem i Sverige	
STYRKOR	SVAGHETER
<ul style="list-style-type: none">• Vål fungerande elmarknad• Lågt elpris• Elsystem med låga koldioxidutsläpp• Hög andel av förnybara energikällor i energisystemet• Storskaliga fossilfria industriella initiativ som HYBRIT/”Green Steel”• Vätgas det enda alternativet för dekarbonisering av industriella processer.• Det finns ytor att bygga förnyelsebart på i Sverige• Stark tung fordonsindustri som kan vara avnämare• Möjlighet att använda spillvärme från produktion av vätgas i fjärrvärme system• Möjlighet att använda spillvärme från bränsleceller för att värma byggnader• Starka synergier med sol, CH₄, värmeproduktion, O₂ (medicinsk + processtillämpning)• Energisystemkompetens finns i Sverige• Material kunskap för elektrolysörer	<ul style="list-style-type: none">• Avsaknad av en nationell distributionsinfrastruktur• Bristande hälso- och säkerhetsbestämmelser• Ännu saknas strategier och förståelse för utvecklingen i omvärlden i myndigheter och politiska församlingar.• Stödjande regelverk för innovativa och sektorsövergripande affärsmodeller saknas• Värdekedjans komplexitet och fragmentering med risk för suboptimering• Inledningsvis höga investeringskostnader• Ingen som riktigt kliver fram och gör den initiala investeringen• Ingen proaktiv planering av infrastruktur, transmissionsnät, gasnät• Långa ledtider för byggnation av produktion och nät• Kunskap saknas i alla delar av värdekedjan för att kunna ta välinformerade beslut• Avsaknad av naturliga geologiska formationer för lagring• Regelverk saknas för syntetiska bränslen• Tillståndsfrågorna: komplicerade, långdragna och svåröversägbare tillståndsprocessen (vindkraft-land/havsberad)
MÖJLIGHETER	HOT
<ul style="list-style-type: none">• Hög andel av förnybara energikällor i energisystemet• Stor potential att utnyttja land- och havsbaserad vindkraft för produktion av grön vätgas• Mer robust energisystem genom lokal och regional vätgasproduktion och användning/ Reservkraft/Effektreserv• Högre planeringsbarhet energisystemet• Att använda flexibilitet kring vätgasproduktionen• Sektorkoppling• Småskaliga vätgassystem som producerar många nyttor : flexibilitet, drivmedel för jordbruk , gödsel, syrgas...• Högre planeringsbarhet energisystemet• Exportpotential/ Export industri om utvecklingstempot är tillräckligt• Minska importberoendet av olja genom att utnyttja ”elektrobränslen” och vätgas som råvara i kemi-industrin.• Resiliensfrågan: Kan förbättra samhällets robusthet och försörja vitala funktioner (totalförsvaret)/ Vätgas kan utnyttjas för att bygga ett CO₂ fritt beredskaps system (reservkraft)	<ul style="list-style-type: none">• Konkurrerande utvecklingsvägar tar för mycket fokus, som t.ex. biobränslen ”Biofuel path dependencies”• Ensidigt fokus på en energifråga i taget• Det finns inte affärsmodeller för decentraliserade el- och värme-produktion• Teknologiska hinder/svårigheter som försenar storskalig H₂ introduktion Förväntad teknisk utveckling förverkligas inte• Industrialisering av tillverkningen av elektrolysörer när inte de låga förväntade kostnadsnivåerna.• Negativ inverkan på energisystemet (stabilitet) vid för snabb introduktion• Effektkris vid etablering

En värdekedjeanalys för Sverige, utvecklingsområden och hinder



Har du ytterligare synpunkter på dagens workshop?

Skicka dessa senast fredagen den 18 december till:

llka.vondalwigg@innoenergy.com

Tobias.walla@energimyndigheten.se

EIT InnoEnergy
Kennispoot 6th floor
John F. Kennedylaan 2
5632 AS Eindhoven
The Netherlands
Info@innoenergy.com

innoenergy.com



EIT InnoEnergy is supported by the EIT a body of the European Union