

Vätgas och vätgasinfrastruktur i det svenska energisystemet

Delrapport inom uppdraget
att samordna arbetet med
vätgas i Sverige

ER2024:07

Energimyndighetens publikationer kan laddas ner
eller beställas via energimyndigheten.se

Statens energimyndighet, mars 2024

ER 2024:07

ISSN 1403-1892

ISBN (pdf) 978-91-7993-155-1

Grafisk form: Energimyndigheten (omslag), Arkitektkopia AB (inlaga)

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

Vätgasens roll kommer att vara påtaglig i omformningen av energisystemet. Det är en ”ny energibärare” men också allt viktigare som industriell insatsvara i den industriomställning till fossilfritt som nu pågår i såväl Sverige som inom EU och även andra delar av världen. Vätgasen kommer med andra ord att vara en av nycklarna till en grön samhällsomställning genom elektrifiering, men också för enskilda verksamheter och företag som växer fram i den omställningen. Över hela Sverige pågår initiativ som syftar till att använda och producera vätgas i olika former. Behovet av specialiserade vätgasproducenter kommer med efterfrågan på större volymer av vätgas. Volymerna blir stegvis större och transportsträckorna likaså.

En utbyggd vätgasinfrastruktur har potential att både avlasta och balansera elsystemet, inte minst, där den industriella omställningen blir mycket energikrävande. I förlängningen kommer också vätgasen att kunna bidra till en stärkt energiberedskap och en högre grad av självförsörjning på energi.

De mest omedelbara hindren för en sådan utveckling ligger i bristen på anpassade regelverk. Ett sammanhållet regelverk för en svensk vätgasmarknad behöver tas fram, så att roller och villkor blir tydliga. Regelverk behövs för långsiktig trygghet och tydlighet för att möjliggöra investeringarna som krävs.

Vätgasen är en mångsidig energibärare och produkt med potential för att föra klimatomställningen flera steg framåt. Vi pekar i rapporten på behovet av systematisk samordning och samverkan i utvecklingen av en ”vätgasekonomi”. Vi pekar också på vikten av att ansvaret för metangas och vätgas hålls ihop för att snabba på vätgasens möjligheter i den fossilfria omställningen.

Det här är första rapporteringen i vårt regeringsuppdrag avseende vätgasens roll i dagens och morgondagens svenska energisystem. Jag vill rikta ett varmt tack till alla de myndigheter och övriga aktörer som bidragit i arbetet, samt ett stort tack till mina medarbetare inom Energimyndigheten som lett arbetet med att ta fram rapporten.

Robert Andrén
Generaldirektör

Innehåll

Sammanfattning	7
Begrepp och förkortningar	10
1 Inledning	15
1.1 Uppdraget	15
1.2 Dialog och förankring	16
1.3 Läsanvisning för rapporten.....	16
2 Infrastruktur för vätgas i det omställda energisystemet	18
2.1 Vätgasläget i Sverige.....	19
2.2 Utvecklingsvägar för vätgasinfrastruktur.....	26
3 Flexibilitet och energilagring	44
3.1 Flexibilitet för elsystemet.....	45
3.2 Flexibilitet kan ge olika nytta i olika tidsperspektiv för elsystemet	45
3.3 Förutsättningar för vätgas att bidra med flexibilitet för elsystemet	48
3.4 Energilagring för ett flexibelt vätgassystem.....	50
4 Infrastrukturens påverkan på elpriser, konkurrenskraft och miljö	53
4.1 Tillgång till infrastruktur påverkar möjligheterna för fossilfri industri	54
4.2 Utbyggd infrastruktur jämnar ut priserna på el och vätgas.....	54
4.3 Konkurrenskraftiga elpriser i Sverige	55
4.4 Miljöpåverkan	57
5 Energiberedskap och reservkraft	61
5.1 Energiberedskap	61
5.2 Fossilfri reservkraft	63
6 Koncession och säkerhet	67
6.2 Reglering för säker hantering.....	69
7 Roller och ansvar på en svensk vätgasmarknad	73

7.1	Aktörer och roller bestäms av gasmarknadsdirektivet	74
7.2	Behov av en statlig aktör	76
7.3	Erfarenheter från andra länder och sektorer	79
7.4	Behövs en statlig systemansvarig för vätgas i Sverige?... 81	
8	Styrmedel	82
8.1	Resultat av kartläggning befintliga styrmedel.....	82
8.2	Behov att analysera nya styrmedel.....	84
9	Åtgärder och uppföljningsområden	87
9.1	Åtgärdsförslag	87
9.2	Fortsatt samordning.....	89
	Referenser	91
	Bilaga: Antaganden och indata för modellering av framväxt av infrastruktur för vätgas	100
	Bilaga: Vätgasderivat	106
	Bilaga: Styrmedel på vätgasområdet	112

Sammanfattning

Sveriges nettoutsläpp av växthusgaser ska vara noll senast år 2045. De största utsläppen finns idag inom industrin och transportsektorn. Det har visat sig att tillgången på fossilfri vätgas är viktig för att göra klimatomställningen möjlig. Det gäller i synnerhet för industrin, men också i vissa delar av transportsektorn, framför allt där direkt elektrifiering inte verkar vara ett realistiskt alternativ.

Stålindustrin i norr dominerar i volym men en regional utveckling kan också ses

I Sverige är det den befintliga stålindustrins omställning till fossilfrihet, tillsammans med tillkommande industri som i norra Sverige driver på utvecklingen av fast vätgasinфраstruktur genom sin efterfrågan på stora volymer fossilfri vätgas. Men verksamheter inom produktion, transport eller användning av vätgas etableras också på andra ställen. Geografiska koncentrationer av verksamheter ser ut att etableras vid ett flertal platser över hela landet, på ett sätt som kan beskrivas som kluster.

Storskalig utbyggnad kan ske parallellt med utveckling i kluster

En kartläggning av pågående initiativ visar att såväl användning som produktion av vätgas växer fram med koncentration till vissa regioner, där flera industrier med behov av fossilfri vätgas ligger förhållandevis nära varandra. Där finns det möjlighet till samverkan och samutnyttjande av infrastruktur och andra resurser. Den transport av vätgas som sker och planeras i dessa regioner sker för närvarande med lastbil.

Modelleringar som har gjorts inom uppdraget visar att de volymer av vätgas som efterfrågas är så stora att det finns ekonomi i att producera vätgasen vid flera olika platser och att via rörledning transportera vätgasen till användare.

Utbyggnad av vätgasrörledningar kan avlasta elnätet och jämna ut toppar

En utbyggd ledningsinfrastruktur skulle göra det möjligt för fler verksamheter att få tillgång till den framväxande vätgasmarknaden. Det skulle skapa bättre förutsättningar för både producenter av vätgas och ytterligare fossilfri industri att utveckla sina verksamheter. Det skulle också öppna för att tillföra ytterligare flexibilitet till elsystemet och för förstärkt energiberedskap. Rörledningar för vätgas har potential att reducera och komplettera behovet av utbyggnad av elledningar.

Modelleringen visar också att vätgas kan komma att produceras i närliggande områden utanför Sveriges gränser och föras med rörledning till Sverige. Detta kan bli fallet om möjligheterna att bygga elproduktionskapacitet är bättre och elpriserna därmed blir lägre utanför Sveriges gränser.

Många faktorer påverkar elpriserna

Idag har Sverige konkurrenskraftiga elpriser och en betydande nettoexport av el. En trolig utveckling de kommande decennierna är att de svenska elpriserna ökar i perioder när efterfrågan utvecklas snabbare än utbudet, men det kan också komma perioder av snabbare utbudsökningar. Hur elpriserna kommer att utvecklas i förhållande till vår omvärld är osäkert och beroende av utbud och efterfrågan på elmarknaderna. Om möjligheterna att etablera och ansluta ytterligare

elproduktionskapacitet i Sverige är lika goda som i vår närmaste omvärld, kan Sverige bibehålla konkurrenskraftiga elpriser även om efterfrågan i Sverige ökar och den absoluta prisnivån inom Sverige stiger något. För att undvika tvära kast och volatilitet är det viktigt att se till att ytterligare elproduktion kommer på plats och ges tillfälle att ansluta till det svenska elsystemet kontinuerligt. En utbyggnad av vätgasrörledningar eller lokala vätgaslager kan möjliggöra flexibel elanvändning och därmed bidra till en jämnare prisbild.

Grundläggande regelverk saknas

Det är redan idag möjligt att få koncession och driva vätgasrörledningar baserat på den befintliga rörledningslagen. Det är dock angeläget att så snart som möjligt få ett uppdaterat, utvecklat och sammanhängande regelverk på plats. Det minskar osäkerheten för aktörer och investerare. Ramarna för ett sådant regelverk sätts genom gasmarknadspaketet, som nyligen har reviderats och väntas träda i kraft under våren 2024.

Senast i samband med genomförandet av gasmarknadspaketet måste frågan om statens roll avgöras när det gäller systemansvar och ägande av infrastrukturen på transmissionsnivå. Osäkerhet kring grundläggande centrala roller och ansvar riskerar annars att fördröja investeringar och därmed omställningen.

Med ökad användning av vätgas, på nya sätt och inom nya områden, följer en delvis annan riskbild och exponering för allmänheten än tidigare användning. Till skillnad från regelverk för marknadens funktion och struktur, finns det inom området säker hantering och skydd mot olyckor väl etablerade lagar, förordningar och processer. Men en rad föreskrifter och allmänna råd behöver uppdateras och kompletteras, liksom handböcker, vägledning och informationsmaterial. Detta arbete behöver ske samtidigt som ny kunskap och kompetens byggs upp hos nationella och regionala myndigheter samt kommuner.

Åtgärdsförslag

Ta snarast fram grundläggande regelverk för vätgasmarknad

Energimyndigheten föreslår att en statlig offentlig utredning tillsätts snarast för att ta fram ett samlat förslag till reglering av vätgasmarknaden i Sverige. Förslagsvis med delrapportering av prioriterade delar. Frågan om statens roll i systemansvaret och ägandet av infrastrukturen måste avgöras särskilt.

Säkerställ förutsättningar för snabb kompetensuppbyggnad och uppdatering av regler för säkerhet

Det är en betydande regelmassa som behöver ses över, inom ett område där ny kunskap och kompetens behöver byggas upp parallellt. Kunskapsuppbyggnaden behöver ske dels hos MSB, dels hos kommuner och länsstyrelser som ska tillämpa de nya reglerna. MSB har en central roll dels för regelutvecklingen, dels för kommunernas kompetensutveckling inom området och möjligheter att tillämpa regelverken. Därför bör det säkerställas att MSB har rätt förutsättningar för att påskynda arbetet.

Lägg till vätgas som eget tillsynsområde i säkerhetsskyddsförordningen

Den infrastruktur för överföring av vätgas som på sikt byggs upp i Sverige kommer åtminstone i delar att behöva klassas som säkerhetskänslig enligt säkerhetsskyddsförordningen (2021:955)¹. Energimyndigheten föreslår att vätgas läggs till som ett eget tillsynsområde, tillsammans med övriga energislag, under Energimyndighetens tillsynsansvar.

Ge Energimyndigheten uppdrag att bilda ett nationellt centrum för vätgas

Energimyndigheten föreslår att myndigheten ges ett långsiktigt uppdrag efter 2024 som nationellt centrum för vätgas, för att följa utvecklingen inom området och löpande analysera behov av hinderströjande åtgärder. Ett fortsatt samordningsuppdrag bör också omfatta samordning av fortsatt utbyggnad av vätgastankinfrastruktur, liksom bevakning, planering och rapportering av Sveriges uppfyllande av krav på vätgastankinfrastruktur i AFIR.

¹ (SFS 2021:955, 2024)

Begrepp och förkortningar

Lista över begrepp som används i rapporten

Begrepp	Förklaring
Blå vätgas	Vätgas tillverkad genom ångreformerings av fossilgas kombinerat med infångning av den CO ₂ som bildas som biprodukt
Effektreserv	En specifik elproduktionskapacitet som SvK förfogar över och kan aktivera i situationer då efterfrågan överstiger utbudet på effekt
Elektrobränslen	Ett gasformigt eller flytande bränsle som framställs av vätgas som är producerad via vattenelektrolys och koldioxid
Elområde, elprisområde	Det största geografiska område inom vilket marknadsaktörer kan handla energi utan kapacitetstilldelning
Endogen källa	I modelleringssammanhang en variabel som bestäms inom modellen
Exogen källa	I modelleringssammanhang en variabel som har bestämts utanför modellen, dvs. som antaganden
Fossilfri vätgas	Vätgas som producerats i en elektrolysör genom elektrolys av vatten där elen som använts kommer från fossilfria källor. Kan även omfatta produktion av vätgas genom reformering av biogas eller biokemisk omvandling av biomassa
Grön vätgas	Vätgas tillverkad genom elektrolys av vatten. Elen som används kommer från förnybara källor till exempel vatten, vind eller sol
Känslighetsanalys	En teknik som används inom olika områden (tex. Finans, teknik, ekonomi, naturkunskap) för att bedöma hur

	förändringar i antaganden i en modell påverkar resultaten
Modellering	Processen att skapa en förenklad representation eller simulering av ett system, koncept eller fenomen för att förstå, analysera eller förutsäga dess beteende
Reservkraft	Energilösningar som tryggar elförsörjningen under perioder när den normala eldistributionen drabbas av avbrott
Skuggpris	Ökningen av total systemkostnad i en modell för att producera en enhet till av en vara (t ex el). Förenklat går detta att förstå som marginalpriset av varan
Systemkostnader	Systemkostnaderna utgörs av kapitalkostnader samt drift- och underhållskostnader och exportintäkter från el- och vätgashandel
Systemoperatör	Fysisk eller juridisk person som ansvarar för drift, underhåll och utveckling av ett system
Vätgasanläggning	Anläggning eller installation som är avsedd för produktion, lagring, transport eller användning av vätgas
Vätgasinfrastruktur	Avser fysiska element som är nödvändiga för att producera, lagra, transportera och använda vätgas som energibärare
Vätgassystem	Ett system av infrastruktur, inklusive vätgastransportnät, vätgaslager och vätgasterminaler

List över förkortningar som använts i rapporten

Förkortning	Förklaring
AAAS	Auction as a service
AFIR	Alternative fuels infrastructure regulation, dvs. förordningen om infrastruktur för alternativa drivmedel
aFRR	Automatisk frekvensregleringsreserv
ATJ	Alcohol to jet dvs. processväg för hållbart flygbränsle
BHC	Baltic Sea Hydrogen Collector
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism dvs. gränsjusteringsmekanism
CEF	Connecting Europe Facility dvs. fonden för ett sammanlänkat Europa
CCS	Carbon Capture and Storage dvs. koldioxidinfångning och lagring
DSO	Distributionsnätsoperatör
EES	Europeiska Ekonomiska Samarbetsområdet
Ei	Energimarknadsinspektionen
ENTSO-E	Europeiska nätverket av systemansvariga för överföringssystem för el
ENTSO-G	Europeiska nätverket av systemansvariga för överföringssystem för gas
EU ETS	EU:s utsläppshandelssystem
EUR	Valutan Euro
FCR	Frekvensåterställningsreserv
FI	Finland
FT	Fisher Tropsch
GW	Gigawatt
H ₂	Vätgas
HNO	Hydrogen Network Operator dvs. systemansvarig enhet för vätgasöverföring
HVO	Hydrerad Vegetabilisk Olja
IEA	International Energy Agency dvs. internationella energibyran

IMO	International Maritime Organisation dvs. FNs sjöfartsorgan
IPCEI	Important Projects of Common European Interest dvs. viktigt projekt av gemensamt europeiskt intresse
IRENA	International Renewable Energy Agency dvs. internationella byrån för förnybar energi
ISO	Oberoende systemoperatör
ITO	Oberoende transmissionsnätsoperatör
IVA	Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien
LBE	Lagen om brandfarliga och explosiva varor
LFG	Lagen om transport av farligt gods
LMA	Långsiktig marknadsanalys
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carriers dvs. flytande organiska vätebärare
LRC	Lined Rock Cavern dvs. tätskiktbeklätt bergrum
LSO	Lag om skydd mot olyckor
MEUR	Miljoner Euro
mFRR	Manuell frekvensregleringsreserv
MSB	Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap
MSBFS	Myndigheten och Samhällsskydd och Beredskap Författningssamling
MW	Megawatt
MWh	Megawattimme
NATO	North Atlantic Treaty Organization dvs. Nordatlantiska fördragsorganisationen
PCI	Projects of Common Interest dvs. projekt av gemensamt intresse
PEM	Polymer Electrolyte Membrane dvs. typ av elektrolysör
PJ	Petajoule
PMI	Projects of Mutual Interest dvs. projekt av ömsesidigt intresse, i samarbete med tredjeländer
PPA	Power Purchase Agreement dvs. avtal om köp av el
PtL	Power to Liquid

RED	Renewable Energy Directive dvs. förnybartdirektivet
RFNBO	Renewable Fuels of Non-Biological Origin dvs. förnybara bränslen av icke-biologiskt ursprung
SAF	Sustainable Aviation Fuel dvs. hållbara flygbränslen
SE1	Elområde 1 (Luleå)
SE2	Elområde 2 (Sundsvall)
SE3	Elområde 3 (Stockholm)
SE4	Elområde 4 (Malmö)
SFS	Svensk författningssamling
SOU	Statens offentliga utredningar
SRVFS	Svenska Räddningsverkets Författningssamling
SvK	Affärsverket Svenska Kraftnät
TEN-E	Transeuropeiska nätverken för energi
TEN-T	Transeuropeiska nätverken för transporter
TSO	Transmissionsnätsoperatör
TWh	Terawattimme
TYNDP	Ten Year Network Development Plan dvs. tioårig nätutvecklingsplan
USD	Amerikansk dollar

1 Inledning

1.1 Uppdraget

Statens Energimyndighet fick i mars 2023 i uppdrag att samordna arbetet med vätgas i Sverige.² Energimyndigheten ska samordna Sveriges arbete med vätgas, genom att verka för en nära och koordinerad samverkan, dialog och kunskapsspridning mellan statliga myndigheter och företag, branschorganisationer och andra offentliga aktörer inklusive regioner och akademien. Uppdraget som helhet slutrapporteras den 1 december 2024.

En del av uppdraget, med rapportering senast den 28 februari 2024, består i att utreda hur vätgasen och infrastrukturen för vätgas i Sverige kan utvecklas ur ett systemperspektiv genom att

- kartlägga överlapp och gap mellan befintliga ekonomiska styrmedel såsom investeringsstöd samt forsknings- och innovationsstöd samt vid behov föreslå justeringar av befintliga styrmedel eller ytterligare åtgärder,
- analysera hur vätgasinfrastrukturen kan utvecklas i synergi med elsystemet och energisystemet i stort, i olika scenarier med kluster eller med mer omfattande ledningsinfrastruktur. I analysen ingår även att tydliggöra olika aktörers roller och ansvar i respektive fall, inklusive bedöma behov av en ett statligt transmissionsnätsföretag och en systemansvarig myndighet (TSO). I analysen ingår att bedöma olika alternativs konsekvenser för utvecklingen av fossilfri industri och konkurrenskraftiga elpriser i Sverige.
- tydliggöra förutsättningarna och behoven av att använda vätgas och dess derivat som energilager och flexibilitetsresurs i energisystemet,
- se över möjligheten att använda fossilfria alternativ såsom vätgas, elektrobränslen och biogas för reservkraft samt att
- ta fram nationella råd och rekommendationer för hantering av vätgas och vätgasrörledningar.

I samordningsuppdraget ingår vidare att bistå Regeringskansliet i att utveckla det europeiska och internationella samarbetet inom vätgasområdet och att bidra med ytterligare information och vägledning kring att söka EU-finansiering för svenska aktörer, inklusive forsknings- och innovationsstöd. Slutligen ingår att följa upp vätgasens utveckling i Sverige och internationellt.

Deluppdraget att analysera hur vätgasinfrastrukturen kan utvecklas i synergi med elsystemet och energisystemet i stort samt att tydliggöra förutsättningarna för att använda vätgas och dess derivat som energilager och flexibilitetsresurs ska

² (KN2023/02715, 2024)

genomföras i nära dialog med Affärsverket svenska kraftnät (SvK) och Energimarknadsinspektionen (Ei).

Förutom dessa myndigheter ska Energimyndigheten i arbetet med uppdraget även inhämta synpunkter från Försvarmakten, Naturvårdsverket, Trafikverket och Verket för innovationssystem (Vinnova) samt andra myndigheter som Energimyndigheten bedömer berörs samt relevanta marknadsaktörer och forskarsamhället.

1.2 Dialog och förankring

Analysarbetet inför delrapporteringen har utförts i nära dialog med berörda myndigheter. Energimarknadsinspektionen och Affärsverket svenska kraftnät (Svk) har bidragit med underlag, inspel och texter till den del som behandlar aktörers roller och ansvar på en framväxande vätgasmarknad. Svk har därutöver deltagit i den externa referensgrupp som har följt arbetet med modelleringen av infrastruktur för el- och vätgasöverföring. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) har bidragit med underlag till och synpunkter på de delar som behandlar krav för säker hantering av vätgas samt reservkraft.

Vidare har Energimyndigheten samlat representanter för Naturvårdsverket, Trafikverket och Verket för innovationssystem (Vinnova) för information och dialog. Dessa myndigheter har också haft möjlighet att lämna synpunkter på utkast av rapporten.

Slutligen har Energimyndigheten genomfört ett öppet dialogmöte för företag, branschorganisationer, kommuner och andra offentliga organisationer. En rad skriftliga inspel har lämnats och Energimyndigheten har haft bilaterala möten med dialog på begäran från företag och branschorganisationer.

1.3 Läsanvisning för rapporten

Del I Motsvarar kapitel 1 och 2 - Beskriver bakgrunden till de uppgifter och frågor som identifieras i uppdragsbeskrivningen. Det handlar om vätgasens roll och potential i det omställda energisystemet på konceptuell nivå samt vilka möjliga utvecklingsvägar för vätgas och vätgasinfrastruktur som kan vara möjliga i Sverige. Denna diskussion baseras på en kartläggning av nu aktuella vätgasprojekt inom Sverige. Kapitel 2 avslutas med en redovisning av resultat från modelleringen som illustrerar ett antal olika scenarier och deras respektive påverkan på infrastrukturutvecklingen.

Del II Motsvarar kapitel 3, 4 och 5. Beskriver och analyserar vilka effekter, värden och nyttor som skulle kunna komma samhället till gagn genom en utveckling av infrastruktur och marknad för vätgas. Kapitel 3 lyfter fram hur vätgasset kan bidra till stabilisering och balansering av elsystemet genom sin flexibilitet. I kapitel 4 diskuteras den potentiella påverkan på samhällsekonomin och näringslivets konkurrenskraft samt effekter på elpriser. Förväntad miljöpåverkan från vätgasset

redovisas också. I kapitel 5 lyfts vätgas fram som ett fossilfritt bränsle för reservkraft samt vätgasens bidrag till samhällets funktion ur ett totalförsvarsperspektiv.

- Del III Motsvarar kapitel 6, 7 och 8 - Identifierar och diskuterar grundläggande vägval och frågor gällande reglering av vätgasmarknaden och infrastrukturen med specifikt fokus på ansvar och roller för olika aktörer. I detta sammanhang lyfts även frågan om statens roll som systemansvarig samt behov av förtydligande kring koncessionsplikt samt regler och föreskrifter gällande säkerhet för hantering och transport av vätgas. Kapitel 8 analyserar vilka styrmedel och eventuella gap eller överlapp mellan dem som idag finns och kan påverka aktörers intresse för användning, produktion eller överföring av vätgas.
- Del IV Motsvarar kapitel 9 - Avslutningsvis summeras rapporten med ett antal åtgärder och uppföljningsområden.
- Del V Referenser och bilagor

2 Infrastruktur för vätgas i det omställda energisystemet

Ett klimatneutralt Sverige senast år 2045 innebär att i stort sett all verksamhet i Sverige ska vara utsläppsfri vid den tidpunkten. I den omställningen är vätgas en viktig del av lösningen.

Vätgasens nyckelroll i omställningen till fossilfrihet har sin grund i att fossilfri vätgas kan användas som en energigas och insatsvara inom olika områden, till exempel järn och stålindustrin. Den kan också användas för framställning av en rad olika derivat, som kan ersätta fossila bränslen. Vätgas är också den bärande beståndsdelen i elektrobränslen som idag, vid sidan av direkt elektrifiering och vätgasdrift, ser ut att vara ett viktigt bidrag till omställning av flyget och stora delar av sjöfarten.

Fossilfri vätgas produceras antingen genom reformering av biogas eller genom elektrolys, men då biomassa är en relativt begränsad och redan konkurrensutsatt resurs ses oftast produktion av vätgas med el via elektrolys av vatten som det primära alternativet för de flesta aktörer. Fossilfri vätgas framställd genom elektrolys förutsätter god tillgång till rent vatten och el från fossilfria källor. I Energimyndighetens Långsiktiga scenarier³ har den kommande efterfrågan på fossilfri el uppskattats till mellan 228 TWh och 349 TWh omkring år 2050. Den stora ökningen i efterfrågan på fossilfri el som speglas i scenarierna kommer till stor del från det förväntade behovet av vätgas för omställning av befintliga verksamheter inom bland annat järn- och stålindustrin, men också från nyetablering av ytterligare industrier och verksamheter eftersom tillgången på el och andra förutsättningar i Sverige anses vara gynnsamma.

Det ökade elbehovet driver fram ett snabbt växande elsystem. Storleken i sig, liksom en växande andel väderberoende förnybar energi skapar ett ökat behov av att balansera elsystemet och en större mängd vätgas i energisystemet skapar nya sätt att hantera det. Vätgas kan lagras i olika former, vilket öppnar för att framställa vätgas eller något av derivaten vid tider med mycket (billig) el i systemet och att dra ner produktionen i tider med lite (dyrare) el i systemet.

Vätgas kan produceras nationellt i stor skala. Det gör att vätgas och vätgasderivat också kan få en nyckelroll i förstärkningen av Sveriges beredskap, exempelvis genom inhemsk tillverkning av konstgödsel, lagring av vätgas eller elektrobränslen för transport och som reservkraft.

³ (Energimyndigheten ER 2023:07,, 2023)

2.1 Vätgasläget i Sverige

Vätgas är sedan länge en viktig råvara inom delar av processindustrin, framför allt inom raffinaderier och kemisk industri. I Sverige sker i nuläget den övervägande majoriteten av produktionen av vätgas på västkusten där dessa industrier är koncentrerade. Produktionen sker genom ångreformerings av naturgas, vilket även är den i dagsläget dominerade produktionsmetoden globalt.⁴ Inom industrin i Sverige beräknas att cirka 6 TWh vätgas produceras och används årligen.⁵ Eftersom vätgasen som idag framställs med hjälp av naturgas är fossil pågår bland branschaktörer flera projekt som syftar till att minska de fossila utsläppen och klimatpåverkan från denna del av verksamheten. Ett tillvägagångssätt är att övergå till fossilfri vätgas framställd genom elektrolys. Flera projekt på detta område pågår.⁶

Under andra halvåret 2023 genomförde Sweco på uppdrag av Energimyndigheten en kartläggning av nuläget och framtiden avseende tillförsel, omvandling och användning av vätgas i Sverige ("Kartläggningen")⁷. Kartläggningen resulterade i en databas av vätgasprojekt i Sverige. Sammantaget identifierades cirka 60 projekt, exklusive vätgastankstationer, i olika status mot förverkligande med en planerad fullskalig driftsättning fram till cirka år 2050. Med "olika status mot förverkligande" menas att ett projekt kan befinna sig i spannet från idéskiss eller förstudie till att faktisk konstruktion eller till och med att drift pågår, men de allra flesta projekt befinner sig i ett relativt tidigt skede. Vidare kan varje enskilt projekt bestå av flera etapper mot fullskaligt förverkligande, och därmed även fullskalig produktion och användande av vätgas.

De identifierade projekten innefattar exempelvis projekt som har koppling till järn- och stålindustrin och dess värdekedja samt projekt för produktion av ammoniak eller elektrobränslen för sjöfart, flygtrafik eller vägtrafik. Det finns även projekt som syftar till att producera vätgas i anslutning till vindkraftsparker på land eller till havs, samt även idéskisser på att bygga vätgasledningar på flera håll i landet.⁸ Utifrån kända planer väntas produktions- och användningsvolymerna bli störst inom järn- och stålindustrin, där stora volymer vätgas krävs för produktion av fossilfritt stål. Därefter följer det behov av vätgas som krävs för produktion av elektrobränslen och ammoniak, där det också finns flera pågående projekt. Särskilt inom elektrobränslen finns ett intresse för att expandera i syfte att möta behovet av fossilfrihet inom sjöfarten, flyg och tunga transporter (se 2.1.1 Kluster i norra Sverige). För närvarande löser de aktörer som behöver mindre volymer vätgas i relativt närtid sina egna behov med egen produktion. En ytterligare observation är att antalet projekt innefattande lagring av vätgas (i olika former) i dagsläget är mycket begränsat.

Parallellt med ovan nämnda projekt av mer storskalig karaktär pågår också flera projekt i mindre skala, där produktion och användning av vätgas testas som lösning

⁴ Se även (Energimyndigheten (ER 2021:34), 2022)

⁵ Enligt branschorganisationen Vätgas Sverige. Det finns idag ingen officiell statistik för vätgas.

⁶ För mer om raffinaderi- och kemiindustrins väg mot nettonoll se även (Energimyndigheten (ER 2023:22), 2023)

⁷ (SWECO, Kartläggning av nuläget och framtiden avseende tillförsel, omvandling och användning av vätgas - Analysstöd för Energimyndigheten (dnr 2023-201973), 2024)

⁸ Exempelvis pågår en förstudie om en vätgasledning mellan Alby och Ljungverk i Ånge kommun där det planeras två vätgasanläggningar (elektrolys) och Sundsvall där möjliga användare finns. Det finns även planer på en vätgasledning längs med Bottenviken som sammanlänkar Sverige och Finland (under namnet Nordic Hydrogen Route) samt fortsättningar på den ledningen.

för att senare eventuellt skalas upp. Även kommuner deltar i vätgasprojekt.⁹ Det pågår också en påtaglig utbyggnad av tankstationer för vätgas och ett 60-tal stationer väntas tas i drift kommande år (se 2.1.5 Vätgas för vägtransporter). I Sverige finns därtill forskning och utveckling och aktörssamverkan på vätgasområdet som kan ha stor betydelse för en större tillämpning av vätgas internationellt som en lösning på klimatutmaningen (se 2.1.2 Kluster i Mellansverige).

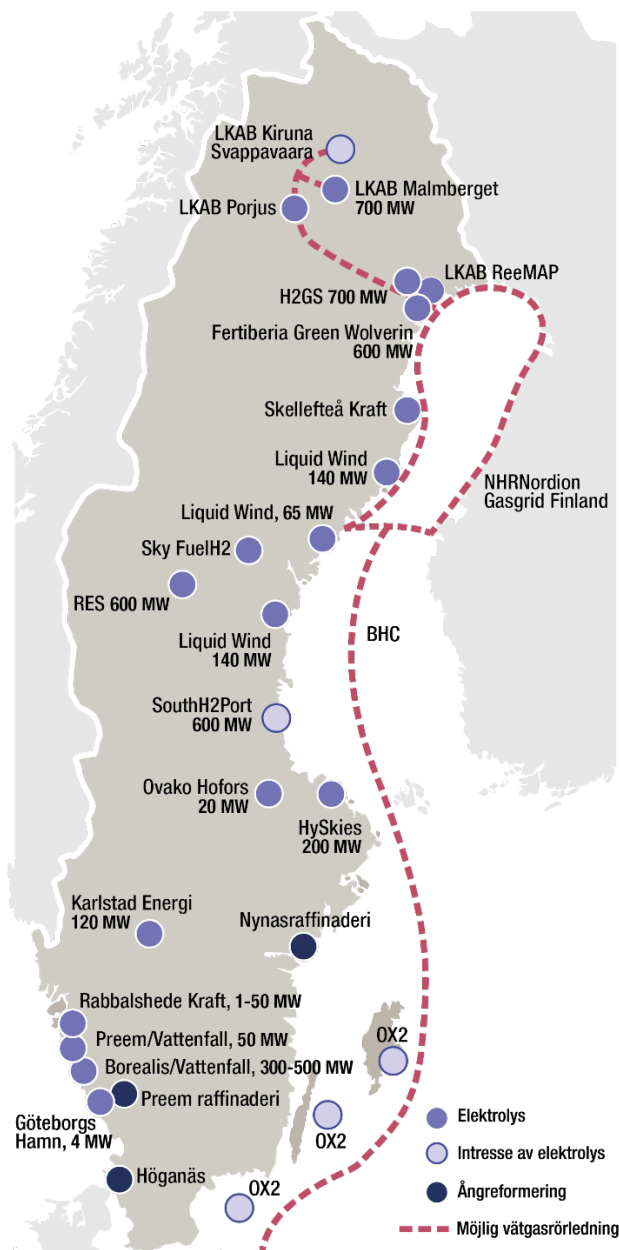
Som tidigare nämnts, befinner sig de flesta projekt i ett tidigt skede och det kan finnas projekt som än så länge inte offentliggjorts, exempelvis på grund av konkurrensskäl. Kartläggningen ger en bild av vilka planer det finns för produktion och användning av vätgas i Sverige utifrån tillgänglig information i november 2023, men nya projekt har hittills annonserats kontinuerligt, och därtill kan befintliga projekt ta steg mot förverkligande eller avslutas.¹⁰

I det här kapitlet, och återkommande i rapporten, används begreppet ”kluster” för att beskriva projekt eller initiativ inom ett visst geografiskt område, där de ingående parterna i olika utsträckning samverkar. Inom forskning kring vätgassystemens utveckling har det tidigare funnits en tydlig och etablerad definition av begreppet, men detta har med tiden blivit mindre entydigt. Användningen av ordet ”kluster” ska framför allt ses som ett sätt att gruppera och ringa in områden där intresset för vätgas är bredare och kanske har kommit något längre än på övriga platser.

Figur 1 ger en överblick över några av de större vätgasprojekten och deras lokalisering i Sverige. Flest antal projekt finns i SE3 följt av SE1 och därefter SE2, med enbart ett fåtal projekt i SE4. Sett till uppskattad volym av produktion och användning av vätgas dominerar SE1 på grund de vätgaskrävande satsningarna inom järn- och stålindustrin, samt även på grund av satsningar inom produktion av elektrobränslen och ammoniak (se mer nedan under 2.1.1 Kluster i norra Sverige).

⁹ (Mariestad kommun, 2024); (Härjedalen kommun, 2024); (Österåker kommun, 2024)

¹⁰ Ett tidsmässigt närliggande exempel på ett projekt som tar steg mot förverkligande är den havsbaserade vindkraftsparken Neptunus utanför Blekinge där aktörerna bakom den 16 januari i år lämnade in en tillståndsansökan till regeringen enligt Lag (1992:1140) om Sveriges ekonomiska zon. Utöver havsbaserad vindkraft innefattar ansökan även havsbaserad vätgasproduktion, (OX2, 2024)



Figur 1. Överblick över större vätgasprojekt med en planerad driftsättning fram till år 2050 (data från november 2023)¹¹

2.1.1 Kluster i norra Sverige

De mest konkreta publika planerna för produktion och användning av vätgas finns i Norrbotten och norra Lappland. Även rent volymmässigt är det där produktion och användning tros bli som störst, förutsatt att alla planer förverkligas fullt ut. Mest tongivande är de satsningar som har koppling till stålindustrin och produktionen av så

¹¹ (SWECO, Kartläggning av nuläget och framtiden avseende tillförsel, omvandling och användning av vätgas - Analysstöd för Energimyndigheten (dnr 2023-201973), 2024)

kallat fossilfritt stål. Bolagen LKAB, SSAB och Vattenfall samarbetar om fossilfritt stål genom samriskprojektet Hybrit och även bolaget H₂ Green Steel (H2GS) satsar på fossilfritt stål.

Principiellt liknar de båda projekten varandra i att de tänkt att fossilfri vätgas, producerad genom elektrolys, ska användas för så kallad direktreduktion av järnmalm till järnsvamp vilken sedan vidareförädlas till stål. Reduktion av järnmalm sker idag med hjälp av koks vilket resulterar i fossila utsläpp, och detta undviks med den nya tekniken.¹² I dagsläget har Hybrit en pilotanläggning för direktreduktion i Luleå och i anslutning till den även en pilotanläggning för bergrumslagring av fossilfri vätgas. Nästa steg är att tekniken demonstreras i full industriell skala med kontinuerlig produktion vilken planeras ske i en demonstrationsanläggning för produktion av fossilfri järnsvamp genom direktreduktion inklusive vätgasproduktion i Gällivare.¹³ Enligt nuvarande planer är den omställning som berör fossilfritt stål och bolagen LKAB:s och SSAB:s verksamheter tänkt att ske etappvis över längre tid fram emot år 2050, och omställningen av verksamheten i sin helhet är förknippad med ett stort behov av el, 70 TWh, för produktion av vätgas.¹⁴ Hybrits planer för den slutliga industriella processen och anläggningen rymmer även ett omfattande vätgaslager.¹⁵ H2GS bygger direkt en fullskaleanläggning utanför Boden med målet att starta och börja skala upp produktion under 2025, och har meddelat beställning av elektrolysör om cirka 700-800 MW.

Förutom projekten kring fossilfritt stål finns i norra Sverige projekt kopplade till produktion av elektrobränslen och ammoniak med hjälp av fossilfri vätgas. I Örnsköldsvik byggs en anläggning för produktion av elektrometanol vid ett kraftvärmeverk, som bidrar med biogen koldioxid som fångas in och förs samman med den vätgas som produceras lokalt genom elektrolys. Vid planerad produktionsstart 2025 blir anläggningen Europas största för produktion av elektrometanol.¹⁶ Liquid Wind, som är utvecklare bakom satsningen, samarbetar med lokala energibolag i Sundsvall och Umeå för anläggningar på de platserna, men dessa planer är ännu i ett tidigare skede. Liquid Wind har en uttalad målsättning om ytterligare tio anläggningar i Sverige och andra delar av Skandinavien till 2030, och i december 2023 ingicks ett samarbete i Finland.¹⁷

Vid en ny industripark med fokus på grön industriell omställning i Luleå hamn har ett spanskt företag, Fertiberia, planer på att etablera en fabrik för konstgödsel. För sitt behov av vätgas planeras en rörledning från Letsi där vätgasen ska produceras.¹⁸ Även LKAB och SSAB planerar att förlägga verksamheter kopplade till sitt omställningsarbete i området och förstudier om en regional vätgashub som kombinerar storskalig elproduktion med produktion av vätgas för industrikunder och export, eller vidareförädling till elektrobränslen. Det finns också tidiga planer på en möjlig vätgasledning längs med Bottenviken som binder samman norra Sverige och norra Finland i syfte att tillgodose det behov av vätgas som kan realiserars i och med

¹² För mer om järn- och stålindustrins väg mot nettonoll se även: (Energimyndigheten (ER 2023:22),, 2023)

¹³ (Energimyndigheten 3.1 miljarder i stöd till Hybrit, , 2023)

¹⁴ (LKAB, 2023)

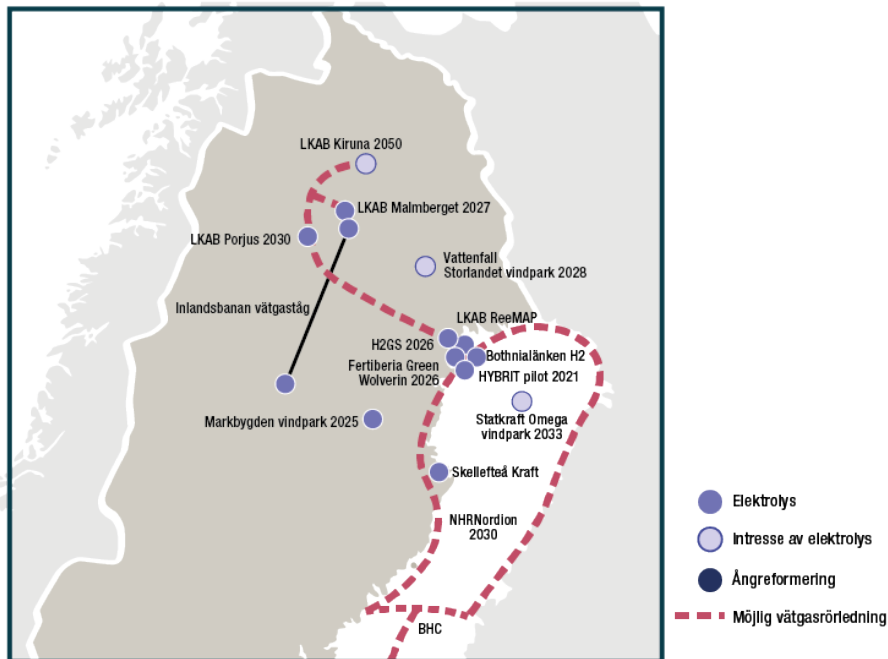
¹⁵ (HYBRIT, 2023)

¹⁶ (Liquid Wind,, 2024)

¹⁷ (Liquid Wind, 2023)

¹⁸ (Norrbottnens-Kuriren, 2024)

de planer industriaktörer har i området. Figur 2 nedan visar några projekt i Norrbottens vätgaskluster inklusive meddelad driftsättning.



Figur 2. Norrbottens vätgaskluster (data från november 2023)¹⁹.

2.1.2 Kluster i Mellansverige

Under namnet *Mid Sweden Hydrogen Valley* samarbetar sedan 2021 industri, transportsektor, akademi och offentlig sektor med tyngdpunkt i Mellansverige för att främja vätgas som en väg till fossilfrihet.²⁰ Plattformen samordnas av Region Gävleborg och bland medlemmarna finns exempelvis Ovako som 2023 vid sin anläggning i Hofors blev först i världen med att använda fossilfri vätgas för att värma stål inför valsning, med målsättning om att använda metoden i alla företagets anläggningar senast 2030. I Gävle Hamn finns ett projekt med syfte att producera vätgas för användning inom industri- och transportsektorerna.²¹ Det finns även ett tidigt projekt som involverar ABB om produktion av vätgas och elektrobränslen med el från en havsbaserad vindkraftspark som planeras utanför Söderhamn.²²

2.1.3 Kluster på västkusten

Ett annat kluster finns på västkusten som volymmässigt, utifrån känd information, är betydligt mindre än klustret i norra Sverige, se Figur 3. Sett till den uppskattade vätgasanvändningen utgör användningen i elområde SE3 en bråkdel av användningen i SE1. Projekten befinner sig generellt i ett tidigt skede. En del projekt har som tidigare nämnts koppling till omställningen inom raffinaderier och kemisk industri,

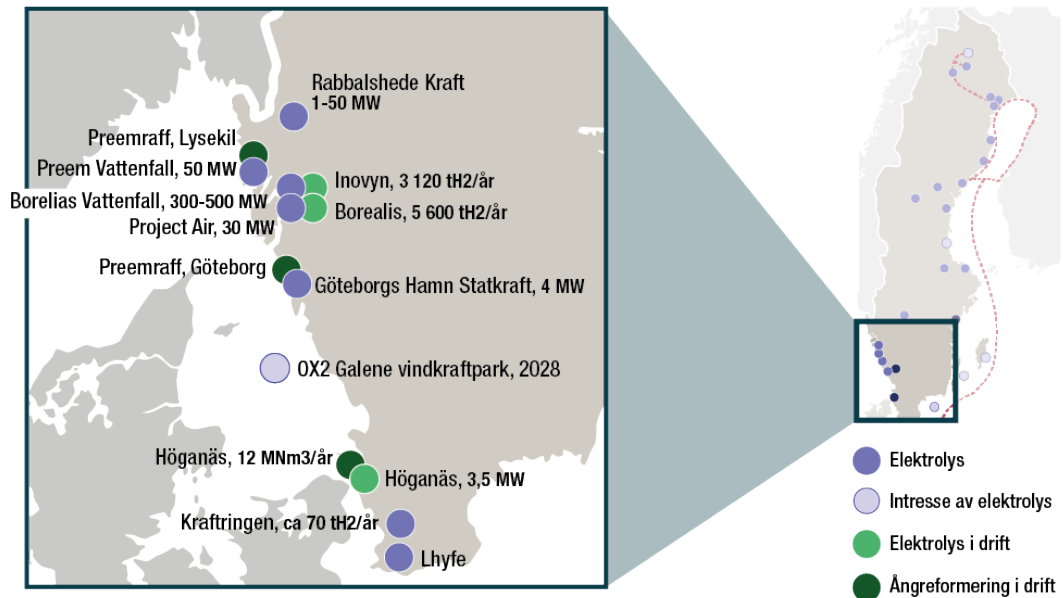
¹⁹ (SWECO, Kartläggning av nuläget och framtiden avseende tillförsel, omvandling och användning av vätgas - Analysstöd för Energimyndigheten (dnr 2023-201973), 2024)

²⁰ Medlemmarna i plattformen: (Region Gävleborg, 2023)

²¹ (Ramboll, 2024)

²² (ABB, 2024)

där ångreformerings av naturgas för att producera vätgas kan ersättas med elektrolys. Kring detta pågår flera förstudier. Det finns även projekt kopplade till produktion av vätgas för vidare produktion av elektrobränslen och även projekt som är inriktade på produktion av vätgas i anslutning till vindkraftsparker på land eller till havs.



Figur 3. Västkustens vätgaskluster (data från november 2023)²³.

2.1.4 Andra initiativ

Vid kärnkraftverket i Oskarshamn har fossilfri vätgas producerats för egenanvändning²⁴ sedan 1992 och sedan 2022 säljs vätgas på den externa marknaden, inledningsvis i små volymer men med målsättning framöver om större volymer.²⁵ Siemens Energy i Finspång utvecklar turbiner som på sikt ska kunna köras helt på vätgas.²⁶ Volvo Lastvagnar och Scania bedriver utveckling inom användning av vätgas för tunga transporter.²⁷ I Köping planerar bolaget Plagazi en anläggning för produktion av koldioxidsnål vätgas genom plasmaförgasning av icke-återvinningsbart avfall kombinerad med konventionell metod för koldioxidavskiljning. Plasmaförgasning kräver el och vatten, men mängden el och vatten för given mängd vätgas är betydligt mindre i den processen jämfört med vattenelektrolys.

2.1.5 Vätgas för vägtransporter

Parallellt med de vätgasprojekt som har koppling till industrin där den mer storskaliga produktionen och användningen ligger en bit fram i tiden, pågår just nu en utbyggnad av tankinfrastruktur för vätgas till den tunga vägtrafiken. I samband med ett regeringsuppdrag om ett handlingsprogram för laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vätgas som slutredovisades i november 2023, kartlade Energimyndigheten och

²³ (SWECO, Kartläggning av nuläget och framtiden avseende tillförsel, omvandling och användning av vätgas - Analysstöd för Energimyndigheten (dnr 2023-201973), 2024)

²⁴ För egenanvändning används vätgasen för att kyla generatoren.

²⁵ (OKG, 2022)

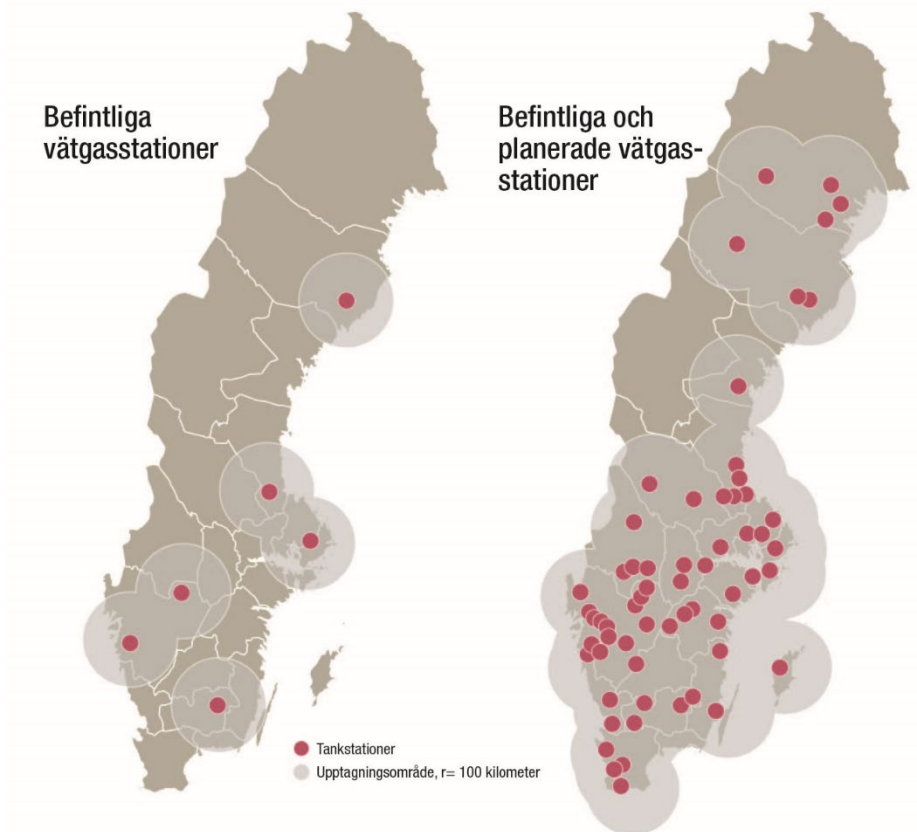
²⁶ (Tidningen Energi, 2024)

²⁷ (AB Volvo, 2024); (Ny Teknik, 2023); (Scania, 2024); (Scania, 2024)

Trafikverket med hjälp av WSP befintliga och planerade vätgastankstationer i Sverige.²⁸ I januari 2024 finns sex driftsatta vätgastankstationer i Sverige. Stationerna är förlagda i Göteborg, Mariestad, Stockholm (Arlanda), Sandviken, Umeå samt Älgåsa i Småland. Stationerna installerades under perioden 2015 – 2023 och under de närmaste åren väntas ytterligare ett 60-tal tankstationer som delfinansierats genom offentliga stödprogram i Sverige samt EU tas i drift. Flertalet av de planerade stationerna kommer att byggas för låg vätgaskapacitet, men möjlighet finns för en del av de små stationerna att öka kapaciteten när efterfrågan kommer i kapp tillgången. Förutom ovan nämnda 60-tal stationer har ett flertal aktörer uttryckt intresse för att framöver bygga ytterligare stationer.

Vad gäller om vätgasen ska produceras i anslutning till stationen ser det olika ut mellan stationerna. I vissa fall ska vätgasen produceras på annan plats och fraktas till stationen och i andra fall produceras vätgas i anslutning till stationen genom elektrolys. I Figur 4 ges en överblick över befintliga (augusti 2023) och planerade vätgastankstationer i Sverige de närmaste åren (data från juni 2023).

²⁸ (Energimyndigheten (ER 2023:23), 2023); (WSP-underlag handlingsprogram,, 2023)



Figur 4. Befintliga (vänster) och planerade (höger) vätgasstationer i Sverige. Data från augusti 2023 för befintliga och juni 2023 för planerade vätgastankstationer²⁹.

2.2 Utvecklingsvägar för vätgasinфраstruktur

Den framtida utvecklingen av vätgasinфраstruktur i Sverige kan komma att anta många olika former över tid. Den kan dessutom komma att se olika ut i olika delar av landet. Det är till exempel mycket sannolikt att samtidigt som storskaliga vätgasrörledningar planeras och byggs i en del av landet, kommer vätgasanvändningen och därmed efterfrågan på fast infrastruktur för vätgas i en annan del av landet vara i en mer begynnande fas och begränsad omfattning.

Inom ramen för denna utredning har Energimyndigheten gett i uppdrag åt Sweco³⁰ att modellera hur utbyggnaden av en mer storskalig vätgasinфраstruktur inklusive lager skulle kunna se ut (på det som skulle kunna sägas motsvara elsystemets transmissionsnätets nivå) och var i landet det, baserat på idag tillgänglig information, skulle vara kostnadseffektivt att bygga denna ("Modelleringen"). Det är viktigt att vid tolkningen av dessa resultat komma ihåg att utbyggnad på de lägre nivåerna av vätgasnätet inte blir synliga i modelleringen, som är byggd på elområdesnivå. Lokal och mer regional utveckling pågår redan idag, vilket framgår av avsnitt 2.1

²⁹ (WSP-underlag handlingsprogram,, 2023)

³⁰ (SWEKO, Analys av vätgasinфраstruktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973, 2024)

Vätgasläget i Sverige och de geografiska kluster som identifierats. Liknande utveckling kommer med största sannolikhet att ske på många fler platser i landet där aktörer och samhällen ser en möjlighet att ställa om med hjälp av vätgas. Mer om förutsättningarna för modelleringen följer i det kommande kapitlet.

2.2.1 Grundläggande förutsättningar för modellering av infrastrukturutbyggnad

Ett antal redan genomförda scenarioanalyser utgör bakgrundsförståelse till analysen och modelleringen av den framväxande infrastrukturen. Dit hör framför allt Energimyndighetens rapport *Scenarier över Sveriges energisystem 2023*, Svenska kraftnäts långsiktiga marknadsanalys från 2021, samt Guidehouse studie *The role of gas and gas infrastructure in Swedish decarbonisation pathways 2020–2045*.³¹

Antagen utveckling av efterfrågan på el och vätgas

I modelleringen som genomförts för att analysera utbyggnad av vätgasrelaterad infrastruktur utgör antaganden om efterfrågan på el och vätgas centrala randvillkor för att modellen ska generera resultat. Den antagna efterfrågan på el och vätgas baseras på Energimyndighetens Långsiktiga scenarier³². Specifikt är det scenarierna *Högre elektrifiering* och *Känslighetsfall industri* som använts. Dessa scenarier representerar ytterligheterna i det utfallsrum för elanvändningen som Energimyndighetens långsiktiga scenarier spänner upp. I Energimyndighetens långsiktiga scenarier förväntas elanvändningen, vilken inkluderar el för vätgasproduktion, öka i hela energisystemet.

Scenariot *Högre elektrifiering* illustrerar en utveckling där det sker en omfattande elektrifiering av samhället som en del av omställningen för att nå klimatmålen. I detta scenario ställer branscher om sin produktion genom elektrifiering enligt de planer som aviserats, och även nyetableringar sker. Även inom transportsektorn ökar elanvändningen som en följd av genomgripande elektrifiering i sektorn. I sektorn bostäder och service ökar elanvändningen på grund av förväntad utbyggnadstakt av datacenter mot bakgrund av samhällets digitalisering. I arbetet med denna rapport och modellering har detta scenario använts som och namngivits till *Referensscenario*.

I *Känslighetsfall industri* antas en lägre elektrifiering i hela energisystemet där framför allt omställningsprojekt inom industrin förskjuts i tid och tillkommande projekt blir färre till antal eller etableras endast delvis. I arbetet med de modelleringar som gjorts inom ramen för detta projekt har detta scenario namngivits *Lägre el- och vätgasanvändning*.

I Energimyndighetens scenarier ses elanvändningen totalt, inklusive el för vätgasproduktion, i Sverige öka från 134 TWh år 2020 till 349 TWh i scenariot *Högre elektrifiering* respektive 228 TWh i scenariot *Känslighetsfall industri* år 2050. De stora skillnaderna i elanvändningen speglar den osäkerhet som finns över den framtida elanvändningen. Exempel på faktorer som kommer att påverka utvecklingen är det framtida priset på utsläppsrätter (som i sin tur är en drivande faktor för skiftet mellan fossilbaserade respektive fossilfria bränslen), efterfrågan på mer hållbart producerade produkter eller produkter som bidrar till klimatomställningen, utbud av råvaror och energi till konkurrenskraftiga priser, tilldelning av kapacitet i elnät och godkända miljötillstånd. Därtill påverkar länders politik, exempelvis genom

³¹ (Energimyndigheten ER 2023:07., 2023); (Svenska kraftnät, 2021); (Guidehouse, 2021)

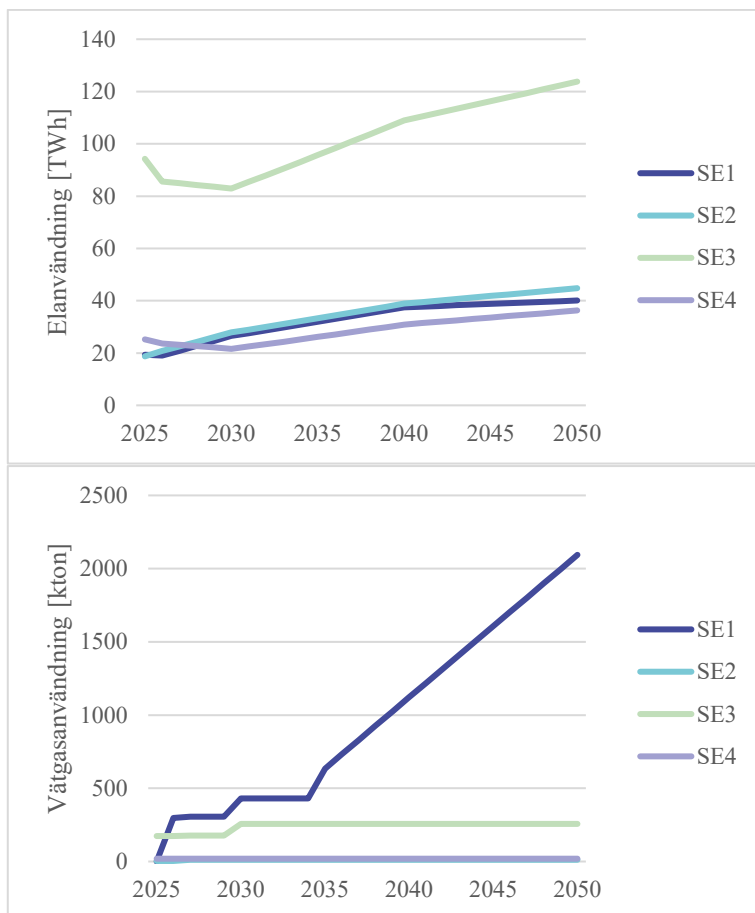
³² (Energimyndigheten ER 2023:07., 2023)

subventioner och andra styrmedel, var industrier väljer att etablera sig. Flera länder har utformat politik i syfte att locka till sig gröna industrietableringar.³³

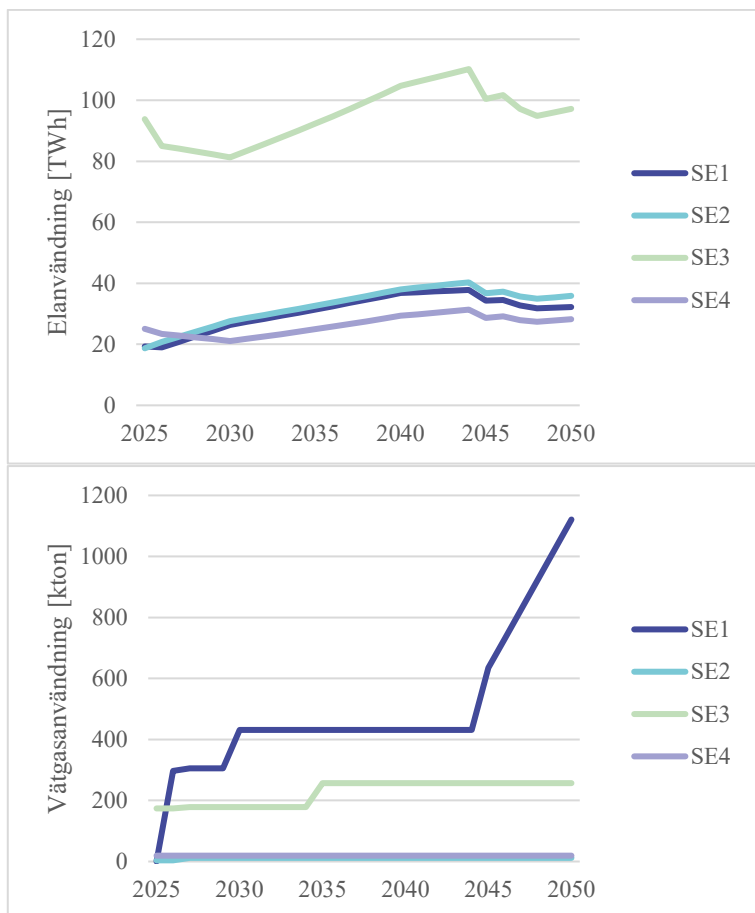
Det är huvudsakligen produktion av vätgas genom elektrolys som bidrar till den ökade elanvändningen i Energimyndighetens långsiktiga scenarier. Den antagna utvecklingen av vätgasanvändningen är till största delen knuten till ett fåtal stora industriaktörer. Det faktiska utfallet för industrins (och även hela Sveriges) el- och energianvändning påverkas därför i stor utsträckning av dessa aktörers beslut och drift kring elektrolysbaserad vätgasproduktion. Den övre delen av spannet inkluderar förutom behoven i järn- och stålindustrin en stor ökning i efterfrågan på elektrobränslen som framför allt relaterar till omställningen till fossilfrihet inom sjöfarten och flygsektorn.

För modelleringen har elanvändningen från Energimyndighetens långsiktiga scenarier delats upp i en efterfråga på el exklusive el för vätgas och en efterfråga på vätgas. Utöver detta har efterfrågan på vätgas fram till och med 2030 justerats något jämfört med de långsiktiga scenarierna utifrån kartläggningen som redovisats tidigare i denna rapport. Eftersom vätgas inte måste produceras där den används görs uppdelningen för att modellen ska ha frihet att avgöra hur och var vätgasen ska produceras - inom respektive utanför Sveriges gränser. I praktiken innebär detta att modellen inkluderar hela systemet för el och vätgas i Sverige och Finland medan enbart elsystemet är inkluderat för övriga länder inom Norden och Baltikum. Figur 5 och Figur 6 visar den modifierade utvecklingen av el- och vätgasbehovet som använts som grundläggande antaganden i modelleringen över den vätgasrelaterade infrastrukturutvecklingen.

³³ Se exempelvis: (Dagens Industri, 2023)



Figur 5. Underliggande efterfrågan på el (exklusive el för elektrolys) och vätgas i Referensscenariot.



Figur 6. Underliggande efterfrågan på el (exklusive el för elektrolys) och vätgas i scenariot *Lägre el- och vätgasanvändning*.

Övriga förutsättningar

Utöver antaganden för efterfrågan på vätgas och el, som alltså bestäms exogent, bygger modelleringen av hur vätgasinfrastrukturen kan utvecklas även på antaganden avseende kostnader för att upprätta ytterligare kapacitet inom olika typer av elproduktion, vätgaslager, batterilager samt utbyggnad av vätgasrörledningar och elledningar. Dessa antaganden är viktiga för modellresultaten, men har i sig själva inte analyserats närmare. De viktigaste antagandena presenteras nedan.

Modellen har möjlighet att investera i rörledning eller elledning mellan elprisområden, men kan inte visa på behov inom ett område.

Modellen har möjlighet att investera i ny överföringskapacitet för vätgas från år 2030.

Fram till år 2035 genomförs de enligt Svenska kraftnäts Nätutvecklingsplan³⁴ samt ENTSO-E:s Ten Year Network Development Plan (TYNDP)³⁵ planerade utbyggnationerna av transmissionsnätet för el. Från 2035 har modellen frihet att investera i ytterligare utbyggnad av transmissionsnätet.

³⁴ (Svenska Kraftnät, 2023)

³⁵ (ENTSO-E, 2024)

Vätgaslager byggs i alla scenarier enligt LKAB:s plan för ett storskaligt vätgaslager och är därmed en exogen input. Modellen har frihet att investera i ytterligare kapacitet för vätgaslager.

Batterilagring följer antaganden från TYNDP Global Ambitions³⁶ och inkluderas därmed som givna antaganden i modelleringen. Högst batterilagringsskapacitet återfinns i SE3, följt av SE4. Modellen har frihet att investera i ytterligare batterikapacitet.

Produktionskapacitet för både kärnkraft och havsbaserad vind inkluderas som givna antaganden (en exogen input) och därmed på icke marknadsmässiga villkor, framför allt i SE1, och antas följa kapacitetsutbyggnad enligt Energimyndighetens långsiktiga scenarier.

För ytterligare detaljer om gjorda antaganden och modellens uppbyggnad, se bilaga ”Antaganden och indata för modellering av framväxt av infrastruktur för vätgas”.

Beskrivning av energisystemmodellen PLEXOS

Modelleringen av energisystemet har utförts med hjälp av Energy Exemplars mjukvara för energisystemmodellering PLEXOS³⁷. Denna modell fokuserar på produktion, konsumtion, transmission och lagring av vätgas och el och optimerar, utifrån angiven efterfrågan samt kostnader för etablering av transmissionsnät för el respektive rörledning för vätgas, utbyggnaden av den totala mängden och fördelning av infrastruktur på stamnätets nivå för el respektive vätgas. Modellen beräknar utbyggnad av kapacitet schablonmässigt mellan elområden, men illustrerar eller kostnadsbestämmer inte den exakta sträckningen för ledningen (oavsett om det är rörgasledning eller elförbindelse).

Modellen fattar investeringsbeslut för produktion, transmission och lageretablering för att möta behov på lång sikt till lägsta systemkostnad. I det kortsiktiga perspektivet ombesörjer modellen drift (dispatch) för att uppfylla behovet av el och vätgas för varje drifttimme under den modellerade tidsperioden utifrån vid varje tillfälle tillgänglig infrastruktur och utbud samt efterfrågan. De frågeställningar som belyses i detta uppdrag modelleras för energisystemet i norra Europa, med särskilt fokus på Sverige och Finland från år 2023 till år 2050. Sverige och Finland modelleras i detalj med avseende på både elsystemet och vätgas medan för övriga Norden och Baltikum modelleras enbart elsystemet i detalj. Övriga angränsande europeiska länder representeras som skilda områden med givna priser och överföringskapacitet på el. Detta innebär att dessa utgör möjliga import- respektive exportpartners för Sverige och Finland för el medan vätgasmarknaden begränsas till Sverige och Finland. Prisutvecklingen på el i dessa länder är förutbestämd och påverkas därför inte av utvecklingen i Sverige och Finland.

2.2.2 Metodbeskrivning - Översikt av analyserade scenarier och känslighetsanalyser

Totalt har åtta olika scenarier och känslighetsanalyser analyserats. Dessa inkluderar de två huvudscenarierna som nämnts ovan, *Referensscenario* och *Lägre el- och vätgasanvändning*. Utöver detta tillkommer sex känslighetsanalyser som var och en belyser hur variationer i antaganden för några utvalda parametrar påverkar resultatet i

³⁶ (ENTSO-E, 2024)

³⁷ (Energy Exemplar, 2024)

Referensscenariot. Detta ger en bild av resultatens robusthet. Tabell 1 beskriver de känslighetsanalyser som har gjorts i relation till *Referensscenariot*.

Tabell 1 Scenarier och känslighetsanalyser som har genomförts i modelleringen

Scenario / känslighets-analys	Beskrivning
Referens	Referensscenario för indata. Efterfråga på el och vätgas utgår från Energimyndighetens scenario <i>Högre elektrifiering</i> och kartläggningen av vätgasprojekt
Lägre vätgas- och elanvändning	Senarelagd utveckling för efterfrågan på vätgas och minskad elektrifiering av industrin. Lägre el- och vätgasanvändning jämfört referensscenariot
Ny kärnkraft 2035	Fyra extra 1400 MW reaktorer tas i drift i jämfört med referensscenariot. Efterfråga på el och vätgas samma som i referensscenariot
Begränsad utbyggnad av landbaserad vindkraft i SE1	Begränsad utbyggnad av landbaserad vindkraft i SE1 fram till 2030, då utbyggnad stoppas helt. Efterfråga på el och vätgas samma som i referensscenariot
Lägre vätgasrörledning, högre investeringskostnader för transmissionsnät	30 procent lägre investeringskostnad för rörledningar, 30 procent högre investeringskostnad för transmissionsnät. Efterfråga på el och vätgas samma som i referensscenariot
Högre vätgasrörledning -, lägre investeringskostnader för transmissionsnät	30 procent högre investeringskostnad för rörledningar, 30 procent lägre investeringskostnad för transmissionsnät. Efterfråga på el och vätgas samma som i referensscenariot
Högre elektrolysörs-, lägre vätgaslagerkostnad	30 procent lägre investeringskostnad för vätgaslager, 30 procent högre investeringskostnad för elektrolysörer. Efterfråga på el och vätgas samma som i referensscenariot
Lägre elektrolysörs-, högre vätgaslagerkostnad	30 procent högre investeringskostnad för vätgaslager, 30 procent lägre investeringskostnad för elektrolysörer. Efterfråga på el och vätgas samma som i referensscenariot

2.2.3 Resultat från modelleringen

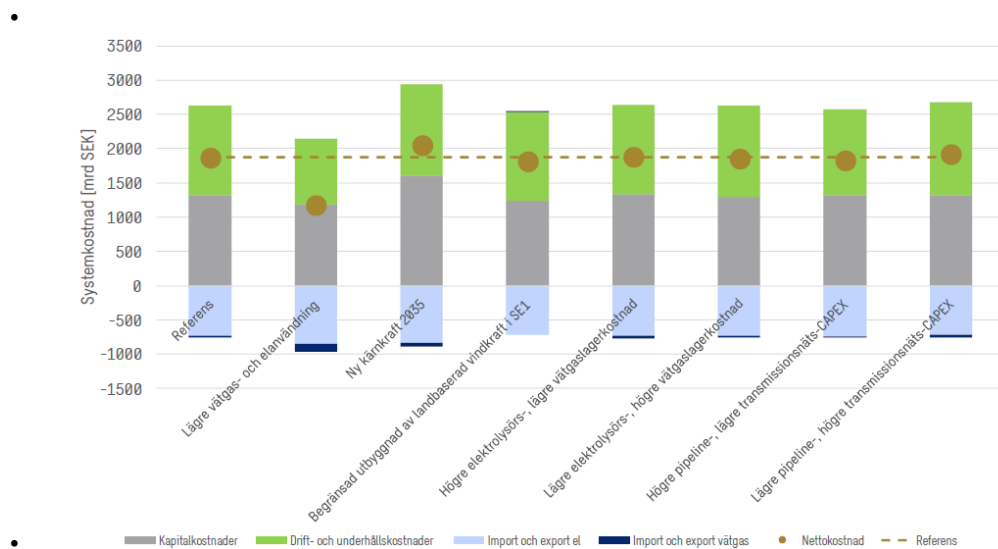
I samtliga analyserade fall produceras den mesta av vätgasen i samma elområde som den konsumeras. Denna lösning minimerar behovet av kostnadsdrivande överföringskapacitet mellan elområden. Modellmässigt kan detta uttryckas som att utbyten inom ett elområde inte kräver kapitalinvesteringar, varför det ofta blir billigare att uppföra ”extra” elproduktionskapacitet inom området i stället för att bygga vätgas-/elinfrastuktur över en elområdesgräns, eftersom sådan alltid genererar kostnader.

Vätgaskonsumtionen sker främst enligt den exogent definierade efterfrågan och vi kan konstatera att användandet av vätgas för att producera elektricitet är mycket begränsat i alla scenarier. Förutom konkurrensen med batteriernas förmåga att balansera elnätet på kort sikt, konkurrerar vätgasdriven elproduktion med den stora flexibilitet som vattenkraften möjliggör i Norden. Detta gör att vätgasdriven elproduktion inte blir lönsam under de förutsättningar som finns i modellen. Vätgasens bidrag till effektbalansen sker främst genom möjlighet till lastföljande produktion och lagring.

Kostnader och priser

I *Referensscenariot* uppgår systemkostnaderna inom Sverige till nästan 2 500 miljarder kronor, varav kapitalkostnader samt drift- och underhållskostnader utgör

ungefär lika stor andel. Systemkostnaderna ökar successivt över tidsperioden och är ungefär lika stora i samtliga känslighetsfall. Kostnaden i det mest återhållsamma omställningsscenarioet *Lägre el- och vätgasanvändning* är synbart lägst (2 100 miljarder kronor) och den högsta systemkostnaden (2 900 miljarder kronor) erhålls i *Ny kärnkraft 2035* (se Figur 7). Den lägre kostnaden i *Lägre el- och vätgasanvändning* är en naturlig effekt av den lägre efterfrågan på el och vätgas. Skillnaden i investeringskostnad mellan *Ny kärnkraft 2035* och *Referensscenariot* är direkt beroende på antagen investeringskostnad för ny kärnkraft där ett antagande om en mindre utbyggnad av kärnkraftskapaciteten hade givit en mindre skillnad mellan scenarierna. Värt att notera är att i fallet *Begränsad utbyggnad av vind i SE1* blir nettokostnaden inom Sverige lägre trots att kostnadsantagandena är samma som för referensfallet. Detta beror på att nyinvesteringar görs i Finland i större utsträckning i stället för inom Sverige jämfört med *Referensscenariot*. Alla systemkostnader är beräknade exklusive investeringar i transmissionsledningar eller rörledningar inom elområdena och ska därför inte förstås som en prognos över de totala kostnaderna. Resultaten möjliggör därmed jämförelser mellan scenarierna för de kostnadsposter som modellen tagit hänsyn till.

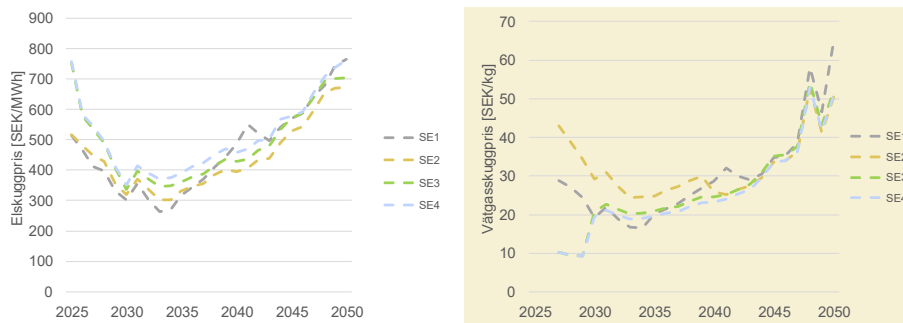


Figur 7 Systemkostnader för det svenska energisystemet vid olika scenarion, ackumulerat över tid 2023–2050 inklusive importkostnader och exportintäkter från el- och vätgashandel³⁸

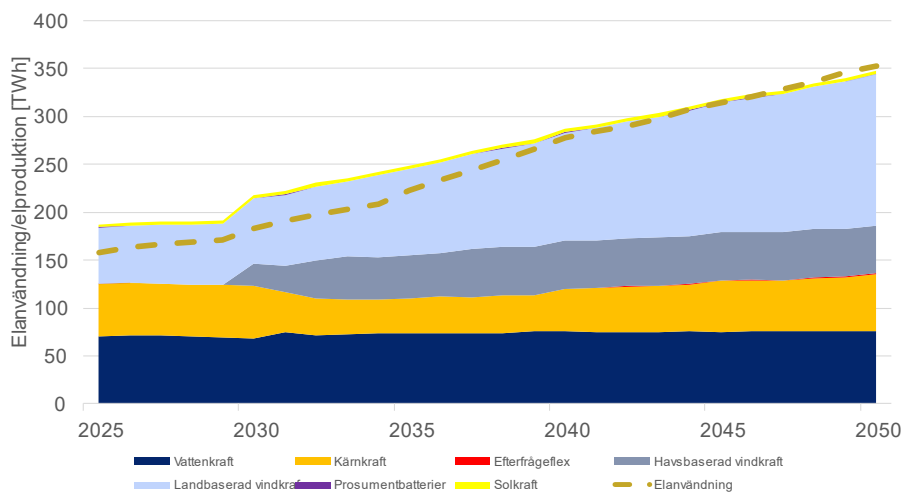
I *Referensscenariot* följer skuggpriset för el generellt, en avtagande trend de kommande åren i alla elprisområden, till följd av en fortsatt snabb utbyggnad av produktionskapacitet och sjunkande priser på fossila bränslen, för att öka efter år 2035 (se Figur 8). Ökningen beror på att tillkommande produktionskapacitet för el i detta scenario inte håller helt jämna steg med den snabbt stigande efterfrågan. I *Referensscenariot* går Sverige från en exportmöjlighet på ca 50–60 TWh per år fram till år 2035 till att nå jämvikt i produktion och konsumtion år 2047 (se Figur 9). Då efterfrågan av vätgas driver behovet av el följer skuggpriset för vätgas generellt skuggpriset på el. Vidare noteras att elpriset i SE1 från att år 2025 vara lägst förväntas vara högst år 2050 i Sverige; jämfört med i SE3 går priset från att vara nästan 250

³⁸ (SWECO, Analys av vätgasinfrastruktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973, 2024)

kronor/MWh lägre till att vara drygt 60 kronor/MWh högre. Detta sker till följd av den kraftigt ökade efterfrågan på el i SE1. Skuggpriset för el i alla de modellerade scenarierna i känslighetsanalysen ligger i princip i linje med *Referensscenariot*.



Figur 8 Skuggpriser på el och vätgas i *Referensscenariot*³⁹



Figur 9 Produktionsmix och efterfrågan i *Referensscenariot*⁴⁰

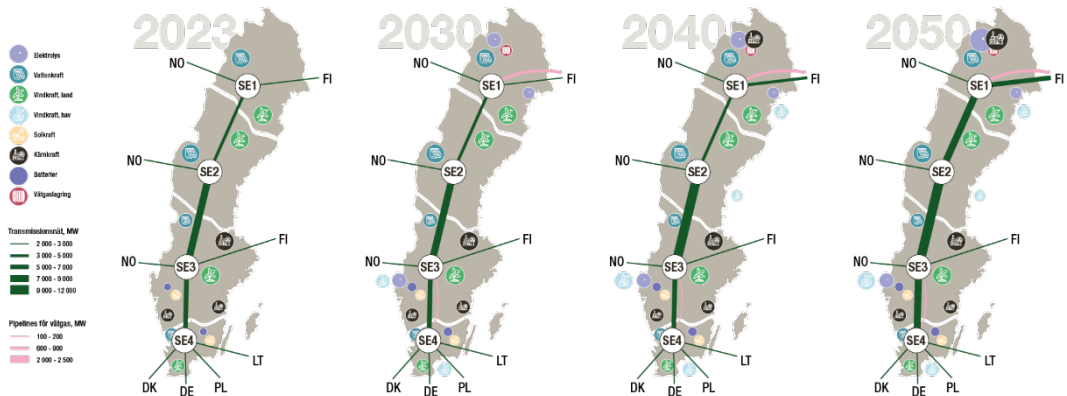
Infrastruktur

Trots att majoriteten av all vätgas produceras där den konsumeras sker ändå en utbyggnation av både elledningar och vätgasrörledningar mellan olika elprisområden för att möta den ökande efterfrågan på både el och vätgas (se Figur 10). De ökningarna i överföringskapacitet för el, som sker på marknadsmässiga villkor i modellen (ökningar utöver planerad utbyggnad fram till år 2035), sker mellan elområde 1 (SE1) och 2 (SE2), elområde 3 (SE3) och 4 (SE4) samt mellan elområde 1 och Finland. I SE3 och SE4 är den industriella omställningen en utmaning för transmissionsnätet runt år 2030, då ytterligare utbyggnad utöver den som finns i ENTSO-E Ten Year Network Development Plan inte tillåts i modelleringen innan år 2035. Elområde SE4 är dessutom relativt väl ihopkopplat med omvärlden vilket möjliggör import av el vid behov. Detta leder till att rörledningskapacitet byggs för att hjälpa till att försörja

³⁹ (SWEKO, Analys av vätgasinfrastruktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973, 2024)

⁴⁰ (SWEKO, Analys av vätgasinfrastruktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973, 2024)

industrin i SE3:s behov av vätgas från SE4 i samtliga analyserade fall. Endast om kostnaden för vätgasledningar minskar sker ytterligare investeringar i rörledningskapacitet efter år 2035. Den största förändringen i överföringskapacitet sker till och från SE1 till följd av den stora ökningen i vätgasanvändning som förväntas i detta område. Från år 2030 byggs en vätgasrörledning för att förstärka kapaciteten mellan SE1 och FI, och efter år 2035 byggs transmissionsnätet för el ut mellan SE1-FI och SE1-SE2 i samtliga studerade scenarier.



Figur 10 Modellerad utveckling av energisystemet fram till år 2050 i Referensscenariot⁴¹

Nedan presenteras resultat från modelleringen för el- och vätgasanvändning och produktion samt energisystemutveckling till år 2050 för referensscenariot (Figur 11) och känslighetsanalyserna *Lägre el- och vätgasanvändning* (Figur 12), *Ny kärnkraft* (Figur 13) samt *Begränsad vind i SE1* (Figur 14). Resultaten från de fyra andra scenarierna liknar varandra i hög utsträckning och redovisas därför inte.

Referensscenariot

Som syns i Figur 11 ökar elproduktionen i *Referensscenariot* i hela landet med mycket landbaserad vindkraft, men även ny kärnkraft från år 2040 i SE1 och SE3. Även havsbaserad vindkraft byggs ut i SE3, SE4 och SE1, med samma typ av administrativa beslut (exogen parameter i modelleringen) som för kärnkraften. Utifrån de avgränsningar som har fastställts i modellen sker ingen utbyggnad av vätgasdrivna gasturbiner i modelleringen, eftersom de inte är lönsamma utan någon form av subvention.

På nationell nivå är Sverige ungefär i balans när det gäller elen närmare år 2050. På elområdesnivå är SE3 i balans, SE2 förblir ett överskottsområde, medan SE1 och SE4 utgör importområden för el. Hur den interna balansen ser ut i olika elområden är delvis en konsekvens av hur utgångsläget ser ut idag men också av vilka indata och restriktioner som har tillämpats i modelleringen.

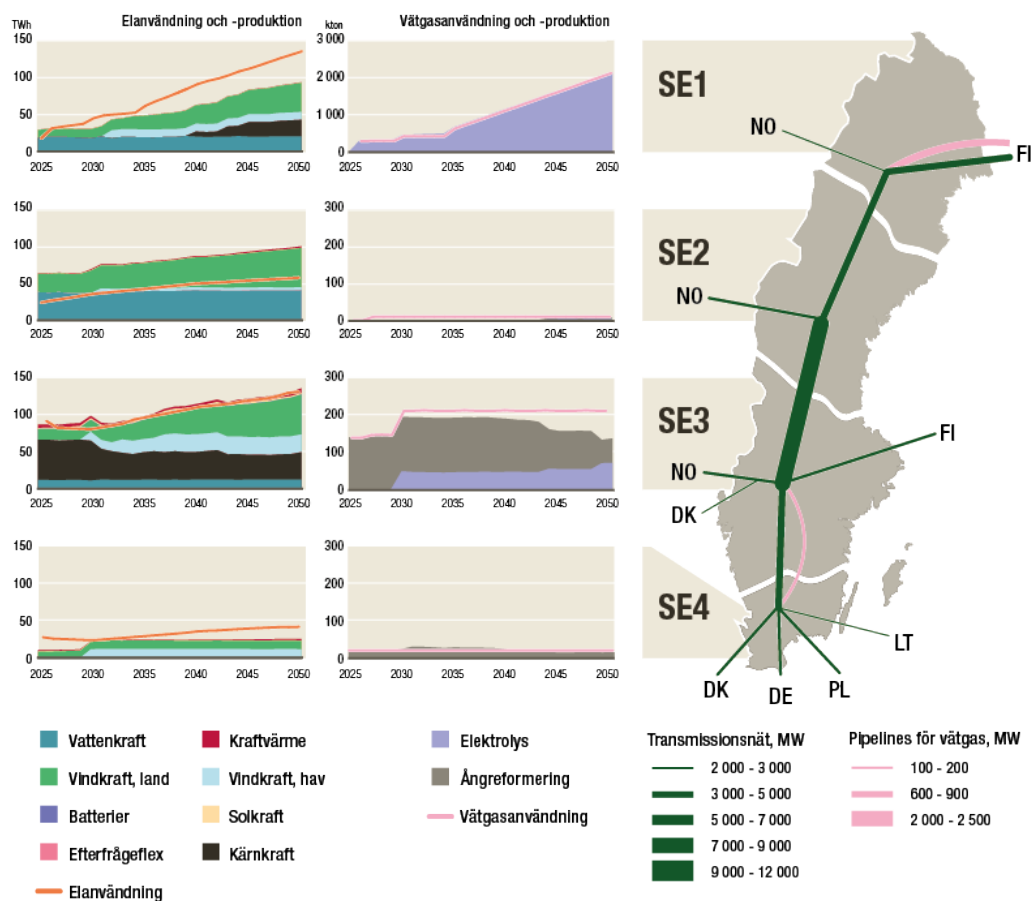
När det gäller installerad elektrolysörskapacitet och vätgasproduktion i referensscenariot står elektrolysörer för den absoluta majoriteten av den framtida vätgasproduktionen med nästan 22 GW installerad kapacitet. Vätgasproduktion via ångreformeringskapacitet som existerar idag sker till största delen i SE3. Den ångreformeringskapacitet som existerar idag

⁴¹ (SWECO, Analys av vätgasinfrastruktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973, 2024)

kvarstår, men det är inte möjligt i modellen att investera i ytterligare ångreformeringskapacitet.

Gällande energilager görs i *Referensscenariot* inga ytterligare investeringar i modellen utöver den exogent antagna utbyggnaden av kapaciteten på batterilager och vätgaslager. Detta innebär att modellen har beräknat att ytterligare lagerkapacitet inte har förutsättningar att sänka systemets totalkostnad.

I *Referensscenariot* investerar modellen i en ökad överföringskapacitet i transmissionsnätet mellan SE1–Finland, samt mellan SE1–SE2. Mellan SE2–SE3 ökar också överföringskapaciteten, dock enbart i enlighet med Svenska kraftnäts idag kända investeringsplaner. Inga investeringar görs mellan SE3–SE4, samt SE3–Finland. Den mesta av vätgasen produceras i samma område som den konsumeras. För gränserna SE1-Finland respektive SE3-SE4 byggs rörledningskapacitet i *Referensscenariot*. Detta gäller även för känslighetsanalyserna.



Figur 11 Modellerad el- och vätgasanvändning och produktion samt utveckling av energisystemet år 2050 i referensscenariot⁴² De två översta graferna motsvarar SE1, sedan följer SE2 och SE3. De två understa graferna representerar elanvändning och produktion och vätgasanvändning och produktion i SE4.

⁴² (SWECO, Analys av vätgasinfrastruktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973, 2024)

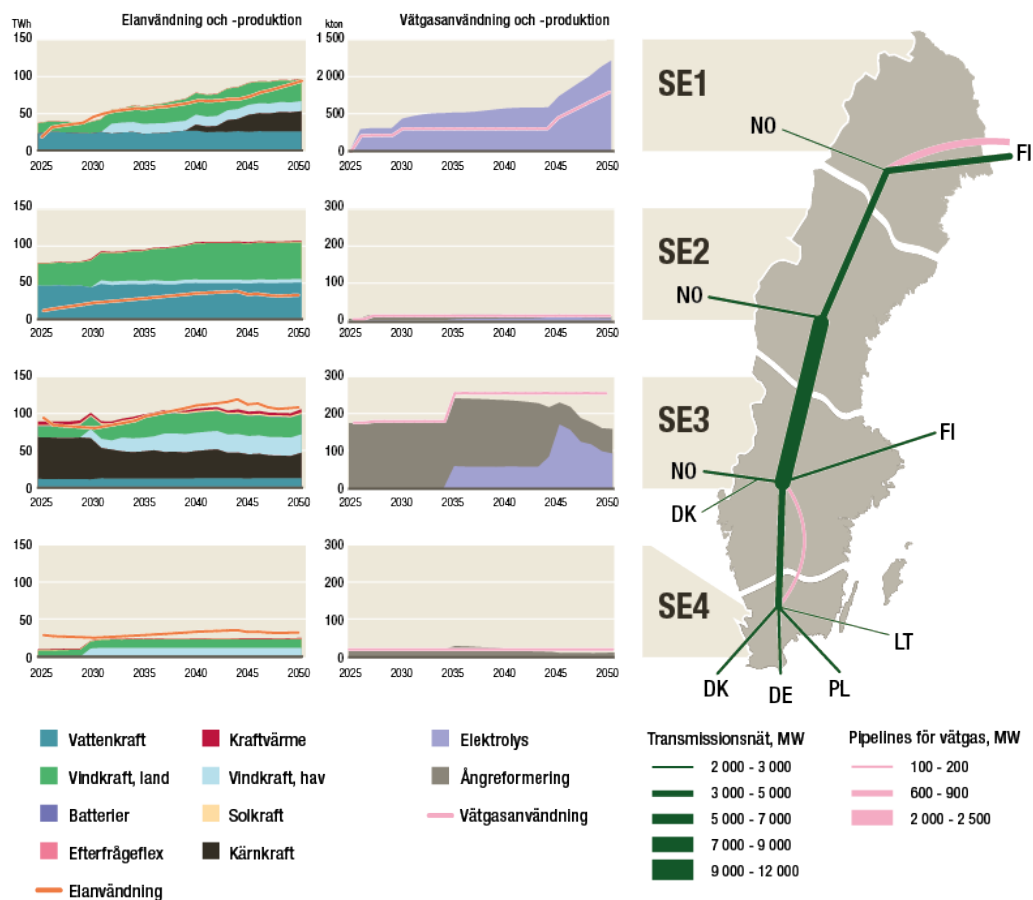
Lägre el- och vätgasanvändning

Figur 12 visar modelleringsresultat för el- och vätgasanvändning och produktion samt utveckling av energisystemet år 2050 i känslighetsanalysen *Lägre el- och vätgasanvändning*.

Förskjutningen av energiomställningen som antas i *Lägre el- och vätgasanvändning* leder till en minskning i utbyggnaden av produktionskapacitet för både el och vätgas jämfört med *Referensscenariot*. Med en mindre el- och vätgasanvändning installeras mindre landbaserad vindkraft i SE1 och SE3.

Med förskjutningar av vätgasprojekten installeras ungefär 14 GW elektrolysrkapacitet fram till år 2050, vilket är ca hälften av den kapacitet som etableras baserat på *Referensscenariot*.

Den minskade efterfrågan i Sverige möjliggör en ökad export av vätgas till Finland vilket visar sig i den ökade överföringskapaciteten för vätgas mellan SE1 och Finland. Samtidigt förskjuts ökningen av överföringskapacitet mellan SE3 och SE4 i vätgasrörledningar som också till slut blir något mindre jämfört med *Referensscenariot*. På transmissionssidan resulterar detta scenario också i minskad överföringskapacitet mellan SE1 och Finland, samt mellan SE1 och SE2.



Figur 12 Modellerad el- och vätgasanvändning och produktion samt utveckling av energisystemet år 2050 i känslighetsanalysen *Lägre el- och vätgasanvändning*⁴³. De två översta graferna motsvarar SE1, sedan följer SE2 och SE3. De två understa graferna representerar elanvändning och produktion och vätgasanvändning och produktion i SE4.

Ny kärnkraft 2035

Figur 13 visar modelleringsresultat för el- och vätgasanvändning och produktion samt utveckling av energisystemet år 2050 i känslighetsanalysen *Ny kärnkraft 2035*.

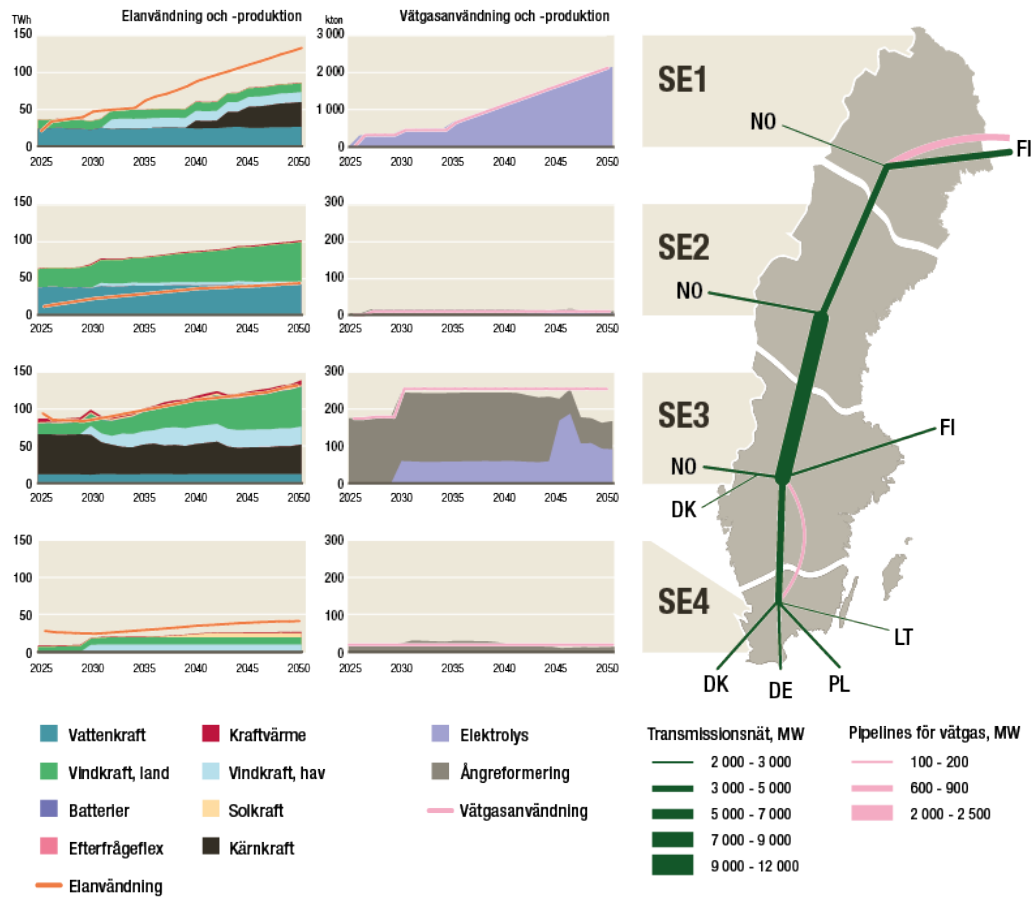
I *Ny kärnkraft 2035* tillkommer en exogent definierad kärnkraftskapacitet som inkluderas på icke marknadsmässiga grunder i SE1. I den här känslighetsanalysen är utbyggnaden av landbaserad vindkraft i SE3 ca 3 GW mindre år 2050 jämfört med *Referensscenariot*, vilket är en direkt konsekvens av den ökade kapaciteten på kärnkraft. Elektrolysrörkapaciteten påverkas inte signifikant av att mer kärnkraft tillförs till energisystemet. Vätgasbehovet kvarstår oförändrat och likaså den installerade kapaciteten för elektrolysörer.

Med ökad kärnkraft uppstår några mindre skillnader i överföringskapacitet för både transmissionsnätet och vätgasledningar jämfört med *Referensscenariot*. Mellan SE1

⁴³ (SWECO, Analys av vätgasinfrastruktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973, 2024)

och Finland blir överföringskapaciteten för eltransmission något lägre, medan kapacitet i vätgasrörledning ökar.

Mellan SE1-SE2 noteras en mindre överföringskapacitet i transmissionsnätet jämfört med *Referensscenariot*, vilket kan bero på en ökad elproduktion i SE1 och därmed minskat överföringsbehov från söder till norr. Mellan SE2 och SE3 är i stället överföringskapaciteten för transmissionsnätet något högre.



Figur 13 Modellerad el- och vätgasanvändning och produktion samt utveckling av energisystemet år 2050 i känslighetsanalysen *Ny kärnkraft 2035*⁴⁴. De två översta graferna motsvarar SE1, sedan följer SE2 och SE3. De två understa graferna representerar elanvändning och produktion och vätgasanvändning och produktion i SE4.

Begränsad vind i SE1

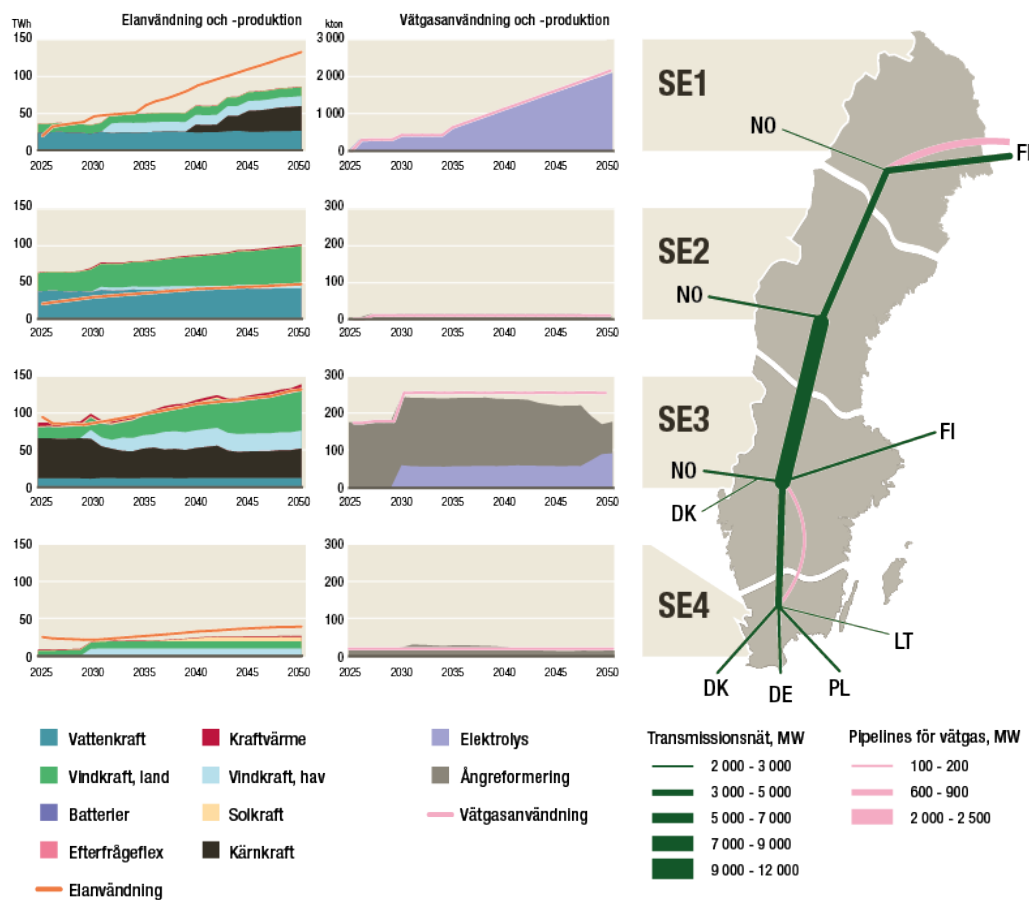
Figur 14 visar modelleringsresultat för el- och vätgasanvändning och produktion samt utveckling av energisystemet år 2050 i känslighetsanalysen *Begränsad vind i SE1*.

Den begränsade utbyggnadspotentialen av vindkraft i SE1 leder till att efterfrågan på el i SE1 i detta scenario blir dubbelt så hög som den möjliga elproduktionen. Det stora underskottet på produktion inom elområdet ger ett ökat importbehov från omkringliggande elområden. El- och vätgasefterfrågan samt vätgasanvändning är samma som i *Referensscenariot*. Däremot leder förutsättningarna för elproduktionen

⁴⁴ (SWECO, Analys av vätgasinfrastruktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973, 2024)

till att 2 GW mindre installerad elektrolysörkapacitet etableras i Sverige jämfört med *Referensscenariot* år 2050.

Överföringskapaciteten i vätgasledningar förskjuts från år 2030 i *Referensscenariot* till år 2035 i den här känslighetsanalysen. Flödena vänder också och går i detta scenario från Finland till SE1. Mellan SE1 och SE2 noteras ett högre överföringsbehov i transmissionsnätet, vilket kan bero på ett ökat behov av tillförd el till följd av lägre elproduktion inom SE1. Även mellan SE3 och Finland är överföringskapaciteten för transmissionsnätet något högre jämfört med *Referensscenariot*, vilket även det kan komma till följd av den ökade obalansen mellan efterfrågan och produktion i SE1.



Figur 14 Modellerad el- och vätgasanvändning och produktion samt utveckling av energisystemet år 2050 i känslighetsanalysen *Begränsad vind i SE1*⁴⁵. De två översta graferna motsvarar SE1, sedan följer SE2 och SE3. De två understa graferna representerar elanvändning och produktion och vätgasanvändning och produktion i SE4.

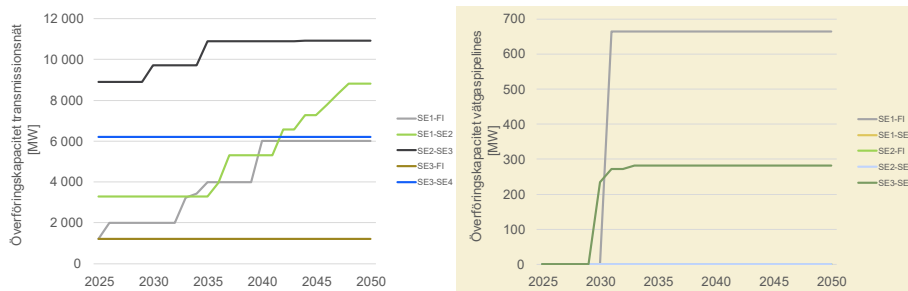
Utbyggnad av elledning respektive rörledning

Trots att ingående kostnadsantaganden innebär att det är billigare att bygga vätgasrörledningar än elledningar, investeras det i de modellerade scenarierna mycket mer i elledningar (se Figur 15). Orsaken till detta är att en vätgasrörledning bidrar till mindre nytta i det modellerade systemet jämfört med elledningar, där en bidragande

⁴⁵ (SWECO, Analys av vätgasinfrastuktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973, 2024)

faktor är att efterfrågan på el är jämnare fördelad mellan elprisområdena än efterfrågan på vätgas. För vätgas är skillnaden i efterfrågan mellan närliggande elprisområden närmast ensidig. Den exogent antagna efterfrågan på vätgas är lokaliserad till 90 procent i SE1 och till 10 procent i SE3.

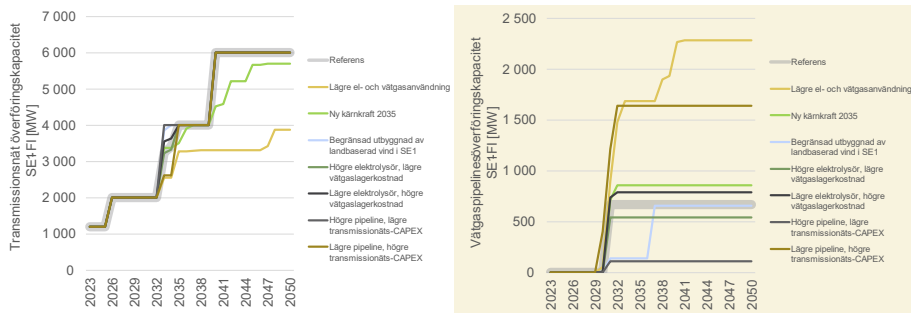
Vätgasefterfrågan finns även i anläggningar i SE2 och SE4, men dessa är i sammanhanget närmast försumbara. Detta leder till att en rörledning i huvudsak endast flyttar energi i en riktning mellan två närliggande elprisområden, medan en elledning kan bidra till effektbalansen i båda områdena. Som ett exempel visar resultaten att även om den dominerande flödesriktningen i transmissionsnätet mellan SE1-SE2 är från SE2 till SE1 så finns det även många timmar då elen flödar åt andra hållet. Då det knappt finns någon vätgasefterfrågan i SE2 kan en rörledning inte bidra till effekttillräckligheten i SE2, och därför prioriteras transmissionsnätsutbyggnaden trots att den är dyrare per installerad MW överföringskapacitet. Det är inte orimligt att anta att en större efterfrågan på vätgas i exempelvis SE2 skulle öka nyttan med en vätgasrörledning mellan SE2-SE3 samt SE1-SE2 och leda till en utbyggnad av vätgasrörledningar mer likt det resultat vi ser mellan SE1 och Finland.



Figur 15 Överföringskapacitet i transmissionsnätet och vätgasrörledningar mellan år 2023 – 2050 för *Referensscenariot*⁴⁶

Det är främst kapaciteten i transmissionsnätet mellan SE1-SE2 och vätgasrörledningen mellan SE1-FI som påverkas i känslighetsfallen (se Figur 16). Från och med år 2029 är elpriserna i SE1 lägre än i Finland och i de fall en fortsatt stor utbyggnad av vindkraften i SE1 är möjlig transporterar rörledningen vätgas från SE1 till Finland. Den ökade transmissionsnätskapaciteten mellan SE1 och SE2 hjälper till att tillgodose den ökande efterfrågan på el i SE1 från 2030 i samtliga analyserade fall.

⁴⁶ (SWECO, Analys av vätgasinfrastruktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973, 2024)



Figur 16 Överföringskapacitet i transmissionsnät och vätgasrörledningar mellan SE1 och Finland i de modellerade scenarierna och känslighetsfallen⁴⁷

Ett större internt produktionsöverskott på el (*Lägre el- och vätgasanvändning* och *Ny kärnkraft 2035*) leder generellt till högre vätgasexport och minskad elimport till SE1 från SE2 och FI. Om den interna produktionskapaciteten inom SE1 begränsas (*Begränsad utbyggnad av vindkraft i SE1*) används i stället rörledningen från Finland för att importera vätgas och elimporten från SE2 ökar.

Resultatet är också känsligt för kostnadsändringar. Lägre kostnader för att upprätta rörledning (*Lägre pipeline-, högre transmissionsnätscostnad*) ger generellt högre kapacitet på vätgasrörledningar med ökad export av vätgas till Finland och minskad kapacitet när priserna på rörledningar ökar. Under rätt kostnadsförutsättningar byggs även rörledning mellan SE2 och SE3 (*Lägre pipeline-, högre transmissionsnätscostnad* och *Lägre elektrolysör, högre vätgaslagerkostnad*), men kapaciteten som modellen i dessa fall väljer att installera är mycket låg (< 100 MW) vilket inte motiverar utbyggnad av vätgasrörledningar mellan dessa två elområden.

Några nyckelobservationer avseende etablering av olika typer av infrastruktur från känslighetsanalyserna:

- Utbyggnaden av vätgasrörledningar i känslighetsanalyserna för investeringar i transmissionsnät och vätgasrörledningar ökar vid lägre investeringskostnader i vätgasrörledningar och minskar när investeringskostnaderna ökar. Ändringar i investeringskostnader för transmissionsnätet får inte samma effekt, utan där förblir utbyggnationen relativt konstant.
- Vid ökad utbyggnad av elproduktionskapacitet i närheten av de stora industriella förbrukarna av vätgas i SE1, minskar behovet av utbyggt transmissionsnät mellan elområden eftersom elbehovet till stora delar kan täckas regionalt.
- *Lägre el- och vätgasanvändning* resulterar i minskad eltransmission mellan SE1 och Finland samt SE1-SE2 samt ökad export av vätgas till Finland vilket visar sig i en ökad överföringskapacitet för vätgas mellan SE1 och Finland. Vätgasöverföringen mellan SE3 och SE4 förskjuts och blir något mindre jämfört med *Referensscenariot*.

⁴⁷ (SWEKO, Analys av vätgasinfrastruktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973, 2024)

- Vid *Begränsad utbyggnad av vindkraft i SE1* vänder vätgasflödena och går i detta scenario från Finland till SE1 och det noteras ett högre överföringsbehov i transmissionsnätet mellan SE1 och SE2 jämfört med *Referensscenariot*.

Avslutande reflektion

Modelleringen visar en tydlig preferens för lösningar där vätgas produceras och konsumeras inom samma elprisområde, vilket begränsar energiöverföringsbehovet. Det är viktigt att poängtera att detta är ett delvis konstruerat resultat där ingående antaganden, som baseras på kartläggningen, redan pekar i den riktningen. I verkligheten följer det av industriell logik att placera sin anläggning där det finns god tillgång till viktiga råvaruresurser och samarbetspartners. I modelleringen minimeras kostnaden för infrastruktur om balans mellan utbud och efterfrågan kan uppnås inom ett elprisområde, eftersom infrastruktur inom elområdet inte beräknas eller kostnadsbestäms av modellen. Exogent definierad kapacitet på både vätgaslager respektive elproduktion samt fördelningen av efterfrågan på vätgas är tre exempel på områden som bör analyseras djupare för att få en bättre helhetsbild.

Kartläggningen visar att de stora aktörerna försöker lösa sina utmaningar själva i nära samarbete med partners, men de stora osäkerheter som råder kring vätgas riskerar att bromsa utvecklingen. Inom SE1 har sådana system redan börjat ta form. Ekosystemet involverar även parter och delsystem utanför Sveriges gränser, som kan komma att spela en betydelsefull roll för realiserandet av de stora industrisatsningarna i norra Sverige. Begränsningarna och antagandena som använts i modelleringen är dock så omfattande och samtidigt restriktiva att resultaten skulle behöva prövas ytterligare för att anses robusta i meningen att förbindelserna kommer att gå i en viss riktning eller etableras vid en viss tidpunkt. Vad den optimala totala kapaciteten för lagring av vätgas blir och hur den ändras i de olika scenarierna är ytterligare en fråga som hade varit värdefull att studera närmare.

Sammantaget går det inte att utifrån resultat från modelleringen utesluta specifika överföringstekniker och systemlösningar. Även om det finns en viss konkurrens mellan vätgasrörledningar och transmissionsnät, där modellanalysen premierar transmissionsnät, så fyller de båda överföringsteknikerna olika syften som kompletterar varandra och kan komma att behövas för att tillgodose den omfattande efterfrågan på el och vätgas som framkommer i kartläggningen. Båda typerna av infrastruktur kan samexistera för att bidra till en diversifierad och resilient energiförsörjning.

3 Flexibilitet och energilagring

Vätgassystemet förväntas bli nära sammankopplat med elsystemet och har därför stor teoretisk potential att bidra med nyttor för elsystemet. Vätgasens bidrag med flexibilitet kan komma i form av balansering på kort och lång sikt och kan bidra till jämnare elpriser, samt få betydelse vid kapacitetsutmaningar på lokal och regional nivå, och utmaningar med överföring mellan elområden. Inom elsystemet är flexibilitetsbehoven relativt kända och förväntas öka i takt med utbyggnaden av ny vindkraft och större elanvändning⁴⁸. För det framtida vätgassystemet är behovet av att balansera utbud och efterfrågan av vätgas på olika tidsskalor ännu utforskat och kommer till stor del bero på utbyggnaden av vätgasinfrastruktur och lager.

Nulägesbilden är att den största teoretiska potentialen för flexibilitet för elsystemet i framtiden kommer att finnas hos aktörer som planerar för elektrolysörer och processer för omvandling eller användning. För att realisera den teoretiska flexibilitetspotentialen är en grundläggande förutsättning att dessa aktörer har tillgång till vätgaslager och/eller anslutning till vätgasnät. För att ett vätgaslager ska komma till sin rätt behöver elektrolysören överdimensioneras relativt den efterliggande processen. Lönsamheten med flexibilitet bestäms därför i hög grad av kapital- och driftskostnader för att dels utöka kapaciteten hos elektrolysören, dels lagra vätgas, och/eller i lägre grad kunna reglera ned processen där vätgasen används eller omvandlas. Därtill kommer kostnader för elnätanslutning och eventuell anslutning till vätgasnät eller utbyggnad av egna rörledningar. Kostnaderna för att vara flexibel ställs mot eventuella intäkter och besparingar med flexibilitet. Enligt kartläggningen⁴⁹ projekterar de flesta aktörerna i dagsläget inte för att skapa flexibilitet genom investeringar i egen lagerkapacitet, men utformningen av och förutsättningarna på morgondagens marknader, alternativt nya styrmedel om så beslutas, skulle kunna skapa incitament även för dessa aktörer att bidra med flexibilitet för elsystemet.

Av den totala nominella effekt för de planerade elektrolysörerna om över 25 GW⁵⁰ mot år 2050 som är kända idag, kommer uppskattningsvis 15 GW kunna vara tillgänglig som någon typ av flexibilitet med varierad uthållighet och återhämtning. Merparten av potentialen utgörs emellertid av primärt en aktör i SE1 som är den enda i Sverige som idag planerar för storskalig vätgaslagring. Om och i vilken grad vätgassystemets aktörer har möjlighet att tillhandahålla flexibilitet för elsystemet på ett företagsekonomiskt och samhällsekonomiskt effektivt sätt är en fortsatt viktig fråga att följa givet att ungefär en tredjedel av Sveriges elbehov år 2050 kan komma från elektrolysörer.⁵¹

⁴⁸ Högre elanvändning leder till behov av mer produktionskapacitet, men det leder också till en högre absolut nivå av prognosfel för lasten i elsystemet mellan dagen-före marknadens stängning, intradagsmarknadens stängning och drifttimmen.

⁴⁹ Se avsnitt 192.1, sida 18.

⁵⁰ Som referens motsvarar 25 GW ungefär den effekttopp som varit i det svenska elsystemet under perioden 2021-2023, se exempelvis (Svenska kraftnät (2023/1019), 2023).

⁵¹ Denna frågeställning diskuteras även i (Energimyndigheten (ER2024:03), 2024).

3.1 Flexibilitet för elsystemet

Elsystemet förväntas behöva förstärkas i alla dimensioner för att möta den ökande efterfrågan på el. Förstärkningar kommer att behövas i såväl kapacitet för produktion av energi och effekt som i kapacitet i näten. Balansen mellan utbud och efterfrågan förväntas framöver bli mer utmanande att upprätthålla då en ökande andel av produktionskapaciteten för el blir väderberoende och därmed varierar över tid. Behovet av flexibilitet i användarledet kommer bli större än tidigare för att understödja en mer ansträngd marknad för reglerkraft och minska risken för effektbrist. Flexibilitet är också en effektiviseringsförmåga som kommer kunna tillföra elsystemet och producenterna nytta av olika slag. Flexibilitet kan delas in i efterfrågeflextabilitet, energilagring och styrning av elproduktion, varav de två förstnämnda bedöms medföra störst potential för vätgasens möjligheter att bidra med flexibilitet för det framtida elsystemet.

3.1.1 Vad är efterfrågeflextabilitet?

Efterfrågeflextabilitet handlar om att kunna anpassa användningen av el eller någon annan produkt. I många fall avstår man då kortsiktigt från en nytta som elen tillgodoser, men som sedan (eller i förväg) kompenseras för. I ett sådant fall har man flyttat sin last i tiden. Efterfrågeflextabilitet kan också innebära reducerad elanvändning där den förväntade nyttan kan komma med hjälp av andra resurser eller flexibilitet hos själva användaren. I dessa fall har en elbesparing gjorts.

En av nycklarna för att realisera potentialen är att prissignalerna når fram eller att andra incitament är givna, exempelvis via marknadsplatser, elhandlare, eller som nättariff, alternativt på avtalsmässiga grunder. Aktiveringen av efterfrågeflextabilitet som sker frivilligt kallas implicit efterfrågeflextabilitet medan aktivering som sker genom avtal och på så vis är garanterad kallas explicit efterfrågeflextabilitet.

3.1.2 Energilagring för flexibilitet

När det kommer till energilagring för flexibilitet kommer den största potentialen finnas i kopplingen till elanvändningen för produktion av vätgas. Energilagring i form av vätgas eller vätgasderivat kan med andra ord också möjliggöra efterfrågeflextabilitet.

Vätgasderivat kan i någon mening utgöra möjliga lager direkt för elsystemet men måste då omvandlas tillbaka till elenergi via exempelvis bränsleceller eller gasturbiner. Eftersom varje steg av en sådan process är förknippad med energiförluster, i synnerhet om inte restströmmar tas om hand, blir effektiviteten och lönsamheten lägre för varje ytterligare steg av omvandling.

3.2 Flexibilitet kan ge olika nytta i olika tidsperspektiv för elsystemet

Flexibilitet med vätgas kan realiseras med efterfrågeflextabilitet och energilagring och kan exempelvis omfatta stödtjänster för balanshållning, flexibilitet för att hantera

nät kapacitetsbrist, eller hantering av variationer i elproduktion över olika tidsskalor.⁵² Flexibilitet för därmed med sig olika nyttor för systemet inom olika tidshorisonter och på olika systemnivå. Nyttområdena beskrivs väl i uppdraget Främjande av ett mer flexibelt elsystem⁵³, ("Flexibilitetsuppdraget"). Nyttområdena för flexibilitet sammanfattas i tabell 2 nedan. Vätgasen förväntas kunna bidra till samtliga av dessa områden.

Tabell 2. Nyttområden för flexibilitet i elsystemet som vätgas kan bidra till, beskrivet i sin helhet i flexibilitetsuppdraget⁵⁴.

Nyttområde	Tidsskala ⁵⁵	Förklaring	Marknadsplatser
Flexibilitet för energi/variations hantering	Timmar, upp till dagar, säsonger och år före drift	Balansera säsong-/ mellanårig energitillgänglighet samt balansera variationer i residuallast ⁵⁶	- Dagen före-marknaden - Intradagmarknaden - Finansiella marknaden - Långsiktiga fysiska kontrakt
Flexibilitet för balansering/ effekt	Realtid upp till en timme före drift	Balanser prognosfel i last och produktion samt balansera oförutsägbara, snabba förändringar	Balansmarknad: - FCR (Frequency Containment Reserve) - aFRR (automatic Frequency Regulation Reserve) - mFRR (manual Frequency Regulation Reserve)
Flexibilitet för överföring	Minuter till timmar före drift	Hantera risker för överbelastning i nätet samt frigöra överföringskapacitet för att på kort sikt avlasta behovet av att bygga ut nätkapacitet	Kapacitetstjänster för att hantera överlast i näten: - Lokala flexibilitetsmarknader - Omdirigering på transmissionsnätets nivå genom stödtjänstmarknader - Särskild upphandling - Villkorade anslutningsavtal

I flexibilitetsuppdraget gjordes kvantifierade uppskattningar av flexibilitet för energi och balansering på nationell nivå och på elområdesnivå. Uppskattningarna visar bland annat att nyttan med flexibilitet för energi i termer av energiförflyttningar⁵⁷ under

⁵² Potentialen för vätgas eller vätgasderivat att även kunna bidra till flexibilitet genom styrning av elproduktion annat än lokal reservkraft eller nationell effektreserv bedöms som låg i dagsläget, men kan bli aktuellt om det blir mer ekonomiskt lönsamt.

⁵³ (Energimarknadsinspektionen (Ei R2023:18), 2023)

⁵⁴ (Energimarknadsinspektionen (Ei R2023:18), 2023)

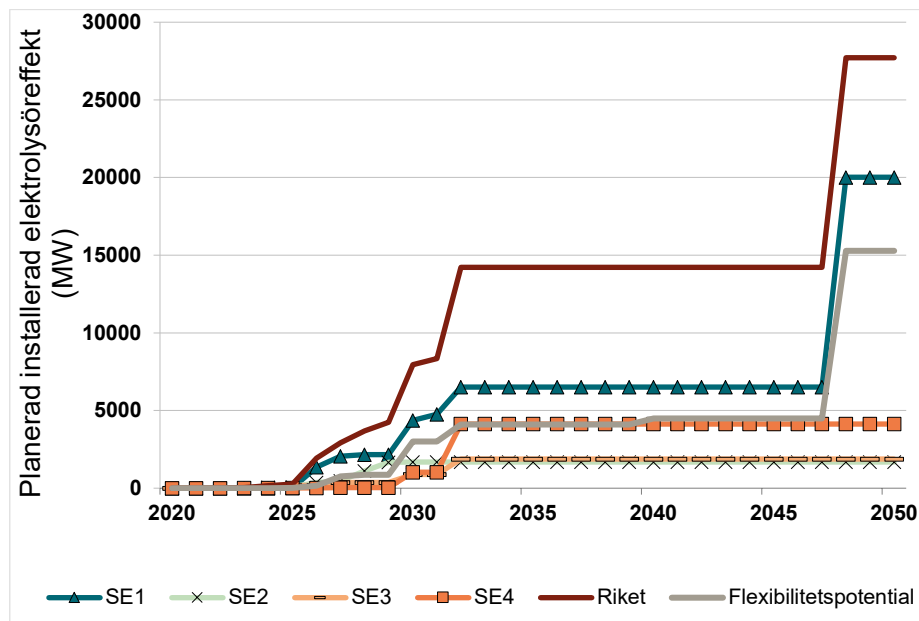
⁵⁵ Framförhållning mot drifttimmen, ej uthållighet.

⁵⁶ Även kallat nettolast, det vill säga den last som är kvar när man subtraherar väderberoende kraftproduktion från bruttolasten. Med last avses elanvändarnas effektuttag.

⁵⁷ Med energiförflyttningar avses en utjämning av den så kallade residuallasten som är den nettolast som återstår att hantera när man summerar den väderberoende elproduktionen (sol-, vind- och strömkraft) med bruttolasten. Förflyttningarna återspeglar ett hypotetiskt behov av att lasten ska vara så jämn som möjligt för den planerbara elproduktionen.

vintrarna framöver ökar mellan år 2023/2024 och år 2030/2031. Exempelvis uppskattas behovet av energiförflyttningar på veckonivå till cirka 110 GWh per vecka vintern år 2023/2024 och över 160 GWh per vecka vintern år 2030/2031. Uppskattningarna visar också på en ökad nytta med flexibilitet för balansering framöver. Idag handlas i genomsnitt cirka 500 MWh/h i på balansmarknaden under vintersäsongen, men till vintern år 2030/2031 förväntas behovet av balanstjänster öka till över 600 MWh/h.

Volymerna ger en grov bild av det totala behovet för flexibilitet för energi och balansering.⁵⁸ I den analys som gjordes inom flexibilitetsuppdraget uppskattades den *teoretiska* (ad extremum) flexibilitetspotentialen inom framtida elektrolysörer till att vara över 25 GWh över en given timme⁵⁹ år 2050. Den *tillgängliga* potentialen bedöms då vara ungefär 15 GWh⁶⁰ över en given timme, se Figur 17, med hänsyn till olika förutsättningar som beskrivs senare i avsnittet. Som exempel skulle energiförflyttningen 105 GWh/vecka kunna ske med antagandet om genomsnittlig lagerkapacitet motsvarande en timmes vätgasproduktion och med en hel aktiveringscykel per dygn.



Figur 17. Uppskattad totalt installerad elektrolysöreffekt (MW) i Sverige per år. Flexibilitetspotentialen är en uppskattning baserad på nyttoområdet flexibilitet för energi (data från kartläggningen⁶¹).

⁵⁸ Elmarknadsdirektivet artikel 2.20. *Efterfrågeflexibilitet: avser den del av flexibilitet som avser förändringar i belastningen i fråga om el från slutkunder, jämfört med deras normala eller nuvarande förbrukningsmönster, som svar på marknadssignaler, inbegripet som svar på tidsvarierande elpriser eller ekonomiska incitament, eller som svar på antagandet av slutkundens bud om att sälja efterfrågeminskning eller -ökning till ett visst pris på organiserade marknader enligt definitionen i artikel 2.4 i kommissionens genomförandeförordning (EU) nr 1348/2014 (17), enskilt eller genom aggregering.*

⁵⁹ GWh/h är en enhet för flexibilitet och motsvara en given energiförflyttning per timme, men också den genomsnittliga effekten per timme.

⁶⁰ Denna volym är en nedjustering från flexibilitetsuppdraget baserat på nya uppgifter genom kartläggningen.

⁶¹ (SWECO, Kartläggning av nuläget och framtiden avseende tillförsel, omvandling och användning av vätgas - Analysstöd för Energimyndigheten (dnr 2023-201973), 2024)

3.3 Förutsättningar för vätgas att bidra med flexibilitet för elsystemet

För att tillgängliggöra potentialen med flexibiliteten behövs regulatoriska⁶², tekniska och ekonomiska förutsättningar, samt några grundläggande förutsättningar. Potential för flexibilitet kan finnas i olika resurser och i olika delar i vätgasens värdekedja; tillförsel, omvandling och användning.

Energimyndigheten bedömer att merparten av flexibilitetspotentialen i Sverige kommer finnas i tillförselsteget hos aktörer med produktion av vätgas med elektrolys⁶³, det vill säga möjligheten att anpassa elanvändningen i elektrolysörerna. På sikt kan andra typer av aktörer bli mer relevanta för att bidra med flexibilitet för elsystemet. I grova drag finns enligt nulägesbilden följande grundläggande fall och förutsättningar för att bidra med flexibilitet:

- Om produktionen av vätgas är direkt kopplad till processer för omvandling eller användning av vätgas och dessa processer är flexibla med avseende på vätgasen så kan elektrolysören också användas flexibelt. Då finns potentiellt två flexibla resurser; den ena är den industriella processen om den är elberoende, och den andra är elektrolysören.⁶⁴
- Om produktionen av vätgas är direkt kopplad till processer för omvandling eller användning av vätgas och dessa processer inte är flexibla med avseende på vätgas ställs högre krav på tillförselsteget. Detta består då av antingen en överdimensionerad kapacitet för vätgasproduktionen i kombination med ett vätgaslager eller koppling till ett vätgasnät.
- Om produktionen av vätgas inte är direkt kopplad till någon process för omvandling eller användning krävs infrastruktur för att tillgodose behovet av att transportera vätgasen. Dessutom blir aktören i högre grad än ovan beroende av både vätgasmarknaden och elmarknaden.

En tillkommande grundläggande förutsättning är en matchning av periodvis ökade effektbehov som kan uppstå vid överdimensionerad produktionskapacitet och elnätanslutning, samt eventuellt fler och svårare tillståndprocesser för större produktionsanläggningar, energilager och kringliggande infrastruktur.

Om de grundläggande förutsättningarna finns för att i något led bidra med flexibilitet för elsystemet kommer därefter de tekniska och ekonomiska förutsättningarna avgöra hur stort bidraget är och vilken typ av nytta flexibiliteten ska bidra till.

⁶² Se exempelvis rapporten Främjande av ett mer flexibelt elsystem för en grundläggande genomgång av regulatoriska förutsättningar. (Energimarknadsinspektionen (Ei R2023:18), 2023)

⁶³ Vätgasproduktion kan exempelvis också ske med plasmaförgasning, förgasning av biomassa, och med termokemisk framställning med solenergi men teknikerna har inte nått samma mognadsgrad som elektrolys och kommer sannolikt inte vara aktuella för Sverige.

⁶⁴ En flexibel industriell process kan exempelvis möjliggöras med lager av intermediära produkter eller slutprodukter, vilket i sin tur kräver en överdimensionerad kapacitet i steget där vätgasen används.

3.3.1 Tekniska förutsättningar för flexibilitet inom vätgasproduktion

Elektrolysörer med kommersiell teknik som PEM (Polymer Exchange Membrane) och alkalisk vattenelektrolys har redan idag goda tekniska förutsättningar att styras, med några skillnader sinsemellan. Exempelvis, PEM är normalt något snabbare i sin respons och ramphastighet, men båda teknikerna kan uppfylla kraven för stödtjänster för balansering. En översikt av olika typer av elektrolysörer presenteras i tidskriften *Results in Engineering*⁶⁵, och de tekniska förutsättningarna för flexibilitet beskrivs också i tidigare rapporter^{66 67}.

Teknikutvecklingen kommer på sikt bana väg för ytterligare möjligheter med dessa kommersiella tekniker, exempelvis för att minska på degradering vid kallstartar, men också för intåget av nydanande tekniker som exempelvis högttemperaturelektrolys och plasmaförgasning.

3.3.2 Ekonomiska förutsättningar för flexibilitet

För aktörer som själva omvandlar eller använder vätgasen kommer lönsamheten i att vara flexibel vara beroende av kapital- och driftskostnader för att överdimensionera sin anläggning för produktion av vätgas (primärt elektrolysörer), alternativt för flexibilitet i omvandlings- eller användningsprocessen i sig, och för eventuell vätgaslagring men också kostnader för el- och vätgasinfrastruktur som krävs. För aktörer som inte själva nyttjar vätgasen behöver de väga in kostnader för investering och drift av elektrolysören och vätgasinfrastruktur samt motsvarande kostnader för egenproducerad el alternativt nätanslutning och elhandel, samt kostnader för vätgasinfrastruktur.

På andra sidan av kalkylen finns lönsamheten i att vara flexibel. Givet den framtida osäkerhet med volatiliteten i elpriset, nättariffernas utformande, inverkan från fler aktörer som anpassar sin elanvändning, behovet av stödtjänster, med mera, är det idag svårt att göra en sådan kalkyl.

För aktörer med storskaliga elektrolysörer (> 100 MW) med en årlig elanvändning av storleksordningen en TWh eller mer blir kostnaden för elen en betydande del av kalkylen. Varje öre sänkt elkostnad som genomsnitt på den totala användningen leder till en besparing om minst 10 miljoner kronor per år. Sett till det stora behov av el som dessa aktörer har, bör det finnas skäl för aktörerna att överväga att prissäkra sina inköp av el. Beroende på utformning av avtal och omfattning av prissäkringar kan incitamenten för att agera flexibelt påverkas, i synnerhet om det rör sig om avtalstyperna take-and-pay (fastprisavtal) där alla typer av prisrisker är inkluderade i priset. Det är dock svårt att föreställa sig att hela behovet av el skulle kunna tillgodoses genom bilaterala avtal där leverantören åtar sig att bära hela risken för volym- respektive profilavvikelser hos förbrukaren. Detta gäller såväl oavsiktliga eller oplanerade avvikelser som mer kommersiellt drivna justeringar av användningen. Det är med andra ord rimligt att anta att de flesta aktörer med behov av storskalig elektrolys kommer ha incitament att förhålla sig till elprisvariationer över tid och därmed i någon mån nyttja sin flexibilitet på ett sätt som är såväl företagsekonomiskt som samhällsekonomiskt gynnsamt. Energimyndigheten har idag

⁶⁵ (El Shafie, 2023)

⁶⁶ (RISE (2022:81), 2022)

⁶⁷ (Energimyndigheten (ER 2021:34), 2022)

för lite information kring företagens prissäkringsstrategier för att dra specifika slutsatser om potentialen för flexibilitet utifrån deras leveransavtal för el.

Förutsättningarna varierar för olika industrier. Genom kartläggningen som gjorts har de flesta aktörer idag inte projekterat för att vara flexibla med sin vätgasproduktion med avseende mot elsystemet⁶⁸. Anläggningarna för produktion av vätgas via elektrolys är i stället i de flesta fall dimensionerade för kontinuerlig och oavbruten drift, i synnerhet inom industrierna för kemi och raffinaderi. För dessa industrier kommer rörledningar eller ren lagring av vätgas därför vara en grundförutsättning för att denna sektor ska kunna bidra med flexibilitet, men i dagsläget projekteras endast mindre lager som ej är designade för längre uthållighet eller med flexibilitet för elsystemet i åtanke.

Förutom lönsamheten i att vara flexibel för elsystemet för en given aktör behövs i ett vidare sammanhang väl fungerande marknadsplatser med möjlighet för handel med flexibilitetsprodukterna och prissignaler som når fram till aktörerna, samt att aktörerna besitter tillräcklig kunskap för att agera.

3.4 Energilagring för ett flexibelt vätgassystem

Inom vätgassystemet blir diskussionen om flexibilitet lite annorlunda jämfört med inom elsystemet, eftersom det inte längre är bundet till en energibärare som måste balanseras mellan produktion och användning i varje tidpunkt. Vätgas och vätgasderivat kan i sina naturliga former lagras över tid men eftersom det finns tekniska och ekonomiska begränsningar för lagring av ren vätgas behöver produktion och användning matcha bättre än för andra energibärare som är lättare att lagra. Av den anledningen blir också en analys av flexibilitet för vätgassystemet mer relevant. I synnerhet ställs högre krav på balans mellan utbud och efterfrågan i fallen utan ett ihopkopplat vätgasnät eller tillgång till vätgaslager.

3.4.1 Behovet av energilagring

Lagring av vätgas eller vätgasderivat kommer vara en fundamental del i vätgasekonomin. Oavsett möjligheten att bidra till flexibilitet för överliggande system kommer vätgaslager i någon form behöva byggas då de i kombination med transport och distribution spelar en viktig funktion i hantering av utbudet och efterfrågan på vätgas. Rörledningar i ett vätgasnät är i sig att anse som lager, och möjligheten att ansluta till vätgasnät kan möjliggöra flexibilitet och trygg energiförsörjning för den anslutna aktören, samt handel av vätgas med parter som annars inte nödvändigtvis skulle vara tillgängliga. Ett utbyggt vätgasnät är inte en absolut förutsättning för ett flexibelt vätgassystem, det kan i praktiken för olika funktioner ersättas med lokala lager eller annan typ av distribution och transport, men en utbyggd infrastruktur i form av ett nationellt eller internationellt vätgasnät kan skapa fler möjligheter och nyttor. Vilka förutsättningar som kan skapas med en utbyggd infrastruktur adresseras vidare i kapitel 4.

Många aktörer idag projekterar inte för storskalig lagring av vätgas men hos de aktörer som själva nyttjar vätgasen de producerar finns behov att investera i

⁶⁸ Aktörer med krav på kontinuerlig tillförsel av vätgas satsar i stället på småskaliga lager

småskaliga lager. Det kan röra sig om behov för förutsägbara händelser, exempelvis planerad service av elektrolysören, eller om riskminimering vid oförutsägbara händelser. Möjligheten att lagra vätgas och vätgasderivat också är en förutsättning för energiberedskap och reservkraft, vilket vidare adresseras i kapitel 5. Olika former av vätgasderivat och deras respektive egenskaper för att fungera som vätgaslager redogörs för i bilagan ”Vätgasderivat”.

3.4.2 Förutsättningar för lagring av vätgas

Lagring av vätgas är komplext och utmanande. De främsta skälen till detta är vätgasens mycket låga volymsdensitet⁶⁹ vilket resulterar i extremt stora lagringskärl om den lagras under normala förhållanden, låg antändningsenergi, vilket innebär att den antänds lätt (lättare än bensin och naturgas), samt interaktion med flera typer av lagringskärlmaterial som resulterar i materialförsprödning. Vätgas kan lagras i många olika former och som derivat.

Lagring av vätgas antingen i trycksatt form (mer än 200 bar) eller i flytande form (-253 °C vid 1 bar) är idag mogna tekniker⁷⁰, och lämpar sig bäst för lagring av mindre volymer. Anledningen är att både kompression och kylning av vätgas är både dyrt och tekniskt utmanande i stora volymer, exempelvis då det krävs mycket energi att omvandla vätgas till flytande form och på grund av förluster med förångning.^{71,72}

När det kommer till lagring av stora mängder vätgas är saltgrottor, utarmade naturgas- och oljekällor och akvifärer de mest lämpade alternativen.^{73,74} Saltgrottor har länge använts i USA och Storbritannien för att lagra vätgas, då dessa erbjuder vätgaslagring till lågt pris med låg risk för kontaminering. I USA finns idag den största saltgrottan som är i drift för vätgaslagring vilken rymmer upp till 20 000 ton H₂. Utarmade naturgas- och oljekällor är ofta större än saltgrottorna men risken för kontaminering är högre och kostnaderna högre än för saltgrottor. Akvifärer är den minst mogna tekniken av dessa alternativ. Förutom dessa förekommande alternativ finns även andra alternativ som tätskiktbeklädda berggrum (*lined rock cavern (LRC)*), gamla kolgruvor och kylda berggrum (*refrigerated mined caverns*) som kan användas för storskalig lagring.⁷⁵

De naturligt förekommande geologiska alternativen för storskalig lagring av vätgas finns inte i Sverige men ett eventuellt vätgasnät⁷⁶ inom Europa,⁷⁷ skulle kunna öppna upp möjligheten till långtidslagring i andra länder utanför Sveriges gränser. Detta gör att de möjliga alternativen för storskalig lagring av vätgas i Sverige är främst LRC, som också är platsberoende, eller genom råvara i tillverkning av olika vätgasderivat. Metoden med LRC har länge använts för förvaring av naturgas. Än så länge är det endast inom projektet Hybrit i Sverige som lagring av vätgas i LRC planeras, med

⁶⁹ Cirka 0.082 kg/m³ vid atmosfärstryck och rumstemperatur. Som exempel tar 1 kg vätgas vid 25°C och 1 bar tryck upp en volym på ungefär 12 m³. För att lagringen ska bli lönsam behöver energidensiteten öka vilket kräver någon form av upparbetning.

⁷⁰ (Andersson & Grönkvist, 2019)

⁷¹ (SWECO, Internationell och nationell sammanställning av vätgas och vätgasklusters utveckling, 2022)

⁷² (Zhang, o.a., 2023)

⁷³ (International Energy Agency (IEA), The Future of Hydrogen, 2019)

⁷⁴ (SWECO, Internationell och nationell sammanställning av vätgas och vätgasklusters utveckling, 2022)

⁷⁵ (Muhammed, o.a., 2022)

⁷⁶ Ett nät av vätgasrörledningar kan utgöra i sig självt en form av lagring vilket minskar behovet av lokal lagring vid de platser som nätet sträcker sig till.

⁷⁷ (Fossilfritt Sverige, 2021)

cirka 100 000 kubikmeter till slutet av 2040-talet⁷⁸, vilket motsvarar tre till fyra dagars användning och 100 GWh elenergi. Hybrids pilotanläggning om 100 kubikmeter var den första i världen för vätgaslagring.

Vid jämförelse mellan olika lagringsmetoder har rörledningarna pekats ut som det mest ekonomiskt lönsamma för mindre mängder vätgas. I tabell 3 presenteras kostnadsestimat för lagring i LRC jämfört med saltgrottor, där det går att se att LRC-tekniken är ungefär dubbelt så kostnadsintensiv som saltgrottor.⁷⁹ I rapporten Modellerings av svensk elförsörjning från Qvist Consulting Ltd har kostnaden för lagring av vätgas i LRC estimerats till 20–40 kronor/kWh.⁸⁰

Tabell 3 Kostnadsestimat för lagring av vätgas i LRC jämfört med saltgrottor.⁸¹

	LRC (100 ton H₂)	Saltgrottor (100 ton H₂)
Kapitalkostnader (USD/kg H₂)	~160	~95
Årliga driftkostnader (USD/kg H₂)	~26	~17
	LRC (3000 ton H₂)	Saltgrottor (3000 ton H₂)
Kapitalkostnader (USD/kg H₂)	~44	<19
Årliga driftkostnader (USD/kg H₂)	~7	~3

⁷⁸ (HYBRIT, 2023)

⁷⁹ (Papadias & Ahluwalia, 2021)

⁸⁰ (Qvist, Jenkins, Sepulveda, Hellesen, & Håkansson, 2020)

⁸¹ (Papadias & Ahluwalia, 2021)

4 Infrastrukturens påverkan på elpriser, konkurrenskraft och miljö

El- och vätgas användningens förväntade tillväxt de kommande 20–30 åren kräver omfattande investeringar i både produktion och infrastruktur. Utvecklingen avseende infrastruktur för vätgas kan ta olika form och omfattning i kluster eller med mer omfattande ledningsinfrastruktur. I uppdraget ingår att bedöma olika infrastrukturalternativs konsekvenser för utvecklingen av fossilfri industri och konkurrenskraftiga elpriser i Sverige. Bedömningen av infrastrukturens utveckling och konsekvenserna för fossilfri industri baseras på en allmän analys, illustrerade med några resultat från modelleringen.

En mer utbyggd infrastruktur ökar tillgängligheten av vätgas och därmed skapas större möjligheter för fler att nyttja vätgas för sin omställning. Likaledes innebär investeringar i produktion och transmission av el att de kraftigt ökande behoven som förutses kan tillgodoses och att därmed förutsättningar för elektrifiering och vätgasproduktion skapas.

Utbyggnad av infrastruktur har olika påverkan beroende på var den sker. Utbyggnad inom elområden leder till förändringar i respektive elområdes pris och konkurrenskraft – beroende på om det är övervägande produktion eller användning som ansluts. Vid förstärkning av kapacitet mellan elområden sker en utjämning av priserna mellan elområdena. Detta kan sägas vara generellt giltigt för såväl transmissionsnätutbyggnad som för ökad rörledningskapacitet. Utökade kapaciteter leder till förstärkt konkurrens och försörjningstrygghet.

I delen som berör utvecklingen av elpriser och deras konkurrenskraft är utgångspunkten de skuggprisberäkningar som modelleringen har givit. Mot bakgrund av att modelleringen baseras på omfattande antaganden är det viktigt att inte fästa för stor vikt vid exakta nivåer eller årtal i respektive modellerat scenario utan i stället identifiera de övergripande och mer robusta slutsatserna. Ett resultat från samtliga modelleringsscenarioer är att det från mitten av 2030-talet och framåt kan det förväntas bli prisökningar för el och vätgas, vilka drivs av den förväntat kraftigt ökande efterfrågan. Resultaten understryker hur viktigt det är att ytterligare elproduktion kan komma på plats kontinuerligt och att energieffektivisering blir ännu viktigare än tidigare.

Den ökande efterfrågan medför i modelleringen att transmissionskapaciteterna mellan elområdena byggs ut. Förstärkta kapaciteter mellan elområden ger mer stabila priser och minskade skillnader i priser mellan elområdena, jämfört med om denna utbyggnad inte sker. Trots mer transmissionskapacitet visar modelleringen att

prisskillnader mellan elområden består och i perioder även ökar. Detta beror, enkelt uttryckt, på att utvecklingen mellan efterfrågan, utbud och transmissionskapaciteter inte alltid går helt i takt med varandra. En liknande utveckling är trolig även i förhållande till andra länder. I modelleringen redovisas endast Finland explicit. Prisutvecklingen där kommer att vara likartad som den i Sverige, men snarast något mer ökande givet de förutsättningar som har använts vid modelleringen.

En förbättrad transmission mellan elområdena i Sverige kan leda till diversifiering av energitillförsel genom att underlätta flödet av olika typer av energikällor, vilket i sin tur kan bidra till en totalt sett mer stabil och säker energiförsörjning.

4.1 Tillgång till infrastruktur påverkar möjligheterna för fossilfri industri

Kartläggningen av aktuella vätgasprojekt visar en tydlig trend där vätgaskluster inom industrin börjar ta form i olika delar av Sverige. För att dessa kluster effektivt ska kunna växa och utvecklas krävs möjlighet att etablera infrastruktur som i nästa skede kan skalas upp för att hantera storskalig produktion och distribution av vätgas. Sådan infrastruktur gör det möjligt för klustren att expandera och knyts samman i takt med ökad efterfrågan från industrin och andra sektorer. Det skapas därmed också möjligheter för olika typer av utveckling med lokalt och regionalt varierande konstellationer av aktörer.

Mer generellt skapas genom ökad produktion och utbyggd infrastruktur även förutsättningar för framtida aktörer, för vilka tillgång på el och vätgas också kan komma att bli central. Investeringar i vätgasrörledningar gör det möjligt för aktörer att både mata in och ta ut energi från systemet. Vidare bidrar mer storskalig rörbunden transport av vätgas till ökad försörjningstrygghet, utjämnade priser geografiskt samt likartade villkor för näringsidkare. Detta innebär sammantaget stärkt konkurrenskraft och underlättar även för vätgasproducenter att etablera sig.

Att etablera infrastruktur, oavsett om denna avser transport av el eller vätgas, tar betydande resurser i anspråk och innebär ingrepp i natur och miljö. Dessa effekter diskuteras mer ingående i 4.4 Miljöpåverkan.

4.2 Utbyggd infrastruktur jämnar ut priserna på el och vätgas

Bildandet av regionala kluster är ett första steg för att jämna ut lokala obalanser och att matcha utbud och efterfrågan. Stora prisskillnader och obalanser kan dock förekomma mellan regionerna/klustren. Modelleringen inkluderar inte investeringar i lokal- och regionnät inom elområdena för vare sig el eller vätgas. Hur aktörer påverkas på lokal nivå kan därför i praktiken variera, beroende på vilka kompletterande investeringar som görs för att ansluta till den regionövergripande infrastrukturen som modelleringens scenarier illustrerar. Å ena sidan kan det komma att uppstå kluster som skapar balans mellan utbud och efterfrågan på regional och lokal nivå. Å andra sidan kan det uppkomma prisskillnader och obalanser mellan

regioner/kluster innebärande varierande förutsättningar för aktörer. De utbyggda näten mellan elområdena har en stabiliserande påverkan på tillgång och priser och därmed på villkoren för företag i olika delar av Sverige.

Den utjämnande effekt som utbyggd infrastruktur kan bidra till gäller även gentemot våra grannländer. Samtliga länder i vår närmaste omvärld, som Sverige redan är eller kan komma att bli sammankopplade med, genomgår en liknande omställning av sina energisystem som Sverige. Det är i dagsläget svårt att prognosticera i detalj vilka länder som kommer att ha exportmöjlighet eller importbehov i olika tidsperioder. På samma sätt kommer Sveriges interna balans att fluktuera när såväl elproduktionskapacitet som elanvändning byggs ut i olika faser i olika delar av landet. I vilket land eller elområde som elpriserna kommer att vara mest konkurrenskraftiga kan komma att skifta över tid och beror på hur balansen mellan och utbyggnad av utbud respektive efterfrågan utvecklas.

Ökade handelsmöjligheter mellan områden kommer att bidra till att en del av ett eventuellt överskott av el eller vätgas från Sverige kommer aktörer i andra länder till godo. På samma sätt kan kapaciteten för överföring bidra till att hålla emot ökande elpriser och därmed en försämrad konkurrenskraft i perioder då ökad produktion inte matchar efterfrågan på el internt inom Sverige.

Med utbyggda transnationella nät kan prisbildningen i Sverige bli mer stabil och förutsägbar, men den kan också påverkas av utbuds- och prisfluktuationer från stora marknader i vår närhet, som exempelvis Tyskland eller Polen. Hur mycket av prisvolatilitet som importerats eller exporterats beror på hur stor överföringskapaciteten mellan områdena blir.

4.3 Konkurrenskraftiga elpriser i Sverige

Konkurrenskraft är kopplat till produktivitet, vilket anses vara den viktigaste faktorn för tillväxt och inkomstutveckling. På längre sikt är forskning, utveckling, innovationer och entreprenörskap avgörande för ett lands konkurrenskraft. På kort sikt däremot påverkas konkurrenskraften främst av det inhemska kostnadsläget, vilket beror på växelkursen och på hur kostnader för bland annat löner, skatter och energi utvecklas. Mer kompetent arbetskraft, tillgång till billiga råvaror som t ex elektricitet och bra institutioner (effektiva lagar och regler) är faktorer som innebär kostnadsfördelar. Väl utbyggd infrastruktur utgör en förutsättning för ett lands konkurrenskraft både på kort och på lång sikt.

Bland de utfall som modelleringen genererar, ger utvecklingen av skuggpriserna för el respektive vätgas över tid en möjlighet att belysa de olika utvecklingsvägarna och påverkan på de svenska elpriserna. Skillnader mellan de båda scenarierna *Referens* respektive *Lägre vätgas- och elanvändning* i de fyra elområdena kan beskrivas och tolkas. Därmed kan man få en indikation på hur näringsliv och hushåll kan komma att påverkas i olika delar av Sverige samt hur de specifika scenarieförutsättningarna påverkar dessa skillnader. Exempelvis kan branscher med hög elanvändning och hög grad av internationell konkurrens komma att påverkas olika i dessa scenarier.

Figur 18 visar hur skuggpriserna på el och vätgas utvecklas i de fyra elområdena (samt i Finland som jämförelse) för de två scenarierna *Referens* respektive *Lägre vätgas- och elanvändning*.



Figur 18 Skuggpriser på el och vätgas i *Referensscenariot* (till vänster) och scenariot *Lägre vätgas- och elanvändning* (till höger)⁸².

Som redovisats i kapitel 2 beräknar modelleringen att skuggpriset för el i *Referensscenariot* sjunker under de närmast kommande åren till följd av en snabb utbyggnad av produktionskapacitet och sjunkande fossilbränslepriser, men stiger igen efter år 2035 i och med den förväntat snabbt ökande efterfrågan på el, bland annat för produktion av vätgas. Skuggpriset för vätgas följer generellt skuggpriset på el.

I *Referensscenariot* hamnar såväl el- som vätgasskuggpriserna med tiden på liknande nivåer i de fyra elområdena. År 2050 ligger det lägsta priset (i SE2) endast ca 12 procent lägre än det högsta (i SE1). Skuggpriset för el i SE1 går från att vara lägst de närmaste åren till att vara högst i Sverige år 2050, vilket återspeglar den markanta ökningen i efterfrågan på el i den nordligaste delen av landet under denna period.

I scenariot *Lägre vätgas- och elanvändning* sker en liknande utveckling t o m början av 2040-talet med något lägre skuggpriser än i *Referensscenariot*, men därefter sker

⁸² (SWECO, Analys av vätgasinfrastruktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973, 2024)

en betydligt större prisökning i SE1 jämfört med de andra elområdena. Detta innebär att elområdena SE2, SE3 och SE4, men inte SE1, på längre sikt får betydligt lägre skuggpriser på både el och vätgas vid lägre total efterfrågan. Som beskrivits i kapitel 2 leder lägre efterfrågan till en mindre utbyggnad av el- och vätgasproduktion, samtidigt som importbehov av el minskar, vilket i synnerhet gäller SE1 som i stället för att importera el i *Referensscenariot* exporterar el efter år 2035 i scenariot *Lägre vätgas- och elanvändning*.

På längre sikt skulle således en snabbare omställning i linje med *Referensscenariot* jämfört med scenariot *Lägre vätgas- och elanvändning* medföra relativt sett tuffare villkor för näringsliv och hushåll i de södra delarna av Sverige. Den högre efterfrågan på el och vätgas, framför allt i SE1, leder till mer investeringar, men inte tillräckligt för att hålla nere priserna, vilket får större genomslag på priserna i SE2-SE4 i modelleringen.

I modelleringen är vätgasanvändningen ett exogent antagande, vilket innebär att användningen kommer att ske oavsett prisnivå. I verkligheten finns det skäl att anta att periodvis högre priser på el- eller vätgas, som gör lönsamheten för industrins slutprodukter svagare, kan komma att bromsa in industriexpansionen/-omställningen. En sådan utveckling skulle hålla emot prisökningarna. Sammantaget illustrerar detta vikten av att marknadens aktörer (producenter respektive användare) ges möjligheter att följas åt genom omställningen. För detta kan krävas bättre förutsättningar för anslutning av ny produktion och förstärkt transmissionskapacitet för att kunna möta det förväntat kraftigt ökande behovet av el.

För Sverige som helhet påverkas konkurrenskraften även av energiprisutvecklingen i andra länder. Det är endast Finland som har modellerats i de scenarier som har tagits fram. Resultaten visar att Finland från att de närmaste åren ha något lägre elpriser generellt kommer att ligga på en högre nivå än i de svenska elområdena från och med år 2030. Generellt kan dock liknande prisutveckling förväntas även i våra grannländer i takt med att de transnationella näten byggs ut och förstärkta möjligheter för handel med både el och vätgas uppstår.

4.4 Miljöpåverkan

All infrastruktur, inklusive för transport av vätgas, innebär större eller mindre miljöpåverkan. Att bygga ut (nedgrävda) rörledningar för vätgas i stället för nya (luftburna) elledningar kan ha vissa fördelar i form av minskat intrång i landskapet, men konsekvenserna beror på var ledningen dras och hur den passas in i landskapet.

Såväl transport av el som av vätgas har en energikostnad, i energiförluster vid transporten och i förkommande fall energi för transformatorer, kompressorer, fartyg osv beroende på hur energin transporteras. Denna energikostnad ökar med avståndet. För längre transporter, där rörledningar saknas, behöver vätgasen vidare omvandlas till något vätgasderivat med högre energidensitet. Denna omvandling, liksom eventuell återomvandling till vätgas, kräver mycket energi.

Långväga import av vätgas kan dra nytta av goda förutsättningar för förnybar el på mer soliga platser, men på sådana platser kan begränsad vattentillgång bli ett hinder för produktion av grön vätgas (och i än högre grad blå vätgas).

4.4.1 Infrastruktur för vätgas jämfört med för el

Stor miljöpåverkan kommer från tillverkningen av material, inklusive utvinning av råvaror, samt byggnationsfasen med eventuell avverkning av skog, anläggning och materialtransport. Även lokal miljöpåverkan i form av påverkan på landskapsbild, skogs- och jordbruk och biologisk mångfald samt buller kan vara betydande och beror mycket på i vilken typ av naturmiljö som ledningen anläggs.⁸³ Miljöpåverkan kommer dock att skilja sig något i ett scenario där vätgas i hög grad transporteras genom rörledningar jämfört med om samma efterfrågan på vätgas möts genom att vätgasen tillverkas där den ska användas, varmed delar av elnätet i stället behöver förstärkas för att transportera större mängder el. Därutöver kan lokaliseringen av elektrolysören – vid elproduktionen eller vid vätgasanvändningen – påverka resurseffektiviteten genom möjligheten att nyttja syrgas och överskottsvärme från elektrolysen.

En typisk vätgasrörledning⁸⁴ består i huvudsak av stål: 180 ton per kilometer.⁸⁵ Därtill kommer eventuella inre och/eller yttre materialskikt för skydd mot väteförspredning och korrosion.⁸⁶ En typisk eltransmissionsledning⁸⁷ kräver bara 8 ton stål per kilometer, men i gengäld 9 ton grus, 3 ton aluminium, 176 m³ betong och ytterligare en rad andra material, däribland 134 kg bly.⁸⁸ Förutom själva ledningarna kräver båda systemen vissa ytterligare komponenter, såsom kompressorstationer (rörledning) respektive transformatorstationer (elledning). Därtill skiljer sig alternativen i fråga om energiåtgång vid driften, där vätgasledning kräver mindre energi än elledning.⁸⁹

Vätgasrörledningars effekter på naturmiljön är sparsamt studerade, i synnerhet för svenska förhållanden. Däremot finns en svensk studie⁹⁰ om markkablar och luftledningar för el, då påverkan på naturmiljön av att gräva ner en kabel torde vara jämförbar med att gräva ner ett rör.

Anläggning av såväl luft- som markledningar tar mark i anspråk och kan förändra arters livsmiljöer. Detta kan innebära lokala förluster av biologisk mångfald och värdefulla naturmiljöer. Luftledningar kräver större ytor i driftfasen jämfört med nedgrävda kablar (eller i vätgasens fall, rörledningar) och ger därför större påverkan på jord- och skogsbruk och landskapsbild. Hur stor påverkan blir beror dock på landskapstyp, topografi, vegetation mm, samt vilka ansträngningar som görs för att passa in ledningen i landskapet.

För luftledningar på skogsmark krävs en kraftledningsgata som är fri från högväxande träd- och buskvegetation. I vissa fall kan ledningsgator ge en positiv inverkan på biologisk mångfald genom att gynna hotade växt- och djurarter som är knutna till öppna miljöer, samtidigt som brynmiljöerna erbjuder värdefull variation jämfört med den angränsande skogen. Även för markledningar krävs en sorts ledningsgata för att inte riskera skador från rötter, men denna kan hållas smalare än för luftledningar och begränsar inte buskar och mindre träd utan enbart större träd. Jordbruk kan bedrivas

⁸³ (IVL Svenska miljöinstitutet, 2021).

⁸⁴ På land; rörledningar i vatten kräver tjockare material för att hantera trycket.

⁸⁵ (Sweco/Environdec, 2023).

⁸⁶ (Tsiklios, Hermesmann, & Müller, 2022).

⁸⁷ Dvs en luftledning.

⁸⁸ (Sweco/Environdec, 2023)

⁸⁹ (Patonia, Poudineh, Lenivova, & Nolden, 2023). Energiåtgången för vätgasledningar utvecklas vidare i 4.4.2.

⁹⁰ (IVL Svenska miljöinstitutet, 2021).

på och kring både luft- och markledningar, även om stolpar och eventuella stag påverkar vid luftledningar.

Luftledningar kan vara riskabla för fåglar, i synnerhet större fåglar med sämre manövreringsförmåga, som kan brännas ihjäl genom kortslutning om de kolliderar med linorna. Därutöver kan träskyddsmedel för elstolpar (framför allt aktuellt på lägre spänningsnivåer) ge negativ miljöpåverkan. De flesta elnätbolag har gått ifrån det mycket hälsofarliga träskyddsmedlet kreosot, som dock fortfarande är tillåtet att användas för elstolpar, men även alternativ som kopparbaserade impregneringsmedel påverkar miljön.

4.4.2 Långväga handel

Diskussionen hittills har utgått från att antingen elen eller vätgasen produceras i Sverige och våra grannländer. För el är mer långväga import, utöver den som kan sägas ske genom sammankopplade elnät i Europa, hur som helst inte aktuell. För vätgas finns möjligheten att importera vätgas som produceras på mer avlägsna platser. Detta kan vara aktuellt som en övergångslösning i väntan på att infrastrukturen för transport av el eller vätgas byggs ut och möjliggör mer närproducerad vätgas. För länder med sämre förutsättningar för fossilfri elproduktion kan detta också vara ett sätt att dra fördel av områden närmare ekvatorn där solinstrålningen är hög och förutsättningarna för billig förnybar elproduktion därmed är bättre. Sådana länder skulle naturligtvis också kunna importera vätgas från Sverige, som visserligen inte har fullt så goda förutsättningar som de soligaste länderna men ändå har relativt goda förutsättningar för vindkraft och genom närheten till potentiella stora importörer som Tyskland skulle kunna vara ett intressant alternativ även om svensk vätgas inte är den allra billigaste. Då internationell handel med vätgas inte är i fokus för föreliggande rapport kommer miljökonsekvenserna därav endast att beröras översiktligt.

Att transportera vätgas i ren form över längre avstånd är i princip bara realistiskt om det finns rörledningar, eftersom vätgasens låga energidensitet gör den väldigt kostsam att transportera på fartyg, lastbilar osv. Inom Europa går det att dra nytta av det befintliga fossilgasnätet, som även har förgreningar över till Nordafrika, om detta på sikt görs om till ett vätgasnät. Även för rörledningar ökar energibehovet med avståndet, pga. den el som krävs för att driva kompressorstationerna längs ledningarna. I synnerhet med dagens europeiska elmix kan detta snabbt äta upp klimatnyttan av att kunna nyttja lokaliseringar med fler fullastimmar för elproduktionen, även om klimatavtrycket minskar i takt med att den europeiska elmixen fasar ut det fossila.⁹¹

Där det inte finns rörledningar, och inte heller lönsamhet i att bygga sådana, är fartygstransport av vätgasderivat (se bilaga ”Styrmedel på vätgasområdet”) det mest realistiska alternativet. Att först omvandla vätgasen till derivat för att sedan återomvandla den till vätgas är dock förknippat med stora energiförluster. Detta alternativ blir alltså främst intressant för tillämpningar där det ändå är själva derivatet som efterfrågas så att detta inte behöver återomvandlas till vätgas. I synnerhet för länder med begränsade möjligheter att tillgodose sin efterfrågan på vätgas med inhemsk produktion eller import genom rörledning kan det ändå, trots de extra kostnader som energiförlusterna innebär, vara intressant att importera vätgas i derivatform för att sedan återomvandla den till vätgas. IRENA bedömer i sitt 1,5-gradsscenario att 55 procent av den vätgas som handlas internationellt år 2050

⁹¹ (Hermesmann, Tsiklios, & Müller, 2023).

kommer att transporteras genom rörledningar medan 45 procent kommer att skeppas, företrädesvis i form av ammoniak, som insatsvara för produktion av konstgödsel eller som fartygsbränsle.⁹²

Att importerad vätgas är fossilfri, så att själva produktionen inte ger större klimatpåverkan än vad den skulle ha gjort i Sverige, förutsätts kunna säkerställas genom någon typ av ursprungsgarantier. Även ett sådant förfarande riskerar dock undanträngningseffekter: I länder med stor fossilbaserad elproduktion att ersätta eller ett stort behov av att bygga ut elproduktionen för att möta grundläggande mänskliga behov, kan fossilfri vätgasproduktion komma att ske till priset av mer fossil el till andra ändamål.

För vätgas från soliga områden kan dessutom vattenförsörjningen bli ett problem. All vätgasproduktion kräver vatten, inte bara sådan som baseras på vattenelektrolys. Faktum är att så kallad blå vätgas kräver ännu mer vatten, framför allt för kylning. Globalt sett är mer än 35 procent av befintlig och planerad grön och blå vätgas lokaliserad till regioner med hög vattenstress. Även i Europa väntas 23 procent av de gröna vätgasprojekten och 14 procent av de blå ligga i områden med hög eller mycket hög vattenstress år 2040. För kustnära vätgasproduktion kan avsaltat havsvatten minska trycket på sötvattenresurser, men kräver då förutom energin för avsaltningen en ansvarfull hantering av den koncentrerade saltlösning och det varma kylvatten som uppstår och som kan påverka akvatiska ekosystem negativt.⁹³

⁹² (IRENA, 2022).

⁹³ (IRENA & Bluerisk, 2023).

5 Energiberedskap och reservkraft

Potentialen för vätgasen som energibärare och insatsvara inom industrin och som drivmedel inom transportsektorn har tydliga synergier med ökad försörjningsgrad inom energi och därmed stärkt energiberedskap. Olika applikationer med vätgas och elektrobränslen kan också användas för fossilfri reservkraft, framför allt då försörjningskedjor och infrastruktur för vätgas har fått större utbredning. Energimyndigheten är ansvarig tillsynsmyndighet för enskilda verksamhetsutövare inom områdena fjärrvärme-, naturgas-, olje- och drivmedelsförsörjning. Energimyndigheten bedömer att det finns ett behov av att också vätgas ska inkluderas eller pekats ut som ett eget område. Förordning (2021:955)⁹⁴ bör därför uppdateras där vätgas utses som ett eget tillsynsområde samt att Energimyndigheten utses till ansvarig tillsynsmyndighet.

5.1 Energiberedskap

Vid svåra påfrestningar i fredstid eller i händelse av krig kan energiförsörjningen påverkas kraftigt med långvariga elavbrott. Tillgången på drivmedel, råolja och gas kan bli kraftigt begränsad och leveranserna av fjärrvärme och fjärrkyla kan drabbas av upprepade störningar eller långvariga avbrott. Allt det här får följdverkningar inom andra delar av samhället så som transporter, elektroniska kommunikationer och post, information, livsmedel och dricksvatten, finansiella tjänster och hälso- och sjukvård.⁹⁵ Målet med en stärkt energiberedskap är att förebygga och minimera sådana händelsers följdverkningar och negativa effekter. Vätgas kan bidra till stärkt energiberedskap.

En utbyggd vätgasinfrastruktur med robusta försörjningskedjor har potential att bidra till att möta de krav som totalförsvaret ställer. Det förutsätter en nationell motståndskraftig produktion av vätgas som på sikt ökar graden av självförsörjning samtidigt som det ger möjligheter till en större energimix. Vätgas som primär energibärare eller insatsvara i annan bränsleproduktion innebär också en spridning av risker. Det är också positivt ur beredskapssynpunkt att vätgas kan produceras i mindre skala, utspritt över landet.

Det militära försvaret är beroende av det civila samhället. Bränslen, drivmedel och infrastruktur som finns i det civila samhället och på den civila marknaden är en resurs för försvarets verksamhet. Omställningen av samhället behöver ta hänsyn till hur det påverkar det militära försvaret. Målet är att försvarets övergripande förmåga behålls eller förstärks.

Till exempel kan elektrifieringen av transportsektorn leda till minskad efterfrågan på flytande drivmedel. På sikt riskerar därmed befintlig infrastruktur monteras ned med konsekvenser för försvarets beredskap när det gäller transporter. För att totalförsvarets behov ska kunna mötas behöver de fossila energibärarnas egenskaper och nyttor ersättas. Ett exempel är de beredskapslager av fossila bränslen som motsvarar flera

⁹⁴ (SFS 2021:955, 2024)

⁹⁵ (MSB Försvarsmakten, 2021)

månaders normal inhemsk konsumtion. Lagren bidrar idag väsentligt till att stärka den samlade totalförsvarsförmågan och skulle behöva ersättas i sådan takt att beredskapsförmågan inte påverkas negativt. Vätgas, eller de elektrobränslen som kan produceras baserat på vätgas, har potential att fylla en del av det behovet. En utmaning ligger i att dimensionera lagringen utefter energibehovet för att totalförsvarets krav ska kunna tillgodoses. Alternativt kan lagren i viss utsträckning ersättas av råvaror och en motståndskraftig nationell produktion av vätgas och elektrobränslen. Innan vätgasen fullt kan bidra till totalförsvaret så kan exempelvis HVO och biogas vara viktiga fossilfria övergångslösningar.

Se kapitel 2.1 [Vätgasläget i Sverige](#) för exempel på produktion av vätgasbaserade bränslen.

5.1.1 Sårbarhet och robusthet

Det bedöms inte finnas några motsättningar mellan vätgasens framväxt och totalförsvaret, så länge potentiella direkta hot eller risker beaktas. Hot kan delas upp i antagonistiska, medvetet skapade, eller icke-antagonistiska som naturkatastrofer eller olyckor som kan uppstå vid hanteringen av vätgas. Oavsett ursprung kan konsekvensen bli allvarlig men sannolikheten och hantering av hotbilden kan påverkas.

Hänsyn bör tas till att majoriteten av vätgasen inledningsvis kommer att användas och därmed sannolikt också produceras i norra Sverige. För att minimera konsekvenserna av ett avbrott i produktionen eller i leveranserna av vätgas bör åtgärder som stärker försörjningskedjorna implementeras. Lagerhållning på strategiska platser kan därför bli viktig.

Det är viktigt att bygga in redundans i systemet för försörjningstryggheten, framför allt där kraftig utbyggnad kommer att ske. Det gäller främst för rörbunden infrastruktur för distribution och användning av vätgas. Den rörbundna infrastrukturen för stam- och distributionsnät bör ha flera parallella rör och flertalet inmatningspunkter.

För att undvika negativ påverkan på distributionen är det bra om avbrott kan isoleras genom att sektionera vätgasnätet. Alternativt kan leveranskedjorna stärkas upp eller kompletteras med andra fraktsätt för att avlasta den ordinarie infrastrukturen i händelse av ett avbrott.

Infrastrukturen kommer primärt att byggas ut på marknadsmässiga grunder. Därför kan incitamenten vara svaga att investera i utbyggnad som har lågt kommersiellt värde. Staten kan behöva delfinansiera åtgärder som höjer robustheten som annars inte har en marknadsmässig tillräcklig efterfrågan. Det kan även vara motiverat med specifika krav på att utbyggnaden ska bidra till leveranssäkerheten. Syftet är att infrastrukturen ska stärka försörjningstryggheten i energisystemet och därmed totalförsvaret.

Väl utbyggd och robust lagring är viktigt för att vätgasens potential ska kunna realiseras fullt ut. Att kunna lagra energi från intermittent elproduktion i form av vätgas är ett exempel. Vätgasen kan sedan användas när effektbehovet är större vilket ökar redundansen och minskar importberoendet av el. Lokal produktion av vätgas kombinerat med lagring bidrar även till en förmåga till ödrift. Det minskar

sårbarheten i energisystemet då nedkoppling av exempelvis ett mindre elnät kan undvikas under en begränsad tidsperiod.

Redan i ett tidigt skede av utbyggnaden bör skydd av infrastrukturen beaktas. Vätgas ihop med luftens syrgas kan bilda explosiva blandningar som vid en gnista lätt kan antändas. Framtida större vätgaslager kan därför utgöra potentiella måltavlor för militära angrepp. Placering och dimensionering kommer därför vara viktigt för att säkerställa att infrastrukturen är skyddad och funktionell.

Vätgaslager i beredskapssyfte behöver fortsätta utredas både ur praktiska, ekonomiska och säkerhetsmässiga aspekter. Det är också önskvärt att det från början genomförs systematiska risk- och sårbarhetsanalyser kombinerat med kontinuerlig riskhantering för att undvika kostsamma och marknadsingripande åtgärder vid ett senare tillfälle.⁹⁶

Sveriges inträde i Nato medför också krav på en resilient energiförsörjning.⁹⁷ Energimyndigheten jobbar aktivt med att säkerställa att kraven ligger i linje med arbetet för en stärkt energiberedskap. Hur inträdet kommer att påverka arbetet med försörjningstrygghet i en framväxande vätgasinfrastruktur behöver kontinuerligt utvärderas.

5.1.2 Säkerhetsskydd

Hantering av vätgas kommer i vissa fall att vara en del av säkerhetskänslig verksamhet enligt säkerhetsskyddslagen (2018:585)⁹⁸ och tillhörande säkerhetsskyddsförordning (2021:955)⁹⁹. Energimyndigheten har tillsynsansvaret för enskilda verksamhetsutövare inom områdena fjärrvärme-, naturgas, olje- och drivmedelsförsörjning. För vätgasområdet däremot, som inte anges i lagen, faller ansvaret för tillsynen av enskildas säkerhetsskydd på Länsstyrelsen.

Det finns fördelar med att samla tillsynsansvaret för enskilda verksamhetsutövare inom vätgasområdet hos Energimyndigheten tillsammans med övriga energiområden. Energimyndigheten besitter bransch- och säkerhetskunskap för ändamålsenlig tillsyn inom säkerhetsskyddet och bör därför utses som behörig myndighet med tillhörande tillsynsansvar. Förordning (2021:955)¹⁰⁰ 8 kap 1 § bör därför uppdateras genom att vätgas utses som ett eget tillsynsområde samt att Energimyndigheten utses till ansvarig myndighet för tillsyn över enskilda verksamhetsutövare inom området.

5.2 Fossilfri reservkraft

I uppdraget ingår att se över möjligheten att använda fossilfria alternativ såsom vätgas, elektrobränslen och biogas för reservkraft.

För att reservkraft ska uppfylla sitt syfte är det avgörande att den lösning som valts har hög driftsäkerhet och tillgänglighet avseende såväl teknik som bränsle. En viktig parameter är att bränslet kan lagras för en viss tid och kan fyllas på vid behov av längre drift.

⁹⁶ (Ramboll, Konsekvenser för totalförsvaret av nationellt handlingsprogram för laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vätgas, dnr 2023-008891, 2023)

⁹⁷ (MSB, 2024)

⁹⁸ (SFS 2018:585, 2024)

⁹⁹ (SFS 2021:955, 2024)

¹⁰⁰ (SFS 2021:955, 2024)

En övervägande del av reservkraften i Sverige idag baseras på motorer byggda för fossila bränslen och främst fossil diesel även om olika förnybara produkter används mer och mer. Diesel som reservkraft är fördelaktigt på så sätt att det finns ett kunnande, en uppbyggd nationell infrastruktur och därmed god tillgänglighet. Däremot leder användandet av fossil diesel till ökade utsläpp av växthusgaser samt gör Sverige importberoende.

Idag är det också möjligt att i befintliga dieselmotorer ersätta fossil diesel med rena biodrivmedel med begränsad eller ingen förändring i funktionalitet.¹⁰¹ Ett förnybart alternativ som ligger mycket nära den fossila dieseln är hydrerad vegetabilisk olja (HVO). Egenskaperna är lika fossil diesel vilket gör det till ett eftertraktat bränsle för inblandning i drivmedel samtidigt som lagringsbeständighet och köldtåligheten för HVO är jämförbar med fossil diesel. Idag är importberoendet av framför allt insatsvarorna stort men den svenska produktionspotentialen är på väg att öka genom investeringar inom sektorn.

Andra fossilfria lösningar för reservkraft som idag finns tillgängliga är exempelvis biogas, vätgas, fasta och flytande biobränslen samt el via batterier. Ett internationellt exempel för vätgas som reservkraft är Slovenien vars nationella försvarsdepartement upprättat hubbar för förnybar vätgasproduktion, lagring och användning av vätgas i form av el, värme och drivmedel vid krissituationer.¹⁰²

Alternativen besitter olika egenskaper som kan vara lämpliga i olika verksamheter och vid olika tillfällen men effektbehovet spelar en stor roll. Ju större effektbehov desto större behöver bränslelagret vara för att klara de krav som verksamheten ställer under en period av längre avbrott i energiförsörjningen. Ytbehovet för det valda bränslet och logistik för påfyllnad som krävs, spelar också stor roll för valet av källa för reservkraften. Hur mycket energi som behöver lagras lokalt beror dels på effekt och hur lång tid det tar innan mer drivmedel kan fyllas på och med vilken periodicitet detta kan ske löpande.

Gemensamt för de redogjorda fossilfria alternativen är att samtliga minskar Sveriges importberoende av fossila bränslen, vilket (om de för vissa bränslen nödvändiga försörjningskedjorna byggs ut på ett ändamålsenligt vis) i grunden stärker försörjningstryggheten och totalförsvaret.

5.2.1 Biogas

Biogas produceras idag i huvudsak av matavfall, gödsel, restprodukter från jordbruk och avloppsslam där det finns en stor potential i att öka den nationella produktionen sett till substratmängden. Biogasproduktion kan ske i liten eller stor skala och kan ske i hela Sverige så länge det finns substrat tillgängligt.

Tekniken avseende produktion, lagring, distribution och användning av biogas är mogen och det finns ett spritt kunnande och även nationella producenter av komponenter och anläggningar. Biogas kräver inte förädling utan kan förbrännas som rågas direkt i en gasmotor eller en turbin för kraftvärmeproduktion. Biogas som inte är uppgraderad är dock svår att lagra. Det är därför fördelaktigt att uppgradera och komprimera eller förvätska för lagring i gasflaskor eller i flytande form. Förvaring av flytande biogas sker vid temperaturer runt minus - 160 grader Celsius varför

¹⁰¹ Swedavia, Microsoft och EcoDataCenter använder sig av biobränslen (HVO, andra generationens biobränslen respektive förnybar diesel) som reservkraft i sina verksamheter.

¹⁰² (Ramboll, Fossilfria bränslen som reservkraft - dnr 2023-201973, 2023)

lagringstiden vanligtvis ligger under 100 dagar då gasen kokar av över tid. Om flytande biogas används som reservkraft mer sällan än en gång per kvartal så bör andra alternativ övervägas. För långtidslagring är komprimerad biogas ett bättre alternativ då gasen förvaras i tryckkärl utan krav på jämn eller beständig temperatur.¹⁰³

5.2.2 Vätgas

Vätgas kan produceras i liten eller stor skala där tillgång på el och vatten med rätt kvalitet finns, vilket resulterar i en bred potential för spridning av tekniken. Vätgasen kan användas i förbränningsmotorer, gasturbiner eller i bränsleceller eller indirekt som nödvändig insatsvara i produktion av andra förnybara bränslen.

Vätgasdrivna bränsleceller för elproduktion kan stå inomhus, avger inte några avgaser, är tystgående samt kräver lite underhåll jämfört med en dieselgenerator. Dessa egenskaper kan passa om verksamheten är liten, kräver låg effekt och där tillgång på utbildad personal är begränsad. Exempel på sådana sammanhang kan vara hos privatpersoner, vid mobilmaster samt inom vissa blåljus- och försvarsapplikationer.

För lagring av vätgas är trycksatt gas den mest effektiva, billiga och mest spridda typen av lagring. Komprimering kräver i sig tillgång till el för att nå det önskade lagringstrycket men är lämpligt för småskalig lagring i tryckkärl. Storskalig lagring är beskrivet i stycke 3.4.2 Förutsättningar för lagring av vätgas.

Förvätskad vätgas är lämplig för större energibehov och kan användas för att lagra vätgas under en period av dagar till veckor. Likt biogas lämpar sig vätgas bättre för långtidslagring i trycksatt form då flytande vätgas kommer leda till avkok över tid samtidigt som förvätskning är energikrävande. Lagringen kan även vara dyrare än själva produktionsprocessen beroende på elpriset, vilket kan vara ett hinder för att satsa på förvätskad vätgas som lagringsform och reservkraft.¹⁰⁴

5.2.3 Elektrobränslen

För att hantera de utmaningar som finns med trycklagring och förvätskning av vätgas så kan derivat som ammoniak och metanol vara två alternativ. Ammoniak innehar en hög energitäthet samt att det är lätt förvätska, vilket kan undanröja tekniska hinder avseende lagring och distribution. Ammoniak kan användas inom exempelvis kraftproduktion och transport och det finns samtidigt en globalt etablerad infrastruktur för produktion och distribution till följd av dess användning inom gödselindustrin. Ammoniak lagras vanligtvis som en vätska i trycksatta tankar eller kylda kärl och kan generellt lagras under lång tid utan betydande förlust så länge lagringssystemets funktion upprätthålls.¹⁰⁵

Elektrometanol kan användas i bränsleceller för att generera elektricitet eller i förbränningsmotorer och har fått ett ökat intresse på grund av sin potential som vätebärare. Produktionsprocessen för metanol är mindre komplicerad och medger lagring under lång tid utan betydande energiförluster jämfört med ammoniak. Metanol som energibärare är en vätska vid rumstemperatur och normalt tryck vilket i kombination med att befintliga konventionella bränsletankar kan användas,

¹⁰³ (Ramboll, Fossilfira bränslen som reservkraft - dnr 2023-201973, 2023)

¹⁰⁴ (Ramboll, Fossilfira bränslen som reservkraft - dnr 2023-201973, 2023)

¹⁰⁵ (Ramboll, Fossilfira bränslen som reservkraft - dnr 2023-201973, 2023)

underlättar lagring och transport. Förutsättningarna för lagring och distribution av elektrobränslen är relativt goda. Särskilt lagrings- och distributionsinfrastrukturen för metanol i Sverige är väl utvecklad tack vare dess fossila och biobaserade motsvarigheter. Eventuell implementering för elektrometanol kan därför vara enklare och inte kräva samma typ av investeringar som för ammoniak eller vätgas.

För elektrobränslen finns på produktionssidan däremot en stor utmaning då det krävs tillgång till stora mängder fossilfri el samtidigt som processerna alltid innebär energiförluster. Metanolproduktion är också beroende av en tillförlitlig källa till infångat biogent kol från exempelvis närliggande industri eller kraftvärmeanläggningar.

5.2.4 Möjligheter och hinder för användning av fossilfria alternativ

I dag är Sverige helt beroende av import av fossila bränslen, som används inom snart sagt alla sektorer av samhället. Detta återspeglas även i vilka bränslen som förekommer inom reservkraft. Samtidigt finns fossilfria alternativ att tillgå, i viss utsträckning redan idag. I framtiden är det sannolikt det finns möjlighet att producera flera av de fossilfria alternativen i högre utsträckning inom Sverige, vilket gör att de också bör bli relevanta att överväga som bränslen för reservkraftaggregat.

Helt avgörande för val av reservkraftslösning är att den ska fungera vid ett avbrott i elförsörjningen, vara driftsäker samt ha en utbyggd och tillförlitlig försörjningskedja. Av de fossilfria alternativen är biogas den idag mest spridda och utvecklade marknaden med ett befintligt kunnande och utbyggda försörjningskedjor. För flera av de fossilfria alternativen, inte minst de som är baserade på vätgas i dess olika former, finns ett antal faktorer som idag begränsar en bredare användning. Några av dessa är teknikutveckling i bred mening, kostnad, säkerhetsaspekter, tillgänglighet och osäkerhet kring lagringsbeständighet.

Vätgas och elektrobränslen som reservkraft har potential att på sikt få större genomslag först då försörjningskedjorna och infrastrukturen för ett nationellt vätgassystem kommit längre och vätgas som bränsle finns mer allmänt tillgängligt.

6 Koncession och säkerhet

Koncession är tillstånd att bygga och använda ledningar för överföring av energi. Tanken bakom att kräva sådana tillstånd har varit dels säkerhetsskäl, dels effektivitetsskäl. Säkerhetsskålet – att transportera energi i stora mängder innebär en fara som måste mötas med säkerhetsåtgärder. Effektivitetsskålet – den ledningsinfrastruktur som krävs innebär ofta betydande påverkan på plats, vilket gör det samhällsekonomiskt ineffektivt att bygga nya ledningar så länge det finns plats i befintliga. Dessa förhållanden är också relevanta för en utbyggnad av ett vätgasnät. Det finns således behov av ett koncessionssystem specifikt för vätgasledningar som beaktar säkerhet och en samhällseffektiv utbyggnad, samtidigt som koncessionskravet inte får vara hämmande för en önskad utbyggnad.

Vid starten av detta uppdrag var det oklart om byggande av vätgasrörledningar krävde koncession enligt gällande rätt, eller inte. Under uppdragets gång har Energimarknadsinspektionen gjort bedömningen att lagen (1978:160) om vissa rörledningar¹⁰⁶ bör vara tillämplig även för vätgasrörledning. Det måste dock konstateras att detta inte har varit uppenbart och att regleringen av koncession på området behöver förtydligas och utvecklas.

6.1.1 Krav på koncession för vätgasrörledning finns men behöver förtydligas och utvecklas

Koncession krävs idag för den som ska bygga eller använda en starkströmsledning enligt ellagen (1997:857)¹⁰⁷, en naturgasledning enligt naturgaslagen (2005:403)¹⁰⁸ eller en rörledning för transport av råolja eller produkt av råolja eller av annan vätska eller gas som är ägnad att användas som bränsle, enligt lagen (1978:160) om vissa rörledningar¹⁰⁹.

Enligt naturgaslagen avses med naturgas även andra gaser, i den mån det är tekniskt möjligt att använda dessa gaser i ett naturgassystem (1 kap. 2 §). Vätgas som matas in i ett naturgassystem är således i juridisk mening att betrakta som naturgas. I dessa fall gäller naturgaslagens krav på koncession. En naturgasledning – rörledning, mät- och reglerstation, linjeventilstation, rensdonsstation och kompressorstation – får inte byggas och användas utan koncession. Koncession krävs dock inte för en naturgasledning som är belägen efter en mät- och reglerstation (1 kap. 3 § och 2 kap. 1 §). Regeringen har också föreskrivit att koncession inte krävs för ombyggnad av en mät- och reglerstation, linjeventilstation, rensdonsstation eller kompressorstation (3 § naturgasförordningen (2006:1043))¹¹⁰.

För övrig vätgas som matas in i en rörledning torde lagen om vissa rörledningar vara tillämplig utifrån bedömningen att vätgas är en gas som är ägnad att användas som bränsle och att ”ägnad” här snarare betyder ”lämpad för” än ”avsedd för”. Koncession enligt lagen om vissa rörledningar krävs för en rörledning med de tillbehör och

¹⁰⁶ (SFS 1978:160, 2023)

¹⁰⁷ (SFS 1997:857, 2024)

¹⁰⁸ (SFS 2005:403, 2024)

¹⁰⁹ (SFS 1978:160, 2023)

¹¹⁰ (SFS 2006:1043, 2024)

anordningar som behövs för driften (1 §). Koncession krävs dock inte för en ledning som har eller avses få en längd av högst 20 kilometer, huvudsakligen ska nyttjas för tillgodoseende av enskilda hushålls behov, eller uteslutande ska nyttjas inom en hamn eller ett industriområde (2 §).

Även om lagen om vissa rörledningar är tillämplig för vätgasrörledningar redan idag så står det klart att kravet på koncession inte är tillräckligt tydligt och i starkt behov av utveckling. Det är förmodligen även lämpligt att, på samma sätt som för naturgas och el, samla bestämmelserna om koncession och reglering i samma lag. Det skulle innebära att vätgasrörledningar, liksom naturgasledningar, lyfts ur lagen om vissa rörledningar för att regleras i en annan lag. Lagen om vissa rörledningar kvarstår då för övriga flytande och gasformiga bränslen.

6.1.2 Utformning av nya bestämmelser för koncession

Eftersom transport av vätgas i vätgasrörledningar tar mark i anspråk och innebär en fara för omgivningen som kräver säkerhetsåtgärder, är det rimligt att det krävs koncession för vätgasrörledningar liksom annan infrastruktur för överföring av ledningsbunden energi. Eventuellt bör koncession krävas även för andra vätgasanläggningar (jfr naturgas, där koncession krävs även för mät- och reglerstation, linjeventilstation, rensdonsstation och kompressorstation). Mot bakgrund av vilka anläggningar som kräver koncession idag är det således rimligt med en fortsatt och tydlig koncessionsplikt för vätgasrörledningar och eventuellt även andra vätgasanläggningar.

En koncession för en vätgasrörledning bör avse en specifik ledningssträckning, på samma sätt som för naturgasledningar idag. Koncessionsplikten bör utformas med utgångspunkt i den modell som har etablerats för nätverksamhet för naturgas i Sverige och plikten bör anges för tydligt givna rördimensioner alternativt ledningslängder som blir aktuella för det nationella nätet.

Ledningar med lägre tryck som distribuerar vätgas till slutkunder bör vara undantagna från koncessionsplikt på samma sätt som gäller för distributionsledningar för naturgas idag. Dock bör det övervägas att ange ett visst tryck eller rördimension i stället för ”efter en mät- och reglerstation”. Undantag från koncessionsplikt bör övervägas för vätgasrörledningar inom vissa områden, t ex industrier, och eventuellt ledningar upp till en viss längd.

Det är troligen inte lämpligt att, som för starkströmsledningar, införa koncessioner för område avseende vätgas. När koncessionsområdena infördes för el 1958 var Sverige mer eller mindre redan elektrifierat och områdena snarare bekräftade utbredningen av de nät som redan fanns och kombinerade distributionsmonopolet med en distributionsskyldighet inom respektive område.

Det vore rimligt att koncessionsbesluten för vätgas fattas av Energimarknadsinspektionen (Ei), åtminstone när det inte rör sig om utlandsförbindelser. Dagens ordning med regeringsbeslut för vissa koncessioner innebär en betydligt längre handläggningstid, eftersom ärendet då ska beredas i två instanser – Ei och regeringen.

Regleringen av vätgas bör, liksom naturgas idag, vara kopplad till verksamhet och inte koncessionsinnehav. Detta är också den enda rimliga lösningen om inte

distributionsledningarna ska vara koncessionspliktiga. Båda dessa frågor bör utredas vidare.

Diskussion

En genomgång av befintlig lagstiftning visar att det har funnits och fortfarande finns ett behov att reglera och pröva önskemål om uppförande av infrastruktur för olika former av energibärare.

För elsystemet, som i stor utsträckning redan var utbyggt när reglering kring koncessioner infördes, har ett tydligt syfte med krav på koncession varit att skydda användare och samhället från parallell infrastruktur och därmed onödiga kostnader. Detta har lett till att distributionsverksamheten har utformats som geografiska monopol, där rättigheten att i monopolställning driva och utveckla nätet har kompletterats med en skyldighet att till skäliga och transparenta villkor även ansluta den som önskar bli ansluten.

På naturgassidan i Sverige har infrastrukturen inte i samma utsträckning byggts ut och modellen för koncessioner har därför inte givits samma utformning som på elsidan. En ytterligare skillnad är att det är regeringen som beslutar om koncessioner för naturgas medan Ei beslutar om koncession för elsystemet.

Så långt det går att bedöma idag, kommer det inte inom överskådlig framtid finnas skäl att bygga ut infrastrukturen för vätgas i samma utsträckning som har gjorts för el. Visserligen skulle ett större område av Sverige kunna komma att beröras av infrastrukturen för vätgas som scenarierna i kapitel 2 skisserar. Samma vidsträckta behov av distribution till privatpersoner eller annan allmän verksamhet torde dock inte bli aktuell.

Behovet av koncession anses vara störst på den nationella nivån. Där kommer också det största behovet och nödvändigheten av samplanering mellan TSO för elsystemet och TSO för vätgassystemet att finnas.

6.2 Reglering för säker hantering

Utöver de områden som redan diskuterats, där behovet av ytterligare eller tydligare regelverk har identifierats, har även regelverk och föreskrifter gällande säkerhet kring vätgasrörledningar identifierats som ett angeläget område för förtydliganden. I detta delkapitel redovisas behovet av en översyn och eventuell revidering av befintliga lagar och föreskrifter som berör hantering av vätgas ur ett säkerhetsperspektiv.

Vätgas har använts inom industrin sedan länge, liksom regler för en säker vätgashantering inom dessa typer av verksamheter. Med en ökad användning av vätgas, på nya sätt och inom nya områden följer en delvis annan riskbild. Föreskrifter, allmänna råd, handböcker och vägledning till ett antal lagar på området behöver därför anpassas och utvecklas till den nya riskbild. Det rör sig främst om föreskrifter till lagen om brandfarliga och explosiva varor, lagen om skydd mot olyckor och Sevesolagen. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) har inlett arbetet med att se över regelmassan och genomför fördjupade studier för att identifiera vilka förändringar som behöver göras. MSB har en central roll dels för

regelutvecklingen, dels för kommunernas kompetensutveckling inom området och möjligheter att tillämpa regelverken. Det är därför viktigt att MSB har rätt förutsättningar för detta arbete.

6.2.1 Lagen om brandfarliga och explosiva varor

Lagen (2010:1011)¹¹¹ om brandfarliga och explosiva varor, LBE, syftar till att hindra, förebygga och begränsa olyckor och skador på liv, hälsa, miljö eller egendom som kan uppkomma genom brand eller explosion orsakad av brandfarliga eller explosiva varor. Lagen ska även förebygga obehörigt förfarande med varorna. Definitioner av vad som räknas som brandfarliga och explosiva varor finns i föreskriften MSBFS 2010:4¹¹².

I LBE finns krav på nödvändiga åtgärder och försiktighetsmått för att förhindra och begränsa konsekvenserna av olyckor samt att förhindra stöld och illegal användning av varorna. Lagen kräver också att byggnader och anläggningar där brandfarliga eller explosiva varor hanteras ska vara inrättade på ett betryggande sätt och att hänsyn ska tas till omgivningen.

Den som ska hantera brandfarliga eller explosiva varor kan behöva tillstånd enligt LBE. Då tillkommer även särskilda krav om utredning om risker och krav på viss kompetens samt att en föreståndare utses. Tillståndsmyndighet är i vissa specifika fall MSB och i övriga fall den kommun där varorna ska hanteras.

MSB anger i föreskrifter vilka varor som ska räknas som brandfarliga och explosiva samt preciserar kraven på hanteringen¹¹³. MSB samordnar också tillsynsmyndigheternas verksamhet och bistår i deras arbete med tillsynen enligt LBE.

Med anledning av att vätgas framöver kan förutsättas användas i större mängd och i andra verksamheter och sammanhang än tidigare, finns ett behov av att se över föreskrifterna och tillföra specifika krav som gäller just hantering av vätgas och eventuellt vätgasrörledningar.

MSB pekar på följande föreskrifter som behöver ses över:

- MSBFS 2020:1 föreskrifter om hantering av brandfarlig gas och brandfarliga aerosoler¹¹⁴,
- MSBFS 2013:3 föreskrifter om tillstånd till hantering av brandfarliga gaser och vätskor samt¹¹⁵
- SRVFS 2004:7 föreskrifter om explosionsfarlig miljö vid hantering av brandfarliga gaser och vätskor¹¹⁶.

¹¹¹ (SFS 2010:1011, 2023)

¹¹² (MSBFS 2010:4, 2024)

¹¹³ Vätgas räknas inte som en explosiv vara enligt LBE men detta syftar på explosiver som också ryms i LBE

¹¹⁴ (MSBFS 2020:1, 2024)

¹¹⁵ (MSBFS 2013:3, 2023)

¹¹⁶ (SRVFS 2004:7, 2023)

6.2.2 Pågående arbete

MSB utvecklar för närvarande den befintliga hanteringsföreskriften för brandfarlig gas (MSBFS 2020:1)¹¹⁷ till att bättre reglera de särskilda risker som en ökad vätgasanvändning i samhället för med sig. Syftet är att ge verksamheter, tillstånds- och tillsynsmyndigheter förutsättningar att bygga och ge tillstånd till vätgasanläggningar på ett säkert och effektivt sätt. De omarbetade föreskrifterna kommer att innehålla bland annat förslag till allmänna råd om skyddsavstånd från vätgasininstallationer till olika skyddsmål (exempelvis enskilda människor, folksamlingar, byggnader). De kommer även att innehålla allmänna råd om ventilationskrav vid inomhushantering samt ett antal andra skärpta hanteringskrav.

Förslaget gick under våren 2023 ut på samråd (förremiss) tillsammans med en rapport om skyddsavstånd för vätgasanläggningar. Förremissens syfte var att samråda brett med olika kategorier av aktörer. För närvarande pågår utvärdering av de cirka 450 synpunkter som kom in. Parallellt utvecklas och kompletteras en handbok för hantering av brandfarlig gas med vägledning kring vätgashantering. Målsättningen är att föreskriften och handboken ska kunna skickas ut på remiss under våren 2024 och beslutas omkring årsskiftet 2024/2025.

MSB planerar att också se över MSBFS 2013:3¹¹⁸ föreskrifter om tillstånd till hantering av brandfarliga gaser och vätskor. Eftersom många vätgastillämpningar sker vid höga tryck ser MSB ett behov av att utvärdera tillståndsgränserna för vätgas.

Slutligen överväger MSB att ta fram särskilda föreskrifter och allmänna råd om säkerhet vid hantering av rörledningssystem för vätgas.

6.2.3 Lag om skydd mot olyckor

Lagen (2003:778)¹¹⁹ om skydd mot olyckor, LSO, syftar till ett tillfredsställande och likvärdigt skydd mot olyckor. Kommunerna har enligt LSO ansvar för att planera för och kunna genomföra effektiva räddningsinsatser för de risker som finns i kommunen. Ägare och nyttjanderättshavare har ett ansvar att förebygga och förhindra skador till följd av brand. Tillsynsmyndigheter är MSB respektive kommunen. Det är MSB som är föreskrivande myndighet och reglerar hur kommunen ska planera och utföra sin tillsyn. Det sker genom MSB:s föreskrifter (MSBFS 2021:8)¹²⁰ och allmänna råd om hur kommunen ska planera och utföra sin tillsyn enligt LSO.

6.2.4 Lag om transport av farligt gods

Transporter av farligt gods regleras under regelverket som utgår från lagen (2006:263)¹²¹ om transport av farligt gods, LFG. För transport av farligt gods på väg och järnväg är MSB föreskrivande myndighet. Transportstyrelsen är föreskrivande myndighet för farligt gods-transporter för sjö och -luft. Tillsynsmyndigheter är Polismyndigheten, Kustbevakningen, Transportstyrelsen, Strålsäkerhetsmyndigheten och MSB.

¹¹⁷ (MSBFS 2020:1, 2024)

¹¹⁸ (MSBFS 2013:3, 2023)

¹¹⁹ (SFS 2003:778, 2023)

¹²⁰ (MSBFS 2021:8, 2024)

¹²¹ (SFS 2006:263, 2023)

6.2.5 Sevesolagen

Lag (1999:381)¹²² om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor (Sevesolagen) syftar till att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor och riktar sig främst till verksamheter som hanterar stora mängder av vissa farliga ämnen.

Sevesolagstiftningen har två kravnivåer. En anläggning som endast hanterar vätgas omfattas av den lägre kravnivån om lagrad mängd kan nå 5 ton och av den högre kravnivån om lagrad mängd kan nå 50 ton. Transport av farliga ämnen i rörledningar utanför de Sevesoverksamheter (vätgasrörledningar) är undantagna från Sevesolagen enligt 4 § punkt 4. Överskrider den lägre kravnivån ska verksamhetsutövaren utreda vilka omgivningsfaktorer som kan påverka säkerheten vid verksamheten genom ett samrådsförfarande samt anmäla verksamheten till Länsstyrelsen.

Verksamhetsutövaren ska även utarbeta ett handlingsprogram som sedan ska genomföras genom ett säkerhetsledningssystem. I säkerhetsledningssystemet ska bland annat organisation och personal, identifiering och bedömning av riskerna för allvarliga kemikalieolyckor samt planering inför nödsituationer ingå.

Verksamhetsutövaren ska även, via kommunen, lämna viss information till allmänheten. Överskrider den högre kravnivån ska verksamheten tillståndsprövas enligt 9 kap. 6 § miljöbalken (1998:808)¹²³ och det tillkommer krav på att upprätta en säkerhetsrapport och intern plan för räddningsinsats med mera. Länsstyrelsen är tillsynsmyndighet och MSB ansvarar för tillsynsvägledning.

6.2.6 Råd, stöd och tillsynsvägledning till kommuner

I det förebyggande och förberedande arbetet har MSB även rollen att ge råd, stöd och vägledning till kommunerna i deras roll som tillstånds- och tillsynsmyndigheter enligt LSO och LBE. MSB utarbetar regler och vägledning enligt ovan, men tar även fram visst undervisningsmaterial och genomför utbildningar i skydd mot olyckor. Det bedöms finnas behov av kompetensutveckling inom området, både inom MSB och inom kommunernas räddningstjänster, för att uppnå en säker hantering av vätgas som en ökad vätgasanvändning i samhället för med sig.

¹²² (SFS 1999:381, 2023)

¹²³ (SFS 1998:808, 2023)

7 Roller och ansvar på en svensk vätgasmarknad

I uppdraget ingår att analysera och “tydliggöra olika aktörers roller och ansvar vid utvecklingen av vätgasinfrastruktur” i olika scenarier med kluster eller med mer omfattande ledningsinfrastruktur, inklusive att “bedöma behov av ett statligt transmissionsnätsföretag och en systemansvarig myndighet (TSO)”.

Olika aktörers roller och ansvar kommer till stor del att bestämmas av det nyligen omarbetade gasmarknadspaketet när detta träder i kraft.¹²⁴ Den andra frågan i uppdraget, gällande statens roll och ett eventuellt behov av ett statligt transmissionsnätsföretag och systemansvarig myndighet, berörs inte direkt av de nya europeiska bestämmelserna men kommer att vara en viktig utgångspunkt när det svenska regelverket tas fram. Det finns ett antal skäl att överväga ett statligt systemansvar och ägande men detta behöver inte hindra de första stegen i utbyggnaden.

Det är redan idag möjligt att få koncession och driva vätgasrörledningar baserat på den befintliga rörledningslagen. Det betyder att aktörer som nu står i startgroparna för att investera i rörledningar för vätgas kan söka och få koncession för att bygga och driva sådana.

Men det krävs fler delar än bestämmelser om koncession för att forma en väl fungerande vätgasmarknad i Sverige. Det är därför angeläget att så snart som möjligt få ett uppdaterat, utvecklat och sammanhängande regelverk på plats, inom ramarna för det reviderade gasmarknadspaketet. Det krävs för att minska osäkerheten för aktörer och investerare.

Energimyndigheten bedömer att en sammanhållen offentlig utredning skulle erbjuda den bästa möjligheten för att ta fram de första nödvändiga regelverken för utveckling av en svensk vätgasmarknad och även göra den slutliga bedömningen av behovet av en statlig aktör med övergripande ansvar för utbyggnaden av svensk vätgasinfrastruktur. Om en sådan aktör övervägs är det Energimyndighetens uppfattning att myndighetsformen bör undvikas. Det är också Energimyndighetens bedömning att ett sammanhållet ansvar för metangas och vätgas kommer att gynna introduktionen av vätgas i det svenska energisystemet.

¹²⁴ (Council of the European Union, 2024)

7.1 Aktörer och roller bestäms av gasmarknadsdirektivet

Det omarbetade gasmarknadsdirektivets¹²⁵ tillkommande regler för vätgas förväntas följa samma principer som den europeiska marknadsregleringen av el och naturgas. Det gäller även definitionerna av en rad olika typer av aktörer, bland annat den centrala rollen som systemoperatör (eller systemansvarig). Det kommer sannolikt också att bli möjligt med flera systemoperatörer, även på TSO-nivå.

Förutom definitionerna av olika roller och ansvarsområden, kommer direktivet också att innehålla krav på att specifika frågor regleras i nationella regelverk. Till dessa hör bland annat krav på åtskillnad, tredjepartstillträde och att det finns en tydlig process för att söka tillstånd att driva vätgasrörledning.

Publicering av det omarbetade gasmarknadspaketet (direktiv och förordning) väntas inom de allra närmaste månaderna. Analysen i det följande baseras därför på offentliggjorda texter från förhandlingarna om gasmarknadspaketet samt innehåll och struktur i etablerade regler från naturgas- och elmarknadsområdena.

7.1.1 Etablerade roller på en gasmarknad

Några av de vanligaste och mest väletablerade rollerna i en europeisk gasmarknadskontext är:

Gasproducenter som producerar vätgas för försäljning och använder gassystemet för överföring av gasen till **gasanvändaren**.

Gashandelsföretag som köper in vätgas från en producent eller från andra gashandelsföretag eller aktörer och säljer den vidare.

Nätägare, nätföretag eller ledningsinnehavare som äger och/eller driver vätgasledning(ar).

Lagerägare eller lagerföretag som driver en anläggning som lagrar gas åt marknadens aktörer.

Balansansvariga som har ekonomiskt ansvar för balansen mellan tillförd och uttagen mängd gas i de inmatnings- och utmatningspunkter som balansansvaret omfattar.

7.1.2 Systemoperatör eller systemansvarig för vätgas

Vad gäller det övergripande ansvaret för utvecklingen av gassystemet, används i europeiska regelverk begreppet **Systemoperatör**. Detta definieras i gasmarknadsdirektivet som en fysisk eller legal person som ägnar sig åt överföring [av gas genom rörledningssystem] och är ansvarig för att driva, underhålla och när så är nödvändigt utveckla överföringssystemet inom ett visst område samt om det finns, kopplingar till andra system för att säkerställa systemets långsiktiga kapacitet att möta en rimlig efterfrågan på överföring av gas.

Begreppet **systemansvar** används ibland i Sverige som en beteckning på systemoperatörens ansvar, dvs den part som har ansvaret att på kort sikt hålla

¹²⁵ Direktivet har, vid tidpunkten för denna rapportts färdigställande, ännu inte publicerats eller trätt i kraft

balansen mellan inmatning och uttag av gas från systemet liksom ansvaret att på lång sikt se till att systemet kan hantera rimliga anspråk på gas- eller elöverföring.^{3 4}

För systemoperatör (eller systemansvarig) på en vätgasmarknad förväntas det reviderade gasmarknadsdirektivet att etablera samma strikta regler om åtskillnad som på naturgasmarknaden. Samma alternativ för organisering av systemansvar som på naturgasmarknaden förväntas också gälla, troligen med viss fördröjning av ikraftträdande och med möjligheter till geografiska undantag. De slutliga texterna är idag inte kända, men från den version som återgav Rådets allmänna inriktning kan utläsas några alternativa roller och definitioner för parter som är systemoperatör för ett vätgasledningssystem.

Hydrogen network operator (HNO) är beteckningen för en systemoperatör för ett vätgasledningssystem, dvs en fysisk eller juridisk person som ägnar sig åt transport av vätgas och är ansvarig för att driva, underhålla och om nödvändigt utveckla ett nät av vätgasinfrastruktur inom ett visst område, inklusive eventuella sammankopplingar med andra vätgasnät. Rollen som HNO på vätgasmarknaden motsvarar rollen som systemoperatör (TSO eller DSO) på el- eller naturgasmarknaden. På samma sätt som gäller för en systemoperatör för dessa sektorer krävs att en HNO är ägarmässigt och verksamhetsmässigt åtskild från verksamhet som omfattar produktion av eller handel med vätgas, el eller naturgas.

Sannolikt kommer det att vara möjligt att skilja mellan transmissionssystem och distributionssystem för vätgas, på samma sätt som för el och naturgas. En aktör, eller flera aktörer inom varsitt område eller på var sin ledning, har då systemansvaret för transmissionsnätet för vätgas och kan jämföras med en **TSO** på el- eller naturgasmarknaderna. Aktörer som motsvarar **DSO** har då systemansvar för lokala eller regionala vätgasledningssystem för distribution.

I de fall ett vätgasnät tillhör ett vertikalt integrerat företag, dvs ett företag som inte är ägarmässigt åtskild från handel eller produktion av vätgas, kan systemansvaret överlåtas till en oberoende systemansvarig, eller **Independent system operator (ISO)**. En ISO för vätgas ska vara ägarmässigt åtskild från produktion och handel på samma sätt som gäller för ISO inom naturgas och utses på förslag från ägaren till vätgasnätet.

En oberoende transmissionsnätoperatör eller **Independent transmission operator (ITO)** är ytterligare ett alternativ. Som ITO kan företag som äger transmissionsnät, trots grundregeln ändå få möjlighet att driva verksamhet inom produktion eller handel med energi, förutsatt att man uppfyller ett antal regler och kriterier som syftar till att säkerställa tillräcklig grad av oberoende mellan dessa delar av företaget och ägandet av infrastrukturen.

Utgångspunkten i gasmarknadsdirektivet är att den som äger ett transmissionsledningssystem är den som också har systemansvaret och således agerar som systemoperatör (HNO). Alternativen, att inrätta en ISO eller en ITO, är möjligheter för de fall då vätgasledningssystemet tillhör ett integrerat företag, dvs ett företag som också har verksamhet inom produktion eller handel med vätgas.

7.1.3 Systemansvar och ägande

Utgångspunkten i gasmarknadspaketet är att den som äger en gasledning också har systemansvaret, både det kortsiktiga och det långsiktiga. Det är dock möjligt att utforma roller och ansvar som endast inbegriper en eller båda av dessa delar.

Det kortsiktiga systemansvaret, att driva systemet och ansvara för att balansen mellan in- och utmatning ur systemet upprätthålls, är en uppgift som är väl reglerad genom nu gällande gasmarknadsdirektiv och tillhörande författningar. I det kortsiktiga systemansvaret ligger också att säkerställa lika tillgång till och ett effektivt utnyttjande av den befintliga infrastrukturen. Regleringen för att undvika att systemoperatörer utnyttjar sin monopolställning är väl utvecklad, precis som principerna för hur en marknad ska organiseras. För marknadens reguljära funktion är det därför inte troligt att det skulle ha betydelse om det kortsiktiga systemansvaret ligger hos en statlig eller privat aktör.

Det långsiktiga systemansvaret är ansvaret för att genom utveckling av infrastrukturen möta det långsiktiga behovet av vätgasöverföring inom ett visst område. Denna dimension av systemansvaret är av mer strategisk karaktär och inbegriper med nödvändighet övervägande och prioritering av vilka investeringar som bör göras i infrastrukturen samt utifrån vilka principer som lönsamheten i dessa bedöms. I denna del är det sannolikt att en privat respektive en statlig aktör skulle ha delvis olika drivkrafter och kunna agera på olika sätt, vilket diskuteras i mer detalj nedan.

Ägandet av rörledningsinfrastrukturen regleras inte alls i gasmarknadsdirektivet förutom i form av åtskillnadsregler. Flera olika lösningar är tänkbara och förekommer i olika delar av Europa för såväl el-, naturgas- och vätgasnät.

7.2 Behov av en statlig aktör

I uppdraget ingår att göra en bedömning av behovet av ”ett statligt transmissionsnätstföretag och en systemansvarig myndighet”. Vad gäller organisationsform för en eventuell statlig aktör, nämns i uppdraget alternativen ”företag” respektive ”myndighet”. Någon fördjupad analys av detta vägval har inte genomförts, men på de europeiska energimarknaderna är myndighetsformen ovanlig. För att utföra de centrala uppgifterna som systemoperatör är myndighetsformen inte nödvändig. Den kan dessutom riskera att leda till otydlighet gällande vilken specifik roll och ansvar som den statliga aktören har i olika sammanhang, eftersom myndighetsformen adderar uppgifter och skyldigheter utöver dem som framgår av europeiska regelverk.

I ljuset av de förväntade bestämmelserna i gasmarknadspaketet blir uppgiften att bedöma behovet av en statlig systemoperatör, dvs behovet av att systemansvaret ligger hos en statlig aktör och vilka konsekvenser detta skulle föra med sig. Då det kortsiktiga systemansvaret är väl reglerat, är det primärt det långsiktiga perspektivet kring utveckling/utbyggnad och interaktion med centrala samhällsfunktioner som blir av vikt att redogöra för.

7.2.1 Försvar, nationell säkerhet och nationella intressen i övrigt

Förutsatt att vätgas och vätgasinfrastruktur får en nationell utbredning och en betydande påverkan på energisystemet kan det finnas behov av att säkerställa att utbyggnaden sker på ett sätt som stödjer Sveriges totalförsvar. Ett annat behov är att utesluta oönskat utländskt inflytande över vätgasinfrastrukturen. Nationella intressen i övrigt skulle till exempel kunna vara att värna specifika industrigrenar med stor betydelse för svensk ekonomi eller konkurrenskraft i bred bemärkelse.

Dessa behov från samhället kan i viss utsträckning tillgodoses genom reglering. Det bör dock utredas närmare om den reglering som i så fall bör komma på plats utgör ett tillräckligt skydd mot oönskade situationer i framtiden.

7.2.2 Samhällsekonomisk utbyggnad och finansiering i en monopolverksamhet

Ytterligare ett skäl att överväga statligt ägande av vätgasinfrastruktur är om det kan förväntas uppstå en divergens mellan samhällsekonomiskt respektive företagsekonomiskt lönsam utbyggnad och/eller användning av infrastrukturen.

Det finns redan idag sträckor i Sverige (och mot Finland) där privata aktörer visar intresse för att bygga vätgasrörledningar utifrån ett rent kommersiellt perspektiv hos en eller flera producenter och användare av vätgas. Det är inte osannolikt att det i framtiden också kommer att identifieras sträckor där det ur ett samhällsekonomiskt perspektiv vore lönsamt och lämpligt att uppföra vätgasrörledning, men som ur ett företagsekonomiskt perspektiv är mindre angeläget. Detta skulle bland annat kunna sammanfalla med att vätgasrörledningar behöver komma på plats för att möjliggöra omställning till nollutsläpp på vissa platser, men där volymerna som kan behöva transporteras inte är tillräckliga för att ge lönsamhet.

I stället för att gå in som ägare finns alternativet att staten genom subventioner eller andra styrmedel, medverkar till att specifika sträckor byggs och att den samhällsekonomiska dimensionen tillgodoses genom olika former av (del)finansiering. Finansieringen av utbyggnaden av vätgasinfrastrukturen bör utredas närmare, tillsammans med utredning av modell för intäktsreglering.

I detta sammanhang kan det vara värt att nämna att en kommande modell för intäktsreglering för vätgasrörledningar kan påverka intresset för att bygga ut vissa sträckor. Om intäktsregleringen utformas så att en systemoperatör garanteras viss avkastning på totalt investerat kapital snarare än maximala intäkter endast från de ledningar som har förmåga att ge företagsekonomisk lönsamhet, bör utbyggnad av nätet även längs sträckor som inte fullt ut förmår bära sina egna kostnader i högre grad säkerställas.

7.2.3 Behov av samplanering med elsystemet

Samspelet mellan elsystemet och den framväxande vätgasinfrastrukturen kan bli betydande. Ett ömsesidigt beroende kan i det första skedet förväntas uppträda främst lokalt, på enskilda industrianläggningar och i vissa kluster. Men förutsatt att utbyggnaden av rörledningsinfrastruktur för vätgas fortsätter kan samma ömsesidiga beroende också uppstå på regional eller så småningom nationell nivå. Det är när omfattningen i volym och dimension av de samlade vätgasinstallationerna blir tillräckligt stor och rörledningarna sträcker sig över längre sträckor, som påverkan på

och därmed även bidraget till elsystemet genom avlastning och flexibilitet kan bli påtagligt. Produktion och lagring av vätgas kan, som beskrivits tidigare i rapporten, bidra till att balansera ett växande elsystem med allt större inslag av väderberoende kraftslag.

För att dessa nyttor av en utbyggd vätgasinfrastruktur ska kunna realiseras fullt ut krävs att utbyggnaden av vätgasinfrastrukturen planeras tillsammans med utbyggnaden av elnätet. Om utbyggnaden inte samplaneras riskerar överutbyggnad att ske vad gäller den samlade energiinfrastrukturen, vilket skapar merkostnader för kundkollektivet och minskad konkurrenskraft för industri och näringsliv. Dessutom kan andra möjligheter gå förlorade, såsom t ex ökad försörjningstrygghet, flexibilitet och indirekt därmed även driftsäkerhet.

Beroendet mellan infrastruktur för vätgas och infrastruktur för el går i båda riktningar, dvs vätgasinstallationer påverkas av infrastrukturen för el och vice versa. Vinsten av samplanering består inte enbart av att den totala systemkostnaden för ett ”färdigt system” kan bli lägre än om de två delarna planeras separat från varandra. Det kan också skapas möjligheter att hitta mer optimala lösningar för det totala systemet om olika utbyggnadsprojekt kan koordineras och anpassas efter varandra i tid och följd. Samplanering lär också vara nödvändigt för att en lämplighetsbedömning ska kunna göras i samband med koncessionsprövning.

Gasmarknadsdirektivet bekräftar beroendet mellan el- och vätgassystemen liksom möjligheterna att genom samplanering mellan dessa uppnå ett mer robust och effektivt energisystem. I syfte att säkerställa energieffektivitet på systemnivå ställer direktivet krav på samarbete mellan systemoperatörerna för vätgasnätet, elnätet och naturgasnätet, samt fjärrvärmenät där så är möjligt. Detta samarbete kommer att ske och redovisas genom framtagande av koordinerade 10-åriga nätutvecklingsplaner. Svenska kraftnät har under arbetet med den här rapporten betonat vikten av ett samlat ansvar för samplaneringen av el- och vätgasinfrastrukturen och att det bör vara Svenska kraftnät som ges ett sådant ansvar.

7.2.4 Svårighet att förutse alla situationer med reglering

Behoven från samhället, så som utbyggnad i samklang med försvarsbehov och nationell säkerhet, utbyggnad av mindre lönsamma sträckor och samplanering med elnätet, kan tillgodoses antingen genom statligt ägande av vissa delar eller genom reglering av privata aktörers verksamhet.

Reglering av privat verksamhet sker redan idag, inte minst inom de europeiska energimarknaderna där många systemoperatörer är privat ägda och omfattas av långtgående legala skyldigheter. Vidare går det att bedriva tillsyn för att övervaka och förhindra oönskade situationer, till exempel att olämpliga aktörer kommer i ägo av kritisk infrastruktur. Nyligen gjordes en översyn av reglerna i just detta syfte.¹²⁶

Det går emellertid inte att reglera på ett sätt som förutser varje situation som kan uppkomma. Det bör därför utredas om önskad nivå av säkerhet, kontroll och styrning kan uppnås med hjälp av reglering. Det finns också en avvägning att göra när det gäller behovet av reglering och hur mycket detaljer och komplexitet som anses önskvärt och effektivt, där ett statligt ägande i vissa situationer kan komplettera en

¹²⁶ (SFS 2023:560, 2024)

mer övergripande reglering. Denna “residual-kontroll” lyfts i Themans rapport¹²⁷ *Certification of a Hydrogen Transmission Network Operator – Lessons for Sweden* som ett skäl till att överväga statligt ägande av vätgasinfrastuktur. Thema gör jämförelsen med den diskussion som fördes kring ägande av transmissionsnätet för el i Norge på 1990-talet. Diskussionen då slutade i Statnetts fortsatt statliga ägande och ägardirektiv (articles of association) som explicit instruerar Statnett att bedriva verksamheten i enlighet med en uppsättning kriterier snarare än att maximera företagets vinst. Liknande formuleringar återfinns i instruktionerna till Svenska kraftnät liksom till danska Energinet.

7.3 Erfarenheter från andra länder och sektorer

Det europeiska regelverket är gemensamt för alla medlemsstater. För el- och naturgasmärknaderna har medlemsstaterna gjort olika val avseende hur systemansvar organiseras och vem som äger infrastrukturen. Även för vätgasen kan man se att olika vägval görs.

7.3.1 Ägandeformer och systemansvar för vätgassystem varierar i norra Europa

Systemansvaret för vätgas organiseras på olika sätt i Sveriges närmaste omgivning. I Danmark är det statligt ägda Energinet, som också hanterar systemansvar för el och naturgas, som kommer att äga och utveckla vätgasinfrastrukturen medan det statligt ägda distributionsföretaget Evida driftar det. I Finland har det statligt ägda Gasgrid Finland fått i uppdrag att etablera en nationell infrastruktur för vätgas och att utveckla marknaden samt främja investeringar i överföring på olika nivåer. I Nederländerna har statligt ägda Gasunie fått i uppdrag att bygga vätgasstamnätet medan man i Tyskland har uttalat en förväntan på nuvarande (privata) naturgas-TSOer att ta stort ansvar även för infrastrukturutveckling för vätgas.

Gemensamt för samtliga dessa länder är att de har valt en eller flera organisationer med gedigen erfarenhet av gassystem som systemansvarig för vätgasinfrastuktur. I flera av fallen sammanfaller detta med att det också är statliga företag, förutom i Tyskland. Tyskland har dock en sammanhållande statlig samordning genom sin tillsynsmyndighet för energi BundesNetzAgentur.

7.3.2 Erfarenheter av systemansvar från den svenska naturgas- och elmarknaden

Naturgasen introducerades på bredare front i Sverige sommaren 1985 genom en anslutning av det svenska naturgassystemet till det danska. Vid införandet av det första inre marknadspaketet i början av 2000-talet ägdes det svenska transmissionsnätet för naturgas av två privata aktörer. Stamledningen från Dragör till Stenungsund ägdes av Swedegas AB medan Sydkraft Gas Sverige AB ägde flertalet av de grenledningar som ingick i transmissionsnätet.

¹²⁷ (Thema Consulting Group, 2024)

I samband med den partiella marknadsöppningen 2005 och införandet av andra inre marknadspaketet¹²⁸ trädde Svenska kraftnät in i rollen som systemansvarig myndighet. I myndighetens ansvar ingick att upprätthålla balansen i naturgassystemet på kort sikt, liksom ansvaret för försörjningstrygghet och vissa tillsynsuppgifter. Det långsiktiga systemansvaret däremot, liksom övrig nätverksamhet låg kvar hos nätägarna. Lösningen att lägga (det kortsiktiga) systemansvaret hos en myndighet ansågs i början av 2000-talet vara en långsiktig, stabil och mer neutral lösning jämfört med en privat aktör i den rollen.

I samband med genomförandet av det tredje inre marknadspaketet jämfördes den svenska lösningen för systemansvaret med det systemansvar som avsågs i gasmarknadsdirektivet tillhöra rollen som TSO. Då kunde konstateras att den svenska lösningen innebar att Svenska kraftnät genom ansvaret för den kortsiktiga balanseringen utförde vissa av de uppgifter som ingick i gasmarknadsdirektivets TSO-roll, medan andra utfördes av de privata nätägarna. Detta ansågs då medföra en ineffektivitet genom oklarhet om vem som faktiskt har ansvaret i varje given situation och riskerade även att minska incitament att investera i Sverige. Då ingen av aktörerna hade mandat att agera fullt ut som TSO ansågs detta även bidra till en otydlig relation för Sverige i landets relation till övriga medlemsstater inom EU. Det bedömdes också ge Sverige en svagare position i vissa förhandlingssituationer och riskerade att försvåra Sveriges deltagande och möjlighet att påverka i olika former av samarbeten, till exempel i arbetet inom ENTSO-G. Slutligen anförde utredningen att otydligheten sannolikt ställs på sin spets i situationer som kräver snabba beslut, tex i nödförsörjningslägen, då ett tydligt mandat och korta beslutsvägar kan vara avgörande för hanteringen av den svenska försörjningstryggheten för naturgas¹²⁹. Hanteringen av försörjningstryggheten reglerades i naturgaslagen men bedömningen var att reglernas tillämpning sannolikt underlättas av ett sammanhållet systemansvar. Utredningen föreslog att systemansvaret borde hanteras av en (1) aktör inom ramen för en TSO-lösning.

Efter förslag från utredningen om framtida hantering av systemansvaret¹³⁰ fördes de uppgifter som var kopplade till det kortsiktiga systembalansansvaret bort från Svenska kraftnät och över till den aktör som efter uppfyllande av vissa kriterier utsågs av regeringen. Bestämmelser om detta fördes in i naturgaslagen.

Motsvarande diskussion och analys som gjorts av hur systemansvaret för naturgas bör organiseras i Sverige, har inte i närtid förts om det statliga ägandet av Svenska kraftnät och dess roll i elsystemet. Inför och strax efter avregleringen av elmarknaden förekom politiska förslag om att privatisera Svenska kraftnät¹³¹. Enskilda debattörer har även senare fört fram tankar om delvis privatisering och uppdelning av Svenska kraftnät, men idag framstår det inte som omtvistat att staten har ett intresse att äga och utveckla stamnätet för el. Ett av skälen torde vara det förnyade behovet av beredskap och totalförsvarsperspektiv på elförsörjningen och att detta är starkt knutet till samhällets funktion.

¹²⁸ Nya naturgaslagen (SFS 2005:403, 2024) byggde på Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/55/EG av den 26 juni 2003

¹²⁹ (SOU 2010:30, 2024)

¹³⁰ (SOU 2011:46, 2024)

¹³¹ (Håkan Heden, 2012)

7.4 Behövs en statlig systemansvarig för vätgas i Sverige?

Detta kapitel har belyst att det finns många olika infallsvinklar att beakta kring frågan om det finns behov av en statlig systemansvarig och vad detta ansvar innebär.

I den mån vätgasinfrastrukturen på sikt utvecklas till ett nationellt system och därmed får stor påverkan på energisystemet i stort, finns det en rad skäl att överväga ett statligt systemansvar och ägande helt eller i delar. Samtidigt kan det konstateras att det inte finns någon statlig aktör som omedelbart kan ta den rollen. Däremot finns det privata aktörer som visar intresse för att bygga och driva vätgasrörledningar.

Under utredningens gång har Energimarknadsinspektionen gjort bedömningen att rörledningslagen är tillämplig. Det innebär att det redan idag är möjligt för en privat aktör att söka och få koncession för en vätgasrörledning. Den aktören blir då ledningsinnehavare och har systemansvaret för ledningen.

Med andra ord kan utbyggnaden av vätgasinfrastrukturen påbörjas utan att en eller flera systemoperatörer är certifierade eller på annat sätt utpekade. För att bli certifierad systemoperatör (HNO på transmissionsledningsnivå) krävs att gasmarknadsdirektivets bestämmelser om certifiering har genomförts i svensk rätt.

Några sträckor kan komma att klassas som distributionsledningar medan andra får dimensioner av transmissionsledningar. Dessa dimensioner kommer att behöva fastställas på ett tydligt sätt vid genomförandet av gasmarknadsdirektivet i svensk rätt. Det är också sannolikt att direktivet öppnar för flera aktörer att uppfylla kriterierna för (och certifieras som) TSO för vätgassystem, vilket blir ytterligare en fråga som kommer behöva hanteras genom det nationella genomförandet. På längre sikt är osäkerheten stor kring hur fort och hur långt som utbyggnaden av vätgasinfrastrukturen i Sverige kommer att gå. Det är dock sannolikt att den kan fylla stora behov i flera delar av landet för olika ändamål. Några av dessa ändamål kan vara av stort strategiskt intresse för Sverige som nation, antingen som en del av det kommersiella näringslivet eller mer tätt knutet till energisäkerhet och funktioner kopplade till totalförsvaret. I ljuset av detta, går det idag inte att utesluta att en statlig aktör i rollen som systemansvarig skulle bli önskvärd i framtiden.

Det är möjligt att genom reglering forma manöverutrymmet för en privat aktör, men det bör analyseras om man med reglering kommer att kunna förutse alla tänkbara framtidsscenarier och i vilken utsträckning den reglering som krävs för att hantera dessa är rimligt detaljerad och acceptabel.

8 Styrmedel

I uppdraget ingår att kartlägga överlapp och gap mellan befintliga ekonomiska styrmedel såsom investeringsstöd samt forsknings- och innovationsstöd, samt vid behov föreslå justeringar av befintliga styrmedel eller ytterligare åtgärder.

En kartläggning av befintliga ekonomiska styrmedel har gjorts och redovisas i sin helhet i Bilaga ”Styrmedel på vätgasområdet”. Det finns ett möjligt överlapp i stöden till publik vätgastankinfrastruktur, mellan Klimatklivet och de regionala elektrifieringspiloterna, men i praktiken hanteras detta redan idag genom dialog mellan berörda myndigheter.

Beskattningen av produktion och användning av vätgas behöver ses över. Redan före en större översyn av energiskatterna kan några förtydliganden göras inom ramen för nuvarande beskattning.

Utöver frågan om gap och överlapp i befintliga styrmedel har vissa områden identifierats där styrmedelsförändringar kan vara motiverade. Det ska undersökas vidare i det fortsatta samordningsuppdraget. Dessa områden handlar om att upprätthålla ett generellt klimatomställningstryck, se över möjligheterna att vätgasfordon konkurrera gentemot konventionella dieselfordon och vid behov skapa nischmarknader som ökar betalningsviljan för nya tillämpningar för fossilfri vätgas.

8.1 Resultat av kartläggning befintliga styrmedel

I Bilaga ”Styrmedel på vätgasområdet” beskrivs befintliga nationella och EU-gemensamma styrmedel som påverkar vätgasvärdekedjan med fokus på ekonomiska styrmedel, men också på regleringar som påverkar de ekonomiska förutsättningarna för vätgasprojekt genom att driva fram en ökad efterfrågan på förnybar/fossilfri vätgas. I det kortare perspektivet betraktas EU:s styrmedel som givna och därför diskuteras bara till de svenska styrmedlen nedan. Frågan om ytterligare åtgärder berörs i nästkommande avsnitt.

8.1.1 Överlapp mellan investeringsstöden

Eftersom Klimatklivet är utformat som ett mycket brett styrmedel, som fördelas utifrån klimatnytta i förhållande till kostnaderna, så kommer överlapp ofrånkomligen att uppstå. I förhållande till Industriklivet finns emellertid en tydlig skillnad, då Industriklivet finansierar lösningar som inte är lika mogna och därmed är dyrare i förhållande till den omedelbara klimatnyttan. I praktiken kan det däremot uppstå situationer där en investering inte bedöms som tillräckligt innovativ för att få stöd från Industriklivet men fortfarande är för dyr för att få stöd av Klimatklivet. I sådana lägen kan efterfrågeskapande styrmedel vara värdefulla för att överbrygga gapet.

Sedan fordon som kan få stöd genom klimatpremien/elbusspremien inte längre kan få stöd genom Klimatklivet har detta överlapp undanröjts. Däremot finns fortfarande ett

potentiellt överlapp mellan Klimatklivet och elektrifieringspiloterna i fråga om tankinfrastruktur. Eftersom Energimyndigheten kan fördela medlen inom elektrifieringspiloterna mellan el och vätgas är det möjligt att inte utlysa några ytterligare medel för vätgastankinfrastruktur där, så att tankinfrastruktur enbart stöds inom Klimatklivet. Alternativt kan vätgastankstationer uteslutas ur Klimatklivet, på motsvarande sätt som gjorts för vätgasfordon. Båda dessa alternativ används redan idag, så att om det är möjligt att söka för publika vätgastankstationer genom det ena stödet så väljer den andra myndigheten att inte inkludera sådana stationer i sitt stöd.

Det finns en nackdel i att främja publik tankinfrastruktur genom stöd som baseras på det individuella projektets klimatnytta, eftersom sådan infrastruktur behöver ses som ett system där nyttan av en enskild tankstation beror på resten av systemet. Inom Klimatklivet har detta hanterats genom att bryta ut sådana investeringar till en särskild pott som enbart går till vissa utpekade vägsträckor, där de sökande bara tävlar mot andra sökande inom dessa sträckor, se Bilaga ”Styrmedel på vätgasområdet”. Därmed liknar stödet elektrifieringspiloterna, som också ställer upp vissa geografiska och andra kriterier för att få stöd.

8.1.2 Vissa gap i beskattningen av vätgas

Som framgår i Bilaga ”Styrmedel på vätgasområdet” finns det vissa gap i beskattningen av vätgas. Vätgas har ingen egen skattesats utan beskattas som fossilgas, men bara i vissa situationer medan den är helt skattebefriad i andra. Om energiskattedirektivet revideras i linje med det förslag från kommissionen som beskrivs i bilagan så skulle vätgas få en egen minimiskattesats, vilket skulle förbättra förutsättningarna för en mer sammanhängande beskattning av vätgas i den svenska skattelagstiftningen. I väntan på ett utfall av förhandlingarna kan det vara lämpligt att avvakta med större förändringar av den svenska energibeskattningen. En möjlig åtgärd i väntan på ett reviderat energiskattedirektiv vore att tydligare definiera vilka komponenter vid elektrolysbaserad vätgasproduktion som ska vara skattebefriade.

Nuvarande beskattning av vätgas för fordonsdrift skapar snedvridningar mellan fordon som drivs med batterier, bränsleceller respektive förbränningsmotor (med vätgas). Inom de ramar som ges av energiskattedirektivet vore det mest logiska att även drivmedel för bränslecellsfordon beskattades, antingen i form av vätgasen som driver bränslecellen eller elen som vätgasen omvandlas till och som sedan driver motorn. I ett läge då bränslecellsfordon redan har svårt att konkurrera med traditionella fossilfordon – i praktiken dieseldrivna då vätgas i första hand är aktuellt i riktigt tunga fordon där batteridrift har begränsningar – vore det dock olyckligt att genomföra en sådan förändring utan en samtidig ökning av kostnaden för dieselalternativet (se avsnitt 8.2).

Vad gäller de snedvridningar som kan uppstå mellan industriella och andra verksamheter som tillverkar vätgas så visar det på de problem som kan uppstå genom riktade nedsättningar och undantag inom energibeskattningen. Som Energimyndigheten framfört i tidigare sammanhang¹³² vore en större översyn av dagens fragmenterade energibeskattnings önskvärd.

¹³² Bl a (Energimyndigheten (ER2024:03), 2024).

8.2 Behov att analysera nya styrmedel

Utöver justeringar i befintliga styrmedel ger uppdraget även möjlighet att lämna förslag på ytterligare åtgärder. Detta är en större analys som med fördel bör kunna dra nytta av de inspel som kan tänkas komma upp i den fortsatta samverkan som ska ske inom uppdraget fram till slutredovisningen 1 december 2024. Därför lämnas inte några färdiga förslag, utan några områden som bedöms vara intressanta ringas in för att undersökas närmare under året. Liksom tidigare ligger fokus på sådana frågor som inte berörs i andra delar av rapporten. Frågor som inte är specifika för vätgas berörs inte utan utgör gemensamma utmaningar för energiomställningen i stort, såsom långsiktighet i politiken, utbyggnad av elproduktion och -överföring, tillståndsfrågor, kompetensförsörjning osv.

8.2.1 Ett generellt klimatomställningstryck är grunden

Att skapa förutsättningar för vätgasens introduktion i energisystemet sammanfaller till stor del med att skapa förutsättningar för omställningen i stort. Dit hör långsiktiga målsättningar, utbyggnad av elproduktion och överföringskapacitet för el, effektiva tillståndsprocesser och inte minst kompetensförsörjning. Liksom för omställningen i stort är det grundläggande att skapa och bibehålla ett verkningsfullt omställningstryck, dvs att uttalade målsättningar, prissättning och regelverk i grunden signalerar kravet på utfasning av fossila bränslen och insatsvaror. Därutöver kan det i vissa fall finnas skäl att vidta särskilda åtgärder för att introducera ny teknik och nya lösningar.

För industrin, där tillverkning av elektrobränslen också ingår, är priset på utsläppsrätter tänkt att vara ett kraftfullt incitament för klimatomställningen. Därmed blir det centralt att upprätthålla eller om möjligt stärka ambitionen i utsläppshandeln. Utanför denna behöver tillräckliga ekonomiska drivkrafter i stället upprätthållas genom nationella styrmedel.¹³³

I vägtransportsektorn har klimatomställningstrycket försvagats genom sänkningar av såväl inblandning av fossilfria drivmedel som energibeskattning. Det har avsevärt försämrat kalkylen för vätgasfordon liksom för batterifordon. Investeringsstöd i form av klimatpremien och elbusspremien har inte kunnat kompensera för sämre driftsekonomi jämfört med dieseldrivna alternativ. Intresset för dessa investeringsstöd har hittills varit mycket lågt. I januari 2024 hade endast fyra ansökningar om lastbilar och två om bussar som går på vätgas inkommit och ingen alls om vätgasdrivna arbetsmaskiner.

Omställningen av vägtransporterna drivs i stället genom utbyggnad av vätgastankstationer, där EU genom förordningen AFIR¹³⁴ ställer krav på att det byggs ut tankstationer för vätgas med viss täthet i större transportstråk till 2030 (se Bilaga ”Styrmedel på vätgasområdet”). Som framgår av stycke 2.1.5 Vätgas för har ett stort antal vätgastankstationer beviljats offentliga stöd, så förutsatt att dessa verkligen blir

¹³³ Som framgår av Bilaga ”Styrmedel på vätgasområdet” kommer bl a vägtransportsektorn från 2027 (eller möjligen 2028) att omfattas av EU:s utvidgade utsläppshandel, ETS 2.

Vägtransporterna omfattas dock samtidigt av ESR, där rikare medlemsstater har ett beting som är högre än vad ETS 2 väntas leverera (jämför (Nilsson, 2023)). Därmed kan medlemsstater som Sverige inte förlita sig på ETS 2 för att klara sitt ESR-beting.

¹³⁴ (Förordning (EU) 2023/1804)

av är Sverige på god väg att nå AFIR:s krav¹³⁵. Den låga efterfrågan på vätgasfordon skapar dock farhågor kring livskraften i de tankstationer som nu planeras eller byggs. Om kunderna är få är det svårt att täcka driftskostnaderna för tankstationerna, i vart fall utan kraftiga driftsstöd.

Förutom brist på kunder vittnar aktörer om brist på vätgas till tankstationerna. Av kartläggningen framgår att produktionen av vätgas framför allt drivs av industrins intressen, i de flesta fall rentav i egen regi av de industrier som efterfrågar vätgasen. Att producera vätgas ligger troligen en bra bit utanför dessa industriers kärnverksamhet, så även om det skulle vara ekonomiskt fördelaktigt att skala upp produktionen något för att även kunna sälja till närliggande tankstationer går det inte att räkna med att så kommer att ske. Fristående producenter, i huvudsak med kopplingar till vindkraftsproduktion, har däremot haft svårare att säkra avsättning för eventuell kommande produktion. Delvis handlar det om sådana koordineringsutmaningar som är vanliga innan en marknad etablerats, men delvis handlar det också om ett gap mellan vad säljare vill ha betalt och vad kunder är villiga att betala. Detta faller tillbaka på det svaga generella omställningstrycket för vägtransporter, där fossilfri vätgas måste konkurrera med diesel.

För att ge förutsättningar för en övergång till vätgasdrift i tillämpningar där batteridrift inte är aktuella behövs alltså en starkare styrning bort mot fossila drivmedel. Det kan till exempel ske genom höjningar av koldioxidskatt och/eller ökad inblandning av fossilfria bränslen, men det kan också ske genom nya styrmedel som exempelvis en kompletterande utsläppshandel (på högre nivå än den kommande ETS 2) eller en avståndsbaserad vägbeskattning med rabatt för nollutsläppsfordon, dvs fordon som drivs på el eller vätgas. Det sistnämnda tillämpas i flera EU-länder, till exempel Tyskland.¹³⁶ Ett alternativ eller komplement till att fördyra användningen av fossila drivmedel är utökade subventioner för att etablera fossilfria alternativ, däribland produktion av fossilfri vätgas och drift av tankstationer.

8.2.2 Nischmarknader kan öka betalningsviljan för nya vätgastillämpningar

Ett generellt klimatomställningstryck, t ex i form av utsläppshandel eller koldioxidskatter, gynnar de lösningar som minskar utsläppen till den vid tidpunkten lägsta kostnaden. Nya tekniker, såsom nya vätgastillämpningar, är däremot ofta dyrare i början, men kan sjunka i kostnad genom de så kallade läreffekter som uppstår när ökad användning ger nya kunskaper om tekniken. Med enbart ett generellt omställningstryck kan det vara svårt att få in de nya teknikerna, varmed de heller aldrig får chansen att sjunka i pris så att de senare kan konkurrera med etablerade tekniker. Om det generella omställningstrycket dessutom är svagt i förhållande till de långsiktiga målen blir utmaningarna naturligtvis än större.

Industriklivet kan stödja investeringar i nya tekniker, men däremot ges inget stöd till eventuella merkostnader i driften (se Bilaga ”Styrmedel på vätgasområdet”). Ett sätt att få in tekniker som inledningsvis är dyrare, inte bara i investeringen utan också i driften, är att skapa nischmarknader där produkter från de nya teknikerna inte behöver konkurrera till samma pris som etablerade alternativ utan betingar en prispremie. Ett exempel är elektrobränslen, där EU kräver en viss inblandning i bland annat flygbränsle (se Bilaga ”Styrmedel på vätgasområdet”). Med en viss garanterad

¹³⁵ (Förordning (EU) 2023/1804)

¹³⁶ (Die Bundesregierung, 2024)

avsättning blir det möjligt att ta ut ett högre pris, vilket tillsammans med den säkerhet som kvoterna innebär får antas ha bidragit till det stora intresse för produktion av elektrobränslen i Sverige som kartläggningen av vätgasinitiativ visar på (se 2.1 Vätgasläget i Sverige).

Ett annat exempel är järn- och stålindustrin, som dominerar stort i planerade vätgassatsningar (se 2.1 Vätgasläget i Sverige). Företrädare för järn- och stålindustrin¹³⁷ framhåller visserligen ETS som en viktig drivkraft för sina satsningar på fossilfritt stål, men Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA)¹³⁸ lyfter även vikten av att kunna ta ut en prispremie för ”grönt” stål som kompenserar för merkostnaderna i produktionen jämfört med den traditionella, fossila processen. Denna nischmarknad är inte framreglerad på samma sätt som för elektrobränslen, utan IVA lyfter i stället fordonsindustrins avgörande roll genom deras mål om att vara klimatneutrala längs hela värdekedjan, vilket skapar en efterfrågan på fossilfritt stål. Någon liknande efterfrågan, som skulle möjliggöra en prispremie för produkter tillverkade genom fossilfri vätgas, har IVA däremot inte sett för kemi- och raffinaderiindustrierna som redan idag använder vätgas men tillverkad av fossilgas.

Möjligheten att skapa nischmarknader för fler potentiella vätgastillämpningar blir därmed ett intressant spår att utforska närmare. Sådana kan vara kopplade till vissa strategiska branscher, såsom kemi och raffinaderi, eller byggas geografiskt utifrån framväxande vätgaskluster.

¹³⁷ Se t ex (Roos, Nilson, & Axelsson, 2023).

¹³⁸ (Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2022)

9 Åtgärder och uppföljningsområden

Företag över hela Sverige står i startgroparna för att investera, i vätgasproduktion, i lager och i vätgasrörledningar. Men på flera områden är gällande regler inte anpassade till utvecklingen av en vätgasmarknad. Vissa lagar gäller men är äldre och därmed svårtolkade utifrån den situation som råder nu. På andra områden saknas regler helt. Därför är det av högsta prioritet att nödvändiga regelverk kommer på plats så snart det är möjligt. Nedan pekas på de delar som under Energimyndighetens uppdrag har framstått som allra mest centrala och angelägna att få till stånd. Dessa redovisas i form av åtgärdsförslag.

Men vätgasens introduktion i det svenska energisystemet kommer att kräva ytterligare arbete, under flera år framöver. Det handlar om ytterligare regelverk som behöver ses över, om att bevaka och utreda behovet av ytterligare åtgärder, om att utveckla statistik, prognoser och scenarier, om att underlätta kunskapsspridning, följa utvecklingen och se till att de möjligheter som kommer med en ny energibärare också nyttjas i uppbyggnaden av det svenska totalförsvaret. De områden som under Energimyndighetens uppdrag har framstått som mest angelägna att följa på det sättet redovisas under den rubriken, Åtgärdsförslag. Slutligen redovisas förslag till fortsatt arbete efter år 2024.

9.1 Åtgärdsförslag

9.1.1 Ta snarast fram grundläggande regelverk för vätgasmarknad

Ett nytt regelverk för svensk vätgasmarknad behöver tas fram. Ramarna sätts av det nyligen reviderade gasmarknadsdirektivet och gasmarknadsförordningen med kommande detaljföreskrifter. Flera mycket viktiga beslut kring strukturen på marknaden behöver hanteras, så som regler för tillstånd och tillståndprocesser samt intäktsreglering och därmed finansiering av nätverksamheten. Alla dessa beslut får konsekvenser för hur risker och ansvar fördelas mellan parter och viljan att investera i olika delar av vätgassystemet. Det är därför angeläget att det görs en sammanhållen utredning av helheten av dessa frågeställningar och att utredningen får tillgång till rätt kompetens.

Det finns två huvudalternativ för hur detta arbete kan organiseras och genomföras. Det ena är att lägga ut dessa uppgifter som enskilda myndighetsuppdrag, förslagsvis sammanhållet i ett förstärkt samordningsuppdrag med ytterligare myndigheter som deltagande. Det andra är att tillsätta en statlig offentlig utredning med uppdrag att på ett koordinerat sätt och med helhetsperspektiv utreda dessa frågor och ta fram förslag till en sammanhållen ny reglering. Vid jämförelse mellan dessa alternativ framstår formatet av en statlig offentlig utredning som det mest ändamålsenliga och det som skulle ge bäst förutsättningar för ett effektivt arbete.

För en statlig offentlig utredning finns en väl etablerad struktur att använda. En sådan utredning har större möjligheter att arbeta fokuserat med flera parallella analyser, liksom att ta tillvara kompetens inom olika områden hos myndigheter, företag och organisationer i form av expertgrupper och referensgrupper.

Utredningen och arbetet som behöver göras är omfattande och tillräcklig tid behöver avsättas för att få fram ett fungerande regelverk. För att ändå få ett snabbt genomförande och de mest angelägna besluten på plats så tidigt som möjligt, kan det finnas skäl att låta utredningen rapportera i olika steg genom delrapportering och slutrapportering. Om regeringen väljer det alternativet skulle frågor om systemansvar och ekonomisk reglering behöva prioriteras för den första delrapporteringen. Förslag till uppdaterad reglering av koncession, tredjepartstillträde och övrig reglering för att genomföra direktivet skulle kunna ingå i utredningens andra del och rapporteras i slutbetänkandet.

Bestäm statens roll i systemansvaret

Beslut om statens roll i systemansvaret och ägandet av infrastrukturen måste fattas. Den kan vara en del av en statlig offentlig utredning enligt ovan, alternativt avgöras i annan ordning redan före utredningens tillsättande och bli en del av utredningens ingångsvärden och direktiv.

Vid konstaterat behov av en framtida statlig aktör som systemansvarig, är det viktigt att denna aktör skyndsamt får tillräckliga resurser att bygga upp en gedigen kompetens och förankring inom vätgasområdet.

9.1.2 Säkerställ förutsättningar för snabb kompetensuppbyggnad och uppdatering av regler för säkerhet

Med ökad användning av vätgas, på nya sätt och inom nya områden, följer en delvis annan riskbild än tidigare. Föreskrifter och allmänna råd till ett antal lagar behöver uppdateras och kompletteras, liksom handböcker, vägledning och informationsmaterial. Det är en betydande regelmassa som behöver ses över, inom ett område där ny kunskap och kompetens behöver byggas upp parallellt. MSB har en central roll inom området. MSB är föreskrivande myndighet och har en central roll i kunskapsspridning och samordning inom området. Bland annat har MSB ansvar för att samordna tillsynsmyndigheternas verksamhet enligt lagen om brandfarlig vara och ansvar för tillsyn över kommunernas och länsstyrelsernas skyldigheter enligt lagen om skydd mot olyckor. Därför bör det säkerställas att MSB har rätt förutsättningar för att påskynda arbetet.

9.1.3 Lägg till vätgas som eget tillsynsområde i säkerhetsskyddsförordningen

Den infrastruktur för överföring av vätgas som på sikt byggs upp i Sverige kommer åtminstone i delar att behöva klassas som säkerhetskänslig enligt säkerhetsskyddsförordningen (2021:955)¹³⁹. Då kan det finnas skäl att lägga till

¹³⁹ (SFS 2021:955, 2024)

vätgas som ett eget tillsynsområde, tillsammans med övriga energislag, under Energimyndighetens tillsynsansvar.

9.2 Fortsatt samordning

Enligt nuvarande samordningsuppdrag kommer Energimyndigheten under 2024 att fortsätta verka för en nära och koordinerad samverkan, dialog och kunskapsspridning mellan statliga myndigheter och företag, branschorganisationer och andra offentliga aktörer, inklusive regioner och akademien. Inom ramen för det återstående samordningsuppdraget kommer även behov av styrmedel att utredas.

För det fortsatta arbetet efter den 1 december 2024 krävs det nya uppdrag för vidare utveckling av vätgasens introduktion i energisystemet.

9.2.1 Nationellt centrum för vätgas

Energimyndigheten föreslår att myndigheten ges ett långsiktigt samordningsuppdrag som nationellt centrum för vätgas. Inom ramen för uppdraget ska Energimyndigheten följa utvecklingen inom vätgasområdet, både nationellt och internationellt samt vid behov och proaktivt utreda och lämna förslag till åtgärder i syfte att undanröja oönskade hinder för att svenska aktörer ska kunna producera, transportera och använda vätgas i olika former.

EU förordningen AFIR¹⁴⁰ kräver att det byggs ut tankstationer för vätgas med viss täthet i större transportstråk till 2030. Ett fortsatt samordningsuppdrag innehåller därför bevakning, planering och rapportering av Sveriges uppfyllande av krav på vätgastankinfrastruktur i AFIR, se åtgärdsförslag i rapporten Handlingsprogram för laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vätgas¹⁴¹. Därutöver behöver en plan för en linjär ökning av vätgastankstationer i Sverige göras också enligt krav i AFIR. Det bör ingå specifikt i det fortsatta samordningsuppdraget för Energimyndigheten.

Utbyggnaden av vätgastankstationer har fått stöd, bland annat av Klimatklivet och Elektrifieringspiloterna och flera av dem är under konstruktion. Men det finns frågetecken kring förutsättningarna för dessa tankstationers möjligheter till fortsatt drift då vätgasdrivna fordon är få och fossilfri vätgas betingar ett högre pris än fossila bränslen. Denna fråga behöver följas framöver och bör även vara en del av Energimyndighetens fortsatta samordningsuppdrag.

Samordningen för utbyggnaden av tankinfrastrukturen för vätgas bör även verka för en ändamålsenlig dimensionering och en välbalanserad geografisk utplacering av tankstationerna. Detta kräver, bland annat, samverkan mellan myndigheter, informations- och erfarenhetsutbyte mellan involverade aktörer, samt en rad utredningar och analyser. Det är viktigt att utbyggnaden av tankstationer sker så att störningar och ineffektivitet för slutanvändarna minimeras. Det bör utredas hur en samhällsekonomiskt motiverad redundans som funktion av tid och växande fordonsflotta kan uppnås, samtidigt som uppfyllande av regelverk efterlevs.

Arbetet under samordningen av tankinfrastrukturen för vätgas bör även inkludera utveckling och utbyggnad av tankinfrastruktur för vätgas på medel- och långsikt (efter

¹⁴⁰ (Förordning (EU) 2023/1804)

¹⁴¹ (Energimyndigheten (ER 2023:23)), 2023)

år 2030). För detta behöver förutsättningar för utplacering av produktionsanläggningar samt utbyggnaden av infrastrukturen av lagring-, transmission- och distributionssystem av vätgas vara analyserade.

Uppbyggnaden av lager för flexibilitet

Det är tillgång till lagringsmöjligheter som kommer att avgöra hur mycket flexibilitet som vätgasanvändningen kan möjliggöra för balansering av elsystemet. Den framtida lagerkapacitet för vätgas som har identifierats genom kartläggningen är betydande, men i hög grad beroende av en enskild aktörs planer. Övriga idag kända anläggningar har inte indikerat att de avser dimensionera sina lager för att i ökad grad kunna bidra till elmarknadens balansering. Därför finns ett behov av att över tid följa utvecklingen av total lagringskapacitet på marknaden i förhållande till total vätgasanvändning och vid behov överväga att förstärka incitamenten för fler aktörer att etablera lagerkapacitet med mervärde för samhället.

Beskattningen av vätgas

Beskattningen av produktion och användning av vätgas behöver ses över, lämpligen inom ramen för genomförandet av ett reviderat energiskattedirektiv. Innan revideringen är genomförd borde det gå att tydligare definiera vilka komponenter vid elektrolysbaserad vätgasproduktion som ska vara skattebefriade (se vidare bilaga ”Styrmedel på vätgasområdet”).

Integreringen av vätgas i totalförsvaret

Inhemskt producerad vätgas eller vätgasderivat erbjuder en rad möjligheter att dels ersätta fossila bränslen, dels alternativa sätt att överföra energi. Utvecklingen inom detta område bör följas, för eventuella insatser framöver.

Referenser

- AB Volvo. (den 22 02 2024). *Premiär: Volvo Lastvagnar testar vätgasdrivna ellastbilar på allmän väg*. Hämtat från Volvo Group: <https://news.cision.com/se/ab-volvo/r/premiar--volvo-lastvagnar-testar-vatgasdrivna-ellastbilar-pa-allman-vag,c3765233>
- ABB. (den 23 02 2024). *ABB samarbetar med Lhyfe och Skyborn i ett av Europas största gröna vätgasprojekt*. Hämtat från ABB samarbetar med Lhyfe och Skyborn i ett av Europas största gröna vätgasprojekt: <https://new.abb.com/news/sv/detail/102957/abb-samarbetar-med-lhyfe-och-skyborn-i-ett-av-europas-storsta-grona-vatgasprojekt>
- Air Liquide*. (2024). Hämtat från Safety data sheet Ammonia: <http://docs.airliquide.com.au/msdsau/AL068.pdf>
- Andersson, J., & Grönkvist, S. (2019). Large scale storage of hydrogen. *International Journal of Hydrogen*, 11901-11919.
- C(2023)7930. (u.d.). Kommissionens delegerade förordning (EU) .../... av den 28.11.2023 om ändring av Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2022/869 vad gäller unionens förteckning över projekt av gemensamt intresse och projekt av ömsesidigt intresse.
- C/2021/1557. (u.d.). Kommissionens genomförandeförordning (EU) 2021/447 av den 12 mars 2021 om fastställande av reviderade riktmärkesvärden för gratis tilldelning av utsläppsrätter för perioden 2021–2025 i enlighet med artikel 10a.2 i Europaparlamentets och rådets direktiv 20.
- COM/2023/156 final. (den 16 3 2023). Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, rådet, Europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt Regionkommittén om EU:s vätgasbank.
- Council of the European Union. (den 28 02 2024). *Internal markets in renewable and natural gases and in hydrogen: Council and Parliament reach deal*. Hämtat från Internal markets in renewable and natural gases and in hydrogen: Council and Parliament reach deal: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/11/28/internal-markets-in-renewable-and-natural-gases-and-in-hydrogen-council-and-parliament-reach-deal/>
- Cui, J., & Aziz, M. (2023). Techno-economic analysis of hydrogen transportation infrastructure using ammonia and methanol. *International Journal of Hydrogen Energy*, 15737-15747.
- Dagens Industri. (den 28 11 2023). *Freyr pausar nordiska batterifabriker – satsar i USA*. Hämtat från Dagens Industri: <https://www.di.se/nyheter/freyr-pausar-nordiska-batterifabriker-satsar-i-usa/>
- Davison, T., & Ashcroft, J. (2022). *Making and breaking NH3 - Ammonia and its place in the low carbon economy*. Johnson Matthey.
- Die Bundesregierung. (2024). *Reform der Lkw-Maut - Für mehr Klimaschutz im Güterverkehr*. Hämtat från Reform der Lkw-Maut - Für mehr Klimaschutz im Güterverkehr: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/lkw-maut-co2-2194574> den 12 12 2023

- Direktiv (EU) 2018/2001. (u.d.). Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/2001 av den 11 december 2018 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor.
- Direktiv (EU) 2023/959. (u.d.). Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/959 av den 10 maj 2023 om ändring av direktiv 2003/87/EG om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom unionen och beslut (EU) 2015/1814 om upprättande och användning av en reserv för ma.
- Direktiv 2003/96/EG. (u.d.). Rådets direktiv 2003/96/EG av den 27 oktober 2003 om en omstrukturering av gemenskapsramen för beskattning av energiprodukter och elektricitet.
- EEX EUA spot*. (den 14 12 2023). Hämtat från EEX:
<https://www.eex.com/en/market-data/environmentals/spot>
- El Shafie, M. (2023). Hydrogen production by water electrolysis technologies: A review. *Results in Engineering*, 101426.
- Energimarknadsinspektionen (Ei R2023:18). (2023). *Främjande av ett mer flexibelt elsystem - Deluppdrag 5*.
- Energimyndigheten - Elbusspremie,. (2024). *Elbusspremie*. Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/transporter/transporteffektivt-samhalle/elbusspremie/>
- Energimyndigheten - Forskningsområden. (2024). *Forskningsområden*. Hämtat från Forskningsområden:
<https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/>
- Energimyndigheten - Industriklivet,. (2024). *Industriklivet*. Hämtat från Industriklivet: <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/industri/industriklivet/>
- Energimyndigheten - Klimatpremie,. (2024). *Klimatpremie*. Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/transporter/transporteffektivt-samhalle/klimatpremie/>
- Energimyndigheten - Regionala elektrifieringspiloter,. (2024). *Regionala elektrifieringspiloter för tunga transporter*. Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/transporter/laddinfrastruktur/stod-att-soka-inom-laddinfrastruktur/regionala-elektrifieringspiloter/>
- Energimyndigheten (ER 2021:34),. (2022). *Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak (ER 2021:34)*.
- Energimyndigheten (ER 2023:22),. (2023). *Industrin - nuläge och förutsättningar för omställning: en nulägesanalys inom Industriklivet (ER 2023:22)*.
- Energimyndigheten (ER 2023:23),. (2023). *Handlingsprogram för laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vätgas (ER 2023:23)*.
- Energimyndigheten (ER2024:03). (2024). *Effektiv användning av energi, effekt och resurser - för att underlätta elektrifieringen (ER 2024:03)*.
- Energimyndigheten 3.1 miljarder i stöd till Hybrit, . (den 14 12 2023). *3,1 miljarder i stöd till Hybrit*. Hämtat från Energimyndigheten:
<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/31-miljarder-i-stod-till-hybrit/>
- Energimyndigheten ER 2023:07,. (2023). *Scenarier över Sveriges energisystem 2023 - Med fokus på elektrifieringen 2050 (ER 2023:07)*.
- Energy Exemplar. (den 23 02 2024). *PLEXOS*. Hämtat från PLEXOS:
<https://www.energyexemplar.com/plexos>

- ENTSO-E. (den 15 03 2024). *TYNDP (10-year network development plan)* . Hämtat från TYNDP (10-year network development plan) : <https://tyndp.entsoe.eu/explore>
- EU emissions trading system (ETS) – update of the free allocation rules.* (den 05 12 2023). Hämtat från EU-kommissionen: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13861-EU-emissions-trading-system-ETS-update-of-the-free-allocation-rules_en
- Fossilfritt Sverige. (2021). *Strategi för fossilfri konkurrenskraft - Vätgas*. Förordning (EU) 2023/1804 . (u.d.). Europaparlamentets och rådets förordning (eu) 2023/1804 av den 13 september 2023 om utbyggnad av infrastruktur för alternativa drivmedel och om upphävande av direktiv 2014/94/EU.
- Förordning (EU) 2023/1805. (u.d.). Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/1805 av den 13 september 2023 om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG.
- Förordning (EU) 2023/2405 . (u.d.). Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport.
- Förordning (EU) 2023/956. (u.d.). Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/956 av den 10 maj 2023 om inrättande av en mekanism för koldioxidjustering vid gränsen.
- Guidehouse. (2021). *The role of gas and gas infrastructure in Swedish decarbonisation pathways 2020-2045*. Energiforsk.
- Hermesmann, M., Tsiklios, C., & Müller, T. (2023). The environmental impact of renewable hydrogen supply chains: Local vs. remote production and long-distance hydrogen transport. *Applied Energy*, 121920.
- HYBRIT. (12 2023). *HYBRIT development*. Hämtat från <https://www.hybritdevelopment.se/hybrit-milstolpe-nadd-pilotanlaggningen-for-vatgaslagring-i-drift/>
- Håkan Heden. (2012). *Energimarknadsinspektionen - En sekellång historia*.
- Härjedalen kommun. (den 22 02 2024). *Lhyfe och Härjedalens kommun fortsätter samarbetet om vätgasproduktion i Sveg*. Hämtat från Härjedalen kommun: <https://www.herjedalen.se/nyhetsarkiv/nyhetsarkiv/nyheter/2023-03-24-lhyfe-och-harjedalens-kommun-fortsatter-samarbetet-om-vatgasproduktion-i-sveg.html>
- International Energy Agency (IEA). (2019). *The Future of Hydrogen*.
- International Energy Agency (IEA). (2021). *Ammonia technology Roadmap*.
- International Energy Agency (IEA),. (2023). *Global Hydrogen Review 2023*.
- IRENA & Bluerisk. (2023). *Water for hydrogen production*.
- IRENA. (2022). *Global hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal: Part I – Trade outlook for 2050 and way forward*.
- IVL Svenska miljöinstitutet. (2021). *Miljöeffekter av elnät och energilagring (C573)*.
- IVL Svenska Miljöinstitutet. (2022). *Studie på Sjöfartsområdet - Styrmedel och scenarier för sjöfartens omställning (Nr C655)*.
- KN2023/02715. (den 22 02 2024). *Uppdrag att samordna arbetet med vätgas i Sverige (Regeringen.se)*. Hämtat från Uppdrag att samordna arbetet med vätgas i Sverige (Regeringen.se): <https://www.regeringen.se/contentassets/a12762773cb84ad08bcd5eae3aeddd40/uppdrag-att-samordna-arbetet-med-vatgas-i-sverige.pdf>

- Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien. (2022). *Om vätgas och dess roll i elsystemet – Syntesrapport från IVAs projekt Vätgasens roll i ett fossilfritt samhälle.*
- Liquid Wind. (den 12 12 2023). *Liquid Wind, Kanteleen Voima och Piipsan Tuulivoima ingår samarbete för etablering av elektrobränsleanläggning i Finland*. Hämtat från Liquid Wind : <https://www.liquidwind.se/news/liquid-wind-kanteleen-voima-och-piipsan-tuulivoima-ingr-samarbete-fr-etablering-av-elektrobrnsleanlggning-i-finlandnbsp>
- Liquid Wind,. (den 22 02 2024). *Ørsted tar första spadtaget för FlagshipONE - Liquid Winds första och Europas största elektrobränsleprojekt.* Hämtat från Liquid Wind: <https://news.cision.com/se/liquid-wind/r/orsted-tar-forsta-spadtaget-for-flagshipone---liquid-winds-forsta-och-europas-storsta-elektrobransle,c3772884>
- LKAB. (den 16 10 2023). *HYBRIT: Vätgaslager sänker kostnaden med upp till 40 procent.* Hämtat från LKAB: <https://lkab.com/nyheter/hybrit-vatgaslager-sanker-kostnaden-med-upp-till-40-procent/>
- Mariestad kommun. (den 22 02 2024). *Hållbar förskola.* Hämtat från Mariestad kommun: <https://mariestad.se/Mariestads-kommun/Hallbarhet--miljo/Strategiskt-hallbarhetsarbete/Agenda-2030/Projekt-och-goda-exempel/Hallbar-forskola>
- Methanol Institute. (2023). *Marine Methanol - Future-proof Shipping fuel.* https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf.
- MSB. (den 08 03 2024). *Natos civila beredskapsarbete.* Hämtat från Natos civila beredskapsarbete: <https://www.msb.se/sv/om-msb/internationella-samarbeten/nato-samarbete/natos-civila-beredskapsarbete/>
- MSB Försvarsmakten. (2021). *Handlingskraft - Handlingsplan för att främja och utveckla en sammanhängande planering för totalförsvaret 2021-2025.*
- MSBFS 2010:4. (2024). *MSBFS 2010:4 föreskrifter om vilka varor som ska anses utgöra brandfarliga eller explosiva varor.* Hämtat från MSBFS 2010:4 föreskrifter om vilka varor som ska anses utgöra brandfarliga eller explosiva varor: <https://www.msb.se/sv/regler/gallande-regler/brandfarliga-och-explosiva-varor/msbfs-20104/>
- MSBFS 2013:3. (den 21 12 2023). *MSBFS 2013:3 föreskrifter om tillstånd till hantering av brandfarliga gaser och vätskor.* Hämtat från MSBFS 2013:3 föreskrifter om tillstånd till hantering av brandfarliga gaser och vätskor: <https://www.msb.se/sv/regler/gallande-regler/brandfarliga-och-explosiva-varor/msbfs-20133/>
- MSBFS 2020:1. (2024). *MSBFS 2020:1 föreskrifter om hantering av brandfarlig gas och brandfarliga aerosoler.* Hämtat från MSBFS 2020:1 föreskrifter om hantering av brandfarlig gas och brandfarliga aerosoler: <https://www.msb.se/sv/regler/gallande-regler/brandfarliga-och-explosiva-varor/msbfs-202012/>
- MSBFS 2021:8. (2024). *Föreskrifter och allmänna råd om hur kommunen ska planera och utföra sin tillsyn enligt lagen (2003:778) om skydd mot olyckor.* Hämtat från Föreskrifter och allmänna råd om hur kommunen ska planera och utföra sin tillsyn enligt lagen (2003:778) om skydd mot olyckor: <https://www.msb.se/sv/regler/gallande-regler/skydd-mot-olyckor/msbfs-20218/>

- Muhammed, N., Haq, B., Al Sheri, D., Al-Achmed, A., Rahman, M., & Zaman, E. (2022). A review on underground hydrogen storage: Insight into geological sites, influencing factors and future outlook. *Energy Reports*, 461-499.
- Naturvårdsverket. (2024). *Klimatklivet*. Hämtat från Klimatklivet: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/klimatklivet/>
- Naturvårdverket-vätgastankstationer. (den 23 02 2024). *Stöd för vätgastankstationer längs prioriterade vägar*. Hämtat från Stöd för vätgastankstationer längs prioriterade vägar: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/klimatklivet/forbered-din-ansokan/stod-for-vatgastankstationer-langs-prioriterade-vagar/>
- Nilsson, M. (2023). *Temperaturhöjning i klimatpolitiken – en ESO-rapport om EU:s nya lagstiftning i svensk kontext (ESO 2023:7)*.
- Norrbottens-Kuriren. (den 20 02 2024). *Ändrade planer – 15 mil lång gasledning till Luleå*. Hämtat från Norrbottens-Kuriren: <https://kuriren.nu/nyheter/lulea/artikel/15-mil-lang-gasledning-planeras-mellan-letsi-och-lulea/r3o198xr>
- Ny Teknik. (den 28 12 2023). *Framsteg med vätgas som bränsle för motorer: ”Extremt stor förbättring”*. Hämtat från Ny Teknik: <https://www.nyteknik.se/fordon/framsteg-med-vatgas-som-bransle-for-motorer-extremt-stor-forbattring/4223410>
- OKG. (den 20 01 2022). *OKG säljer fossilfri vätgas till extern marknad*. Hämtat från OKG: <https://www.okg.se/nyheter-och-press/okg-saeljer-fossilfri-vaetgas-till-extern-marknad>
- OX2. (den 16 01 2024). *OX2 och Ingka Investments söker tillstånd för den havsbaserade energiparken Neptunus*. Hämtat från OX2: <https://www.ox2.com/sv/pressrum/pressmeddelanden/2024/ox2-och-ingka-investments-soker-tillstand-for-den-havsbaserade-energiparken-neptunus/>
- Pahle, M., Günther, M., Osorio, S., & Quemin, S. (2023). *The Emerging Endgame: The EU ETS on the Road Towards Climate Neutrality*. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK).
- Pahle, M., Sitarz, J., Osorio, S., & Görlach, B. (2022). *The EU-ETS price through 2030 and beyond: A closer look at drivers, models and assumptions*. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK).
- Papadias, D., & Ahluwalia, R. (2021). Bulk Storage of Hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34527-34541.
- Patonia, A., Poudineh, R., Lenivova, V., & Nolden, C. (2023). *Hydrogen pipelines vs. HVDC lines: Should we transfer green molecules or electrons?*
- Perstorp Formic acid. (2024). Hämtat från MSDS Formic Acid: https://www.perstorp.com/-/media/files/perstorp/msds/formic_acid_85/msds_formic_acid_85_pc nt_swe-3648.pdf
- Perstorp Metanol. (2024). Hämtat från MSDS metanol: https://www.perstorp.com/-/media/files/perstorp/msds/methanol/msds_methanol_swe-1277.pdf
- Qvist, S., Jenkins, J., Sepulveda, N., Hellesen, C., & Håkansson, L. (2020). *Modellering av Svensk Elförsörjning, Teknisk Underlagsrapport*. Qvist Consulting Ltd.
- Ramboll. (2023). *Fossilfira bränslen som reservkraft - dnr 2023-201973*.

- Ramboll. (2023). *Konsekvenser för totalförsvaret av nationellt handlingsprogram för laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vätgas, dnr 2023-008891.*
- Ramboll. (den 23 02 2024). *Vätgasprojekt i Gävle går in i nästa skede – Ramboll färdigställer säkerhetsanalys inför driftstart 2023.* Hämtat från Ramboll Sverige AB: <https://news.cision.com/se/ramboll-sweden-ab/r/vatgasprojekt-i-gavle-gar-in-i-nasta-skede---ramboll-fardigstaller-sakerhetsanalys-infor-driftstart-,c3552891>
- Region Gävleborg. (den 15 06 2023). *Medlemmar.* Hämtat från Region Gävleborg Samverkanswebb: <https://www.regiongavleborg.se/samverkanswebben/regional-utveckling/energi-och-klimat/mid-sweden-hydrogen-valley/medlemmar/>
- Riksrevisionen (RIR 2017:1). (2017). *Statens bolagsinnehav - Aktualiteten i det statliga bolagsinnehavet.*
- RISE (2022:81). (2022). *Flexibel vätgasproduktion.*
- RISE. (2021). *Styrmedel för vätgasproduktion med sektorkoppling till fjärrvärme.*
- Roos, A., Nilson, G., & Axelsson, H. (den 4 12 2023). *Räkna med utsläppsrätterna i den gröna stålomställningen.* Hämtat från Dagens industri: <https://www.di.se/debatt/rakna-med-utslappratterna-i-den-grona-stalomstallningen>
- Scania. (den 22 02 2024). *Scania to deliver fuel cell trucks to Switzerland.* Hämtat från Scania: <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2022/scania-to-deliver-fuel-cell-trucks-to-switzerland.html>
- Scania. (den 22 02 2024). *Vätgasdriven sopbil rullar i Göteborg.* Hämtat från Scania: <https://www.scania.com/se/sv/home/newsroom/news/2021/Vatgasdriven-sopbil-Goteborg.html>
- SFS 1978:160. (den 21 12 2023). *Lag (1978:160) om vissa rörledningar.* Hämtat från Lag (1978:160) om vissa rörledningar: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-1978160-om-vissa-rorledningar_sfs-1978-160/
- SFS 1994:1776. (2024). *Lag (1994:1776) om skatt på energi.* Hämtat från Lag (1994:1776) om skatt på energi: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-19941776-om-skatt-pa-energi_sfs-1994-1776/
- SFS 1997:857. (2024). *Ellag (1997:857).* Hämtat från Ellag (1997:857): https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/ellag-1997857_sfs-1997-857/
- SFS 1998:808. (den 21 12 2023). *Miljöbalk (1998:808).* Hämtat från Miljöbalk (1998:808): https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808/
- SFS 1999:381. (den 21 12 2023). *Lag (1999:381) om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor.* Hämtat från Lag (1999:381) om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-1999381-om-atgarder-for-att-forebygga-och_sfs-1999-381/

- SFS 2003:778. (den 21 12 2023). *Lag (2003:778) om skydd mot olyckor*. Hämtat från Lag (2003:778) om skydd mot olyckor: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2003778-om-skydd-mot-olyckor_sfs-2003-778/
- SFS 2005:403. (2024). *Naturgaslag (2005:403)*. Hämtat från Naturgaslag (2005:403): https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/naturgaslag-2005403_sfs-2005-403/
- SFS 2006:1043. (2024). *Naturgasförordning (2006:1043)*. Hämtat från Naturgasförordning (2006:1043): https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/naturgasforordning-20061043_sfs-2006-1043/
- SFS 2006:263. (den 21 12 2023). *Lag (2006:263) om transport av farligt gods*. Hämtat från Lag (2006:263) om transport av farligt gods: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2006263-om-transport-av-farligt-gods_sfs-2006-263/
- SFS 2010:1011. (den 21 12 2023). *Lag (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor*. Hämtat från Lag (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-20101011-om-brandfarliga-och-explosiva_sfs-2010-1011/
- SFS 2010:1065. (2024). *Lag (2010:1065) om kollektivtrafik*. Hämtat från Lag (2010:1065) om kollektivtrafik: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-20101065-om-kollektivtrafik_sfs-2010-1065/
- SFS 2011:846. (2024). *Lag (2011:846) om miljökrav vid upphandling av bilar och vissa tjänster inom vägtransportområdet*. Hämtat från Lag (2011:846) om miljökrav vid upphandling av bilar och vissa tjänster inom vägtransportområdet: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2011846-om-miljokrav-vid-upphandling-av_sfs-2011-846/
- SFS 2018:585. (den 22 02 2024). *Lag (2018:585) om säkerhetsskydd*. Hämtat från Lag (2018:585) om säkerhetsskydd: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/sakerhetsskyddslag-2018585_sfs-2018-585/
- SFS 2020:486. (2024). *Förordning (2020:486) om miljö- och trafiksäkerhetskrav för myndigheters bilar*. Hämtat från Förordning (2020:486) om miljö- och trafiksäkerhetskrav för myndigheters bilar: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2020486-om-miljo-och_sfs-2020-486/
- SFS 2021:955. (2024). *Säkerhetsskyddsförordning*. Hämtat från Säkerhetsskyddsförordning: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/sakerhetsskyddsforordning-2021955_sfs-2021-955/
- SFS 2023:560. (2024). *Lag (2023:560) om granskning av utländska direktinvesteringar*. Hämtat från Lag (2023:560) om granskning av utländska direktinvesteringar: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2023560-om-granskning-av-utlandska_sfs-2023-560/
- Singh, H., Li, C., Cheng, P., Wang, X., & Liu, Q. (2022). A critical review of technologies, costs, and projects for production of carbon-neutral

- liquid e-fuels from hydrogen and captured CO₂. *Energy Advances*, 580-605.
- Skatteverket. (2021). *Beskattning av vätgas som förbrukas i motordrivet fordon, fartyg eller luftfartyg*. Hämtat från <https://www4.skatteverket.se/rattsligvagledning/390294.html?date=2021-02-23>
- Skatteverket. (2024). *Energiskatt, koldioxidskatt, svavelskatt*. Hämtat från <https://www4.skatteverket.se/rattsligvagledning/edition/2024.1/323424.html>
- SOU 2010:30. (2024). *Tredje inre marknadspaketet för el och naturgas*. Hämtat från Tredje inre marknadspaketet för el och naturgas: <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2010/05/sou-201030/>
- SOU 2011:46. (2024). *Framtida regelverk och ansvarsförhållanden på naturgasmarknanden i Sverige*. Hämtat från Framtida regelverk och ansvarsförhållanden på naturgasmarknanden i Sverige: <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2011/06/sou-201146/>
- SRVFS 2004:7. (den 21 12 2023). *SRVFS 2004:7 föreskrifter om explosionsfarlig miljö vid hantering av brandfarliga gaser och vätskor*. Hämtat från SRVFS 2004:7 föreskrifter om explosionsfarlig miljö vid hantering av brandfarliga gaser och vätskor: <https://www.msb.se/sv/regler/gallande-regler/brandfarliga-och-explosiva-varor/srvfs-20047/>
- Svenska kraftnät (2023/1019). (2023). *Kraftbalansen på den svenska elmarknanden, rapport 2023*.
- Svenska kraftnät. (2021). *Långsiktig marknadsanalys: scenarier för elsystemets utveckling fram till 2050*.
- Svenska Kraftnät. (2023). *Nätutvecklingsplan 2024-2033*.
- SWECO. (2022). *Internationell och nationell sammanställning av vätgas och vätgasklusters utveckling*.
- SWECO. (2024). *Analys av vätgasinфраstruktur - Analysstöd för Energimyndigheten dnr 2023-201973*.
- SWECO. (2024). *Kartläggning av nuläget och framtiden avseende tillförsel, omvandling och användning av vätgas - Analysstöd för Energimyndigheten (dnr 2023-201973)*.
- Sweco/Environdec. (2023). *Environmental Product Declarations*.
- Thema Consulting Group. (2024). *Certification of a hydrogen transmission network operator - Lessons for Sweden (2023-22)*.
- Tidningen Energi. (den 23 02 2024). *Mer vätgas i turbinfabriken*. Hämtat från Tidningen Energi: <https://www.energi.se/artiklar/mer-va-tgas-i-turbinfabriken/>
- Tsiklios, C., Hermesmann, M., & Müller, T. (2022). Hydrogen transport in large-scale transmission pipeline networks: thermodynamic and environmental assessment of repurposed and new pipeline configurations. *Applied Energy*, 120097.
- WSP - kontrollstation klimat. (2023). *Kontrollstation klimat 2023 – Utvärdering av Trafikverkets klimatkrav för infrastruktur*.
- WSP-underlag handlingsprogram,. (2023). *Underlag till handlingsprogram för laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vätgas*.
- Zhang, T., Urantani, J., Huang, Y., Xu, L., Griffiths, S., & Ding, Y. (2023). Hydrogen liquefaction and storage: Recent progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113204.

Zhou, Y., Searle, S., & Pavlenko, N. (2022). *Current and Future Cost of e-Kerosene in the United States and Europe*. International Council of Clean Transportation.

Österåker kommun. (den 22 02 2024). *Vätgasdriven passagerarbåt till Österåkers skärgård*. Hämtat från Österåker kommun:
<https://www.osteraker.se/kommunpolitik/arkivkommunochpolitik/nyhetsarkiv/nyheter2022/vatgasdrivenpassagerarbattillosterakersskargard.5.71681f6a17d7773cad813efa.html>

Bilaga: Antaganden och indata för modellering av framväxt av infrastruktur för vätgas

Källa för data och antagande

Data som används i modelleringen samt om data är exogen eller endogen redovisas i Tabell 4. Redovisade data kommer framför allt från ENTSO-E:s TYNDP och Svenska kraftnäts Långsiktiga marknadsanalys (LMA).

Utvecklingen av elpriserna baseras på TYNDP och ENTSO-E:s så kallade Transparensplattform.

Tabell 4 Källor - exogen och endogen data

Kategori	Exo/endogen källa
Efterfrågan på vätgas (andra gaser, t.ex. metan eller uppvärmning)	Exogen
Efterfrågan på el	Exogen
Datakälla för efterfrågan	Exogen, TYNDP data
El för vätgasproduktion	Endogen
Produktionskapacitet och produktion – el	Exogen för den kommande 10-årsperioden enligt nationell utvecklingsplan, därefter endogen.
Produktionskapacitet och produktion – vätgas, lagring eller andra gaser	Exogen för den kommande 10-årsperioden enligt nationell utvecklingsplan, därefter endogen.
Transmission - el	Exogen för den kommande 10-årsperioden enligt nationell utvecklingsplan, därefter endogen.
Rörledningar – vätgas eller annan gas	Endogen
Kapitalkostnader för investeringar (produktion, transmission)	Exogen. Uppskattningar baserat på senast tillgängliga informationen

9.3 Geografisk avgränsning, tidshorisont och tidsupplösning

Det geografiska område som analysen fokuserar på är Norden och Baltikum, bestående av sju länder och 15 elprisområden, vilket framgår i Figur 19. Dessa länder modelleras med stor detaljeringsgrad för elsektorn. Övriga europeiska länder med kopplingar till det nordisk/baltiska systemet modelleras förenklat med ett elpris och överföringsbegränsningar som kommer från en separat elmarknadsmodellering för hela det europeiska elsystemet. För modelleringen av vätgassystemet görs avgränsningen att tillgången och efterfrågan på vätgas balanseras inom Sverige och Finland.

Anledningen till att Finland är inkluderat i modelleringen är de planer som finns på att knyta samman vätgassystemen i de två länderna. Vätgasproduktionen och efterfrågan delas geografiskt in i vätgasområden som överensstämmer med de existerande elområdena.

Eftersom modelleringen och data är på elområdesnivå fångas inte det behov som kan finnas av transmissionsnätsutbyggnad och vätgasrörledningar inom elområdena.



Figur 19 Geografisk avgränsning för elmarknadsmodelleringen

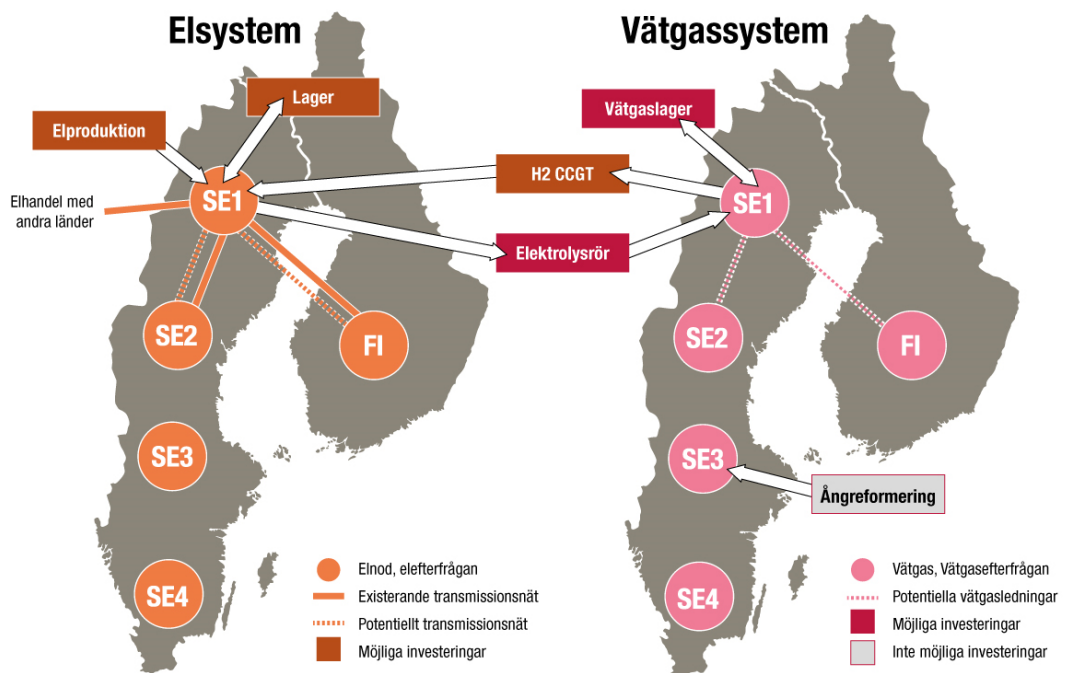
Modelleringen behandlar åren 2023 till 2050. Investeringar görs på årsbasis och balansering av utbud och efterfrågan på el och gas sker på timbasis. Modelleringen från år 2023 till år 2050 baseras på planer för utbyggnad av elsektorn t o m år 2035 och för vätgassektorn fram till år 2030. Modellen kan från år 2030 respektive år 2035 och fram till år 2050 göra fria optimerade investeringar.

Det modellerade energisystemet kan beskrivas som ett system med en central planeringsinstans med perfekt information om såväl framtida el- som vätgasbehov som fattar optimala beslut gällande både investering och drift av de båda systemen.

Modelleringen består av två huvudsakliga delar, en investeringsfas och därefter en driftsfas. Detta innebär att modelleringen först planerar investeringar i systemet, därefter modelleras driftsfasen baserat på det erhållna systemet från investeringsfasen.

I modellen säkerställs att utbudet kan möta efterfrågan på el respektive vätgas i varje el-/gasprisområde, som representeras av en nod, vid varje timme. Detta innebär också att modelleringen kan göra investeringar i vätgasset för att fylla ett syfte i elsystemet, och vice versa.

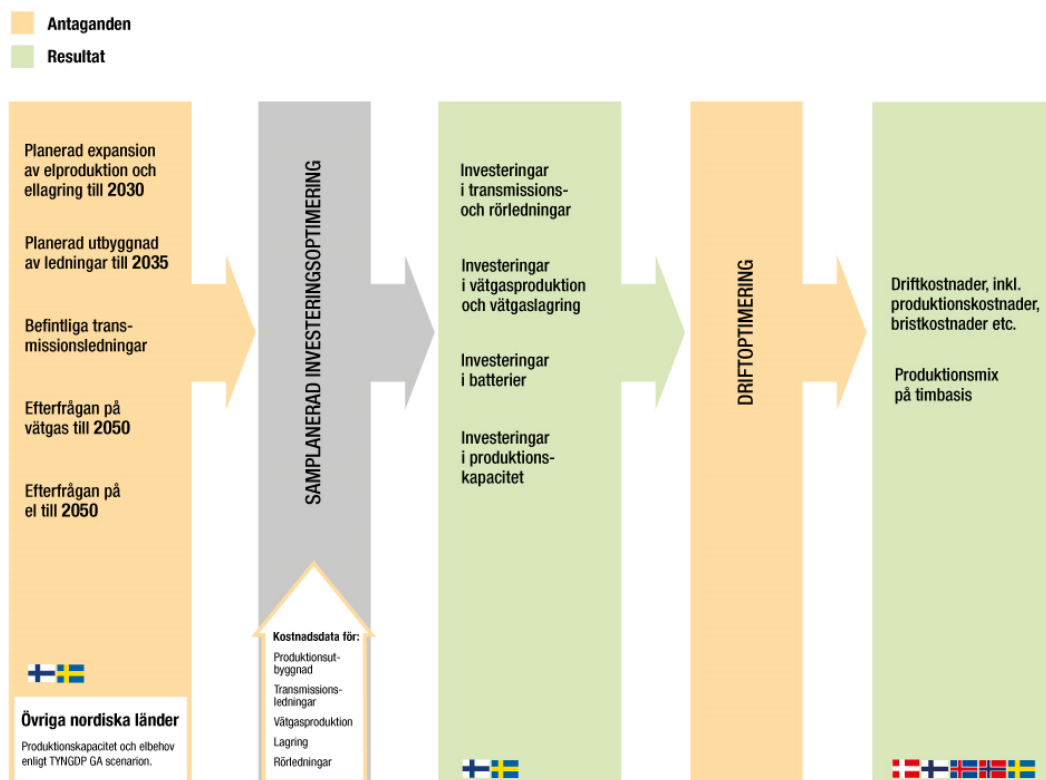
Schematisk bild över den koordinerade systemmodellen, exemplifierat för noden som motsvarar elprisområde SE1 visas i Figur 20.



Figur 20. Schematisk bild över den koordinerade systemmodellen, exemplifierat för noden som motsvarar elprisområde SE1.

Modelleringen av driften bygger på antagandet att alla aktörer har tillgång till perfekt information om energimarknaden, dvs både vätgas och el, i driftsfasen.

Den totala kostnaden inkluderar investeringskostnaden för hela energisystemet på elprisnivå, dvs. el- och vätgasproduktion, elnätet och rörledningar samt batteri- och vätgaslagring. Från driftsfasen erhålles elmix per timme samt driftskostnader (vilket inkluderar produktionskostnad, bristkostnader etc.). Modelleringens antaganden och resultat i olika faser illustreras i Figur 21.



Figur 21 Energisystemmodelleringens antaganden och resultat i olika faser.

Huvudsakliga kostnadsantaganden i Referensscenariot

I Tabell 5 presenteras antagna kostnader för vätgasrörledningar samt elledningar som använts i modelleringen. I Tabell 6 presenteras investeringskostnaderna för de huvudsakliga produktionsenheterna som berörs i modelleringen.

Tabell 5 Antagna investeringskostnader för elledningar respektive rörledningar.

Teknik	Normaliserad kostnad EUR/MW-km
Elledning på land	909
Elledning på havsbotten (SE3-FI)	2 727
Vätgasrörledning på land	536
Vätgasrörledning på havsbotten	2 144

Tabell 6 Antagna investeringskostnader för de huvudsakliga produktionsenheterna och lager som inkluderats.

Teknik	2025	2030	2040	2050
Kärnkraft (MEUR/MW)	4,5	4,5	4,5	4,5
Vind (land) (MEUR/MW)	1,2	1,2	1,1	1,1
Vind (hav) (MEUR/MW)	2,5	2,5	2,2	2,2
Sol (MEUR/MW)	0,6	0,53	0,4	0,4
Gasturbin för vätgas (MEUR/MW)	0,495	0,474	0,465	0,449
Elektrolysör (MEUR/MW)	0,45	0,328	0,231	0,231
Vätgaslager (MEUR/PJ)	39,5	37,9	35,4	35,4

Landbaserad vindel

I både Sverige och Finland är landbaserad vindkraft det nu snabbast växande kraftslaget. Det finns ett stort utfallsrum för hur mycket landbaserad vindkraft som kommer få tillstånd att byggas i SE1. Effekterna av begränsningar i möjlig vindkraftsproduktion i SE1 undersöks i en känslighetsanalys där endast en begränsad utbyggnation tillåts ske fram till år 2030 för att sedan avstanna.

Produktionsslag som deltar på icke marknadsmässiga villkor

I modelleringen finns det två kraftslag som deltar på ”icke marknadsmässiga” villkor, det vill säga att de investeringar som sker i dessa kraftslag sker genom administrativa beslut och inte baserat på kommersiell potential. Dessa båda kraftslag är kärnkraft och havsbaserad vindkraft. I referensscenariot sker det re- och nyinvesteringar i kärnkraft i enlighet med Energimyndighetens scenario *Högre elektrifiering*. Båda teknologierna är tillgängliga för ytterligare investeringar i alla scenarier, men de höga investeringskostnaderna, i kombination med de relativt låga elpriserna, gör att modellen inte initierar ytterligare investeringar i kraftslagen till följd av otillräcklig lönsamhet.

Vätgassektorn

Informationen om vätgassektorn kommer från kartläggningen.

Vätgasproduktion

Elektrolysörer förväntas stå för majoriteten av den framtida vätgasproduktionen. Teknikutvecklingen går snabbt. Det innebär att det är osäkert vilken teknik som kommer bli dominerande och vad kostnaden för denna kommer att vara. Denna osäkerhets påverkan på resultaten studerades genom en känslighetsanalys på investeringskostnaden för elektrolysörer.

Ångreformerings står för största delen av vätgasproduktionen idag, där majoriteten idag sker på västkusten, i SE3. Idag är det framför allt naturgas som är insatsvara och det förväntas övergå till biogas gradvis fram till år 2030. Tillgången på naturgas och dess pris är väldigt osäkert och i samtliga modellresultat kvarstår den ångreformeringskapacitet som existerar idag utan att ytterligare investeringar i teknologin sker.

Efterfrågans tillväxt för vätgas

Efterfrågans tillväxt baseras på prognoser från kartläggningen. Dock är det viktigt att även ha i beaktning att den verkliga utvecklingen av efterfrågan på vätgas beror på utvecklingen av produktion och transmission av el, eftersom elektrolysörer kräver god tillgång till energi och effekt samt gynnsamma elpriser. I modelleringen ligger efterfrågan på vätgas fast i alla scenarier förutom i känslighetsfallet *Låg efterfrågan*.

Förutom vätgasefterfrågan från slutkunder som industri och transport kan vätgas användas som energilagring och balanskraft i elsektorn. I modellen är detta möjligt genom investeringar i vätgaslager och gasturbiner för vätgas. Mängden vätgas som efterfrågas för denna användning är ett resultat från modellen. I samtliga scenarier utnyttjas detta alternativ i princip inte alls, vilket huvudsakligen beror på de ytterligare kostnader som uppstår i form av förluster i varje omvandlingssteg från el till vätgas och tillbaka till el.

Lagring

För att utnyttja vätgas som energilagring i elsektorn, t ex för att underlätta för storskalig integrering av intermittenta kraftslag, eller för att kunna utnyttja fluktuationerna i elpris krävs det lagringsmöjligheter. Efterfrågan på teknik för lagring av vätgas kommer alltså öka och det finns flera alternativa tekniker som kan fylla olika lagringsbehov. För modelleringen är det framför allt storskaliga lagringslösningar som är relevanta och i denna studie är Lined Rock Cavern (LRC) inkluderad. Detta ska ses som en generell representation av lagringsteknik och för att ta hänsyn till osäkerheter i teknikval och kostnader har en känslighetsanalys genomförts på investeringskostnaden för lager.

Bilaga: Vätgasderivat

Vätgas kan även lagras i form av vätgasderivat. Vätgasderivaten (NH_3 , metanol, flygfotogen och myrsyra) är idag vanligt förekommande kemikalier och har en väl etablerad infrastruktur för produktion, hantering och transport. Om de tillverkas av fossilfri vätgas leder det även till en minskning av växthusgasutsläpp för produktion av bulkkemikalier.¹⁴²

Energibehovet för ett lagringssystem för vätgas innefattar värme och elektricitet för inlagringen, lagringen samt frisättningen av vätgasen. De olika vätgasderivaten har sina för- och nackdelar och det finns ingen gyllene lösning.

De flesta av vätgasderivaten kan lagras med ett lägre energibehov än flytande vätgas givet att energibehovet är lägre än elbehovet för att bilda flytande vätgas. Det lägsta elbehovet för inlagring kan ses för toluen (LOHC) men kräver en hög energiåtgång för frisättningen av vätgasen. För de flesta av vätgasderivaten föreslagna nedan krävs höga temperaturer för att frisätta vätgasen igen. Det finns flera alternativ för att åstadkomma dessa höga temperaturer till exempel förbränning av lagringsmedium (metanol och NH_3), förbränning av en del av den frigjorda vätgasen, förbränning av annat biobränsle eller att värme kommer från någon annan extern process som genererar värme. En utmaning är dock att värmen inte kommer att behövas kontinuerligt utan enbart vid de tillfällen då frisättningen av vätgasen sker. Om vätgasen däremot används i en bränslecell kan eventuellt värmen från bränslecellen användas i processen att frisätta vätgasen. En mer detaljerad analys finns att läsa i Andersson et al.¹⁴³

¹⁴² (Andersson & Grönkvist, 2019)

¹⁴³ (Andersson & Grönkvist, 2019)

En sammanställning av vätgaslagringsförmågan av de olika derivaten som diskuteras i rapporten finns sammanställt i Tabell 7. Av de listade derivaten har flytande ammoniak vid ett tryck på 10 bar den största volymetriska lagringsförmågan av vätgas. De olika derivatens andra för- och nackdelar kommer att ytterligare beskrivas i texten nedan.

Tabell 7 Volymetrisk vätgaslagringsförmåga för vätgasderivat¹⁴⁴

Vätgas derivat	Volymetrisk lagringsförmåga för vätgas [kg/m ³]
Vätgas (700 bar)	40
Vätgas (flytande)	70
Metanol	99
Ammoniak (flytande form vid 10 bar)	123
Myrsyra	53
LOHC*	50-60
Metallhydrider	86 (MgH ₂)

*LOHC -Liquid Organic Hydrogen Carriers

Elektrobränslen

Elektrobränslen även kallade *Power-to-liquid* (PtL), dvs bränslen som är uppbyggda syntetiskt via exempelvis Fischer-Tropsch (FT) processen från vätgas och koldioxid, har fått stort intresse. Koldioxiden kan komma både från rökgaser från industrier och infångning direkt från luften. Fördelen med elektrobränslen är att de kan användas som drop-in bränslen och kan direkt ersätta de befintliga fossila alternativen. Det är dock främst raka alifatiska kolväten som kan tillverkas via FT processen men standarden för till exempel konventionellt flygbränsle innehåller även aromatiska kolväten.

När det gäller säkerhet kring hantering och lagring av elektrobränslen gäller samma regler och förutsättningar som de fossila motsvarigheter som används idag. Det samma gäller för infrastrukturen som är väl utbyggd för hantering av kolvätebaserade bränslen och drivmedel.

Flygfotogen

Inte minst inom flygsektorn som anses vara svår att elektrifiera är elektrobränslen ett attraktivt alternativ, vilket även öppnar upp möjligheterna för beredskapslager. Lönsamheten att frisätta vätgasen från bildat flygfotogen bedöms dock vara låg.

För att producera elektrobränslen används FT-processen som genererar en blandning av kolväten som kan användas som olika bränslen, så som diesel, flygfotogen, nafta och propan. Utbytet för själva FT-processen, från vätgas och koldioxid till produkt är ~73 procent där produktmixen består av ungefär 40 procent flygfotogen (*FT-kerosene*), 40 procent, diesel (*FT-diesel*), 10 procent nafta och 10 procent propan.¹⁴⁵

¹⁴⁴ (Andersson & Grönkvist, 2019)

¹⁴⁵ (Zhou, Searle, & Pavlenko, 2022)

Det betyder att det krävs en stor mängd vätgas och koldioxid (ungefär 4,6 kg H₂ och 49,7 kg CO₂) för att bilda ett kilo flygfotogen¹⁴⁶. Produktionskostnaderna för flygfotogen med FT-processen bedöms att vara likvärdiga med fossil flygfotogen först år 2050, den största kostnaden bedöms vara vätgasproduktionen och infångningen av koldioxiden¹⁴⁷.

Vätgas kan även användas för att ta bort syreatomerna från andra biobaserade råvaror som används för att producera förnybart flygbränsle och andra drivmedel. Vätgasen kan också användas i ATJ processvägen (*alcohol-to-jet*) för förnybart flygbränsle där vätgasen används för att deoxygena etanolen. Vid användning av väte för att ta bort syre blir inlagringen av vätgas i själva drivmedlet lågt då största delen avgår som vatten i reaktionen.

Metanol (CH₃OH)

Metanol är flytande vid rumstemperatur och tryck. Metanol har länge använts som råvara i industriella processer till exempel inom plast, färg och läkemedelsindustrin. För att reducera emissionerna inom sjöfarten anses fossilfri metanol vara ett framtida drivmedel. Dock är det effektiva värmevärdet lägre för metanol jämfört med fossila drivmedel som används inom sjöfarten. Större bränsletankar och även viss omkalibrering av motorerna kommer att behövas. Potentialen för elektrometanol inom sjöfarten beror på tillgång och priset på förnybar el, tillgång, priset och utvecklingen på elektrolysörer för framställning av fossilfri vätgas samt priset på infångad koldioxid. Även framtida riktlinjer för växthusgasutsläpp från IMO tros ha en effekt på intresset för metanol inom sjöfarten. För närvarande är tillgången på fossilfri metanol låg och priset högre än fossila drivmedel.¹⁴⁸ Metanol (fossil och fossilfri) uppskattas att finnas tillgängligt vid över 120 hamnar. En annan fördel med metanol som fartygsbränsle är att emissioner av främst partiklar och svaveloxider är betydligt lägre än för den fossila motsvarigheten vilket gör det fördelaktigt att använda inom hamnar och kustnära områden där de tuffaste emissionslagkraven finns¹⁴⁹. Synergier med lagrad vätgas som metanol, elektrometanol och användande inom sjöfarten och intressen inom industrin bör undersökas.

Förnybar elektrometanol kan framställas genom reaktion mellan H₂ och koldioxid (CO₂), där en blandning av metanol och vatten bildas. Om infångad CO₂ från rökgaser används är metanolen inte bara en lagring av vätgas utan även av CO₂. För att bilda 1 kg metanol krävs 0,189 kg H₂ och 1,373 kg CO₂ stökiometriskt¹⁵⁰. Det går således åt mindre mängd vätgas för att bilda ett kilo elektrometanol än att bilda ett kilo flygfotogen.

Vätgasen kan sedan återbildas från metanolen på flera olika sätt, till exempel genom ångreformerings med vatten, genom partiell oxidation med syre eller genom termolys då metanolen faller sönder. Ångreformerings ger det högsta utbytet av vätgas eftersom även vattnet kan bidra med väteatomer. En annan fördel med ångreformerings är att vid reaktion med vätgas och CO₂ bildas metanol och vatten, om inte vattnet destilleras bort kan blandningen direkt användas för återbildning av vätgas.¹⁵¹ En studie från University of Tokyo beräknar att energiförlusten att tillverka metanol av vätgasen,

¹⁴⁶ (Singh, Li, Cheng, Wang, & Liu, 2022)

¹⁴⁷ (Zhou, Searle, & Pavlenko, 2022)

¹⁴⁸ (IVL Svenska Miljöinstitutet, 2022)

¹⁴⁹ (Methanol Institute, 2023)

¹⁵⁰ (Singh, Li, Cheng, Wang, & Liu, 2022)

¹⁵¹ (Andersson & Grönkvist, 2019)

lagra och transportera samt att dehydrera metanolen tillbaka till vätgas ger en energiförlust på 13,48 procent¹⁵².

Metanol är bland annat lättantändligt och giftigt. Det kan orsaka skador på inre organ och synnerven om det intas¹⁵³.

Ammoniak (NH₃)

Majoriteten av all ammoniak som tillverkas används till att producera konstgödsel, även plast, sprängämnen och syntetiska fibrer är vanliga tillämpningar.¹⁵⁴

Ammoniakproduktionen står för ca 2 procent av världens totala slutgiltiga energikonsumtion.¹⁵⁵ Tillverkning av ammoniak och dess hantering är mogna processer. En annan fördel med NH₃ som lagringsmedium av vätgas är att existerande fabriker kan användas men då byta ut tillförseln av vätgas från reformering av naturgas till en fossilfri vätgaskälla till exempel från elektrolysörer.

Det vanligaste tillverknings sättet för ammoniak är via Haber-Bosch processen med vätgas och kvävgas som råvaror. Reaktionsförhållanden på cirka 300 – 550 °C och 200 - 350 bar samt lämplig katalysator behövs. Bildandet av ammoniak är en exotermisk process, det vill säga värme frigörs, så har reaktionen väl startat behövs ofta ingen extra energi tillföras. Dock är utbytet och bildandet av NH₃ ofta lågt. Det är också viktigt med vätgas av hög renhet då till exempel syre som bildas tillsammans med väte vid elektrolys av vatten kan förgifta katalysatorn i Haber-Bosch processen.

¹⁵⁶

En annan utmaning är processen när vätgasen ska frisättas från ammoniaken vilket ofta sker med hjälp av upphettning till höga temperaturer. Ammoniak sönderfaller spontant vid ungefär 200 °C men temperaturer över 650 °C behövs för fullständig konvertering. Den mest aktiva katalysatorn består av rutenium, vilket är en dyr metall med låg tillgång för att möta ett framtida behov men utveckling pågår för att hitta andra alternativ.¹⁵⁷ Även här är det viktigt med hög renhet av vätgasen då halter så låga som 0,1 ppm(v) NH₃ kan förgifta membranet i en bränslecellsapplikation och särskilda reningssteg kan därför behövas.¹⁵⁸ Ett alternativ kan dock vara att använda den sönderdelade ammoniaken det vill säga en vätgas och kvävgasblandning som bränsle direkt i en gasturbin för elproduktion.

Ammoniak lämpar sig för lagring av större volymer vätgas för användning i tidskalan veckor till månader.¹⁵⁹ En studie från University of Tokyo beräknar att energiförlusten att tillverka NH₃ av vätgasen, lagra och transportera samt att frisätta NH₃ tillbaka till vätgas ger en energiförlust på 19,15 procent¹⁶⁰. Ammoniak är bland annat lättantändligt, miljöfarligt och frätande¹⁶¹.

¹⁵² (Cui & Aziz, 2023)

¹⁵³ (Perstorp Metanol, 2024)

¹⁵⁴ (International Energy Agency (IEA), Ammonia technology Roadmap, 2021)

¹⁵⁵ (International Energy Agency (IEA), Ammonia technology Roadmap, 2021)

¹⁵⁶ (Andersson & Grönkvist, 2019)

¹⁵⁷ (Andersson & Grönkvist, 2019)

¹⁵⁸ (Davison & Ashcroft, 2022)

¹⁵⁹ (SWECO, Internationell och nationell sammanställning av vätgas och vätgasklusters utveckling, 2022)

¹⁶⁰ (Cui & Aziz, 2023)

¹⁶¹ (Air Liquide, 2024)

Myrsyra (HCOOH)

Myrsyra, även kallad metansyra, är den enklaste av de organiska syrorna. Ett stort användningsområde för myrsyra är idag inom lantbruket vid konservering av ensilage samt till viss del inom läkemedelsindustrin och råvara till processindustri. Myrsyra är även en biprodukt vid ättiksyraproduktion. Myrsyra är flytande vid rumstemperatur och tryck.

Jämfört med metanol och ammoniak har myrsyra betydligt lägre vätgaslagringsförmåga. En fördel med myrsyran är dock att frisättningen av vätgasen kan ske under vissa förhållanden vid rumstemperatur men katalysatorer behövs för att få en bra selektivitet mot H_2 och CO_2 . Myrsyran kan även sönderdelas vid högt tryck vilket är en annan fördel då den frisatta vätgasen inte behöver komprimeras. Dock är det inte termodynamiskt möjligt att bilda myrsyra vid direkt reaktion mellan H_2 och CO_2 i gasfas, men reaktionen kan ske i en basisk lösning.¹⁶² Myrsyra är giftigt och frätande¹⁶³.

LOHC (liquid organic hydrogen carriers)

Flytande organiska vätebärare (LOHC) är vätskor, vid rumstemperatur, som kan lagra vätgas reversibelt. Gruppen (LOHC) inkluderar inte myrsyra och metanol eftersom de vid frisättning av vätgasen resulterar i enbart gasformiga produkter. Flytande organiska vätebärare är aromatiska föreningar där väte lagras genom att bryta upp dubbelbindningarna i aromatstrukturen och vid frisättning av vätgasen återbildas dubbelbindningarna igen. Både den hydrerade och dehydrerade formen av ämnet är i flytande form vid rumstemperatur och tryck, vilket ger en relativt ren vätgas vid frisättningen. En fördel med de flytande LOHC är att infrastrukturen för dagens flytande drivmedel kan användas. Det finns flera olika föreningar som är aktuella, till exempel toluen, dibensyltoluen och N-etylkarbasol. Frisättningen av vätgas är en väl etablerad process inom petroleumindustrin, kräver temperaturer upp till $350\text{ }^\circ\text{C}$ och är behov av katalysatorer bestående av ädelmetall¹⁶⁴.

Som exempel är toluen och dess vätgasmättade derivat metylcyklohexan mycket brandfarliga och giftiga¹⁶⁵.

Flytande organiska vätebärare (LOHC) lämpar sig för lagring av större volymer vätgas för användning i tidskalan veckor till månader¹⁶⁶.

Metallhydrider

Vätgas kan även lagras kemiskt bundet som metallhydrider. Vätgasen kan frisättas genom termolys (uppvärmning) av metallhydriden eller genom reaktion med vatten. Reaktionen med vatten är en irreversibel process men kan ske vid rumstemperatur. De

¹⁶² (Andersson & Grönkvist, 2019)

¹⁶³ (Perstorp Formic acid, 2024)

¹⁶⁴ (Andersson & Grönkvist, 2019)

¹⁶⁵ (Carl Roth, 2024)

¹⁶⁶ (SWECO, Internationell och nationell sammanställning av vätgas och vätgasklusters utveckling, 2022)

flesta metallhydrider som undersökts är anpassade för frisättning av vätgas genom termolys där magnesiumhydrid (MgH_2) och aluminiumhydrid (AlH_3) verkar mest lovande. Magnesium är en mycket vanlig och billig metall med en hög teoretisk lagringskapacitet för vätgas. Dock är bindningen mellan metallen och vätet stark vilket gör att frisättningen av vätgasen kräver temperaturer över $300\text{ }^\circ\text{C}$.¹⁶⁷ Aluminium har också en relativt god lagringskapacitet av vätgas men reaktionen är nästan helt irreversibel. Viss framgång har nåtts med tertiärt aminkomplex och titankatalysator för att frisätta vätgasen från metallhydriden. Metallhydriderna är i fast form vid rumstemperatur och tryck.

Legeringar av typen $\text{A}_x\text{B}_y\text{H}_z$ har också undersökts där metallen A har en stark bindningsförmåga till vätgas och metallen B en svagare. Dock har de för närvarande en relativt låg vätgaslagringsförmåga och är dessutom dyra. Vätgas kan också lagras som metallkomplexhydrider, där vätet lagras i en negativ jon bundet till en positiv metalljon. Som exempel kan nämnas $[\text{AlH}_4]^-$, $[\text{BH}_4]^-$ och $[\text{NH}_2]^-$. Dock kräver även dessa en relativt hög temperatur för frisättning av vätgasen och är sällan helt reversibla. Av dessa har borhydriderna den största teoretiska lagringsförmågan.¹⁶⁸ Metallhydrider lämpar sig främst för lagring av mindre volymer vätgas för användning i storleksordningen i dagar till veckor.¹⁶⁹

Vätgas kan också lagras genom fysisk absorption i olika material med hög ytareal till exempel porösa kolbaserade material, "Metal Organic Frameworks" (MOF) och zeoliter. Materialet kyls ner till $-196\text{ }^\circ\text{C}$ med flytande kväve men behöver kylas ytterligare då absorptionsprocessen även avger energi. En volymetrisk lagringsförmåga på $40\text{--}50\text{ kg/m}^3$ vätgas kan uppnås i de bästa fallen. Vätgasen frisätts genom att höja temperaturen.¹⁷⁰

¹⁶⁷ (Andersson & Grönkvist, 2019)

¹⁶⁸ (Andersson & Grönkvist, 2019)

¹⁶⁹ (SWECO, Internationell och nationell sammanställning av vätgas och vätgasklusters utveckling, 2022)

¹⁷⁰ (Andersson & Grönkvist, 2019)

Bilaga: Styrmedel på vätgasområdet

EU-styrmedel

EU ETS

Växthusgasutsläpp från tung industri, energisektorn och flyg inom EES¹⁷¹ prissätts genom det europeiska utsläppshandelssystemet EU Emission Trading System, EU ETS. Genom EU ETS skapas incitament för (fossilfri) vätgas i tre led:

- 1 Industrier som använder vätgas i stället för fossila bränslen behöver inga utsläppsrätter, oavsett hur vätgasen producerats, eftersom vätgasen inte ger upphov till några växthusgasutsläpp vid användning.¹⁷²
- 2 Den som producerar vätgas genom elektrolys i stället för genom ångreformerings av fossilgas behöver inga utsläppsrätter, eftersom elen inte ger upphov till några växthusgasutsläpp vid användning.¹⁷³
- 3 Den som producerar elen till elektrolyserna behöver inga utsläppsrätter för fossilfri el, men däremot för el från fossila bränslen.

För kolbaserade elektrobränslen ska utsläppsrätter för den koldioxid som bränslet ger upphov till vid förbränning överlämnas redan i produktionssteget. Förutsatt att bränslet klassas som RFNBO (se nedan) krävs däremot inga utsläppsrätter vid användningen.

Den omarbetning av ETS-direktivet¹⁷⁴ som gjorts inom Fit for 55-paketet och som antogs i maj 2023 innebär en ambitionshöjning där utsläppen inom systemet ska minska med minst 62 procent till år 2030 jämfört med år 2005. Detta kommer sannolikt att leda till högre priser på utsläppsrätter. Utsläppspriset började stiga redan år 2018 med anledning av den förra omarbetningen av direktivet och har under år 2023 varit uppe i runt 100 euro per ton koldioxid. För året 2030 har det sålts terminer för cirka 120 euro per ton, vilket ligger något under modellstudier som indikerar att priset år 2030 kommer att ligga mellan 130 och 160 euro per ton år 2030.¹⁷⁵ I december 2023 handlades utsläppsrätterna för runt 70 euro.¹⁷⁶

I omarbetningen utvidgas EU ETS till att även omfatta koldioxid-, metan- och dikväveoxidutsläpp från sjöfarten. Införandet sker gradvis från år 2024 till år 2026. Tillsammans med den nya förordningen om hållbara bränslen för sjöfarten (se nedan) kan detta bidra till att driva upp efterfrågan på elektrobränslen.

¹⁷¹ EU samt Norge, Island och Lichtenstein.

¹⁷² Den som använder vätgasbaserade elektrobränslen som uppfyller kraven för RFNBO i flyg – och snart sjöfart – behöver inte heller utsläppsrätter (se nedan).

¹⁷³ Då koldioxidavskiljning i praktiken inte når 100 procent kommer den som tillverkar vätgas genom ångreformerings av fossilgas med CCS fortfarande att behöva en viss mängd utsläppsrätter, men betydligt mindre än utan CCS.

¹⁷⁴ (Direktiv (EU) 2023/959)

¹⁷⁵ (Pahle, Sitarz, Osorio, & Görlach, 2022); (Pahle, Günther, Osorio, & Quemin, 2023)

¹⁷⁶ (EEX EUA spot, 2023)

En ny gränjusteringsmekanism (CBAM) för sektorerna el, vätgas, cement, järn och stål samt gödselmedel kommer att fasas in mellan åren 2026 och 2034.¹⁷⁷ När varor från dessa sektorer importeras till EU beskattas de med samma koldioxidpris som inom EU ETS, med avdrag för eventuellt koldioxidpris som betalats i ursprungslandet. Syftet är att minska risken för koldioxidläckage för europeiska företag och att skapa incitament för att minska utsläppen på likvärdiga grunder mellan tillverkare inom och utanför EU. Samtidigt som CBAM fasas in kommer den fria tilldelningen att fasas ut för berörda sektorer, inledningsvis långsamt (från 100 procent år 2025 till 90 procent år 2028) men därefter i ökande takt till 0 år 2034.

Från år 2024 sänks tröskeln för när fossila vätgasproduktionsanläggningar omfattas av ETS från dagens 25 ton per dag till 5 ton per dag¹⁷⁸. Därmed kommer fler anläggningar som idag inte omfattas att träffas. Vidare ändras regleringen så att all vätgasproduktion över tröskeln omfattas, alltså även sådan som baseras på elektrolys och därmed inte ger upphov till några utsläpp i själva vätgasproduktionen. Elektrolysbaserade anläggningar kommer därmed inte att behöva överlämna utsläppsrätter, men däremot kan de komma att omfattas av den fria tilldelningen så länge denna finns kvar. Kommissionen har i ett utkast till delegerad förordning¹⁷⁹ föreslagit ett produktriktmarke för vätgasproduktion som även omfattar all vätgasproduktion genom elektrolys, utom för ammoniak (som omfattas av riktmärket för ammoniak), processer där vätgasen är en biprodukt (kloralkalielektrolys och kloratproduktion) och vätgas som frigörs vid omvandling från vätebärare som används för att transportera vätet.

För den elektrolysbaserade vätgasproduktion som omfattas blir den fria tilldelningen då en form av produktionsstöd, eftersom producenterna kan sälja de utsläppsrätter de får trots att de inte behöver några. Värdet av detta stöd minskar successivt i takt med att den fria tilldelningen fasas ut, men är i vart fall de närmaste åren inte oväsentligt. För perioden år 2021 till år 2025 är produktriktmärket för vätgas 6,84 utsläppsrätter per ton producerad vätgas.¹⁸⁰ Riktmärket kommer att uppdateras inför kommande perioder, men i vart fall fram till dess går det att räkna med att den fria tilldelningen motsvarar ett stöd på något under 1 euro per ton vätgas beroende på nivån på utsläppspriset.¹⁸¹ Detta kan jämföras med att det internationella energiorganet IEA ur ett globalt perspektiv bedömer att produktionskostnaden för grå vätgas är 1-3 USDollar/kg vätgas (dvs något under 1-3 euro/kg), medan vätgas från elektrolys med koldioxidsnål elektricitet kostar 3,4-12 dollar/kg (dvs återigen något därunder i euro).¹⁸²

Utöver det ”gamla” utsläppssystemet, även kallat EU ETS 1, införs från år 2027 ett separat utsläppshandelssystem för byggnader och vägtransporter, EU ETS 2. I motsats till EU ETS 1 träffar detta inte de verksamheter där utsläppen sker utan distributörer av bränsle som används inom dessa sektorer. Effekten på incitamenten för att använda vätgas i transportsektorn (och i byggnader, vilket dock förefaller mindre aktuellt ur ett svenskt perspektiv) kommer att bero på i vilken mån införandet föranleder

¹⁷⁷ (Förordning (EU) 2023/956)

¹⁷⁸ Som jämförelse kräver AFIR (förordningen om infrastruktur för alternativa drivmedel) att tankstationer ska ha en kapacitet på 1 ton per dag.

¹⁷⁹ (EU emissions trading system (ETS) – update of the free allocation rules, 2023)
¹⁸⁰ (C/2021/1557)

¹⁸¹ T ex ger ett utsläppspris på 100 euro/ton koldioxid ett stöd på 0,684 euro/ton vätgas.

¹⁸² (International Energy Agency (IEA),, 2023)

förändringar i den svenska drivmedelsbeskattningen som motverkar de stärkta incitamenten genom utsläppshandeln.

Energiskattedirektivet

Energiskattedirektivet¹⁸³ sätter upp ramarna för vilka energibärare medlemsstaterna måste, får och inte får beskatta. Förutom el definierar direktivet ett stort antal *energiprodukter*, baserade på deras KN¹⁸⁴-nummer, som ska beskattas om de används som motorbränsle eller för uppvärmning (även i industriella processer). Användning för kemisk reduktion, elektrolys samt metallurgiska och mineralogiska processer omfattas inte av direktivet. Vidare ska även andra produkter än energiprodukter beskattas om de används som/i motorbränslen samt – om de består av kolväten (dock ej torv) – för uppvärmning. Vätgas definieras inte som energiprodukt och måste följaktligen endast beskattas om den används som motorbränsle (men inte för uppvärmning eftersom den inte är ett kolväte).

För energibärare som ska beskattas innehåller direktivet minimiskattesatser som medlemsstaterna får gå över men i normalfallet inte under. El samt energiprodukter som var vanligt förekommande motorbränslen eller uppvärmningsbränslen när direktivet antogs år 2003 – uteslutande fossila bränslen – har uttryckliga minimiskattesatser som fastställs i direktivet. Andra energiprodukter och beskattade produkter ska beskattas på samma nivå som likvärdigt bränsle. Eftersom skattesatserna uttrycks i volymtermer kan två likvärdiga bränslen ändå få olika skattenivå per energienhet.

Som en del av Fit for 55-paketet presenterade kommissionen år 2021 ett förslag till reviderat energiskattedirektiv i riktning mot ökad miljödifferenciering, ökad likformighet och breddade skattebaser. Förslaget ger olika former av fossilfria och fossilisnåla bränslen en tydligare plats i beskattningen, då de får egna skattesatser, uttryckta i energitermer, i stället för att beskattas som likvärdiga fossila bränslen. Dessa skattesatser bygger på en hierarki i sex nivåer från energibärarnas miljöprestanda, där de sämsta bränslena (såsom traditionella fossila bränslen) får den högsta skattesatsen per energienhet (referensskattesatsen) och miljömässigt bättre alternativ i varierande grad får lägre skattesats. Vätgas och elektrobränslen av förnybart ursprung föreslås beskattas på den lägsta skattenivån tillsammans med el och avancerade biobränslen. För ”kolsnål” vätgas och elektrobränslen, dvs av fossilt ursprung men med tillämpning av CCS föreslås en övergångsperiod på 10 år, där de börjar på samma skattesats som de förnybara motsvarigheterna och sedan höjs till halv referensskattesats. Även vätgas och elektrobränslen av fossilt ursprung ges en övergångsperiod på 10 år, men för dessa börjar skattesatsen på två tredjedelar av referensskattesatsen och höjs till full referensskattesats.

Beslut om beskattning kräver enhällighet bland medlemsstaterna och när kommissionen år 2011 la fram ett förslag om revidering av direktivet så lyckades medlemsstaterna inte komma överens. Förhandlingar om revideringen pågår fortfarande så det återstår att se om medlemsstaterna lyckas enas denna gång.

Inom EU finns det numera tre rättsakter som på olika sätt sätter upp mål och kvoter för användningen av vätgas i olika sektorer, antingen i form av direkt gällande kvoter

¹⁸³ (Direktiv 2003/96/EG)

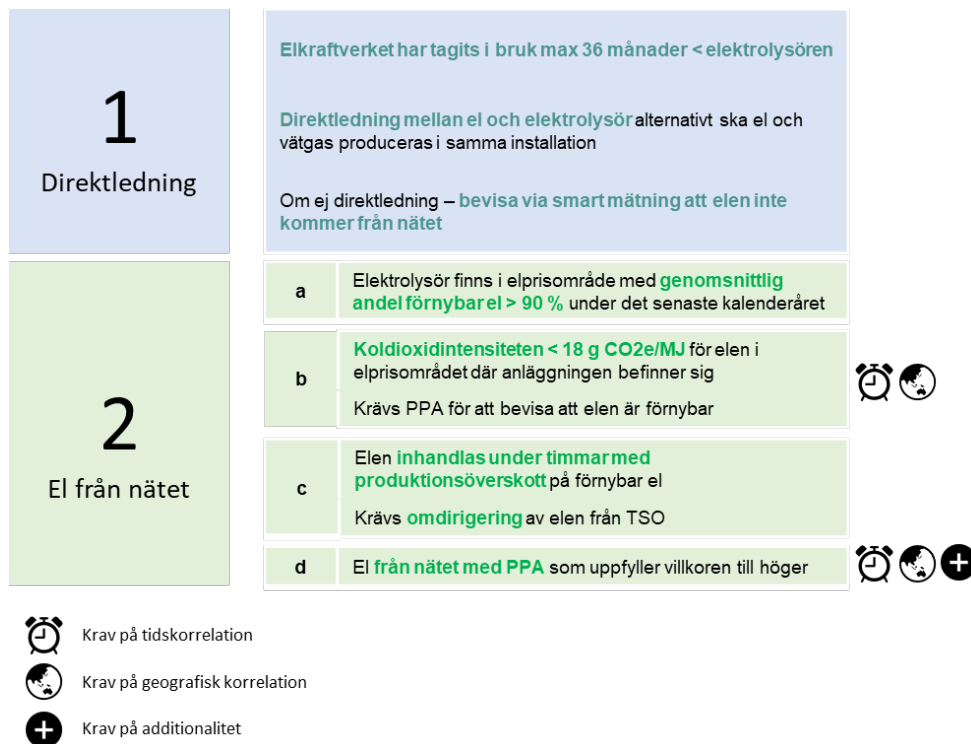
¹⁸⁴ Kombinerade nomenklaturen.

eller mål som medlemsstaterna behöver införa egna styrmedel för att nå. Dessa är förnybartdirektivet¹⁸⁵, FuelEU Maritime¹⁸⁶ och ReFuelEU Aviation¹⁸⁷.

Förnybartdirektivet

Förnybartdirektivet, ofta kallat RED utifrån engelskans Renewable Energy Directive, är nu inne på sin tredje omarbetning, REDIII. Direktivet sätter upp målsättningar för andelen förnybar energi i medlemsstaterna, totalt sett samt för vissa utpekade sektorer. I direktivet och dess tillhörande delegerade akter beskrivs också de krav som ska uppfyllas för att energin ska räknas som förnybar.

Vätgas och elektrobränslen kan under vissa omständigheter räknas till det som i direktivet definieras som förnybara bränslen av icke-biologiskt ursprung (*renewable fuels of non-biological origin*, RFNBO). En RFNBO måste medföra minst 70 procents utsläppsminskning över livsrytten jämfört med motsvarande fossilt bränsle och därutöver ska den el som nyttjas vid produktion av bränslet vara förnybar. Figur 22 visar de krav som gäller för att elen ska räknas som förnybar, antingen om den tillhandahålls elektrolysören genom direktledning (1) eller om den tas från nätet (2).



Figur 22 Krav för att el ska räknas som förnybar.

För svensk del uppfyller elområde 1 och 2 i dagsläget 2a, vilket innebär att det inte krävs power purchase agreements (PPA) från förnybar elproduktion för att el i dessa elområden ska kunna räknas som förnybar. Elområde 3 och 4 klarar inte förnybartandelen i 2a men däremot koldioxidintensiteten i 2b, så där krävs PPA från förnybar elproduktion med tidskorrelation och geografisk korrelation. Alternativt kan elektrolysörer där köras enbart då det råder produktionsöverskott på förnybar el.

¹⁸⁵ (Direktiv (EU) 2018/2001)

¹⁸⁶ (Förordning (EU) 2023/1805)

¹⁸⁷ (Förordning (EU) 2023/2405)

Utöver mål för förnybar energi generellt finns två antal delmål som specifikt rör RFNBO:

För industrin finns ett bindande mål om att minst 42 procent av all vätgas¹⁸⁸ som används inom industrin till år 2030 ska uppfylla kraven för RFNBO och minst 60 procent år 2035. Däri omfattas även användning för ”icke-energiändamål”, dvs vätgas som används som råmaterial i en industri. Detta kommer i vart fall att omfatta vätgas som används som insatsråvara inom stål- och kemiindustrin, men därutöver är det ännu oklart exakt vilka ändamål som kommer att omfattas. Det är även otydligt om sådan användning även kommer att kunna räknas mot det övergripande EU-målet.

För transportsektorn får medlemsstaterna välja mellan två alternativa målformuleringar år 2030: Antingen ska andelen förnybar energi vara minst 29 procent eller så ska växthusgasintensiteten¹⁸⁹ för energin som används i sektorn minska med minst 14,5 procent. Oavsett vilket gäller att minst 5,5 procent av energin ska bestå av avancerade biobränslen och RFNBO:s, varav minst en procent RFNBO:s.

FuelEU Maritime

FuelEU Maritime syftar till att fasa in mer hållbara och klimatvänliga bränslen i sjöfarten. Detta ska uppnås genom krav på minskad genomsnittlig växthusgasintensitet för den energi som används ombord på fartyg på över 5 000 bruttoton¹⁹⁰ som anlöper EU-hamnar enligt Tabell 8. De fartyg som omfattas av regelverket motsvarar 55 procent av alla fartyg som anlöper en EU-hamn och 90 procent av alla utsläpp från fartygsektorn. Därtill finns en regel att om sektorns energimix år 2031 inte innehåller minst 1 procent RFNBO så kommer ett 2-procentigt mål för inblandning av RFNBO att införas från och med år 2034.

Tabell 8 Minskingskrav årlig genomsnittlig koldioxidintensitet med 2020 som referensår.

Fr.om. år	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Växthusgasintensitet	-2%	-6%	-14,5%	-31%	-62%	-80%

ReFuelEU Aviation

ReFuelEU Aviation syftar till att fasa ut fossila bränslen i luftfartssektorn och skapa lika villkor för en hållbar luftfart. Detta ska uppnås genom en kvotplikt för flygbränsleleverantörer, som blir skyldiga att se till att allt flygbränsle som tillhandahålls luftfartygsoperatörer vid unionsflygplatser innehåller en minimiandel hållbart flygbränsle enligt Tabell 9. Hållbart flygbränsle, SAF, definieras i förordningen som syntetiska flygbränslen, flygbiobränslen eller återvunna kolbaserade flygbränslen. Syntetiska flygbränslen ska uppfylla kraven för en RFNBO. Även om de inte inkluderas i definitionen av hållbara bränslen tillåts även s.k. koldioxidsnåla flygbränslen tillgodoräknas måluppfyllelseerna. De avser ungefär bränslen som härrör från icke-fossil, icke-förnybar vätgas¹⁹¹.

¹⁸⁸ Dock ej vätgas som används som mellanprodukt i tillverkningen av konventionella drivmedel (dvs inte RFNBO), som räknas i transportmålet.

¹⁸⁹ Växthusgasutsläpp per energienhet.

¹⁹⁰ Vissa undantag finns, t.ex. för fiskefartyg.

¹⁹¹ Mer precist avses flygbränslen av icke-biologiskt ursprung som antingen utgörs av eller där energiinnehållet härrör från fossilfri vätgas, vars energiinnehåll i sin tur härrör från fossilfria men icke-förnybara källor. Såväl vätgasen som i förekommande fall det bränsle som tillverkats därav måste uppnå minst 70 % minskning av livscykelutsläppen jämfört med fossila motsvarigheter.

Tabell 9. Minimikrav för andel hållbart flygbränsle (SAF) och syntetiska flygbränslen.

år	2025	2030	2032	2034	2035	2040	2045	2050
SAF	2%	6%			20%	34%	42%	70%
Syntetiskt flygbränsle	-	0,7%,	1,2%	2%	5%	10%	15%	35%

Förutom miniminivåer för syntetiskt flygbränsle finns även målsättningar om genomsnittlig användning på 1,2 procent under perioden år 2030 till år 2031, 2 procent under år 2032 till år 2034.

Vätgasbanken

Den europeiska vätgasbanken är något av ett paraply som samlar olika EU-initiativ för att främja inhemsk produktion och import av förnybar vätgas.¹⁹² Vätgasbanken ska främst finansieras genom privata investeringar men i syfte att främja sådana privata investeringar planeras även viss finansiering komma från befintliga EU-instrument och statsstöd. Vätgasbanken bygger på fyra pelare:

- 1 Skapande av en inhemsk marknad
- 2 Import till EU
- 3 Insyn och samordning
- 4 Finansieringsinstrument
 - a Befintliga EU-instrument
 - b Befintliga internationella finansieringsinstrument

Innovationsfonden

Innovationsfonden finansieras genom intäkter från EU ETS och stöder innovativa tekniker som kan bidra till att fasa ut koldioxidutsläppen inom de sektorer som ingår i ETS-systemet, dvs sedan den senaste omarbetningen av ETS-direktivet även sjöfart, vägtransporter och byggnader. Hittills har stödet getts genom traditionella utlysningar, där stödet fördelas utifrån en bedömning av projektens utsläppsminskningspotential, innovationsgrad, mognad, replikerbarhet och kostnadseffektivitet. Från 2023 håller fonden även utlysningar i form av auktioner. Som en del av Vätgasbanken riktas de första auktionerna till vätgasproduktion. Den första pilotauktionen, som öppnade i november år 2023 och stänger i februari år 2024, omfattar 800 miljoner euro. Stödet syftar till att påskynda upptaget av fossilsnåla tekniker och tar formen av ett produktionsstöd för innovativa tekniker på väg att kommersialiseras¹⁹³. De företag som deltar i auktionen får lägga bud på hur högt stöd (euro/kg vätgas) de vill ha och de företag som lägger lägst bud, upp till dess att budgeten är uttömd, tilldelas stöd på denna nivå under en period om 10 år. Produktionen som stöds måste vara ny och vätgasen måste uppfylla kraven för RFNBO. Stödet får som huvudregel inte kombineras med andra statsstöd, men EU-kommissionen har meddelat att den svenska nedsättningen av skatt på el för tillverkningsindustrin inte utgör något hinder för svenska industriföretag att delta i auktionen.

För att strömlinjeforma stöd för vätgasproduktion på nationell nivå erbjuder kommissionen medlemsstaterna att skjuta till egna medel genom mekanismen auction-as-a-service (AAAS). Därmed kan ytterligare inhemska projekt, som deltagit i

¹⁹² (COM/2023/156 final, 2023)

¹⁹³ Det rör sig om andra eller tredje anläggning av sitt slag och är därmed tänkt att komplettera Innovationsfondens andra stödsystem som utgörs av ett investeringsstöd för första eller andra anläggningen av sitt slag.

auktionen men inte beviljats stöd av Innovationsfonden, ges stöd. För import diskuteras möjligheten att införa auktioner med fasta premier till producenter i tredjeländ.¹⁹⁴

IPCEI

IPCEI (Important Projects of Common European Interest) är ett regelverk som möjliggör för att land att ge statsstöd på en högre nivå än vad som annars är möjligt. Regelverket syftar till att främja gränsöverskridande forsknings-, utvecklings- och investeringsprojekt av särskild betydelse för europeisk utveckling, där vätgas är ett av sex identifierade områden. I Sverige har Hybrit fått IPCEI-status.

Connecting Europe Facility

Connecting Europe Facility (CEF) är en finansieringskälla för infrastrukturuppbyggnad i Europa som syftar till att skapa ett sammanlänkat europeiskt energisystem och främjar utvecklingen av infrastrukturprojekt inom transport, energi och digitala tjänster.

CEF Transport finansierar projekt med koppling till de transeuropeiska nätverken för transporter (TEN-T), bl a tankinfrastruktur för vätgas. Svenska ansökningar om bidrag koordineras av Trafikverket.

CEF Energy finansierar projekt med koppling till de transeuropeiska nätverken för energi (TEN-E). Inom TEN-E har elva prioriterade korridorer och tre prioriterade tematiska områden identifierats, där en av korridorerna rör vätgas i Östersjöländerna (inklusive Sverige). Projekt inom prioriterade korridorer och områden har företräde vid ansökan om status som PCI (Project of Common Interest) eller PMI (Project of Mutual Interest; när även tredjeländer än involverade), där projekt som beviljas PCI/PMI-status kan få finansiering genom CEF. I kommissionens delegerade akt om PCI/PMI från november år 2023¹⁹⁵ fick två vätgasinfrastrukturprojekt som berör Sverige PCI-status: Nordic Hydrogen Route mellan Sverige och Finland och Baltic Sea Hydrogen Collector mellan Sverige, Finland och Tyskland. Förutom transportinfrastruktur för vätgas har även ett antal elektrolysörprojekt samt några projekt för vätgaslagring fått PCI-status, dock inga i Sverige.

Partnerskapet Clean Hydrogen

Clean Hydrogen är ett offentligt-privat partnerskap som stödjer forskning och innovation inom vätgas, med fokus på produktion av förnybar vätgas samt distribution, lagring och användning av vätgas. Medlemmarna i partnerskapet är Europeiska kommissionen, bränslecells- och vätgasindustrier genom Hydrogen Europe och akademien genom Hydrogen Europe Research.

Invest EU-programmet

InvestEU-programmet mobiliserar privata och offentliga medel för EU:s främsta politiska prioriteringar, såsom innovation och grön omställning. Programmet består av tre delar: InvestEU-fonden, InvestEU:s rådgivningscentrum och InvestEU-portalerna.

¹⁹⁴ Läs mer om auktionerna inom Innovationsfonden och EU:s vätgasbank på EU-kommissionens webbplats: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/funding-climate-action/innovation-fund/competitive-bidding_en.

¹⁹⁵ (C(2023)7930)

Nationella styrmedel

Energibeskattnig

Den svenska energibeskattnig styrs av lagen (1994:1776)¹⁹⁶ om skatt på energi, som till sin struktur liknar energiskattedirektivet men med vissa svenska särregler och egna skattesatser. Bränslen omfattas som huvudregel av såväl energiskatt som koldioxidskatt, men för verksamheter som ingår i EU ETS betalas ingen koldioxidskatt eftersom koldioxidutsläppen redan prissätts genom EU ETS. Liksom andra ETS-verksamheter betalar elproduktion ingen koldioxidskatt, men heller inte energiskatt. Elens andra miljöeffekter, vid sidan av klimatpåverkan, prissätts i stället genom energiskatt vid användning av elen.

Liksom i energiskattedirektivet nämns vätgas inte uttryckligen i lagen om skatt på energi, utan beskattas som ”likvärdigt bränsle” om den används som motorbränsle. Skatteverket har fastställt att likvärdigt bränsle i vätgasens fall utgörs av fossilgas. Skatteverket har dock gjort bedömningen att beskattningen bara gäller om vätgasen används i en förbränningsmotor. Om vätgasen används i en bränslecell ska den inte beskattas eftersom den först omvandlas till el som sedan driver bilens motor. Skatteverket bedömer emellertid att inte heller denna el ska beskattas, vilket innebär att bränslecellsfordon i motsats till batterifordon och förbränningsmotorfordon varken skattas för el eller vätgas.

För elektrobränslen gäller att dessa beskattas på samma nivå som motsvarande fossilt bränsle. Användning av fossila bränslen inom flyg och sjöfart är dock i huvudsak skattebefriad, vilket innebär att inte heller elektrobränslen beskattas i dessa tillämpningar.

El som används till elektrolytiska processer är helt befriad från skatt, men exakt vilka komponenter i en vätgasproduktionsanläggning – elektrolysmoduler, kompressorer, pumpar osv – som faller inom ramen för sådana processer är inte entydigt definierat.¹⁹⁷ Vidare är el som används för att producera skattepliktigt bränsle helt skattebefriad, vilket innebär att el för komponenter som inte ingår i den elektrolytiska processen ändå kan skattebefrias. Detta gäller dock bara om vätgasen används inom ett beskattat användningsområde (dvs i en förbränningsmotor, utom i tillämpningar som inom flyg och sjöfart där bränslen hur som helst inte beskattas).

Därutöver påverkar även skattenedsättningen för el som används i tillverkningsprocessen i industriell verksamhet, där elen endast beskattas med 0,6 öre/kWh jämfört med normalskattesatsen 39,2 öre/kWh (29,6 öre i vissa delar av norra Sverige). Det innebär att om vätgasproduktionen sker inom en verksamhet som räknas som industri så kommer elen även till komponenter som inte räknas till den elektrolytiska processen att vara så gott som skattebefriad, men om vätgasproduktion sker utanför industrin (t ex i anslutning till kraftproduktion) så kommer elen att beskattas till normalskattesats.

Beskattningen för produktion och användning av vätgas sammanfattas i Tabell 10.

¹⁹⁶ (SFS 1994:1776, 2024)

¹⁹⁷ (RISE, 2021)

Tabell 10 Beskattning av produktion och användning av vätgas¹⁹⁸

Tillämpning	Beskattning
El för produktion av vätgas	El som förbrukas i elektrolytiska processer är inte skattepliktig
Fossilgas för produktion av vätgas	Bränsle som förbrukas i anläggningar som ingår i EU ETS är befriad från koldioxidskatt men inte energiskatt
Användning av vätgas i förbränningsmotor	Skattepliktig
Användning av vätgas i bränsleceller	Inte skattepliktig ¹⁹⁹
Användning av vätgas för uppvärmning	Inte skattepliktig
Användning av vätgas för elproduktion	Inte skattepliktig
Användning av elektrobränslen	Skattepliktig utom i vissa tillämpningar

Offentlig upphandling

Offentlig upphandling har i praktiken spelat en mycket begränsad roll för att främja fossilfria vätgastillämpningar. I synnerhet i och kring transportsektorn finns förvisso ett antal klimatkrav som kan mötas med vätgastillämpningar, men också med andra alternativ.

För offentliga verksamheter finns vissa obligatoriska miljökrav vid upphandling av fordon och transporttjänster som regleras i lagen (2011:846)²⁰⁰ om miljökrav vid upphandling av bilar och vissa kollektivtrafiktjänster, i lagen (2010:1065)²⁰¹ om kollektivtrafik och i förordningen (2020:486)²⁰² om miljö- och trafiksäkerhetskrav för myndigheters bilar. Det två lagarna riktar sig relativt brett mot offentliga verksamheter som upphandlar bilar eller transporttjänster som kollektivtrafik, sophämtning, posttransporter och liknande och kräver att en viss, ökande andel av fordonen ska vara ”rena”. För personbilar innebär det från år 2026 nollutsläppsfordon och för bussar ska normalt minst hälften av de rena fordonen vara utsläppsfria²⁰³. För den andra halvan, liksom för lastbilar, godkänns dock även andra alternativa drivmedel. Förordningen däremot gäller bara myndigheter under regeringen och bara upphandling av bilar, bilhyra och taxiresor. I gengäld gäller kraven, utom för vissa särskilda fordon eller om det annars finns särskilda skäl, alla bilar. Kraven motsvarar bonuskraven i det tidigare bonus-malus-systemet, dvs att fordonet antingen inte släpper ut mer än 30 g koldioxid/km eller går på annan gas än gasol.

I övrigt är det upp till den upphandlande organisationen att ställa miljökrav utifrån sina mål och förutsättningar. Som stöd i detta har Upphandlingsmyndigheten tagit fram förslag på upphandlingskriterier i tre nivåer – bas, avancerad och spjutspets – för olika kategorier som fordon, transporter, byggnationer och ytterligare en lång rad kategorier med begränsad relevans ur ett vätgasperspektiv. För fordon och transporter kan vätgas användas för att uppnå spjutspetsnivån, men denna nivå kan även uppnås med andra alternativ som el, fordonsgas eller – för tunga fordon – andra förnybara drivmedel. För bygg- och anläggningsarbeten finns kriterier för klimatpåverkan från projektet som helhet där vätgasdrivna arbetsmaskiner eller stål som framställts genom vätgasreduktion skulle kunna bidra till att minska projektets klimatpåverkan, men

¹⁹⁸ (Skatteverket, 2024)

¹⁹⁹ (Skatteverket, 2021)

²⁰⁰ (SFS 2011:846, 2024)

²⁰¹ (SFS 2010:1065, 2024)

²⁰² (SFS 2020:486, 2024)

²⁰³ Gränsen går vid 1 g koldioxid/kWh, varmed även fordon med vätgasdrivna förbränningsmotorer inkluderas.

denna minskning kan också uppnås på helt andra sätt. För arbetsmaskiner i andra sammanhang finns inga kriterier. För t ex plaster och andra material där vätgas använts i produktionen finns heller inga kriterier som styr mot fossilfri vätgas.

Trafikverket ställer klimatkrav vid upphandling av anläggningsprojekt. För större projekt (investeringar över 50 miljoner kronor) ställs kraven som ett generellt krav på klimatpåverkan från projektet som helhet, medan det för mindre projekt ställs specifika krav på drivmedel och vissa utpekade material, bl a stål/armering. En utvärdering visar dock att det råder blandade åsikter om vilka drivkrafter som klimatkraven skapar. Flera entreprenörer menade att i projekt med reduktionskrav – som varit relativt låga – hade de flesta optimeringsåtgärderna troligtvis skett även utan klimatkraven eftersom de innebar ekonomiska besparingar. Vissa menade att även en del klimatförbättrade material hade använts utan kraven eftersom de blivit standard.²⁰⁴

Industriklivet

Industriklivet är ett statligt stöd för satsningar på nyteknik som krävs för industrins omställning. Inom industriklivet kan stöd ges till förstudier, forsknings-, och pilot- och demonstrationsprojekt samt investeringsprojekt för att minska industrins utsläpp, åtgärder för negativa utsläpp och strategiskt viktiga insatser inom industrin som bidrar till klimatomställningen. Industriklivet har ett tydligt fokus på innovation, industriföretag och investeringar inom de områden där stödet bedöms göra maximal nytta.²⁰⁵ Stödnivåerna är beroende av projektens och stödmottagarnas karaktär, där det finns olika stödkriterier för företag och icke-ekonomisk verksamhet.

Klimatklivet

Klimatklivet är ett investeringsstöd för lokala och regionala åtgärder som minskar klimatpåverkande utsläpp. Stödet söks hos Naturvårdsverket och vänder sig till företag, kommuner, regioner och organisationer.²⁰⁶ Klimatklivet kan ge stöd till investeringar i förnybar vätgas, det vill säga vätgas som producerats med förnybar el enligt EU:s regelverk om vad som räknas som förnybar el och vätgas. Det gäller:

- Produktion av förnybar vätgas
- Investering i vätgasinfrastruktur, lagring och transport av vätgas
- Tankstationer för vätgas
- Inköp av fordon för transport på järnväg, inre vattenvägar och sjötransport, som drivs av vätgas
- Konverteringar till vätgas inom industrin
- Stöd till hamnar: Huvudsakligen investering i tankningsinfrastruktur för vätgas. Kan därtill också omfatta produktion och/eller lagring av förnybar vätgas.

Stödet fördelas normalt till de investeringar som ger mest klimatnytta per stödkrona, under förutsättning att åtgärden inte hade kunnat genomföras utan finansiellt stöd. För publika tankstationer för vätgas har Naturvårdsverket avsatt en särskild pott som fördelas genom ett anbudsförfarande och där stödandelen är högre (70 procent av de stödberättigade kostnaderna).²⁰⁷ Detta stöd kan sökas för tankstationer utmed TEN-T-stomnätet och går till de aktörer som kan bygga stationerna med lägst stöd. Stationer

²⁰⁴ (WSP - kontrollstation klimat, 2023)

²⁰⁵ (Energimyndigheten - Industriklivet,, 2024)

²⁰⁶ (Naturvårdsverket, 2024)

²⁰⁷ (Naturvårdsverket-vätgastankstationer, 2024) /

som ligger längs sträckor där det saknas tankstationer för att nå AFIR-kraven²⁰⁸ (se EU-styrmedel) viktas upp med 15 procent.²⁰⁹

Regionala elektrifieringspiloter

Programmet fördelar stöd till aktörer som går samman för att bygga upp strategiskt placerade ladd- och tankstationer för el och vätgas riktade mot tunga transporter. Under år 2022 beviljades stöd till 12 publika vätgastankstationer. Utlysningen för år 2023 koncentrerades däremot specifikt till laddstationer.²¹⁰

Klimatpremien

Klimatpremien för vissa miljöfordon kan sökas av företag, kommuner och regioner för köp av vissa tunga lastbilar och arbetsmaskiner, bl a sådana som helt eller delvis drivs av elektrisk energi från en bränslecell.²¹¹ Den sökande kan få maximalt 20 procent av miljöfordonets inköpspris och stödet beräknas finnas fram till och med år 2026.

Elbusspremien

Stöd för inköp av elbussar och bränslecellsbusar (dock ej stadsbusar) riktat till aktörer som bedriver kollektivtrafik.²¹²

Gröna kreditgarantier

Riksgälden kan ställa ut statliga kreditgarantier för nya lån som företag tar upp hos kreditinstitut för att finansiera stora industriinvesteringar i Sverige och som bidrar till att målen i miljömålssystemet och det klimatpolitiska ramverket nås. För att kunna ta del av en garanti måste lånet uppgå till minst 500 miljoner kronor.

Forskningsprogram

Energimyndigheten har ett antal breda forskningsprogram som kan vara relevanta för vätgas.²¹³ Av dessa är det framför allt programmet *Pilot och demonstration* som kan stötta projekt i senare delar av innovationsprocessen, genom stöd till demonstration av produkter, processer, system eller tjänster. Därutöver kan nämnas *Fordonstrategisk forskning och innovation (FFI)*, *Framtidens elsystem* samt *Viable Cities* (i samarbete med Vinnova och Formas). Även partnerskapsprogrammen *Clean Energy Transition* och *Driving Urban Transitions*, inom ramen för EU:s forsknings- och innovationsprogram Horisont Europa, har relevans för vätgasprojekt.

²⁰⁸ (Förordning (EU) 2023/1804)

²⁰⁹ Eller mer korrekt så viktas deras kostnader, med vilka de konkurrerar gentemot andra sökande, ner med 15 procent. En liknande premie om 10 procent ges för tankstationer med gångavstånd till en serviceanläggning med toaletter och möjlighet att köpa mat.

²¹⁰ (Energimyndigheten - Regionala elektrifieringspiloter,, 2024)

²¹¹ (Energimyndigheten - Klimatpremie,, 2024)

²¹² (Energimyndigheten - Elbusspremie,, 2024)

²¹³ (Energimyndigheten - Forskningsområden, 2024)

Hållbar energi för alla

Energimyndighetens uppdrag är att förena ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet i energisystem, som är hållbara och kostnadseffektiva med en låg påverkan på hälsa, miljö och klimat.

Vi bidrar med fakta, kunskap och analyser om tillförsel och användning av energi i samhället, och arbetar för en trygg energiförsörjning.

Forskning om framtidens energisystem och teknik får stöd av oss. Vi stöttar också affärsutveckling som gör det möjligt att kommersialisera innovationer och ny teknik, och ser till att goda lösningar kan exporteras.

Vi ansvarar för Sveriges officiella statistik på energiområdet, och hanterar stödsystem så som elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter. Dessutom deltar vi i internationella klimatsamarbeten, och förmedlar fakta om effektivare energianvändning till hushåll, företag och myndigheter.

Energimyndigheten är också beredskapsmyndighet och sektorsansvarig myndighet inom energiområdet.

Den här rapporten är framtagen tillsammans med Trafikverket.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Telefon 016-544 20 00
E-post registrator@energimyndigheten.se
energimyndigheten.se