



# Regional Vätgasanalys Västernorrland

*Rapport framtagen av WSP på uppdrag av Region Västernorrland*

WSP Sverige AB

Kund	Region Västernorrland
Konsult	<b>WSP</b> 121 88 Stockholm-Globen Besök: Arenavägen 7 Tel: +46 10-722 50 00 WSP Sverige AB Org nr: 556057-4880 <a href="http://wsp.com">wsp.com</a>
Kontaktperson	<b>Region Västernorrland</b> Malin Vedin malin.vedin@rvn.se, 070-625 78 56 Oskar Lindberg oskar.lindberg1@rvn.se, 073-067 46 93 Hemsida: <a href="https://www.rvn.se/Utveckling/">https://www.rvn.se/Utveckling/</a> E-postadress: <a href="mailto:regionalutveckling@rvn.se">regionalutveckling@rvn.se</a>  <b>WSP</b> Claës af Burén claes.af.buren@wsp.com, 073-088 96 12
Projektledare	Claës af Burén
Deltagande konsulter	Tore Englén
Version	Slutrapport 1.2
Levererat datum	2022-11-10
Uppdragsnummer	10343939

Denna rapport är framtagen på uppdrag av Region Västernorrland och delfinansierad av Europeiska regionala utvecklingsfonden (ERUF) genom Förstudie - utveckla kapacitet för smart specialisering. Förstudien har genomförts i Region Västernorrlands regi under 2022 för att ta fram kompletterande kunskapsunderlag, höja kunskapen och bilden av vilka regionala satsningar och investeringar som behövs för att realisera god styrning och kapacitet för utveckling av färdigheter för smart specialisering, strukturomvandling och entreprenörskap. I rapporten syftar Västernorrlands län till det geografiska området som utgörs av hela Medelpad, stora delar av Ångermanland samt mindre delar av Jämtland och Hälsingland. Å andra sidan syftar Region Västernorrland till den självstyrande enhet med ett geografiskt ansvarsområde som motsvarar Västernorrlands län och som tidigare benämndes som landsting.

Vid tidpunkten då denna rapport upplever Europa och Sverige ett krig och en energikris där flera omvärlds- och säkerhetsfaktorer har en stor påverkan på Västernorrlands län och dess arbete i vätgassektorn. Att förutse utvecklingen är svårt och det finns en mängd faktorer att ha i åtanke, även utan det pågående kriget och krisen. Det är därför viktigt att komma ihåg att de slutsatser som dras i denna rapport är en indikation på vart utvecklingen är på väg men att det kan komma att ändras då rapporten endast påvisar en ögonblicksbild. Det är viktigt att kontinuerligt följa de underliggande faktorer som beskrivs i rapporten för att få en god inblick i utvecklingen.



# FÖRORD

Just nu är intresset för vätgas rekordstort i Sverige, Europa och resten av världen. Intresset är drivet av ett behov om att ställa om till ett mer hållbart samhälle genom elektrifiering, utfasning av fossila bränslen men även för att minska importberoendet av energi från länder utifrån säkerhetspolitiska orsaker. Enbart i Sverige bedömer WSP att det finns planerade projekt med ett elbehov som övergår 50 % av Sveriges nuvarande elproduktion.

Samtidigt står det svenska elsystemet inför stora utmaningar med ökat elbehov, begränsade möjligheter att transportera el mellan områden och en ökad andel oplanerbar kraftproduktion. Detta gör att prisskillnaderna mellan nord och syd fortsatt kommer att vara stora och i vissa fall öka. Pandemins påverkan på världen och utvecklingen av det geopolitiska läget samt utvecklingen till ett hållbart energisystem är dock svåra att förutse. Den "perfekta energistorm" som vi sett under 2022 kommer att fortsätta framgent och få en påverkan på stora delar av 2020-talet.

Västernorrlands län befinner sig mitt i denna omställning och det finns ett stort intresse för elintensiva etableringar i länet. Området vätgas är främst drivet av god tillgång på grön energi men också av globalt konkurrenskraftig totalkostnad. Samtidigt finns det flera andra satsningar inom länet och i Sverige som också kräver stora mängder grön el och som kan bidra till länets tillväxt.

Det gäller därför att redan nu ta höjd för de konsekvenser som en vätgasekonomi kommer att innebära samt att förstå vilka utmaningar och möjligheter länet står inför. Vilka synergieffekter finns det mellan aktörer i länet? Vilken tillgänglig kompetens finns inom området? Vilken potential har tillverkningsindustrin? Vilka sektorer kopplat till vätgasekonomin kan förväntas generera framtida direkta och indirekta arbetstillfällen? Vilka prioriterade strategiska utvecklingsområden finns inom vätgasområdet, samt vilka regionala klimatnyttor har dem?

# INNEHÅLL

<b>FÖRORD</b>	<b>3</b>
<b>1 SAMMANFATTNING</b>	<b>6</b>
<b>2 VÄTGAS – EN INTRODUKTION</b>	<b>8</b>
<b>3 VÄTGASENS VÄRDEKEDJA</b>	<b>12</b>
3.1 REGIONALA AKTÖRER I VÄTGASENS VÄRDEKEDJA	12
3.2 UTANNONSERADE PROJEKT	13
3.2.1 Liquid Wind i Örnsköldsvik och Sundsvall kommun	13
3.2.2 Vätgasklustret i Alby och Ljungaverk – Ånge kommun	15
3.2.3 SkyFuelH2 i Hamre - Sollefteå kommun	15
3.2.4 Andra projekt och närtida investeringar	15
3.3 SYNERGIEFFEKTER, SYMBIOSER OCH SIDOSTRÖMMAR	16
3.3.1 Liquid Wind som exempel för synergier	17
<b>4 VÄTGAS – EN MÖJLIGHET FÖR TILLVERKNINGSINDUSTRIN I VÄSTERNORRLAND?</b>	<b>19</b>
4.1 KOMPONENTER	19
4.1.1 Permascand	19
4.1.2 Återförsäljare	19
<b>5 VÄSTERNORRLANDS KOMPETENSBEHOV</b>	<b>20</b>
5.1 INDUSTRIN OCH TJÄNSTESEKTOR	20
5.2 INSTITUT OCH UNIVERSITET	20
5.3 BESLUTFATTARE	20
<b>6 VÄTGASENS ARBETSTILLFÄLLEN</b>	<b>22</b>
6.1 EFFEKTER AV GRÖN VÄTGAS I INDUSTRIN – ETT RÄKNEEXEMPEL	22
<b>7 FINANSIERINGSMÖJLIGHETER</b>	<b>27</b>
7.1 SVENSKBASERADE STÖD	27
7.2 EUROPABASERADE STÖD SAMT INTERNATIONELLA SAMARBETEN	27
<b>8 VÄSTERNORRLANDS STRATEGISKA UTVECKLINGSOMRÅDEN</b>	<b>29</b>
8.1 PRODUKTION	29
8.2 ANVÄNDNING	30
<b>9 VÄTGASENS REGIONALA KLIMATNYTTA</b>	<b>31</b>
9.1 UTSLÄPP VID PRODUKTION	31
9.1.1 Räkneexempel Gasol/naturgas	32
9.1.2 Räkneexempel Koks och kol	32
9.1.3 Räkneexempel Mineralgödsel	33
9.1.4 Räkneexempel Transportsektorn (väg)	34
9.1.5 Jämförelse räkneexempel	34

9.2	RESURSÅTGÅNG	35
<b>10</b>	<b>VÄTGASPROGNOS 2030 OCH VIDARE</b>	<b>37</b>
10.1	FRAM TILL 2030	37
10.1.1	Elprognos	37
10.1.2	Vätgasproduktion	38
10.1.3	Energikombinat	39
10.2	2030–2050	39
10.2.1	Möjliga utvecklingsområden i länet	40
	Sammanfattande medskick till aktörer i Västernorrland	41
	<b>LITTERATURFÖRTECKNING</b>	<b>42</b>

# 1 SAMMANFATTNING

I Västernorrlands län finns resurser för att underhålla en hel värdekedja, med stora fördelar framför allt genom vindkraftsel och industrier med koldioxidutsläpp av biogent ursprung. Infrastruktur för befintliga industrier underlättar en omställning till vätgasproduktion, framför allt i områden som har potential för etablering av vätgaskluster där flertalet industrier kan samarbeta kring utbyten av sidoströmmar som syrgas och värme. Planerna på nya industrier med vätgasproduktion samt tillverkning av flyg- och sjöfartsbränsle visar på att länet ses av industrin ha stor potential att vara en betydande del i den gröna omställningen. Däremot verkar bristen på lagring och distribution av vätgas samt senfärdig lagstiftning hindra en snabbare utveckling av en värdekedja för vätgas i länet.

Det finns utmaningar i länet när det kommer till tillverkningsindustrin, både utifrån att det enbart finns ett fåtal komponentproducenter i området, men även utifrån att de komponenter som krävs för en vätgasekonomi kan bero av vissa kritiska material och där ett ostabilt säkerhetspolitiskt läge kan resultera i begränsad tillgång på de relevanta instrument som krävs för produktion av vätgas. Det saknas även aktuell kompetens inom vätgasområdet i länet, vilket är en utmaning även nationellt och globalt. Kompetenscentra är på gång att utvecklas, men framgången av dessa beror på möjligheterna till att rekrytera.

Den vätgasekonomin som håller på att utvecklas i länet har riktat in sig på att utnyttja befintliga industriernas infrastruktur och resurser, det kan vara en framgångsfaktor då enbart vätgasproduktion inte innebär någon större utveckling kring antalet direkta arbetstillfällen.

Framöver kommer däremot att den stora efterfrågan på el att vara en utmaning för vätgasproduktionen, då mycket grön el krävs för att vätgas ska kunna användas som resurs i den gröna omställningen. Konkurrens om el kan verka som hinder för utbredd vätgasproduktion och prioriteringar kan krävas från statligt, regionalt samt privat håll. Parallella spår för vätgasproduktion av andra metoder kan därmed vara av intresse för etablering i framtiden samt behov av att utreda ifall råvaror till komponenttillverkning måste komma från andra geografiska områden än idag.

---

# BEGREPPSFÖRKLARINGAR

---

Bränslecell – Instrument som omvandlar kemisk energi från bränsle till elektricitet som en galvanisk cell

CCS – Teknik för infångning och lagring av koldioxid

CCU – Teknik för infångning och vidare reaktion av koldioxid

Derivat – Se Elektrobränslen

Elektrobränslen – Syntetiskt framställt bränsle med vätgas och annan kemisk förening, vanligtvis koldioxid

Elektrolys – Omvandling av elektricitet till kemisk energi

Elektrolysör – Instrument som producerar vätgas genom elektrolys av vatten

Effektbehov - Den mängd elenergi som måste tillföras systemet för att möta efterfrågan vid en viss tidpunkt.  
Effekt mäts i watt (W).

PFAS – Samling persistenta (onedbrytbara) organiska föreningar innehållandes fluor (akronym står för per- och polyfluorerade alkylsubstanser)

Solvent – Vätskebaserad absorption av koldioxid, ofta monoetanolamin (MEA)

Vätgaskluster – Vätgasproduktion i samverkan med närliggande industrier för utbyte av resurser

---

## 2 VÄTGAS – EN INTRODUKTION

Vätgas är en reaktiv gas som har haft viss användning inom specifika sektorer. I energiomställningens antåg har den nu nämnts som en av lösningarna till ett alternativ till fossila bränslen, men den har redan innan använts för andra syften inom industrin. Då vätgas inte är ett eget energislag, utan en energibärare, så har den ändå ett fossilt avtryck, trots sin avsaknad av kol i sin kemiska beteckning. Det beror på att den för närvarande oftast produceras av naturgas, men alternativa metoder föreslås för att göra vätgasen fossilfri, eller grön som det har kallats. En vanlig metod är elektrolys som kräver stor el- och vatten tillgång, vilket gör den relevant för användning i länet som har en hög elproduktion.

### Vad är vätgas?

Väte är det lättaste grundämnet som består av två atomer bundna till varandra till molekyl H<sub>2</sub> och vid rumstemperatur är en gas. Det finns inte fritt i naturen men framställd i sin rena form är det väldigt reaktivt. Därför behövs specifika säkerhetskrav vid dess hantering. Då vätgas historiskt har innefattat stora användningsområden är dessa tekniker för säkerhetsanpassningar välutvecklade.

Vätgas kan användas som bränsle antingen direkt i gasturbiner och förbränningsmotorer eller i bränsleceller där vatten spjälkas till syrgas och vätgas vilket omvandlar energin till elektricitet. Energiinnehållet i vätgas är högre än fossila bränslen, men omvandlingsförluster i olika tekniker måste tas hänsyn till vid energiberäkningar.

Idag används vätgas globalt främst till produktion av ammoniak (>50%), i raffinaderier (≈30%), produktion av metanol (≈10%) (Maggio, Nicita, & Squadrito, 2019), (WHA International, 2022). I Sverige finns den största användningen av vätgas i raffinaderier (>70%) och kemiindustrin (27%) (Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2022).

Framställningen av vätgas idag sker framför allt med fossila bränslen som råvara, där en stor andel kommer från raffinaderier som använder naturgas, vilket kallas för grå vätgas. Det finns även förslag att fånga in den koldioxid som bildas vid sådan produktion, vilket då benämns som blå vätgas. En annan metod som är på väg att utvecklas kommersiellt går ut på att tillföra energi i form av elektricitet till vatten för att bilda vätgas och syrgas, så kallad elektrolys. Om elen kommer från förnybar el så kallas detta för grön vätgas, medan rosa vätgas produceras med el från kärnkraft (Fossilfritt Sverige, 2021). I Tabell 1 listas ett antal olika möjliga framställningsmetoder.

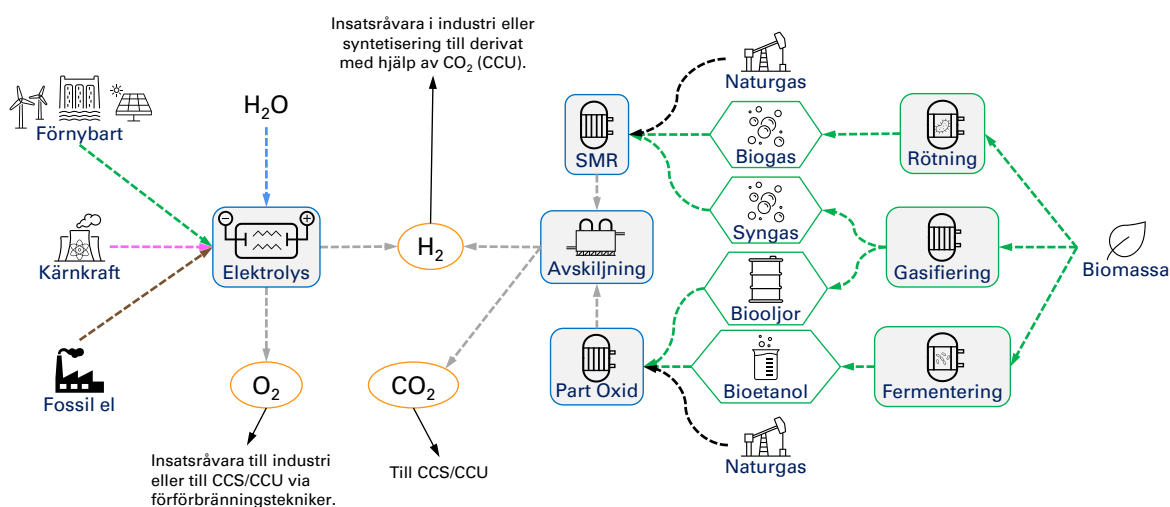


Tabell 1: Översikt över de olika metoderna för vätgasframställning.

Teknik	Substrat	Katalysator	Metod	Mognadsgrad	Färgkod
<b>Termolys</b>	Naturgas	Värme	Steam methane reforming (SMR)/partiell oxidation		■ Grå
	Naturgas	Värme	SMR + CCS		■ Blå
	Kol	Värme	Gasifiering		■ Brun
	Biomassa	Värme	Gasifiering		■ Turkos
	Bioetanol/ bioljor/ biogas	Värme	SMR/partiell oxidation (förkortat: part oxid)		■ Turkos
	Vatten	Solen	Koncentrerad termisk sol (heliostater eller paraboler)		Ej bestämt
	Vatten	Hög tempererad värme från kärnkraft			■ Röd
	Vatten	Värme från kärnkraft	Termokemisk elektrolys		■ Lila
<b>Elektrolys</b>	Vatten	El från förnybara energislag			■ Grön
	Vatten	El från fossila energislag			■ Grå
	Vatten	El från kärnkraft			■ Rosa
	Vatten	El från solkraft			■ Gul
<b>Fotolys</b>	Vatten	Solen	Fotoelektrokemisk via halvledare		Ej bestämt
	Vatten	Solen	Cyanobakterier		Ej bestämt
<b>Mikrobiell</b>	Biomassa	Bakterier	Fermentering		Ej bestämt

I denna rapport kommer fokus främst ligga på grön vätgas producerad med el från förnybara energislag och vatten, eftersom vätgasprojekt som planerats i den närmsta framtiden i länet av stora aktörer har utgått ifrån vindkraftsel vid beräkningar av klimatavtryck och även ibland ingått i projekteringen av dessa satsningar där kluster skapas mellan vindkraftsägare, kraftvärmeverk och ägaren för den övergripande vätgassatsningen. Just den historiska tillgången på överskottsel från förnybara källor, vilket för Västernorrland ofta innebär vindkraftsel, är en av anledningarna till att länet har ansetts ha stor potential när det gäller etablering av ny grön vätgasproduktion som ska bidra till den gröna omställningen.

För produktion av vätgas finns det olika procesströmmar för olika industrier. En överblick över de olika strömmarna för vätgasproduktion visas översiktligt i figur 1 vilket även inkluderar sidoströmmar eller biprodukter. En del i produktionen av vätgas kan inkludera vidare förädling till så kallade elektrobränslen (även kallat e-bränslen eller derivat), vilket är syntetiskt framställt bränsle med vätgas och annan kemisk förening, vanligtvis koldioxid som kan användas i dagens förbränningsmotorer. Det kan vara e-metanol eller e-ammoniak som produceras (det vill säga metanol respektive ammoniak med substrat från elektrobränsleproduktion). Av platsbegränsning i rapporten så har avgränsningen gjorts vid sidoströmmar med bioetanolproduktion och andra biobränslen som insatsvara till vätgas, så att de beskrivs i korta ordalag men inte i detalj.



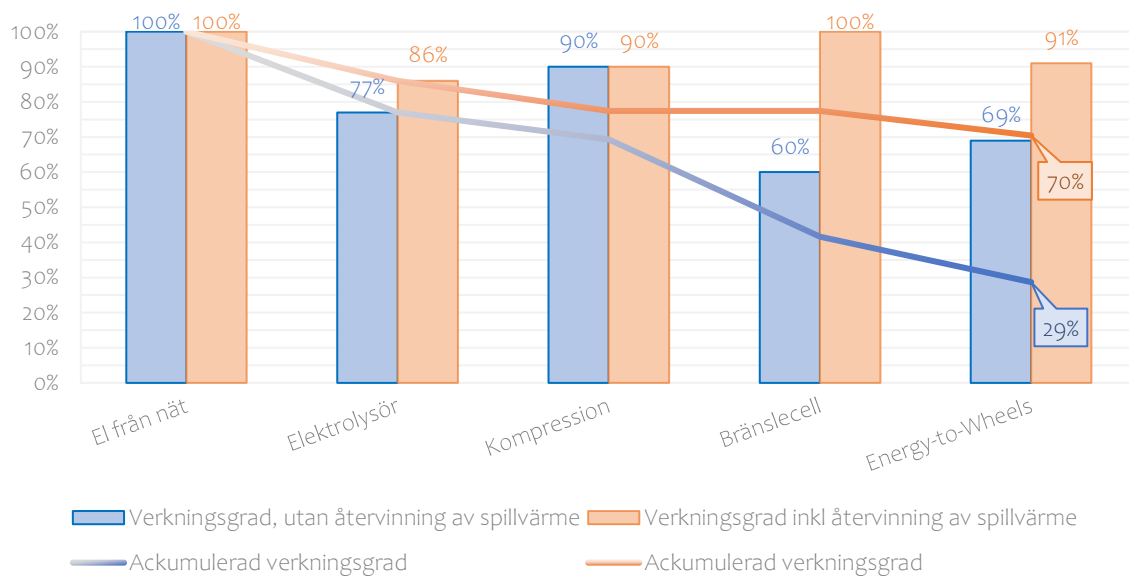
Figur 1. Översikt av flöden för vätgasproduktion med de möjliga processerna för vätgasproduktion.

För Sverige i framtiden är grön vätgas mest aktuellt. Den nationella strategin för vätgas förutsätter att produktionen av vätgas sker med fossilfri elproduktion och därför bör strategin ses tillsammans med elektrifieringsstrategin som regeringen presenterade 2022. Riksdagen har som mål att Sverige ska ha noll nettoutsläpp av koldioxid 2045, alltså 5 år innan EU:s målsättning (Energimyndigheten, 2021). Vid en jämförelse mellan nollalternativet (ofta grå vätgas) och fossilfri vätgas har den senare alltså möjligheten att bidra till omställningen för ett bättre klimat. Ett mellanalternativ skulle vara blå vätgas, där den utsläppta koldioxiden fångas in och lagras, men detta kommer alltid vara ett dyrare alternativ än grå vätgas då kostnaden för infångning tillkommer. Dessutom anses tekniken för blå vätgas många vara ett övergångsalternativ. Framför allt är blå vätgas inte ett strikt netto-noll alternativ då infångningen praktiskt begränsas till cirka 90%, därefter blir anläggningarna överdimensionerade och kostnaderna rusar (Fossilfritt Sverige, 2021). Grön vätgas har alltså en framtid i Sverige, men i vilken utsträckning beror på flera faktorer.

Det är viktigt att skilja på energikälla (vatten, vind, kol et cetera) och energibärare (elektricitet, bensin, vätgas). En energibärare produceras med hjälp av en energikälla för att sedan möjliggöra användning av den energin i andra processer. En energibärare kan transporteras och lagras i exempelvis ledningar, tankar och ackumulatörer för att senare användas. Ifall elektricitet eller vätgas kan klassas som fossilt eller förnybart beror alltså på energikällans ursprung. Ur den aspekten räknas inte vätgas från kärnkraft som förnybart (Fossilfritt Sverige, 2021). I den här rapporten används genomgående begreppet grön vätgas, i stället för förnybar vätgas, men i andra rapporter kan snarare förnybar vätgas

vara det vedertagna begreppet. Till skillnad från produktion så ger användningen av vätgas inte upphov till andra utsläpp än det vatten som bildas vid reaktion mellan vätgas och syrgas.

Till skillnad från batterier, som lagrar elektricitet elektrokemiskt, så lagras energi kemiskt i vätgasen. Batterier och vätgas ses som lösningar till liknande utmaningar, det vill säga ersättning för fossilbaserad naturgas, flytande fossilt bränsle, kol med mera. Ofta har batterier fördelar mot vätgas bland annat på grund av att el är den högst förädlade energiform. Omvandling från el till vätgas tillbaka till el (så kallad power to X to power, P2X2P) står för en energiverkningsgrad ned mot 40% (Rivard, Trudeau, & Zaghbi, 2019). Vätgas erbjuder dock en unik möjlighet inom svårelektrifierade sektorer (som drivmedel eller insatsråvara i processer) där direktelektrifiering blir för dyrt eller tekniskt komplicerat att implementera. Att lagra vätgas över lång tid är också enklare än lagring i batterier. Vätgasen har dessutom den fördelen att den kan användas direkt i industriella processer som insatsråvara i olika processer (Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2022). Vid elbaserad produktion av vätgas, det vill säga elektrolys, sker omvandlingsförluster i form av värme. Även vid komprimering av vätgasen till lagring i trycksatta tankar sker förluster i form av värmebildning och slutligen vid användning av vätgasen i bränslecell sker åter omvandlingsförluster i form av värme. Den största värmebildningen sker i elektrosören, därefter i bränslecellen och slutligen kompressionen. Dessa omvandlingsförluster beskrivs i figur 2.



Figur 2: Uttryckt som procentuella förluster av den ingående energimängden avgår cirka 14% i elektrolysteget, cirka 10% vid kompression (beroende på önskat tryck), och cirka 40% i bränslecellsteget. Ifall de olika omvandlingsstegen kan appliceras i sammanhang där den uppkomna förlustvärmen kan nyttiggöras ökar systemverkningsgraden. Idealt, om all spillvärme nyttiggörs, kan systemverkningsgraden gå mot över 90%, men observera att värmen är lågvärdig och lämpar sig bäst till ändamål som exempelvis komfortvärme eller tappvarmvatten. Energy-to-Wheels syftar på verkningsgraden hos en elektrisk bil att omvandla elektrisk energi till drift och skillnaden här beror på om regenerering av batteriet sker vid exempelvis inbromsning eller ej. Figur baserad på (Rivard, Trudeau, & Zaghbi, 2019) (US Department of Energy, 2022) (ITM Power, 2017) (Alfa Laval, 2018).

### 3 VÄTGASENS VÄRDEKEDJA

För att utveckla en vätgassatsning krävs att flertalet kriterier uppfylls, varav tillgång på fossilfri el är en av de största. Västernorrlands län har bra förutsättningar då många vindkraftsparker redan finns i området samt att det finns plats för mer utbyggnad av vindkraften på olika ställen. Det gör att länet redan är en del av den tidiga utvecklingsfasen för vätgasens vidare tillämpning i Sverige. Flertalet projekt har annonserats av olika aktörer i Västernorrlands län, där många satsar på att bli ett stort tillskott till vätgasekonomin i Sverige.

#### 3.1 REGIONALA AKTÖRER I VÄTGASENS VÄRDEKEDJA

Vätgasekonomin har i Sverige inte varit så utvecklad, utan har tidigare funnits mest i sektorer med egen tillverkning, så som kemi- och raffinaderiindustrin samt som biprodukt i vissa industrier. Det finns redan idag en vätgasekonomi inom länet och området framöver kommer att vara en viktig hubb för framtida vätgasproduktion.

Värdekedjan för den gröna vätgasbaserade energisektorn börjar med resurser som kommer från produktion av fossilfri el. Om vätgasen ska omvandlas till andra kemiska energibärare för fortsatt distribution (elektrobränslen) kan även infångad koldioxid räknas till resurser. Vidare behövs de tekniska instrument som exempelvis elektrolysörer, absorptionslösningar (så kallade solvents) till koldioxidinfångning och värmeväxlare för processerna samt en projektägare som har ansvar för översynen. Om vätgasen inte ska användas i direkt anslutning och/eller har omvandlats till ett flytande elektrobränsle krävs mellanlagring och distribution med tankar och ledningar. Till sist tar konsumenterna, vilka kan vara flyg-, sjö- eller tung trafik samt raffinaderier eller kemiindustrier, emot vätgasen eller dess derivat. En kartläggning har genomförts där exempel på aktörer inom Västernorrlands län som kan tillhöra något av de olika delstegen i värdekedjan, vilket presenteras i figur 3.



Figur 3: Aktörer i de olika stegen i värdekedjan för vätgasmarknaden i Västernorrlands län.

## 3.2 UTANNONSERADE PROJEKT

Redan i januari 2021 kom Fossilfritt Sveriges "Strategi för Fossilfri konkurrenskraft – Vätgas". Där nämns sju större planerade industrisatsningar i landet, varav två av dessa finns lokaliserade inom gränserna för Västernorrlands län. De två projekten gäller Liquid Wind som ska producera metanol av vätgas och infångad koldioxid vid Hörneborgsverket i Örnsköldsvik och Nouryon som vill ersätta den vätgas som används till väteperoxidproduktionen med fossilfri vätgas (Fossilfritt Sverige, 2021).

Därmed har länet redan nu aktörer inom både produktion och användning av vätgas för vilka det kan bildas spridningseffekter med arbetstillfällen och tillverkningsbehov. De ovan nämnda satsningarna är exempel på vätgaskluster, där vätgasen produceras i närheten av den fossilfria elproduktionen och sedan används för förädling i direkt anslutning, och beskrivs i följande avsnitt. Sedan dess har flera andra initiativ tillkommit i länet varvid ett urval av dessa listas nedan.

### 3.2.1 *Liquid Wind i Örnsköldsvik och Sundsvall kommun*

I Örnsköldsvik ligger Hörneborgsverket som producerar fjärrvärme till staden genom förbränning av biobränslen i Övik Energis regi. Som en följd effekt släpps koldioxid ut med rökgaserna. Liquid Winds satsning, benämnt som FlagshipONE, avser att fånga in denna koldioxid med en CCS-teknik (se faktaruta). I en annan del av siten ska vätgas produceras genom elektrolys från vindel och vatten. Den infångade koldioxiden och den nyproducerade vätgasen ska sedan reagera med hjälp av katalysatorer och bilda metanol. Genom separeringstekniker och vidare förädling ska metanolen lagras i flytande form, så kallad e-metanol, för vidare användning som fartygsbränsle (Rutgersson & Lindgren, 2021). Denna anläggning planeras vara i användning 2024 och kommer ha en elektrolysrökapacitet på 70 MW (Uniper Sverige, u.d.) (Orsted, 2022). I framtiden skulle även tunga vägtransporter kunna använda den tillverkade metanolen. På så sätt så skapas inga nya koldioxidutsläpp vid produktion av detta bränsle, utan de kolatomerna som ingår i den annars utsläppta koldioxiden från kraftvärmeverket kan användas en gång till innan de släpps ut i atmosfären. De fossila bränslen som används i ett senare steg i transportsektorn byts därmed ut mot biogena utsläpp.

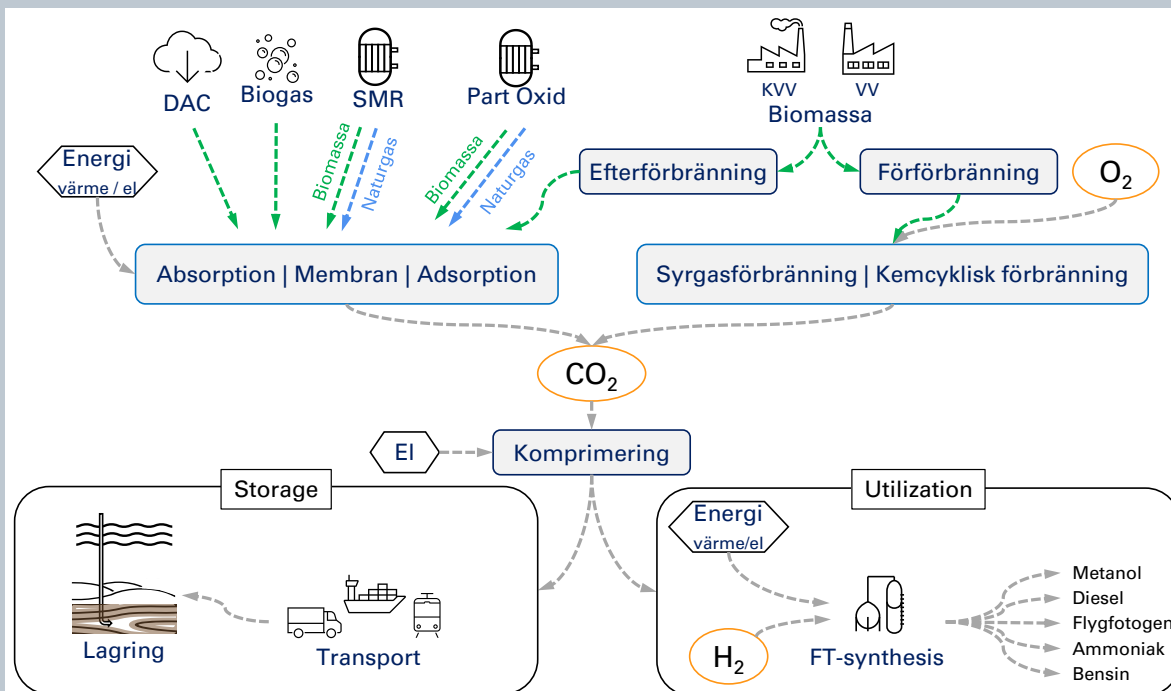
I Sundsvall planeras även FlagshipTWO som är nästa anläggning i Sverige för Liquid Wind. De har planer på att samarbeta med Sundsvall Energi och fånga in koldioxid från Korstaverket. Produktion av e-metanol kommer ske på samma sätt som beskrivet för Liquid Wind i Örnsköldsvik med det undantaget att verket har både biogena och fossila utsläpp. Därmed gäller att för den förnybara andelen produceras metanolen, medan den fossila andelen ska lagras via CCS. Detaljer för projektet är ej utredda då investeringsbeslut ska fattas i slutet av 2023. Anläggningen beräknas krävas 150 MW el till produktionen när produktionen av elektrobränsle ska påbörjas enligt plan i årsskiftet mellan 2025/2026 (Sundsvall Energi). En nod för CCS-lagring planeras i berggrum i Sundsvall för mellanlagring av 200 000 ton CO<sub>2</sub> (Energimyndigheten, 2022).

## Vad är CCS?

Med CCS menas metoder för avskiljning av CO<sub>2</sub> från produktionsströmmar (Carbon Capture) samt deponering av denna CO<sub>2</sub> i främst geologiska formationer djupt under markytan (Storage). I berggrunden ska koldioxiden reagera med mineraler och forma karbonater, det vill säga blir till sten (United States Geological Survey, 2019). Det krävs särskild geologi för detta, dels porösa bergarter som kan lagra in CO<sub>2</sub>, men även tät, icke permeabel, berggrund som stänger inne koldioxiden, likt ett lock (SGU, 2022).

Om CCS appliceras på system som använder bioenergi som kraftkälla kallas det för Bio Energy Carbon Capture and Storage, BECCS (IEA, Bioenergy with Carbon Capture and Storage - Tracking Report, 2022). Denna teknik innebär en möjlighet att skapa negativa utsläpp, det vill säga en aktiv reducering av koldioxidhalten i atmosfären. Den aktiva agenten i de olika metoderna som fångar in CO<sub>2</sub> återanvänds i processen, men för detta krävs energi som sedan avskiljer CO<sub>2</sub> från agenten (IEA, About CCUS, 2021). Denna energi kan vara i form av el eller värme och utgör från 10% upp mot 20% av den totala producerade energin i anläggningen (Vaseduvan, o.a., 2016). Detta blir en form av parasitisk energikonsumtion som påverkar produktionskapaciteten negativt hos anläggningen.

Infångning av koldioxid kan även användas som insatsråvara för vidare produktion av bränslen, bland annat i samband med produktion av vätgas vilket ger elektrobränslen (också kallat derivat). Det kallas för CCU (carbon capture utilization) och flera metoder beskrivs i figur 4.



Figur 4: WSP schematisk representation över olika källor till CO<sub>2</sub> för antingen inlagring (Storage) eller vätgasderivat (Utilization). Baserad på (IEA, Bioenergy with Carbon Capture and Storage - Tracking Report, 2022).



### **3.2.2 Vätgasklustret i Alby och Ljungaverk – Ånge kommun**

Det har länge funnits en ambition och vision i Ånge att förädla och maximera värdet av den gröna el som produceras i kommunen. Två siter identifierades bland annat i Alby och Ljungaverk med goda förutsättningar för elintensiv industri.

Ånge kommun och RES Renewable Norden tecknade under 2021 en avsiktsförklaring att ingå samarbete för utveckling av Alby med en vätgasanläggning på 20 MW, som framöver ska utvecklas till 100 MW. Intresset är stort och det finns flera förfrågningar om att etablera sig på site och målet för projektet är att attrahera 300 jobb.

I Alby finns Nouryon som producerar väteperoxid av vätgas, vilket används i kemiindustrin. Nyligen har de gått ut med att de vill ersätta den vätgas de nu använder, som har fossilt ursprung, med grön vätgas och ingår därmed i ett samarbete med flera aktörer i närheten (Fossilfritt Sverige, 2021). RES Renewable har planerat att anlägga en site för produktion av vätgas i Ljungaverk med avsikt att tillhandahålla vätgas för industrin, specifikt Nouryon (Engström, Ny jättesatsning på vätgas förbereds i Ånge – vill köpa industriområdet i Ljungaverk, 2022). Dessutom ligger Permascand också här, vilket är ett svenskt verkstadsföretag i elektrokemibranschen. De har utvecklat en teknik för grön vätgasproduktion och har annonserat sin ambition för att fördjupa sina kunskaper med ett teknologi- och innovationscenter samt utöka sin produktionskapacitet av relevanta komponenter, vilket också är ett samarbete med RES. Permascands anläggning planeras vara klar i första fasen årsskiftet 2024/2025, med utbyggnad till 2026/2027 (Sellén, 2022).

Ett annat företag, BIGAkwa, har också tecknat en avsiktsförklaring med RES för att utnyttja sidoströmmarna av syrgasen och värmen i en nyetablerad fiskodling (Engström, Finansiering klar för Big Akwa – storsatsning aktuell vid Alby östra: "3 000 ton om året", 2022). Här kan spillvärmerna tas till vara i någon mån av närliggande fjärrvärmeverk, möjligen av Ånge Energi som redan har utbyte med Nouryons fabrik (Andersson, 2021). Detta är ett exempel på ett vätgaskluster där leverantör, produktion och användning sker inom samma geografiska område och med en uttalad intention om samarbete vilket minskar energiförluster och ökar kompetensförsörjningen (Fossilfritt Sverige, 2021).

### **3.2.3 SkyFuelH2 i Hamre - Sollefteå kommun**

I Sollefteå på industrimarker i Hamre har kommunen skrivit en avsiktsförklaring med Uniper och Sasol för att producera flygbränsle från fossilfri el (Sollefteå Kommun, 2022). Genom att använda vätgas från vindkraftsel och koldioxid som producerats vid förbränning av biomassa kan flytande flygbränsle produceras, liknande ovan beskrivning för elektrobränslen hos FlagshipONE (Uniper Sverige, u.d.). Företaget uppger att flygbränslet producerat i Hamre kommer användas till 8% av inrikesflygningarna (Uniper Sverige, 2022). Återigen är inte detaljer publika då nästa steg är markanvisning och vidare planering ska ta vid årsskiftet. För tillfället antas projektet vara färdigställt 2026 (Sollefteå Kommun, 2022).

### **3.2.4 Andra projekt och närtida investeringar**

I Västernorrlands län finns flera uttalade ambitioner för vätgasprojekt utöver dem nämnda ovan i Örnsköldsvik stad och Ånge kommun. Även flertalet vindkraftsparker planeras att anläggas av bland andra Vattenfall, Res Scandinavia och OX2 (Andersson, 2021) (Vindbrukskollen). Specifika projekt som är i startgroparna beskrivs nedan.

- Everfuel i Sundsvall har fått finansiering av Energimyndigheten att bygga vätgasstationer, bland annat i Sundsvall. De ska stå klara redan 2023 för att säkra tillgången på vätgas för omställningen av fordonsflottan (Vätgas Sverige, 2022).
- SCA har planer i studiefasen på att bygga en vätgasfabrik i Östrand i Timrå. De planerar även att anlägga vindkraftverk norr om Sundsvall i storleksordningen av 65 TWh (Lunneborg,

2021). Utöver detta finns mer definitiva planer om en anläggning för ligninolja, biobensin och biodiesel (TidningenBioenergi, 2022).

- Sekab, som har en fabrik i Örnköldsvik, har redan investerat 100 miljoner kronor för att öka produktion av sina kemikalier, just producerat från förnybara råvaror. Produkterna ska bli bioetanol, bioolja och lignin vilka har potential till att användas som insatsvaror för framställning av vätgas (Sekab, 2021). Detta skulle kunna vara relevant ifall hög elförbrukning blir ett problem.
- Gällande transport av vätgas har Sverige stora utmaningar finns för längre transport av vätgas då det inte finns någon välutvecklad naturgasinfrastruktur som går att bygga om till vätgasledningar. För att råda bot på detta och underlätta för flertalet vätgassatsningar i norra Norrland har gasbolaget Nordion Energi tillkännagett planer om en vätgasledning som ska anläggas från Örnköldsvik genom Sverige och Finland till Vasa (Renklint, 2022). Detta skulle innebära enklare tillgång till fossilfri vätgas för industri- och transportsektorerna. En sådan ledning ser ut att bli verklighet 2030 längs med Bottenviken (Gasgrid Finland, 2022).
- Startupbolaget Cinis Fertilizer från Lund har slutit avtal med Northvolt om att köpa deras restprodukt natriumsulfat för produktion av kaliumbaserat konstgödsel ( $K_2SO_4$ ), e-konstgödsel, i Örnköldsvik med start 2023. Produktionskapacitet uppges bli 300 000 ton per år med 100 arbetstillfällen (Kristensson, Insight - Konstgödsel, en ny svensk industri växer fram, 2022). Då mineralgödsel nämns senare som en potentiell affär för vätgas kan det vara relevant att undersöka hur gödsel används i framtiden i länet.

### 3.3 SYNERGIEFFEKTER, SYMBIOSER OCH SIDOSTRÖMMAR

Flertalet synergieffekter har redan redogjorts för i stycket ovan, speciellt gällande vätgasklustret i Ånge. Synergier har haft en hög prioritet vid val av plats för de nya vätgasprojekten. Detta för att öka verkningsgraden vilket är fördelaktigt både ekonomiskt och miljömässigt. I framtiden kan det vara möjligt att de bästa befintliga siterna är upptagna inom Västernorrlands län och för sådana fall kan det krävas att flera aktörer investerar i nya industrier samtidigt på ett ställe för att utnyttja de olika sidosrömmar som finns. Synergier eller samarbete är också möjliga om flera aktörer ingår i en satsning, då projekt kan skalas upp till större andelar och därmed minska i pris. Dessutom delar dessa aktörer på risken vilket kan öka antalet satsningar totalt. För de fall då arbetsfordonen i framtiden drivs på vätgas är samarbete lönsamt då alla aktörer i ett projekt enkelt skulle kunna hämta drivmedlet från vätgasproducenten i ett sådant vätgaskluster.

Vid vätgasproduktion så används vatten för att producera vätgas och syrgas samt värme som alstras vid reaktionen. I vikt produceras åtta gånger så mycket syrgas som vätgas, vilket oftast inte finns någon utbredd marknad för då priset troligen kommer pressas ned vid så stor produktion (Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2022). Därför kan det bli så att det producerade syret släpps ut direkt till omgivningen utan avsättning enligt de planerade projekten i länet (Rutgersson & Lindgren, 2021). Å andra sidan har syrgas har flertalet användningsområden (se figur 5), vilket kan utnyttjas om rätt investeringar görs. Syrgas kan bland annat användas till att effektivisera förbränningsprocesser och kan minska mängden kväveoxid i rökgaserna. Detta sker i bland annat stål-, metall- och pappersindustrin. Det kan också användas i framtida CCS-teknik (Fossilfritt Sverige, 2021). För framtida projekt kan vara lämpliga att placera i närhet till industrier i behov av syrgas eller vice versa, som BIGakwas fiskodlingar. Andra viktiga användningsområden är livsmedels- och dryckesindustrin, medicinska ändamål, samt analysverksamhet i exempelvis laboriemiljö, men även reningsverk. För vissa av dessa ändamål så behöver syrgasen renas.

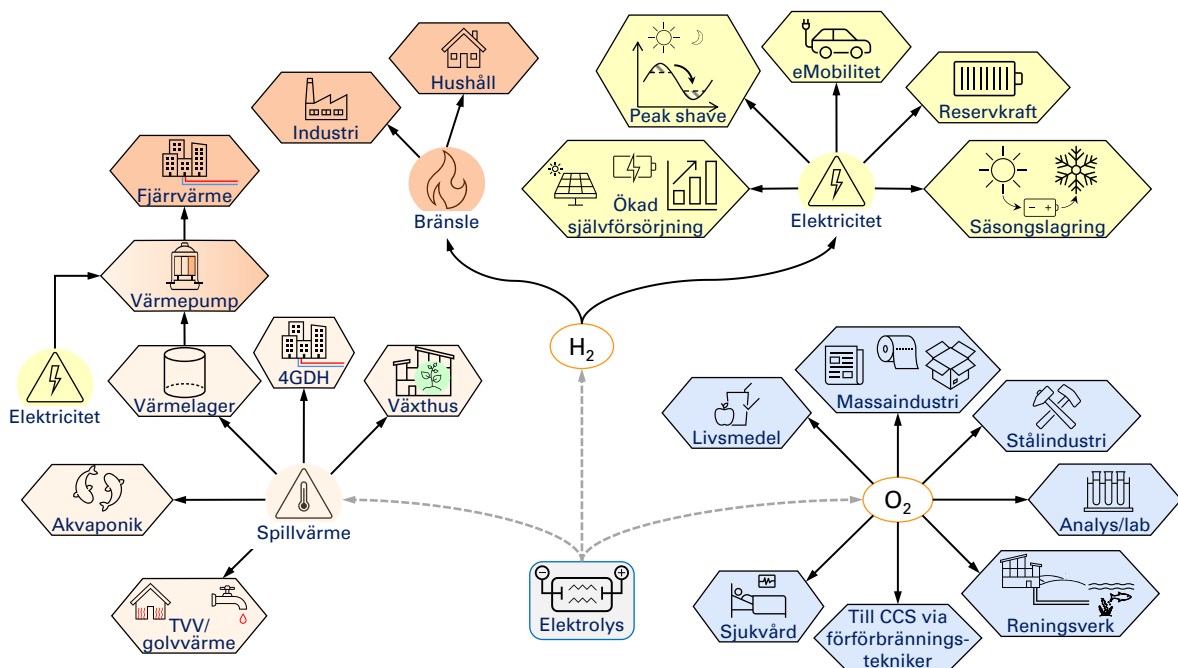
Värmen som produceras vid elektrolys kan tas tillvara antingen hos närliggande industrier i vätgasklustret som ofta är i behov av värme eller av kraftvärmeverk som kan skicka ut överskottsvärmen till fjärrvärmenätet. Som alltid vid all energiproduktion och framför allt för värme så uppstår förluster vid omvandling och transport. Många uttänkta projekt ser till att utnyttja spillvärme i



den mån som är möjligt då de oftast redan implementeras i närheten till en industri (Fossilfritt Sverige, 2021). En utmaning är att om spillvärmens ska användas till befintliga fjärrvärmesystem behöver den i flera fall uppgraderas med hjälp av värmepumpar till 80 – 90 °C. Stora mängder lågvärdig värme kan eventuellt behöva lagringsmöjlighet för uppgradering vid rätt tidpunkt. Det gäller dels då elpriset är fördelaktigt för drift av värmepumpar och dels då ett värmebehov finns i fjärrvärmesystemet. Låggradig värme kan användas i växthus samt direktanvändning i egna lokaler eller intilliggande industrier genom golvvärme. I framtida lågtempererade fjärrvärmesystem, så kallade fjärde generationens fjärrvärme, kan så låga temperaturer som 50 °C användas, vilket är ytterligare en annan avsättningsmöjlighet för spillvärmens. Dessa system kräver dock andra komponenter än dagens befintliga fjärrvärmesystem och förväntas etableras i mindre kretsar i anslutning till befintliga nät, där exempelvis utbyggnad av bostadsbeståndet sker (Lund, o.a., 2014).

I framtiden kan möjligen elbalansering vara av intresse som synergi, där effekttillgång skapas för ett framtida variabelt elsystem. Detta har en lång framtidshorisont och beskrivs mer i avsnittet Prognos.

Ett inflöde till vätgasproduktion, till skillnad från de restprodukter som nämnts ovan, skulle kunna komma från satsningar på biomassebaserad energibärare (till exempel etanol och bioolja) som kommer utvecklas i länet. Dessa kan ombildas till vätgas via metoder som idag redan är industristandard. Detta har för tillfället liten utbredning och beskrivs också mer i avsnittet Prognos.



Figur 5: Översiktlig presentation över användningsområden för vätgas samt sidoströmmar där syrgas och spillvärme från elektrolysen kan användas.

### 3.3.1 Liquid Wind som exempel för synergier

Detaljerad beskrivning av sidoströmmar finns i samrådsunderlaget för Liquid Winds anläggning i Örnsköldsvik och därför kan specifika strömmar redovisas nedan i Tabell 2 som nämner alla slut-, bi- och restprodukter in och ut i Liquid Winds regi för FlagshipONE (Rutgersson & Lindgren, 2021). Biprodukter från e-metanolproduktionen är som sagt främst syrgas och värme. Eftersom

kraftvärmeverket är en del i anläggningen tar denna tillvara på spillvärmen och använder den antingen i sin produktion eller distribuerar den till nätet. Värmeväxlare finns placerade i olika stadier av produktionen. Andra biprodukter som högre alkoholer från metanolproduktionen kan föras tillbaka till kraftvärmeverket som använder det som bränsle. Även gasformiga produkter som skapas vid komprimering av vätgas och koldioxid kan föras tillbaka som fjärrvärmebränsle. Från kraftvärmeverket kan metanolproduktionen hämta elkraft, processånga och kylvatten. De andra produkterna har inget specifikt värde, som t ex farligt avfall, utan adderar endast en kostnad för hantering (Rutgersson & Lindgren, 2021).

Tabell 2. Alla resurser som ingår i Liquid Winds anläggning, både in- och utflöde samt utbytet inom anläggningen, enligt Samrådsunderlag för FlagshipONE.

Inflöde till anläggningen	Utbyte mellan aktörer	Utflöde till kunder och annat
<b>Elektricitet från vind</b>	Vätgas	Metanol
<b>Rökgas</b>	Koldioxid	Koldioxid excess + retur rökgas
	Bränsle till kraftvärme, högre alkoholer (gas + flytande)	
<b>Processånga (vattenånga)</b>	Kondensat, vattenånga	Ångkondensat
<b>Kylvatten</b>		Fjärrvärme + spillvärme
<b>Annat spillvatten</b>		Processavlopp
<b>Havsvatten</b>		
<b>Avjoniserat vatten = totalavsaltat vatten</b>		Syrgas
<b>Solvent, aminförening</b>		Farlig avfall
<b>NaOH eller NaCO<sub>3</sub></b>	SO <sub>2</sub>	NaSO <sub>4</sub>

Som har exemplifierats ovan finns mest nytta att hämta i utbyte mellan de två samarbetande aktörerna, medan andra strömmar som måste transporteras till andra industrier eller områden troligen inte blir lönsamma att upprätthålla.

För det nya projektet i Korsta, FlagshipTWO, ska en investering till en ny ångpanna göras för att öka verkningsgraden ännu mer genom att ta tillvara på all ånga i processen. Det ska också ske ett utbyte av högvärdig värme mellan Sundsvall Energis anläggning och den nybyggda e-metanolfabriken liknande Öviks kraftvärmeverk (Montel, 2022).

## 4 VÄTGAS – EN MÖJLIGHET FÖR TILLVERKNINGSINDUSTRIN I VÄSTERNORRLAND?

*I en vätgasekonomi krävs det komponenter för utrustning och andra delar av anläggningen som framställer vätgas, men även för användning som bränsleceller och infrastruktur. Dessutom tillkommer service och underhåll. Även produkter för mjukvara och dylikt samt den kunskap som krävs för att driva produktionen är essentiella. I Västernorrlands län, som historiskt har varit producenter av tillgångar som el och biomassa, finns det ett syfte att vara en del även längre ner i värdekedjan för att dra nytta av ekonomiska fördelar som flera arbetstillfällen samt utökad industrietablering. För detta kan tillverkningsindustrin spela en viktig roll. För den nyare vätgasutvecklingen så finns ännu inga svenska företag som säljer kompletta elektrolysörsystem, men i Sverige och specifikt inom länet återfinns komponenttillverkare och återförsäljare.*

### 4.1 KOMPONENTER

#### 4.1.1 **Permascand**

Permascand tillverkar komponenter till elektroder som används i elektrolysörer för grön vätgasproduktion. De har även produktion av komponenter till system för energilagring, effektbalansering och industriella insatsvaror (Permascand). Som en av aktörerna i vätgasklustret i Ånge kommun kommer de direkt att dra nytta av en utökad vätgasekonomi, både som samarbetspartner i forskning och utveckling och för en möjlig ökad försäljning av sina komponenter. Det är dock oklart om de elektrolysörer som installeras i vätgassatsningarna i länet har just komponenter från Permascand, men möjligheten finns, speciellt när de är med i ett så aktivt samarbete.

#### 4.1.2 **Återförsäljare**

I produktion av e-metanol i Liquid Winds regi så ingår komponenter som produceras av Clean Carbon (solvent till CCS), Siemens Energy (elektrolysörer), Alfa Laval (värmeväxlare) och Haldor Topsoe (elektrobränsleproduktion) vilka är globala företag som inte har någon produktion i Västernorrlands län (Liquid Wind, u.d.). Däremot finns några återförsäljare som tillhandahåller produkter från dessa företag. Ifall deras försäljning kommer öka genom dessa satsningar, eller om större inköp kommer ske direkt till anläggningarna går inte att förutspå. Generellt sett så är det inte troligt att dessa återförsäljare i någon större mån påverkas. Däremot har både Siemens Energy och Alfa Laval lokalkontor i Sundsvall, vilka kanske kommer utöka sin arbetskraft kopplat till de nya vätgassatsningarna ifall ny kompetens krävs från deras sida för att matcha den större marknaden dessa två företag då kommer ha i länet. Denna information för Liquid Wind FlagshipONE är officiell via samrådsunderlag och därför finns inga uppgifter för andra projekt.

Två andra företag som tillverkar elektrolysörer och andra komponenter kopplat till en vätgasekonomi är Andritz och Bosch vilka båda har lokala kontor eller återförsäljningsställen i länet. Återigen är det oklart hur stor effekten blir på dessa två vid en utökad vätgasproduktion.

Det pågår forskning globalt kring användandet av aluminium dels som huvudkomponent vid vätgasproduktion (MIT, 2021), dels som elektrodmaterial i så kallade aluminium/luft-bränsleceller (Wei, o.a., 2021). Det är möjligt att en sådan utveckling skulle kunna gynna Kubikenborg Aluminium som i förlängningen kan komma att bli en viktig leverantör för framtida vätgasteknologier, dock endast i ett långt perspektiv. För närvarande finns ingen kännedom om sådana direkta planer.

## 5 VÄSTERNORRLANDS KOMPETENSBEHOV

*Vätgas har tidigare inte varit stort i Sverige och därmed finns det även ett begränsat utbud av kunskap i landet. Speciellt i Västernorrlands län finns det ett kompetensunderskott som troligen kommer vara ett hinder för att utnyttja de regionala fördelarna för vätgassatsningar till fullo. Kunskap behövs inom industrin, hos institut och universitet såväl som för beslutsfattande organ. Detta kompetensunderskott kan motverkas genom satsningar liknande dem som gjorts i andra regioner, där samverkan har skett mellan yrkesgymnasier och industrier för att utbilda eftertraktad arbetskraft.*

### 5.1 INDUSTRI OCH TJÄNSTESEKTOR

I Västernorrlands län har historiskt ingen specifik kunskap om vätgas funnits. Inte heller finns en sådan bas för tillfället. Många ansträngningar görs nu för att rekrytera sådan kunskap som att exempelvis investera i kompetenscentra och locka utländsk kunskap. Permascand och RES Renewables investerar i ett teknologi- och innovationscenter, vid sin produktion i Alby och kommer troligen vara ett nav av kunskap inom vätgas för länet inom några år, beroende på deras framgång i att locka till sig relevant arbetskraft (Champion, 2021).

Även konsultfirmor och advokatbyråer med särskild kunskap om vätgas har lokalkontor i Västernorrlands län. MAQS och FVB ingår i Vätgas Sverige som samlar aktörer med fokus på en långsiktig och balanserad användning av vätgas som energibärare (Vätgas Sverige, u.d.). Andra konsultfirmor med generell kunskap om energi är WSP, Afry och Sweco, vilka finns på flera orter i länet.

### 5.2 INSTITUT OCH UNIVERSITET

I Västernorrlands län finns Mittuniversitet som en möjlig akademisk källa till vätgaskunskap. Dock finns det på detta universitet inga pågående projekt om vätgas som energibärare. Detta finns däremot, i det angränsande länet, hos Umeå universitet som har en forskargrupp inriktad på nanomaterial för bland annat bränsleceller och håller kurser för studenter i förnyelsebara drivmedel (Umeå Universitet, a, u.d.) (Umeå Universitet, b, u.d.). Dessutom ingår Umeå universitet i ett forskningscenter som leds av Rise och heter Produktion, användning och lagring av vätgas (PUSH). Centret undersöker hela värdekedjan för ett vätgasbaserat energisystem (Söderbergh, 2020). Även om Umeå universitet inte ligger i länet så kan de verka som en bra kunskapsbas vid behov.

Förutom sitt eget center så deltar även Permascand i Swedish Hydrogen Development Center som samlar bland annat Boliden och Sandvik och drivs av RISE med en testbädd som har installerats i Luleå (Permascand, 2021). Rise bidrar också med ett mer övergripande perspektiv för vätgasanvändning i länet då de bygger en testbädd för bioraffinaderier i Örnsköldsvik (Rise, 2020).

I och med en grön energiomställning som påverkar Norrland starkt har en regional innovations- och exportplattform, North Sweden Cleantech, utvecklats som fokuserar på grön teknik, ren energi och hållbara lösningar i Västerbotten och Örnsköldsvik (North Sweden Cleantech, u.d.). Energikontoret Västernorrland som drivs av regionen finns även som en resurs och har pågående projektet Green, vilket är en förstudie för att hjälpa mindre företag att delta i en grön omställning och bör vara klar i november 2022 (Region Västernorrland, 2022). Region Västernorrland kan därmed bidra med en del kompetens genom att själva få djupare kunskaper om vätgas.

### 5.3 BESLUTFATTARE

Kompetensen är även viktig att överföra till beslutsfattare för att underlätta en omställning även på myndighetsnivå om vätgasens fördelar och risker. Även här saknas kunskap och erfarenhet vilket

krävs för bra och snabba beslut. Specifikt krävs samordning mellan olika beslutsfattande organ, både på lokal, regional och nationell nivå för att handläggning av ärenden kopplat till en vätgasekonomi ska kunna göras inom rimlig tid och med rätt kunskapsunderlag.

Från ett politiskt håll kan det krävas att satsningar görs på utbildningar som kan tillhandahålla kompetent arbetskraft till vätgasindustrin, som installatörer, drift- och underhållspersonal och tjänster för bränsleceller och tankning. I Västsverige har insatsen "Kompetensförsörjning" genomförts genom bland annat utökat utbud hos yrkeshögskolan och med praktiktjänster i kemiindustrin (Fossilfritt Sverige, 2021). En sådan satsning skulle också kunna vara av intresse för Region Västernorrland tillsammans med andra offentliga och privata aktörer.

## 6 VÄTGASENS ARBETSTILLFÄLLEN

*Som framgår av resonemangen ovan är det en mycket grannlaga uppgift att bedöma vätgasens framtida samhällsekonomiska betydelse, svårigheter som kan kopplas till alla de tekniska och kommersiella osäkerheter som kringgärdar ett "utvecklingsblock" som fortfarande till stora delar befinner sig i sin linda. Utifrån ett räkneexempel som presenteras nedan utvärderas olika industriers konkurrenskraft i en vätgasekonomi där pappers- och massaindustrin står i en klass för sig, så väl vad gäller bedömd internationell som regional konkurrenskraft vid en lyckosam övergång från fossil gas/kol/koks till grön vätgas i termer av sysselsättning, effekt på lönesumma och skatteintäkter. En enskild tydlig siffra på antal arbetstillfällen kan dock ej anges, utan beror på olika utfall i framtiden.*

### 6.1 EFFEKTER AV GRÖN VÄTGAS I INDUSTRIEN – ETT RÄKNEEXEMPEL

Som vi återkommer till nedan - i ett försök att beskriva vätgasens klimatnytta - kan man göra indikativa beräkningar med utgångspunkt i den näringslivsstruktur, de branschvisa beroendeförhållanden, den mix av insatsvaror, den produktionsteknik och den energianvändning som gäller idag.

Mer specifikt innebär detta angreppssätt att man identifierar vilka branscher som idag använder fossil energi som med relativ lätthet skulle kunna ersättas med grön vätgas. Vidare antar vi att denna fossila energi idag utgör en absolut restriktion för de aktuella branschernas produktion och att fortsatt verksamhet på sikt – när krav på total fossilfrihet råder – förutsätter att den fossila energin till fullo fasas ut och ersätts av vätgas eller annan grön energibärare.

De fossila energibärare det konkret handlar om är fossil gas samt kol och koks. År 2020 användes sammanlagt 437 GWh av dessa energivaror i Västernorrlands läns näringsliv, fördelat på följande sju branscher:

- 05-09 Gruvor och mineralutvinningsindustri
- 10-12 Livsmedels, dryckesvaru- och tobaksindustri
- 17 Pappers- och massaindustri
- 19 Tillverkning av stenkolsprodukter och raffinerade petroleumprodukter
- 20-21 Tillverkning av kemikalier och kemiska produkter
- 23 Jord- och stenvaruindustri
- 24 Stål- och metallverk

Givet att tillgången på grön vätgas är begränsad, vilket åtminstone på kort- till medellång sikt är en rimlig utgångspunkt, infinner sig frågan hur en rationell allokering av vätgasen mellan dessa branscher borde se ut. Vad som är rationellt är dock avhängigt vilket perspektiv man har: Det samhällsekonomiska eller det företagsekonomiska? Det globala, det nationella eller det regionala?

I det följande har vi dock valt att avgränsa oss till de samhällsekonomiska effekter som primärt kan kopplas till Västernorrlands län och perspektivet är snarare ett samhällsekonomiskt än ett företagsekonomiskt.

I ett första analyssteg har vi med ledning av nationell energianvändningsstatistik tillsammans med data från nationalräkenskaperna skapat oss en uppfattning om det förädlingsvärde, den lönesumma och den sysselsättning i respektive bransch som genereras av varje tillförd GWh fossil energi från kol, koks och fossil gas. Vidare antas att dessa samband är giltiga oavsett var i landet produktionen sker. Detta är givetvis en förenklat antagande, men ett nödvändigt sådant eftersom det tyvärr saknas data på regional nivå med samtidig fördelning på bransch och energivara.

Den direkta regionalekonomiska effekten per GWh kol, koks och fossil gas som ersätts med vätgas representeras av dessa nationellt härledda samband mellan tillförsel av fossil energivara och output (produktion, sysselsättning och löner). Till detta kommer de "ringar på vattnet" som kan kopplas till att verksamhet inom viss en sektor genererar efterfrågan på regionala insatsleveranser, så kallade indirekta effekter. Därutöver tillkommer inducerade effekter, det vill säga det genomslag i den regionala ekonomin som kan härledas till ökade hushållsinkomster och därmed ökad privat konsumtion.

En traditionell metod för att belysa en branschs samlade betydelse för den nationella ekonomin är att utgå från nationalräkenskapernas så kallade input/outputtabeller och där härleda varifrån företag i den aktuella branschen hämtar sina insatsleveranser. På så vis kan man beräkna indirekta effekter av branschens verksamhet, genom den efterfrågan som företagen/branschen genererar "uppströms". Beräkningarna resulterar i en så kallad så kallad öppen multiplikator, det vill säga ett mått som beskriver hur mycket ytterligare produktion och/eller sysselsättning som branschens efterfrågan på insatsleveranser skapar i andra delar av ekonomin. Med hjälp av input/outputtabellerna kan man även bedöma en branschs inducerade effekter och den multiplikator som beaktar såväl indirekta som inducerade effekter brukar kallas för stängd.

WSP har genom tillgången till en input/outputtabell som specifikt beskriver sambanden mellan ekonomins sektorer i Västernorrlands län kunnat beräkna regionala sysselsättnings- och produktionsmultiplikatorer, såväl öppna som stängda, för totalt 49 olika branscher i länet.

Med ledning av dessa regionala multiplikatorer kan vi illustrera den samlade regionalekonomiska effekten av att ersätta fossil gas samt kol och koks med grön vätgas. Resultatet av denna kalkyl redovisas i tabell 3, 4 och 5 nedan.

Som framgår av tabell 3 är det tre branscher som sticker ut markant vad avser effekt på förädlingsvärdet i den regionala ekonomin; livsmedelsindustrin, pappers- och massaindustrin samt kemisk industri. Den sistnämnda branschen utmärker sig dock särskilt, med ett beräknat samlat förädlingsvärde på 95 miljoner kr per tillförd GWh fossil gas/kol/koks.

Går vi sedan vidare och studerar sysselsättningseffekterna (tabell 4) kan vi notera att dessa tre branscher behåller sina tätpositioner, men det inbördes förhållandet dem mellan har förändrats något. Nu är det i stället livsmedelsindustrin som utmärker sig, vilket förklaras av att branschen är förhållandevis arbetsintensiv och dessutom har ett relativt stort beroende av insatsleveranser från andra arbetsintensiva delar av den regionala ekonomin (hög sysselsättningsmultiplikator). Det sistnämnda gäller även pappers- och massaindustrin, en bransch som i sig genererar lite sysselsättning i förhållande till produktionsvärdet, men som samtidigt har en mycket hög regional sysselsättningsmultiplikator.

Slutligen har vi tabell 5, i vilken bedömda de effekterna på regionens och de aktuella kommunernas skatteintäkter redovisas. Som framgår har effekten på skatteintäkterna, av lätt insedda skäl, en mycket nära koppling till sysselsättningseffekten. Vi kan dock notera att pappers- och massaindustrin, trots en något lägre sysselsättningseffekt, placerar sig jämsides med livsmedelsindustrin vad gäller effekten på skatteintäkterna. Detta förhållande förklaras av ett högre löneläge, såväl bland de direkt sysselsatta i pappers- och massaindustrin som de indirekt sysselsatta hos underleverantörerna.



Tabell 3: Förädlingsvärde, milj kr, i Västernorrlands län per tillförd GWh kol, koks och fossil gas

	Direkt	Indirekt	Inducerat	Totalt
<b>05-09 Gruvor och mineralutvinningsindustri</b>	28,4	10,0	0,9	39
<b>10-12 Livsmedels, dryckesvaru- och tobaksindustri</b>	46,2	31,4	3,3	81
<b>17 Pappers- och massaindustri</b>	43,8	35,4	2,7	82
<b>19 Tillverkning av stenkolsprodukter och raffinerade petroleumprodukter</b>	4,3	4,2	0,4	9
<b>20-21 Tillverkning av kemikalier och kemiska produkter</b>	65,1	26,9	2,5	95
<b>23 Jord- och stenvaruindustri</b>	8,7	2,7	0,3	12
<b>24 Stål- och metallverk</b>	3,8	1,8	0,2	6

Källa: WSP:s beräkningar, baserade på data från SCB/NR och Energimyndigheten/Industrins energianvändning

Tabell 4: Antal sysselsatta i Västernorrlands län per tillförd GWh kol, koks och fossil gas

	Direkt	Indirekt	Inducerat	Totalt
<b>05-09 Gruvor och mineralutvinningsindustri</b>	8,0	3,2	0,5	12
<b>10-12 Livsmedels, dryckesvaru- och tobaksindustri</b>	48,3	49,9	6,1	104
<b>17 Pappers- och massaindustri</b>	28,4	50,7	8,2	87
<b>19 Tillverkning av stenkolsprodukter och raffinerade petroleumprodukter</b>	2,1	6,2	0,7	9
<b>20-21 Tillverkning av kemikalier och kemiska produkter</b>	25,9	24,0	3,9	54
<b>23 Jord- och stenvaruindustri</b>	9,5	3,1	0,5	13
<b>24 Stål- och metallverk</b>	2,6	1,7	0,3	5

Källa: WSP:s beräkningar, baserade på data från SCB/NR och Energimyndigheten/Industrins energianvändning

Tabell 5: Kommunala skatteintäkter i Västernorrlands län per tillförd GWh kol, koks och fossil gas

	Direkt	Indirekt	Inducerat	Totalt
<b>05-09 Gruvor och mineralutvinningsindustri</b>	1,7	0,5	0,1	2,3
<b>10-12 Livsmedels, dryckesvaru- och tobaksindustri</b>	6,7	4,5	0,5	11,7
<b>17 Pappers- och massaindustri</b>	5,4	5,6	0,6	11,6
<b>19 Tillverkning av stenkolsprodukter och raffinerade petroleumprodukter</b>	0,4	0,6	0,1	1,1
<b>20-21 Tillverkning av kemikalier och kemiska produkter</b>	4,7	2,5	0,3	7,5
<b>23 Jord- och stenvaruindustri</b>	1,4	0,4	0,0	1,9
<b>24 Stål- och metallverk</b>	0,4	0,2	0,0	0,6

Källa: WSP:s beräkningar, baserade på data från SCB/NR och Energimyndigheten/Industrins energianvändning

Sammanfattningsvis kan vi alltså konstatera att det genomgående är tre branscher som utmärker sig vad gäller de möjliga regionalekonomiska effekterna av att skifta ut fossil gas samt kol och koks mot grön vätgas; livsmedelsindustrin, pappers- och massaindustrin samt kemisk industri. Ser man till de genuint regionala effekterna, det vill säga effekterna på sysselsättning och kommunala skatteintäkter, framstår dock de två förstnämnda som de allra mest intressanta avnämarna av regionalt producerad grön vätgas.



Det ska dock understrykas att denna slutsats vilar på ett antal kritiska antaganden som i allra högsta grad kan ifrågasättas, däribland annat att det på sikt - såväl av legala som kommersiella skäl - kommer vara omöjligt att använda fossila energivaror i produktionen, att den nuvarande tillförseln av fossil gas/kol/koks är fullt ut gränssättande för den möjliga produktionen i respektive bransch samt att grön vätgas genomgående är en möjlig ersättningsvara.

I praktiken är det ofta mycket komplext att avgöra hur kritisk en viss insatsleverans är för produktionen i en bransch. Hur påverkas exempelvis åkerinäringen om bristen på halvledare leder till totalt produktionsstopp hos världens tillverkare av tunga fordon? På lång sikt är förstås leveranser av nya lastbilar en fullständigt avgörande input, men vad händer på kort till medellång sikt? Svårbedömt.

Det är även svårt att bedöma i vilken utsträckning det går att ersätta en viss input med någon annan liknande produkt och hur lång tid denna omställning kan tänkas ta. Här kan det finnas såväl produktionstekniska, kommersiella som administrativa/juridiska hinder att övervinna. Om exempelvis leveranserna av vegetabiliskt framställd mjölk stryps till en tillverkare av vegansk glass och det substitut som står till buds är komjölk så måste företaget bland annat fundera på om produktionsprocessen överhuvudtaget är kompatibel med en ny mix av ingredienser, om det finns en möjlighet att slå sig in på marknaden för traditionellt framställd glass samt om man har de tillstånd som krävs för att hantera färska mjölkprodukter.

Vidare, som ett sista steg måste man även analysera vilka möjligheter det finns att vältra över de eventuellt ökade kostnader som är förknippade med att skifta ut en kritiskt insatsvara på slutkonsument. Om endast en mindre del av kostnadsökningen går att övervältra är det synonymt med minskad produktionsvolym och/eller minskade vinstmarginaler hos producenten. I värsta fall kan verksamheten behöva läggas ned helt.

Vad gäller möjligheterna att klara det sistnämnda, det vill säga att ha muskler nog att klara en på kort till medellång sikt kostsam omställning, är konkurrenskraften i utgångsläget sannolikt avgörande. En stark marknadsposition är i allmänhet förknippat med god finansiell redundans i företaget/branschen, samtidigt som möjligheterna att övervältra kostnadsökningar på slutkonsument är gynnsamma.

Mot den bakgrunden kan det vara intressant att avslutningsvis studera ett par indikatorer som återspeglar den grundläggande konkurrenskraften hos de sju branscher som analyserats i räkneexemplet ovan.

Vi studerar för det första en indikator på branschens internationella konkurrenskraft, närmare bestämt kvoten mellan å ena sidan total inhemsk produktion och å andra sidan total inhemsk förbrukning av branschens produkter. Om denna så kallade specialiseringskvot överstiger ett innebär det att Sverige är nettoexportör inom varugruppen/branschen. Ju högre värde specialiseringskvoten har, desto större är nettoexporten som andel av förbrukningen, och desto starkare kan den svenska industrins komparativa fördelar och därmed komparativa fördelar antas vara.

Att en viss bransch, för landet som helhet, tenderar att ha en hög internationell konkurrenskraft innebär dock inte per automatik att branschen genomgående, för alla produktionsenheter och i alla delar av landet, är konkurrenskraftig. Därför kompletteras indikatorn på internationell konkurrenskraft med ett mått som avser återspegla områdets, i detta fall Västernorrlands läns, komparativa fördelar inom de aktuella branscherna. Detta mått är tämligen simpelt och beräknas genom att studera hur andelen regionalt sysselsatta inom respektive bransch förhåller sig till andelen sysselsatta på nationell nivå inom branschen i fråga.

Som framgår av tabell 6 nedan står pappers- och massaindustrin i en klass för sig, så väl vad gäller bedömd internationell som regional konkurrenskraft. Som vi visat ovan förefaller branschen dessutom, vid sidan av livsmedelsindustrin, generera de största regionalekonomiska effekterna vid en lyckosam övergång från fossil gas/kol/koks till grön vätgas, detta i termer av sysselsättning, effekt på lönesumma och skatteintäkter.

Sammantaget, men utan djupare insikt i de mer exakta produktionstekniska och kommersiella förutsättningarna, framstår alltså pappers- och massaindustrin i Västernorrlands län som den kanske hetaste kandidaten att bli en betydande industriell avnämare av regionalt producerad vätgas. Utifrån detta behövs alltså tas hänsyn till att arbetstillfällena kan komma att försvinna vid förändring av industrier och att arbetstillfällena för vätgas bör kunna kompensera för detta. I vilken grad som specifika branscher och enskilda industrier kan bidra med arbetstillfällena går utanför omfattningen för dessa beräkningar.

Tabell 6: Internationell och regional konkurrenskraft inom industribranscher i Västernorrlands län som är potentiella vätgasanvändare

	Internationell	Regional
<b>05-09 Gruvor och mineralutvinningsindustri</b>	0,6	0,4
<b>10-12 Livsmedels, dryckesvaru- och tobaksindustri</b>	0,8	0,5
<b>17 Pappers- och massaindustri</b>	3,6	4,3
<b>19 Tillverkning av stenkolsprodukter och raffinerade petroleumprodukter</b>	1,3	0,8
<b>20-21 Tillverkning av kemikalier och kemiska produkter</b>	2,4	1,1
<b>23 Jord- och stenvaruindustri</b>	1,0	0,7
<b>24 Stål- och metallverk</b>	1,4	1,2

Källa: WSP:s beräkningar, baserade på data från SCB/NR och SCB/RAMS

## 7 FINANSIERINGSMÖJLIGHETER

*Genom att flera större organ har beslutat att satsningar på vätgas krävs så har flertalet finansieringsinitiativ startats för vätgas, antingen med specifik inriktning på vätgas eller genom en generell satsning på grön omställningen. På statlig nivå är Energimyndigheten involverad i flertalet finansieringar medan i Europa har EU implementerat olika fonder som kan vara intressanta för vätgasansökningar, där stora pengar går att hämta. Å andra sidan kan konkurrensen om dessa stöd vara hög i denna tid då många projekt ligger i pipelinen runt om i kontinenten.*

### 7.1 SVENSKBASERADE STÖD

Svenska myndigheter har utformat flertalet stöd för en grön omställning av industrin, med Energimyndigheten i spetsen. Exempelvis finns "Industriklivet" som ska finansiera forskning- och utvecklingsarbete för att minska koldioxidutsläppen i industriella processer. Stödet för 2022 kan gälla projekt fram till 2030 och har en budget på 909 miljoner. Det är en del av EU:s "The Recovery and Resilience Facility" som syftar till att underlätta en återstart efter covid-19 pandemin samtidigt som klimatpåverkan ska minskas. Ett annat program är "Lokala och regionala insatser för förnybar elproduktion" som, vilket sägs i titeln, stöttar utbyggnad av förnybar elproduktion, med fokus på hållbarhetsaspekten för utbyggnad, drift och återinvestering. Årligen ges 12,5 miljoner kronor i stöd. Utöver detta fanns stödet "Uppdrag Fossilfritt flyg 2045" som avslutades 2021 men Energimyndigheten har meddelat att de ska förlängas, dock möjligen i annan form.

En annan myndighet i Sverige är Naturvårdsverket som har stödet "Klimatklivet" som går att söka för företag, kommuner, regioner och organisationer, med finansiering upp till 50% för organisationer som inte är företag.

Utöver statlig finansiering finns även Riksgälden som ger neutral kredit på investeringar för förnybara teknologier med lån på över 500 miljoner kronor. Dessutom har Stiftelsen för Strategisk Forskning (SSF) get stöd på 700 miljoner kronor årligen för oberoende företag. Bland annat finansierades PUSH (RISE forskningscenter i samarbete med Umeå universitet) av SFF med 50 miljoner kronor.

### 7.2 EUROPABASERADE STÖD SAMT INTERNATIONELLA SAMARBETEN

EU som institution har stor möjlighet att dela ut finansiellt stöd genom en hel del olika program och projekt. Stöd inriktade endast på vätgas kan fås genom EU Clean Hydrogen Alliance vilket erbjuder en plattform för samarbete inom hela värdekedjan. Nyligen etablerades Clean Hydrogen Joint Undertaking som ska bidra med forskningsmedel vilka uppfyller EU:s "Green Deal".

När det gäller specifik inriktning på minskad klimatpåverkan från energibranschen, där vätgas ingår, finns "Horizon Europe" som kan stödja hela värdekedjan för vätgas (total budget €95,5 miljarder för 2021-2027), "Innovation Fund" som stödjer etablering av kommersiella projekt för nya teknologier (total budget €20 miljarder för 2020-2030 med upp till 60% finansiering av projektkostnad), "InvestEU" som är en samling av fonder för bland annat hållbar infrastruktur med finansiering av små och medelstora företag (totalt €372 miljarder i statliga och privata investeringar), "ERDF" som är en fond med stöd och lån (totalt €313 miljarder, varav 30% till specifikt för projekt till en klimatneutral ekonomi), "LIFE" för nya teknologier som riktas mot att uppfylla EU:s miljö- och klimatmål (total budget av €5,43 miljarder för 2021-2027, där maximalt €10 miljarder kan fås per projekt) samt "InnovFin" vilket ger lån för olika projekt med energiomvandling, CCS, cirkulär ekonomi med mera (€7,7-75 miljoner per

projekt, dock endast fram till årsslut 2022). Det finns även fler möjliga stöd än de ovan uppräknade inom EU.

Utöver dessa stöd kan projekt klassas som "Important Projects of Common European Interest" (IPCEI) vilket gör dem berättigade till vidare stöd. Medlen kommer från medlemsstaterna själva och regeringen har föreslagit att 200 miljoner kronor ges i stöd under 2022 och sedan ges 70 miljoner kronor per år fram till 2027.

Samarbete mellan länder i Europa främjas med nya initiativet React-EU vilket kommer finansiera stöd för omställning till en grön ekonomi för 2021–2027. För infrastruktur har utmaningar identifierats för vissa gränsområden, för vilket "Connecting Europe Facility" (CEF) vill utveckla demo-projekt för att överbrygga flaskhalsar. Här skulle aktörer i Västernorrlands län som del av gasledningen mellan Sverige och Finland, kunna söka stöd, samt möjligen för export av flytande bränsle till länder i Östersjöområdet. "Fonden för ett sammanlänkat Europa" har liknande mål och vill bygga ut nät mellan länder, bland annat energinätet där vätgastransport kan ingå.

Utöver stöd från EU finns IEA Hydrogen som är en del av internationella energirådet och verkar för samarbetare mellan företag, stater och organisationer med forskning och pilotprojekt. International Hydrogen Council samlar företag med höga ambitioner för vätgasekonomier. Även Internationella byrån för förnybar energi (Irena) skapar möjligheter för erfarenhetsutbyte.

## 8 VÄSTERNORRLANDS STRATEGISKA UTVECKLINGSOMRÅDEN

*Vätgas har potential att bli en stor del av energisystemet, både i Sverige och globalt. Men utöver de tekniska aspekterna har även sociala och ekonomiska aspekter så som regleringar, finansiella investeringar och konsumentkrav på fossilfria produkter inverkan på utvecklingen. Elpriset och energimarknaden har en betydande roll i implementeringsgraden av vätgas, då den stora kostnaden för att producera vätgas beror på tillgången på el. Kostnadsmässigt påverkas även kommande reglering för att släppa ut koldioxid den framtida vätgasekonomin. Osäkra tider kring elproduktion och förväntad användning gör att prognoser för 2030 och 2050 kan variera beroende på antagna scenarier. Initialt finns definitivt en potential hos aktörer i Västernorrlands län att bli en betydande vätgasproducent då länet ligger i ett av de områdena med störst elproduktion av fossilfri el i Europa. Detta innebär även att det finns en möjlighet att hålla kvar de tidigare korta värdekedjor som var starkt skogsberoende i länet så att de nu förlängs i vätgaskedjan med nya industrier för restströmmar och elektrobränsleproduktion.*

### 8.1 PRODUKTION

De utannonserade projekten i området visar på vad länet har att erbjuda. Alla projekt beror starkt på överskott av fossilfri el, vilket planeras komma enbart från vindkraftverk enligt de projekt som för närvarande har presenteras. Som nämnt ovan beror det på den historiska överskottsproduktionen av vindkraftsel i länet, vilket räknas som grön el. Däremot i ett längre perspektiv kan det bli utmaningar att få elen att räcka till – att det ska finnas kapacitet för produktion – till alla etablerade industrier i norr (se nästa kapitel för längre diskussion kring detta). Dock finns det tillgängliga områden, både för ny anlagd vindkraft men även industriområden som kan expanderas inom Västernorrlands län. Även att ha erfarenhet av tidigare industrier har angetts som fördel för kommande satsningar i länet.

För att lyckas med nya vätgassatsningar krävs det inte bara tillgänglig teknik utan även strukturella förutsättningar som bland annat att:

- **elsystemet är utbyggt och klarar nya behoven;**

Kriterium är för närvarande uppfyllt i Västernorrlands län, med en historiskt bra tillgång till el. I framtiden dock bör detta kriterium undersökas. Även om det i länet finns mycket vindkraft som tidigare har varit en stor del i att elprisområdet har haft relativt sett låga priser tack vare elöverskott. I framtiden kan denna "sanning" förändras, men det utreds mer i prognosen i kapitel 10.

- **en vätgasinfrastruktur är utvecklad för produktion, distribution och användning;**

Kriterium till viss del uppfyllt i Västernorrlands län. Vätgasinfrastrukturen är väldigt utvecklad i Sverige och har historiskt sett inte varit utbredd i någon större grad. Ett fåtal industrier använder stora mängder vätgas, integrerat i sin egen verksamhet, vilket beskrivs lite längre ner i avsnittet om användning. Vätgas har även tekniska utmaningar i form av lagring och transport och därför så antas det i Sverige vara effektivast, i alla fall till en början innan annan vätgasinfrastruktur har implementerats, att bilda vätgaskluster. Länet har förutsättningar för sådana kluster som redan har identifierats av industrin.

- **tillhörande reglering finns på plats och hänvisar industrins aktörer rätt;**

Kriterium ej uppfyllt nationellt då det saknas erfarenhet. Det finns ännu ingen lagstiftning som specifikt riktar sig till lagring och distribution av vätgas, vilket ger hinder för utveckling. Statlig inblandning i vätgas i Sverige har även varit relativt senfärdig. Här kan inte regionen styra i så stor utsträckning förutom att verka för en genomgång av lagstiftningen nationellt.

- **tillräcklig finansiering för relevanta investeringar samt**

Kriterium till viss del uppfyllt i Västernorrlands län. Finansieringen har inte heller varit på plats, men med större incitament gällande klimat och miljö från alla håll så initieras nu flera större projekt för vätgasproduktion i Sverige. Stöd kan även sökas både nationellt och inom EU, men där kan det finnas hög konkurrens för medlen. Samordning hos regionen kan underlätta för finansiering.

- **forskning och utveckling för att kontinuerligt förbättra processerna och lönsamheten.**

Kriterium till viss del uppfyllt i Västernorrlands län. Det är endast på senare år som universitet tillsammans med olika institut och industriella aktörer har skapat förutsättningar för att studera vätgas i en större skala, med bland annat olika kompetenscentra som också är på gång i länet.

## 8.2 ANVÄNDNING

EU pekar på tre faser för implementering av vätgas i energisystemet, där den initiala fasen siktar på att minska utsläpp i den befintliga vätgasindustrin, medan den andra fasen utökar produktionen av vätgas och den tredje använder vätgas i alla sektorer som tidigare använt fossila bränslen. Tidshorisonten är fram till 2050, men med start nu för den första fasen och den andra fasen påbörjas redan 2025. För Västernorrlands län, som inte har någon nuvarande produktion av vätgas, är det snarast den andra och tredje fasen som är av intresse och därmed kan länet få ett försprång inom vätgasmarknaden i EU (Europeiska Kommissionen, 2020).

Vätgasen har tidigare i Sverige haft användningsområden inom raffinaderier och kemiindustrin samt minimalt bidrag i transport, metallurgi och kärnkraft. Däremot, i en fossilfri framtid, kan vätgas finna nya och större användningsområden. Till exempel kan vätgas användas som

- Insatsråvara biodrivmedel, elektrobränslen och kemikalier
- Insatsråvara, reduktionsmedel och bränsle i stålproduktion
- Insatsråvara metallpulvertillverkning
- Reduktionsmedel i smältverk
- Drivmedel, direkt eller derivat, i tung trafik, tåg, flyg- och sjöfart (inrikes)
- Insatsråvara mineralgödsel samt drivmedel i jordbruksfordon
- Uppfylla säkerhetskrav i bland annat decentraliserad vätgasproduktion.

Alltså finns användningsområden i sektorerna jordbruk/livsmedel, energi (gas, el, värme), industri (kemi, raffinaderi, stål, järn med mera) samt transport. Vid en analys av de planerade vätgasprojekten i Sverige går det att fastställa att i den närmsta framtiden kommer vätgas främst att troligen att användas i

- Transport: direktanvändning eller som insatsvara i drivmedel av derivat
- Kemi- och raffinaderisektorerna: för slutanvändning
- Stål- och järnindustri: för bränsle, reduktionsmedel eller insatsråvara.

Av dessa tre inriktningar är produktion av drivmedel och som insatsvara i kemiindustrin bäst lämpat för Västernorrlands län utefter dess förutsättningar och historia. Först ut av alla projekt är flytande bränsle för sjöfarten. Stål- och järnindustrin finns inte utvecklad i länet och ser inte ut att vara ett användningsområde för vätgasen som produceras här.

## 9 VÄTGASENS REGIONALA KLIMATNYTTA

*Grön vätgas är attraktiv för framtida investeringar just för att den siktar mot att vara en del i den gröna omställningen. Därför behöver ett resonemang föras kring dess klimatnytta inom länet där utsläppen framför allt minskas då fossila bränslen kan ersättas i viss produktion, både för användning direkt inom länet men även med förädling för användning i flyg- och sjötrafik. Vid räkneexempel visas att naturgas kan ersättas, vilket kräver en viss mängd vindkraftsel som insättning. Även ett resonemang kring miljönyttan både regionalt och globalt är av intresse där resurser bör användas effektivt och undvika utsläpp av miljö- och hälsofarliga kemikalier.*

Syftet med att implementera en vätgasekonomi i världen i stort och i Västernorrlands län specifikt är att bidra till en omställning som inte ökar den globala uppvärmningen. Det vill säga, ett system som inte har nettoutsläpp av koldioxid. I ett globalt och långsiktigt perspektiv är det billigare att minimera koldioxidutsläppen än att hantera de effekter som uppstår vid ett varmare klimat. Användningen av vätgas som producerats med gröna metoder släpper inte ut fossilt kol i form av koldioxid vilket gör vätgas till ett verktyg för att nå klimatmålen.

Men det är inte så enkelt. Miljö- och klimataspekter finns i hela systemet, från produktion av elektrolysörerna till konkurrens om elanvändningen. Eftersom vätgas historiskt inte varit aktuellt som en betydande andel i ett energisystem, finns det få undersökningar av vätgasens totala påverkan. Särskilt har den gröna vätgasen inte implementerats någonstans i världen i stor skala ännu och livscykelperspektivet (för bland annat toxicitet, materialanvändning, elförbrukning) är knappt utrett (Energimyndigheten, 2021).

### 9.1 UTSLÄPP VID PRODUKTION

Den naturliga följderna av att byta fossila bränslen till gröna alternativ, exempelvis vätgas producerat av el från vindkraft, är att de direkta utsläppen av koldioxid minskas. Sådana beräkningar kan göras relativt enkelt, genom att förutspå hur mycket vätgas som kommer produceras, beräkna hur mycket fossila bränslen som ersätts och därmed det minskade utsläppen hos användarna. Till exempel har Liquid Wind beräknat att koldioxidutsläppen kommer minska med 100 000 ton per år vid produktion av 50 000 ton e-metanol per år för produktionen i Örnsköldsvik (Uniper Sverige, u.d.). För produktionen i Sundsvall i Korstaverket ska 240 000 ton koldioxid fångas in per år och 100 000 ton e-metanol ska produceras av den fossilfria andelen (Sundsvall Energi). Minskningen är ett resultat av att koldioxiden som fångas in från fjärrvärmeverket kan ge upphov till en runda till med de biogena kolatomerna innan de släpps ut i atmosfären. Här får dock försiktighet antas för att inte dubbelräkna minskning av koldioxidutsläppen (Europeiska Kommissionen, 2020). Alltså, en del koldioxid produceras vid förbränning av biomassa, där i teorin hela delen fångas in och görs om till en lika stor del e-metanol som sedan omvandlas till koldioxid vid nästa förbränningscykel. Det betyder dock inte att fjärrvärmeverket har gjort av med sina koldioxidutsläpp samtidigt som att ett klimatneutralt fartygsbränsle har producerats. En andel koldioxid har i slutändan ändå släppts ut till luften. Om biomassa användes vid första förbränningen har inga fossila utsläpp skett, men likväl har koldioxid avgetts som förstärker växthuseffekten i atmosfären. Själva nyttan uppstår i att de två processerna förutsätter varandra och därmed kan det kolbaserade bränslet utnyttjas för att ge energi till flera användningsomgångar.

Vätgas är en lättflyktig gas vilket gör att det finns större risker än med annan gas att den släpps ut. Det kräver förstärkning av befintligt naturgasnät eller, som i de flesta fall i Sverige, transport på väg. Det ökar trafiken och bullret, men i vilken utsträckning beror på vilken typ av fordon som framför transporten av vätgasen. Utsläpp av vätgas bidrar till global uppvärmning, eftersom den reagerar med



syre i luften och ökar mängden vattenånga, vilket är en växthusgas. Vidare reagerar vätgasen med radikaler som annars hade brutit ner andra växthusgaser i luften, exempelvis metan. I jämförelse med klimateffekterna från fossila bränslen är dessa effekter dock försumbara (Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2022).

Kort kan nämnas positiva miljöeffekter från vätgasanvändning i jämförelse med fossila bränslen utöver större klimatnyttor. Fossila bränslen har en hel del förbränningsprodukter som kan bidra till negativa miljöeffekter. Både SO<sub>x</sub> och NO<sub>x</sub>, alltså svavel- och kväveföreningar, bidrar till försurning av sjöar som då påverkar ekosystemen med följd effekter av bland annat döda fiskar. Dessutom bildas vid förbränning små partiklar som kan vara skadliga i luftvägar (Fossilfritt Sverige, 2021). Direkt ersättning av bland annat bränsleolja, koks, eller kol med vätgas kommer alltså resultera i att luftföroreningar minskar i den lokala omgivningen, vilket ger en lokal positiv hälsoeffekt i länet för de fall då vätgas används inom länets industriverksamheter.

Fyra beskrivande räkneexempel av klimatnyttor, specifikt för koldioxidutsläpp och elanvändning, ges här. Dessa jämförs sedan i tabell 7 för att tydliggöra potential i klimateffekt och graden av energieffektivt utnyttjande av resursen grön el (direktleverans av överskottsel från vindkraftpark). Eftersom placeringen av vätgasanläggningarna till största del, om inte enbart, har gjorts i länet på grund av dess överskott av just vindkraftsel, så är det relevant att jämföra mot vindkraftsproduktion.

### **9.1.1 Räkneexempel Gasol/naturgas**

År 2020 användes totalt gasol och naturgas motsvarande 233 GWh i Västernorrlands län (Statistiska Centralbyrån, b, 2022). Det finns inte statistik om fördelningen mellan dessa. Baserat på värden från Naturvårdsverket om genomsnittliga utsläppsvärden för dessa ämnen framgår det att om fördelningen antas vara hälften/hälften av gasol och naturgas ger detta upphov till ett årligt utsläpp av cirka 50 600 ton koldioxidekvivalenter, CO<sub>2</sub>-ekv, (alternativt 100% gasol = 54 600 ton eller 100% naturgas = 46 600 ton CO<sub>2</sub>-ekv). Ersätts dessa två insatsvaror med grön vätgas skapas alltså en regional klimatnytta av runt 50 000 ton undvikna koldioxidekvivalenter per år. För produktion av denna gröna vätgas via elektrolys skulle det förbrukas cirka 350 GWh el vilket motsvarar ungefär en knapp tiondel (9%) av länets totala elproduktion från den befintliga vindkraftsproduktionen idag på 3 794 GWh (Statistiska Centralbyrån, b, 2022). Antas en vätgasproduktion baserad på biomassa med infångning av koldioxiden, bioCCS, skulle detta kunna innebära negativa utsläpp, alltså en kolsänka som skulle bidra till minskad koldioxidhalt i atmosfären med upp mot 111 500 ton per år<sup>1</sup>, men sådan inlagring är dock inte nära att installeras de närmsta åren i länet. Detta skulle kräva omfördelning av cirka 5,5% av den idag använda bioenergin (skogsrester och avlutar) från processer som kan tillgodogöras på annat sätt. Applicering av bioCCS skulle dock även kräva elkonsumention (cirka 40 GWh) samt bränsle till värmeprocessen (cirka 12 GWh motsvarande 0,5% av länets totala fjärrvärmeleveranser), men detta är avhängigt val av teknik. Dessa värden finns presenterade i figur 6, där eVäte hänvisar till grön vätgasproduktion från elektrolys genom vindkraftsel och bioVäte syftar till bioCSS-metoden beskriven ovan.

### **9.1.2 Räkneexempel Koks och kol**

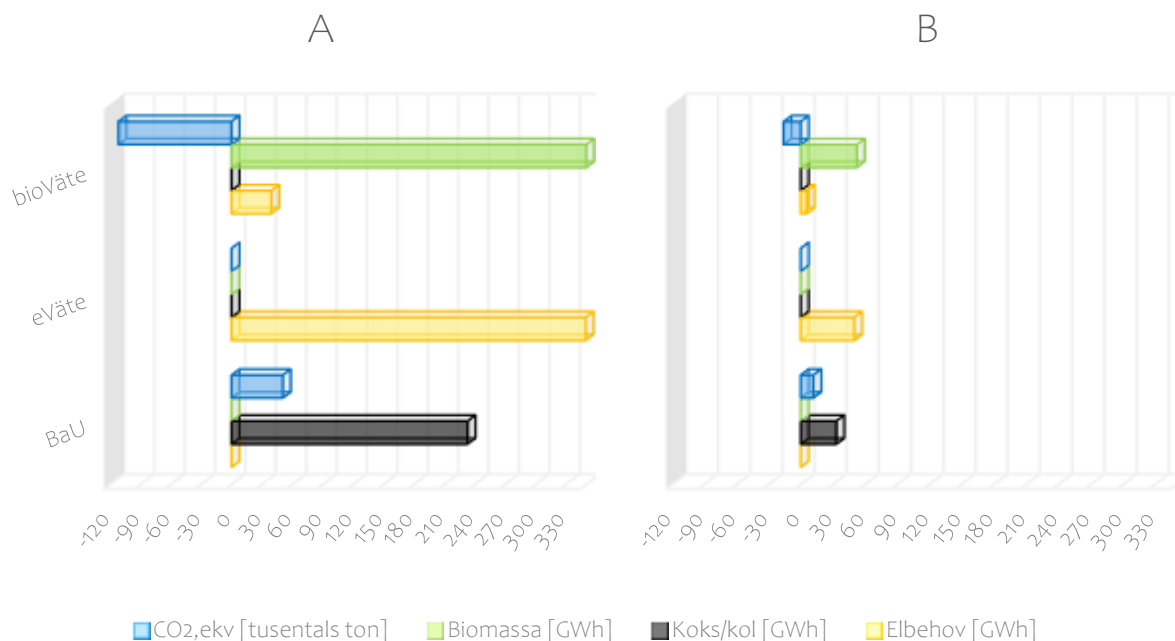
Motsvarande räkneexempel för om koks- och kolförbrukningen i länet skulle bytas ut till vätgas skulle se ut som följer. Den totala förbrukningen av koks och kol i länet uppgick till 33,26 GWh under 2020 (Statistiska Centralbyrån, b, 2022). Med antagande att fördelningen mellan dessa är hälften skulle ersättandet av dessa med grön vätgas innebära ett undvikta koldioxidutsläpp på cirka 11 800 ton/år. Mängden el för att framställa denna vätgas via elektrolys skulle behöva vara cirka 1,5% av den befintliga årliga vindkraftsproduktionen i länet (49,9 GWh el). Om i stället en biomassebaserad

---

<sup>1</sup> Baserat på beräkningar från IEAs rapport Hydrogen from biomass gasification (Binder M., 2018) och tekniken Dual Fluidized Bed reactor beskriven däri samt utsläppsdata från Naturvårdsverket (Naturvårdsverket, Emissionsfaktorer och värmevärden submission 2022, 2021) och data om biomassaresurser (Börjesson, 2021).



vätgasproduktion antas användas med infångning av koldioxid skulle det kunna bidra med en kolsänka på knappt 16 000 ton CO<sub>2</sub>-ekv per år. Detta skulle innebära ett bränslebehov motsvarande <1% av de befintliga skogsbruksresterna i Västernorrlands län samt en ökad elkonsumtion för anläggningen på 5,6 GWh. Resultaten visas i delfigur B i figur 6 med samma jämförelsevärden som för delfigur A.



Figur 6: Delfigur A visar utfall för räkneexemplet med utbyte av gasol/naturgas till vätgas och delfigur B visar dito för kol och koks. BaU (Business as Usual) visar använd mängd fossil energi i respektive fall samt utsläpp av CO<sub>2</sub>,ekv. eVäte visar behövd mängd el för vätgasproduktion via elektrolys och bioVäte visar behövd energimängd biomassa och el för vätgasproduktion samt potentiell kolsänka genom bioCCS. Koks/kol motsvarar mängd använt fossilt bränsle för respektive fall, alltså naturgas/gasol för delfigur A.

### 9.1.3 Räkneexempel Mineralgödsel

Enligt SCB konsumerades 1 500 ton mineralgödsel i länet (1 100 ton kväve, 100 ton fosfor, 100 ton kalium, 200 ton svavel) under det brutna året 2020/2021 (Statistiska Centralbyrån, a, 2022). Baserat på antaganden om att mellan 60 – 70% av produktionen använder sig av bästa tillgängliga teknologi orsakar produktionen av detta gödsel mellan 7 500 – 8 600 ton CO<sub>2</sub>-ekv per år (Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2019). Mineralgödsel är i sig ett samlingsnamn för näringsämnen kväve, fosfor, och kalium (N, P, K). Dessa kan framställas via elektrifierad utsläppsfria metoder, "e-konstgödsel", där tidigare nämnda Cinis Fertilizer kan komma producera kaliumsulfat (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Baserat på uppgifter från deras hemsida skulle produktion av länets behov av kaliumbaserat svavelhaltigt e-konstgödsel motsvara en elkonsumtion av cirka 0,1 GWh (Cinis Fertilizer, 2022). Antas att liknande verksamhet etableras som producerar kvävebaserat e-konstgödsel baserat på Haber-Bosch metoden som motsvarar länets årliga konsumtion av kvävebaserat mineralgödsel på 1 100 ton, ger det ett elbehov på knappt 8 GWh (Valera-Medina & Banares-Alcantara, 2021). Slutligen om det antas att en nyetablering sker som producerar fosforbaserat e-konstgödsel motsvarande länets årskonsumtion av fosforgödsel på 100 ton utvunnet från apatitsand köpt från LKAB's deponi i Kiruna skulle det ge ett elbehov av cirka 8,2 GWh (von Bahr, 2016). Totalt sett handlar detta inte om stora mängder lokala CO<sub>2</sub>-utsläpp, men specifikt e-fosfor och e-kväve är relativt effektiva insatser (sett till antal GWh behövd energi per antal tusen ton undviken CO<sub>2</sub>) dessutom med potential att kunna leverera produktion till andra delar av landet (se tabell 7).

### 9.1.4 Räkneexempel Transportsektorn (väg)

Enligt SCB konsumerades totalt knappt 2 TWh fossilt drivmedel i transportsektorn under 2020 i länet (Statistiska Centralbyrån, b, 2022). CO<sub>2</sub>-utsläppen för detta motsvarar ungefär 439 tusen ton CO<sub>2,ekv</sub>, baserat på antagandet att förbrukningen var fördelat på hälften mellan bensin och diesel och genomsnittliga utsläppsvärden. Detta är en hög utsläppskälla och rimligen bör den ha hög prioritet bland utsläppsreducerande åtgärder. Med hjälp av värmevärden för drivmedel (bensin respektive diesel) samt genomsnittliga värden för bränsleförbrukning kan det fossila drivmedlet räknas om till energibehov för elektrisk drift (Agora Verkehrswende, 2019). Om alla bilar skulle antas förses med vätgasdrift via bränsleceller skulle detta leda till behov av lite drygt 32 200 ton vätgas årligen (med antagande om 60% verkningsgrad i bränslecell). Tillverkningen av denna vätgas via elektrolys kräver då drygt 1 600 GWh el vilket motsvarar cirka 42% av länets elproduktion från vindkraften under 2020. Produceras vätgasen via gasifiering av biomassa krävs cirka 18% av tillgängliga skogsbruksrester vilket även möjliggör en framtida koldioxidinlagring med en potentiell kolsänka på 300 tusen ton CO<sub>2</sub> årligen. CCS-processen kommer med ett ytterligare energibehov av drygt 100 GWh el per år. Slutligen kan konstateras att det klimateffektivaste alternativet här vore batteridrift av vägtransporter då detta energimässigt sett kostar minst per tusen ton undvikit CO<sub>2</sub> (se tabell 7).

Tabell 7: Jämförelse av potentiella undvikna CO<sub>2</sub>-utsläpp samt klimateffektiviteten mellan de olika räkneexemplen.

		CO <sub>2,ekv</sub> [tusen ton]		Energibehov [GWh]		Klimateffektivitet [GWh / kton CO <sub>2</sub> ]
		Undvikna utsläpp	Möjlig kolsänka	El	Biomassa	
<b>Gasol / naturgas</b>	eVäte	51		350		6,9
	bioVäte	51	-111	39	366	2,5
<b>Koks / Kol</b>	eVäte	12		50		4,2
	bioVäte	12	-16	6	52	2,1
<b>Mineral- gödsel</b>	e-ammoniak			8		1,3 <sup>2</sup>
	e-fosfor	8,1		0,1		0,2 <sup>2</sup>
	e-laliumsulfat			0,1		6,1 <sup>2</sup>
<b>Transport- sektor (väg)</b>	eVäte	439		1 611		3,7
	bioVäte	439	-309	109	1 084	1,6
	batteri	439		645		1,5

### 9.1.5 Jämförelse räkneexempel

Räkneexemplen här ovan är att betrakta som estimeringar över potentialer för vätgas i den gröna omställningen i Västernorrlands län. För exakta strategiska planer krävs detaljerade beräkningar. Generellt kan konstateras att vätgasproduktion via elektrolys är energikrävande. En produktionsväg baserad på gasifiering av restprodukter från skogs-, jord-, och/eller livsmedelsindustrin är även den energikrävande, men har potential till CCS vilket möjliggör en högeffektiv klimatåtgärd som kolsänka. Utan CCS blir biomassebaserad vätgasproduktion likvärdig med eller mer energikrävande per undviket CO<sub>2</sub> jämfört med elektrolys. Nedan följer korta reflektioner gällande de olika räkneexemplen.

<sup>2</sup> Beäknad som andel av totala utsläppen från produktion av mineralgödsel.

- Transportsektorn: Batteridrift är det mest energieffektiva valet sett till mängd energi per undviket CO<sub>2</sub>. Vätgas som energibärare bör koncentreras till fordonsgupper med behov av stor energimängd på grund av tungt arbete eller långt till laddinfrastrukturer. Bränsleceller har begränsningar när det kommer till variabel last och behöver kompletteras med batterier för att hantera stora strömrusningar som vid start eller plötsligt ökad arbetsbelastning. Det gör att bränsleceller inte helt kan ersätta batterier utan måste kompletteras med batterier för optimal drift.
- Mineralgödsel: Här finns potential för utkomst för länet via energieffektiv användning av grön el och/eller grön vätgas. Övergången ger små regionala klimatnyttor, men kan bidra nationellt och även globalt beroende på storleken på produktionen. Cinis planerade produktion överstiger exempelvis det svenska årliga behovet med en faktor tio.
- Koks/Kol: Alternativ bör evalueras beroende på användningsområde. Om biomassa kan ersätta kol bör det premieras framför eVäte. Används koks/kol som insatsvara i produktion är ersättning av dessa med vätgas en motiverad åtgärd.
- Gasol/Naturgas: Om gasolen/naturgasen används i en förbränningsprocess är en möjlighet att ersätta den med så kallad syngas (även kallad produktionsgas). Detta är den oförädlade gasen från gasifiering innan rening till vätgas. Förbränning av sådan gas ger utsläpp av biogent kol, exempelvis Vaskiluodon Voima's kraftvärmeverk i Wasa, Finland (Valmet, 2022). Ingår gasolen/naturgasen som en insatsvara i en produktionsprocess är det mer motiverat med ren vätgas. Om den övergripande ambitionen är fullständigt kolfria utsläpp skall ren vätgas väljas.

## 9.2 RESURSÅTGÅNG

Utöver direkt klimatnytta kommer även miljöfrågor som rör resurstillgång att spela roll för regional nytta. För att splitta vatten krävs också en stor del el eftersom vatten är mer stabilt än syrgas och vätgas för sig. För produktion av ett kilo vätgas behövs i storleksordningen 50 kWh el beroende på verkningsgrad hos elektrolysören (Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2022). Då el i framtiden kan vara en bristvara, även i Västernorrlands län, så bör en översyn ske för att undersöka var den elen gör bäst nytta, vilket nämdes tidigare i räkneexemplen. Tidigare har nämnts att direktelektrifiering med batterier har en större verkningsgrad och bör vara förstahandsvalet, men vätgas kan vara ett alternativ för industrier och tung trafik. Den enklaste energinyttan görs såklart med energibesparingsåtgärder och prioriteringar kring nödvändig produktion, men det antas vara utrett sedan tidigare.

Förutom el så krävs också nio liter vatten per kilo vätgas. Vattnet måste vara rent, vilket är en process som i sig kräver energi. Dessutom behöver det tas ifrån sötvattenreservoarer för att inte kräva ännu mer energi till avsaltningsprocesser (Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2022). För tillfället är det ingen risk att det påverkar andra områden som kräver vatten, men vid ett varmare klimat och större risk för torka, även i norra Sverige, kan det i framtiden krävas prioriteringar. I produktionsanläggningar inom fjärrvärmesystem i länet som har rökgaskondensering kan kondensatet användas som insatsråvara. Beroende på bränsle kan olika typer av filtrering behöva göras för att få bort oönskade ämnen. Det finns god marknadstillgång på jonbytare, filterkolonner, och aktiva kolfilter som är framtagna för detta ändamål. Nyttjas kondensatet kan det bli en sänkning av kostnad för produktionen av vätgas beroende på prisnivå för reningen.

Vid produktion av vätgas krävs inte bara insatsvarorna el och vatten, utan även tekniken vilket för grön vätgas är elektrolysörer. För att katalysera reaktionerna, alltså kunna omvandla vatten till syrgas och vätgas med hjälp av elektricitet, behövs katalytiska ytor. Beroende på val av teknik består dessa av olika metaller. En del använder grundämnena iridium och platina, vilka bägge tillhör de mest sällsynta metallerna, medan andra använder nickel, zirkonium, lantan, och yttrium (Kristensson, Sju mineral blir kritiska för vätgasboomen, 2021). Alla dessa kan bli svåra att få tag på av geopolitiska skäl men också resursmässigt. Exempelvis för iridium sker en global årlig produktion på mindre än 10 ton och med en

global storskalig ökning av vätgasproduktion via elektrolysörer blir detta snabbt en bristvara. Till exempel räknar LKAB med en elektrolysrkapacitet på 10 GW vilket skulle behöva cirka 7 ton iridium om de valde en elektrolysör av typen PEM (Kristensson, Sju mineral blir kritiska för vätgasboomen, 2021). Utvecklingen går dock mot minskat behov av vikt metall per effekt (MW) och det sker även utveckling av alternativa katalysmaterial. Generellt uppmuntras användning av material som finns i stora mängder då varken resursbrist från ett ekonomiskt perspektiv eller utarmning av miljöer riskeras. En livscykelanalys kan belysa dessa aspekter.

Elektrolysörerna kan även innehålla andra material som är kritiska ur ett miljöperspektiv, nämligen PFAS. Detta är en brokig samling kemikalier av syntetisk framställning som alla är väldigt långlivade när de släpps ut. Ett flertal har kopplats till toxicitet (giftighet), bioackumulering (ökar i mängd längs med näringskedjan) och hormonstörande (påverkar hormoner, immunförsvar och ämnesomsättning, där framför allt foster och nyfödda barn är mest känsliga). EU har en lagstiftning på plats för specifika kemikalier och det planeras en reglering över hela eller en del av denna kemikaliegrupp (Echa, u.d.). Den kan komma att påverka vilka användningsområden som förbjuds samt vilka som vid en övergångsfas tillåts tills nya material utvecklats. I elektrolysörerna finns PFAS (bland annat Nafion) i membranet som separerar de två elektroderna vilket förhindrar kortslutning med mera (Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2022). PFAS används ofta i produkter där det inte finns så många andra alternativ, eftersom det är både dyrt och hälsofarligt, vilket pekar på att det kan bli problematiskt om, eller när, en PFAS-restriktiv lagstiftning kommer på plats. Ur ett arbetsmiljöperspektiv måste även hänsyn tas till dem som jobbar med dessa instrument för att inte bli exponerade för PFAS i för höga doser.

Vid produktion av elektrobränslen föredras biogent ursprung till koldioxiden som fångas in, som oftast är biomassa. Biomassa är en konfliktfylld och begränsad resurs som har många användningsområden och ännu fler potentiella användningsområden. Den används redan inom byggindustrin där det nu även sker en utveckling av nya träprodukter för att ersätta betong vilket kan förväntas öka behovet av uttag från skogarna (forskning.se, 2019). Vidare används biomassa till pappersmassaindustrin, som substitut inom den petrokema industrin, för framställning av biodrivmedel, som substrat till textil, och till och med som komponent i nya batterier. Det finns samtidigt hållbarhetsmål som ligger i direkt målkonflikt med ökade uttag av biomassa som exempelvis aspekter kring biologisk mångfald vilket riskeras med de vanliga kalhyggen, men även med avseende på motståndskraft mot klimatkatastrofer som ett hårt industrialiserat skogsbruk riskerar motverka (Naturvårdsverket, En hållbar mark- och vattenanvändning, u.d.). Vid en sammanräkning av olika sektors framtida användning av biomassa som substitut så visas att det blir det mer än vad som finns tillgängligt som resurs i skogarna. Detta gör att nyttjande av biomassa bör ske på ett så resurseffektivt sätt som möjligt, på samma sätt som elen. Västernorrlands län har omfattande skogsresurser och detta är en viktig tillgång i det framtida hållbara samhället.

# 10 VÄTGASPROGNOS 2030 OCH VIDARE

*Aktörer inom länet har visat redan på att det finns stora förutsättningar för vätgasproduktion, i och med de satsningar som kommer förverkligas bara inom några år. Flera kan komma att presenteras då det fortsätter att finnas möjlighet för vätgasproduktion och koppling till sidoströmmar i Västernorrlands län. Ur ett ekonomiskt och arbetsmarknadsmässigt perspektiv är det fördelaktigt för aktörer i länet att utnyttja sina resurser av fossilfri el och skogsprodukter i flera steg i värdekedjan för att skapa fler jobb och förädlade produkter med högre värde. Men utmaningar finns på grund av befintligt och förmodat ökat behov av el i resterande Sverige, förändrade geopolitiska förutsättningar, och väntad stor ökning av elförbrukning i nya elintensiva industrier. Det överskott som finns av el i norr riskerar snart ätas upp av alla planerade projekt inom bland annat vätgas, vilket kan leda till att elpriset kan vara högt i framtiden. Beräkningar gjorda i Regional klimatnytta visar att stora andelar av länets elproduktion (så mycket som två femtedelar) kan komma att användas till vätgas beroende på prioritering. Därför krävs aktiva avvägningar till framtida vätgasekonomin i Västernorrlands län.*

## 10.1 FRAM TILL 2030

### 10.1.1 Elprognos

För att utbyggnaden av vätgasproduktionen ska kunna genomföras enligt plan krävs utbyggnad av både produktion och överföring i elsystemet. Det finns kapacitetsbegränsningar i Sveriges transmissionssystem, det vill säga elsystemet kan inte överföra obegränsat stora mängder el. Det går inte att nyetablera elintensiva verksamheter obehindrat, men inte heller att uppföra storskalig elproduktion obehindrat. Det råder vidare en obalans mellan konsumtion och produktion i olika delar av Sverige. Vissa prognoser säger att elförbrukningen i Sverige, som har varit någorlunda konstant sen 1990-talet, kommer fördubblas till 2045 jämfört med idag, och möjligen öka med 2,5 gånger till 2050. Dessa siffror är dock prognoser och kan ha ändrats drastiskt de senaste månaderna i och med den energikris i Europa och det kan komma krav på energieffektiviseringar och -begränsningar för att motverka en ohämmad elektrifiering i hushåll och industrier.

För att klara av en framtida ökad nationell efterfrågan på el finns planer på att anlägga både land- och havsbaserad vindkraft. Västernorrlands län har mycket vindkraft och producerar ett överskott av el de flesta dagar på året. Enligt branschorganisationen Svensk vindenergis prognos kommer det 2024 finnas 3 145 MW installerad vindkraftseffekt jämfört med befintliga 1 870 MW år 2021. En stor fördel med områden i norra Sverige är den yta som finns tillgänglig för vindkraftverk. Enligt Svensk Vindenergi förväntas havsbaserad vindkraft framför allt etableras i södra Sverige (elprisområden SE3 och SE4). Detta främst på grund av de fortsatt förväntade höga elpriserna i dessa områden, men även därför att det i norra Sverige sker kraftig isläggning som vindkraftverken inte är dimensionerade för. Vidare bedömer Svensk Vindenergi att elprisområde SE2 kommer se en ökad installerad effekt fram till 2035, men därefter en minskning i installerad effekt då äldre vindkraftverk i allt mindre utsträckning kommer ersättas med nya större verk. Till 2040 uppskattas därför den installerade effekten i vindkraften i Västernorrlands län minska till 2 142 MW, vilket är 1 000 MW lägre än år 2024.

Generellt sett har SE2, som Västernorrlands län tillhör, bäst förutsättningar för att kunna framställa den el som krävs för att producera grön vätgas. Fram tills nu har det varit relativt oproblematiskt för nyanslutning av vindkraft i länet, men då områden som lämpar sig för vindkraft och har tillgänglig nätkapacitet snabbt blir uppbokade blir det alltmer osäkert att planera för ytterligare vindkraft. Utbyggnad av vindkraften begränsas vidare av kapacitetsbegränsningar i stamnätet både på 220 kV-nivån och 400 kV-nivån, långa tillståndsprocesser för anslutning till 400 kV-nätet, osynkade tillståndsprocesser med ökade ledtider och osäkerheter, samt de oförutsägbara kommunala vetona.

Det sistnämnda är föremål för förslag till ändring i processen så att det tidigareläggs i form av ett inledande kommunalt tillstyrkansbeslut, men det är ännu ej klart (WSP, 2021).

Svenska kraftnät planerar utbyggnad av överföringskapaciteten i 220 kV-nätet mellan SE2 och SE3, vilket direkt påverkar länet eftersom nya vindkraftsprojekt hänvisats till att anslutas till 400 kV-nätet som även det börjar bli trångt. Det uppskattas att ledtid för utbyggnad av regionnät (220 kV) är 3 – 10 år och upp mot 15 år för stamnätet (400 kV). I det pågående NordSyd-projektet kommer förstärkningar av överföringskapaciteten ske mellan SE2 och SE3 med 700 MW till en total överföringskapacitet av 8 100 MW år 2024. Det slutliga målet för NordSyd-projektet är en förstärkning av SE2-SE3 till en total överföringskapacitet på 10 000 MW (WSP, 2021). Om utbyggnad av elnätets överföringskapacitet inte sker i samma takt som nyetableringen av vindkraft skulle en inlåsningseffekt uppstå i Västernorrlands län vilket riskerar att producerad el inte kan nyttiggöras och i värsta fall tvingas till bortkoppling. Å andra sidan kan det motivera stora effektförbrukare att etablera sig i länet, förutsatt att regionnätet kan ansluta samt överföra kapaciteterna inom länets gränser.

Utvecklingen av vindkraft hindras av motstånd lokalt, kommunalt eller statligt, där tillståndprocesser kan dra ut på tiden. Det anses störa närmiljön, påverka djurlivet och hindra rikets säkerhet, vilket gör att tillståndprocesser är komplicerade, långdragna och med osäkert utfall. Ur en säkerhetssynpunkt kan dock vindkraftsel tillsammans med vätgasproduktion i kluster verka för ökad skydd vid kris och resiliens då decentraliserad och nationell produktion verkar för att säkra energitillförseln. I framtiden kan det i kommande EU-lagstiftning krävas att vätgas som produceras av vindel måste komma från kraftverk som tillkommit enkom för att bidra med energi till elektrolysen för att kallas hållbar.

### **10.1.2 Vätgasproduktion**

I ett flertal rapporter och av olika aktörer har elbalansering med hjälp av vätgaslagring föreslagits (Fossilfritt Sverige, 2021) (Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2022). Vätgas kan lagras över en längre tid än el i batterier, så skulle överskottsel kunna användas för att producera vätgas som sedan lagras i en viss tid. När sedan ett elbehov uppstår skulle vätgasen kunna användas för att producera el som går ut på nätet igen. Men detta är inte ett troligt scenario, främst för att omvandlingsförlusterna är så höga och det krävs flera omvandlingar för denna teknik. Dessutom är, som beskrivet ovan, inte så troligt med ett elöverskott i framtiden. Möjligen kan detta användas i liten skala eller av andra anledningar, som till exempel av säkerhetsskäl eller geopolitiska skäl beroende fokus på decentralisering eller låg tillgång på råvaror.

Mängden tillgänglig el påverkar starkt vilka planerade vätgasprojekt som kan realiseras i framtiden. Visioner i EU siktar på att öka andelen vätgas från 2% till 13–14% i energimixen 2050 och WSP sätter en prognos på 4 gånger så stor vätgasmarknad 2030 som 2022 i Sverige (Europeiska Kommissionen, 2020). För vätgasproduktion finns dock osäkerheter både vad gäller pris på och tillgång till fossilfri el. Men detta kan motverkas av att även priset på försäljning av vätgas kan förändras då vätgas måste jämföras mot vad det skulle kosta att använda fossila alternativ. Idag är exempelvis elektrolytproducerad vätgas 2–4 gånger dyrare än vätgas från naturgas via steam methane reforming (se tabell 1), men beroende på olika regleringar och marknadsanpassningar kan detta förändras (Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, 2022).

Kostnaden för att släppa ut koldioxid påverkar därför i stor grad förutsättningarna för att producera vätgas från el. Dessutom kan en utökad produktion resultera i billigare komponenter genom större efterfrågan. Elektrolysörer är även modulära och kan därför utökas, så att investeringar kan kompletteras vid ett senare skede utan större komplikationer.

Ur ett hållbarhetsperspektiv avseende på god tillgång, kan det vara lämpligt att se till möjligheterna att ha parallella vätgasspår. Det närmast förestående är elbaserad vätgasproduktion via elektrolysörer och havsbaserad vindkraft, men med ovanstående utmaningar gällande framtida energisituation i åtanke, kan det vara klokt att parallellt satsa på alternativa vätgasspår. Industristandard för



vätgasproduktion är idag baserad på naturgas. Här finns möjligheten att utnyttja existerande teknik, men byta insatsråvara från naturgas till biogas. Detta skulle initialt leda till en koldioxidneutral vätgasproduktion eftersom biogasen innehåller biogent kol. Vid framställan av vätgas frigörs det biogena kolet i form av koldioxid vilket tas upp av ny biomassa. I förlängningen kan det finnas en möjlighet att komplettera detta spår med koldioxidinlagring och därmed skapa en kolsänka som bidrar till att reducera koldioxidkoncentrationen i atmosfären.

### 10.1.3 **Energikombinat**

Etableringen av så kallade energikombinat i Västernorrlands län med etanolproduktion kan användas med råvaruinsatser i en vätgasproduktion och samordnas med kraftvärmeverk (Hagberg, 2008). Efter elproduktion med kraftvärmeverkets ånga, kan den användas i etanolprocessen. Spillvärmen efter etanolprocessen kan sedan gå till fjärrvärme. Med ett energikombinat kan bi-produkter utnyttjas effektivare än vid separata produktionsanläggningar, likt principen i vätgaskluster. Restprodukten från etanolframställningen, så kallad dranken, kan användas som ett proteinrikt foder eller substrat för biogasproduktion via rötning. Den producerade etanolen (och eventuella biogasen) kan sedan användas som råvaruinsatser i en vätgasproduktion baserad på industristandardmetoden partiell oxidation respektive steam metan reforming. Slutligen möjliggör detta applicering av lagring av biogena koldioxidutsläpp som ger negativa koldioxidutsläpp vilket agerar kolsänka (IEA, Bioenergy with Carbon Capture and Storage - Tracking Report, 2022).

Det finns fjärrvärmesystem i flera av länets kommuner där potential finns för att etablera energikombinat. I dagsläget finns ett antal befintliga biogasanläggningar, där Sundsvall, Sollefteå och Örnsköldsvik har sådan vid sina reningsverk (gasproduktion <2 – 10 GWh/år). Utanför Sundsvall finns även en gårdsanläggning (<2 GWh/år). I Härnösand finns Härnösand biogas ägt av HEMAB som håller en årlig produktion av 2 – 10 GWh/år samt slutligen i Örnsköldsvik ligger Biorening Domsjö Fabriker AB (cirka 100 GWh/år). Planerade anläggningar är Sekab som utökar sin etanolproduktion från 0,8 GWh/år till 78 000 ton/år av både etanol, lignin, och olja till år 2025. Liquid Wind undantas här då de fokuserar på metanol, men i Timrå planeras SCA Östrand biorefinery till 2026 – 2028 med produktion av ligninolja, bensin, och diesel (3 000 GWh/år) (TidningenBioenergi, 2022). Det finns också en potential att använda gammal jordbruksmark för odling av energigrödor utan att inverka på befintlig jordbruksproduktion. Detta kan utgöra ett värdefullt komplement av substrat till en eventuell satsning på energikombinat.

## 10.2 2030–2050

Det går inte att garantera en hög efterfrågan på vätgas, eftersom detta är beroende av elmarknaden och andra alternativa energibärare samt reglering och andra sociala aspekter. Till exempel är fossilfria drivmedel för fartyg och flyg dyrare än de fossilbaserade alternativen och en förändring kommer inte implementerats om detta inte ändras. Förändringen beror i sin tur på eventuella krav för utsläpp av koldioxid. Att flera projekt har planerats är inte en garant för ökad produktion och användning, utan de kan misslyckas. Omvänt gäller även att projekt kan tillkomma som ännu ej är uttalade. Många faktorer spelar in i hur stor vätgasen blir i länet i ett längre perspektiv, både efter 2030 och efter 2050.

I texten ovan har redan många aspekter nämnts vilka kan påverka hur vätgasproduktionen blir i länet i ett längre perspektiv. Dessa sammanfattas i en lista nedan.

- **Eltillgång**

Elproduktion är en tillgång, men det är oklart hur länge denna tillgång kommer bestå. Även kapacitetsbrist kan påverka utbredningen av vätgas. Kostnaden för el kommer vara direkt kopplad till kostnaden för grön vätgas producerad av elektrolys, som kanske måste komma från nyetablerad vindkraftsel, men denna kan vara en begränsad resurs i framtiden.



- **Lagring och transport**

Det kommer vara en stor utmaning att få till en infrastruktur som kan klara av den stora ökningen av vätgas. Det är möjligt att elektrobränslen kommer produceras i en större grad än vätgas då dessa är lättare att transportera. För att underlätta dessa utmaningar är vätgaskluster essentiella till en början.

- **Användningsområden**

Bränslebyte måste ske för många aktörer inom industrin och transportsektorn för att kunna uppnå de tydliga hållbarhetsmålen om minskade koldioxidutsläpp. Detta kan motivera en omställning till vätgas trots möjliga problem med kostnader, då möjliga alternativ kanske inte finns. För elektrifierbara användningsområden är det troligt att el kommer lagras genom batterier i stället.

- **Säkerhet**

Vätgas har utmaningar med lagring, och höga säkerhetskrav ställs. Å andra sidan kan en decentraliserad elproduktion säkerställa kontinuerlig energiförsörjning vid destabiliserade tider. Trots det måste aspekter av komponenttillgång också tas hänsyn till, där vissa kritiska material kan påverkas av det geopolitiska läget.

- **Kompetens**

En tillräckligt stor etablerad kunskapsmängd finns för tillfället inte i Sverige och inom Västernorrlands läns gränser vilket kan hindra en stor utbredning av vätgasproduktion. Sverige har även verkat senfärdigt i ny lagstiftning och normer kring vätgas.

### **10.2.1 Möjliga utvecklingsområden i länet**

I det längre perspektivet finns det flera möjliga satsningar för produktion av elektrobränsle i länet. Bland annat har Liquid Wind identifierat flertalet industrier i Västernorrlands län som skulle kunna applicera deras upplägg med infångning av koldioxid för produktion av e-metanol från biogena koldioxidutsläpp. Dessa är Metsä Board pappersbruk i Husum, Mondi pappersbruk i Dynäs och SCA pappersbruk i Östrand. Liquid Wind vill dock inte gå ut med vilka av sina planer som ska sättas i verket och det kan hända att andra orter i Sverige prioriteras före de ovan nämnda, men totalt planeras ett tiotal anläggningar av aktören (Rutgersson & Lindgren, 2021). Även andra stora koldioxidutsläppare som en aluminiumfabrik eller tunga industrier kan anses bidra med framtida resurser av just biogent koldioxid. Elektrobränslet är troligen ännu mer eftertraktat på en global marknad än inom länet, med länder som Finland och Tyskland nära med båttransport, vilket kan öka intäkterna till länet.

Biomassa från skog och vindkraft är några av de främsta resurserna i länet. Liquid Wind är ett typexempel på god resursanvändning av resursen vindkraft. I rapporten har det givits några exempel kring energikombinat där restflöden från skogs- och jordbruksindustri tillvaratar resursen biomassa för produktion av vätgas. Detta är ett utvecklingsområde som det även har visats intresse för inom fjärrvärmesektorn som ett sätt att expandera deras affärsmodeller och trygga en utkomst. Mälardalens universitet i samarbete med RISE och flera industriaktörer har genomfört en studie kallad HyCoGen som undersökt hur fjärrvärmesystem kan integreras med vätgasproduktion via elektrolys där syrgasen nyttiggörs i pannans förbränning och spillvärmens används till fjärrvärmeproduktion. Detta bidrar till lägre totala kostnader för vätgasen, en bättre förbränning med lägre utsläpp samt förenklar koldioxidavskiljning från rökgaserna (Rise, u.d.). Går vi en framtid till mötes med ökad konkurrens om tillgången på el på grund av omfattande etablering av elintensiva industrier, kan produktion av vätgas från biomassa vara ett viktigt utvecklingsområde. En viktig aspekt är att vid framställningen av vätgas från biomassa (via fermentering, rötning och/eller gasifiering) används metoder som inte kräver ovanliga metaller och därmed undviks vidare konkurrens om knappa resurser. Integreras processer för produktion av biooljor, etanol, och/eller biogas, inklusive omvandlingsprocessen av dessa till vätgas

via steam methane reforming eller partiell oxidation, med fjärrvärmeanläggningar kan synergier fås som ger en högre systemverkningsgrad jämfört med parallella processer. Med koldioxidinfångning skulle detta även vara ett sätt att bidra med en kolsänka.

Frågan är om resursanvändning återkommer även vid behov av material för elektrolysörerna och därmed bör en översyn ske för vilka mineraler som kan finnas in länet.

### ***Sammanfattande medskick till aktörer i Västernorrland***

WSP har identifierat ett antal olika medskick som kan vara viktiga att ha i åtanke vid den fortsatta vätgasutvecklingen i länet. Några av dessa är:

- Vindkraftsel är av största intresse för vätgasaktörer då de har ett krav på viss fossilfri el för att producera grön vätgas, vilket är viktigt för leverans av produkten till kunderna.
- Intresset är och kommer att fortsätta vara stort för att etablera vätgas i länet.
- Arbetstillfällena kommer utifrån sidoströmmarna och indirekta arbetstillfällen, vilket betyder att det krävs en del utveckling för att kunna tillgodoställa sig de fördelar som regionen kan dra av vätgasekonomins utveckling i Västernorrlands län. Sysselsättningen kan vara främst lyckad i pappers- och massaindustrin vid omställning till vätgas.
- En inventering av fjärrvärmebolag i länet där intresse och möjlighet finns för att ingå i energikombinat för framställan av vätgas (antingen elbaserad via elektrolys eller biomassebaserad via fermentering/rötning/gasifiering) kan bidra till omställningen.
- Forum skapade för aktörer som har processer där samordning ger synergier kopplat till vätgasproduktion är viktiga. Detta inkluderar verksamheter i behov av spillvärme eller syrgas, men även verksamheter som kan erbjuda processånga, högradig värme, överskjutande elproduktion, eller tjänligt spillvatten exempelvis.
- Det krävs även att Region Västernorrland såväl som andra aktörer i länet har relevant kompetens och tillräcklig arbetskraft för att kunna understödja utvecklingen av vätgaskluster och annan industri.
- e-konstgödsel är en potentiell ny sektor som Västernorrlands län har goda förutsättningar för att bli en bas inom på grund av god tillgång på grön el. Etableras detta kan stor produktion ske med relativt lite energiåtgång som kan bidra med positiv klimateffekt på både nationell och global nivå.
- Regionalt och globalt kan störst klimatnytta erhållas om vätgas används till att ersätta fossilgas.

# LITTERATURFÖRTECKNING

- Agora Verkehrswende. (2019). *Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial*. Berlin: ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung.
- Alfa Laval. (2018). *Hydrogen-based fuel cells spur the transition to combined heat and power based on renewables*. Hämtat från [www.alfalaval.com](http://www.alfalaval.com):  
<https://www.alfalaval.com/media/stories/combined-heat-and-power/hydrogen-based-fuel-cells-spur-the-transition-to-combined-heat-and-power-based-on-renewables/>
- Andersson, C. (den 3 Maj 2021). *Ånge vill bli ett utvecklingsnav för grön energi*. Hämtat från [vindkraftcentrum.se](http://vindkraftcentrum.se): <http://vindkraftcentrum.se/index.php/arkiv/786-ange-vill-bli-ett-utvecklingsnav-foer-groen-energi>
- Binder M., K. M. (2018). *Hydrogen from biomass gasification. IEA Bioenergy: Task 33*. IEA Bioenergy.
- Börjesson, P. (2021). *Länsvis tillgång på skogsbiomassa för svensk biodrivmedels- och bioflygbränsleproduktion. (TFEM; Nr. 122)*. Lund: Lunds Universitet.
- Champion, V. (den 2 April 2021). *Permascand i Ljungaverk satsar 300 miljoner på grön vätgas. SVT Nyheter Västernorrland*. Hämtat från SVT Nyheter:  
<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasternorrland/permascand-satsar-miljoner-pa-gron-vatgas>
- Cinis Fertilizer. (2022). *Enabling sustainable agriculture*. Hämtat från [cinis-fertilizer.com](http://www.cinis-fertilizer.com): [www.cinis-fertilizer.com](https://www.cinis-fertilizer.com/sustainability/), <https://www.cinis-fertilizer.com/sustainability/>
- Echa. (u.d.). *Perfluorerade alkylsubstanser (PFAS)*. Hämtat från [echa.europa.eu](http://echa.europa.eu):  
<https://echa.europa.eu/sv/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>
- Energimyndigheten. (2021). *Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak (ER 2021:34)*. Energimyndigheten.
- Energimyndigheten. (2022). *Från små steg till stora kliv – En syntes av Industriklivets projekt inom bio-CCS (ER 2022:11)*. Bromma: Statens Energimyndighet.
- Engström, M. (den 20 September 2022). *Finansiering klar för Big Akwa – storsatsning aktuell vid Alby östra: "3 000 ton om året"*. *Sundsvall Tidning*. Hämtat från <https://www.st.nu/2022-09-20/finansiering-klar-for-big-akwa--storsatsning-aktuell-vid-alby-ostra-3000-ton-om-aret>
- Engström, M. (den 30 Augusti 2022). *Ny jättesatsning på vätgas förbereds i Ånge – vill köpa industriområdet i Ljungaverk. Sundsvall Tidning*. Hämtat från [https://www.st.nu/2022-08-30/ny-jattesatsning-pa-vatgas-forbereds-i-ange--vill-kopa-industriområdet-i-ljungaverk?utm\\_medium=rss&utm\\_source=site-feed&utm\\_campaign=rss](https://www.st.nu/2022-08-30/ny-jattesatsning-pa-vatgas-forbereds-i-ange--vill-kopa-industriområdet-i-ljungaverk?utm_medium=rss&utm_source=site-feed&utm_campaign=rss)
- Europeiska Kommissionen. (2020). *MEDDELANDE FRÅN KOMMISSIONEN TILL EUROPAPARLAMENTET, RÅDET, EUROPEISKA EKONOMISKA OCH SOCIALA KOMMITTÉN SAMT REGIONKOMMITTÉN - En vätgasstrategi för ett klimatneutralt Europa*. Bryssel: Europeiska Kommissionen.
- forskning.se. (2019). *Höghus i trä - för klimatets skull*. Hämtat från [forskning.se](http://forskning.se):  
<https://www.forskning.se/2019/05/14/hoghus-i-tra-for-klimatets-skull/>
- Fossilfritt Sverige. (2021). *Strategi för fossilfri konkurrenskraft - Vätgas*. Fossilfritt Sverige.
- Gasgrid Finland. (den 22 April 2022). *Gasgrid Finland and Nordion Energi launch the Nordic Hydrogen Route - The first large-scale cross-border hydrogen network in Europe*. Hämtat från ePressi:  
<https://www.epressi.com/tiedotteet/energia/gasgrid-finland-and-nordion-energi-launch-the-nordic-hydrogen-route-the-first-large-scale-cross-border-hydrogen-network-in->

europa.html#:~:text=The%20Nordic%20Hydrogen%20Route%20would%20connect%20production%20with

- Hagberg, L. (2008). *Samproduktion av etanol och kraftvärme*. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- IEA. (2021). *About CCUS*. Hämtat från [iea.org](https://www.iea.org/reports/about-ccus): <https://www.iea.org/reports/about-ccus>
- IEA. (September 2022). *Bioenergy with Carbon Capture and Storage - Tracking Report*. Hämtat från [iea.org](https://www.iea.org/reports/bioenergy-with-carbon-capture-and-storage): <https://www.iea.org/reports/bioenergy-with-carbon-capture-and-storage>
- ITM Power. (Februari 2017). *www.level-network.com*. Hämtat från Hydrogen refuelling infrastructure: <https://www.level-network.com/wp-content/uploads/2017/02/ITM-Power.pdf>
- Kristensson, J. (den 24 Juni 2021). Sju mineral blir kritiska för vätgasboomen. *NyTeknik*. Hämtat från <https://www.nyteknik.se/premium/sju-mineral-blir-kritiska-for-vatgasboomen-7017119>
- Kristensson, J. (November 2022). Insight - Konstgödsel, en ny svensk industri växer fram. *NyTeknik*, s. 3.
- Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien. (2019). *Så klarar det svenska jordbruket klimatmålen. En delrapport från IVA-projektet Vägval för klimatet*. Stockholm: IVA.
- Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien. (2022). *Om vätgas och dess roll i elsystemet - Syntesrapport från IVAs projekt Vätgasens roll i ett fossilfritt samhälle*. IVA.
- Liquid Wind. (u.d.). *Flagships*. Hämtat från [liquidwind.se](https://www.liquidwind.se/flagships): <https://www.liquidwind.se/flagships>
- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J., Hvelplund, F., & Mathiesen, B. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*, 68, 1-11.
- Lunneborg, R. (den 20 Oktober 2021). *SCA avslöjar planer på fabrik för vätgas i Timrå*. Hämtat från Sundsvall Tidning: <https://www.st.nu/2021-10-20/sca-avslojar-planer-pa-fabrik-for-vatgas-i-timra>
- Maggio, G., Nicita, A., & Squadrito, G. (2019). How the hydrogen production from RES could change energy and fuel markets: A review of recent literature. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(23), 11371-11384.
- MIT. (den 12 August 2021). *MIT News - Using aluminum and water to make clean hydrogen fuel - when and where it's needed*. Hämtat från [mit.edu](https://news.mit.edu/2021/using-aluminum-and-water-to-make-clean-hydrogen-fuel-0812): <https://news.mit.edu/2021/using-aluminum-and-water-to-make-clean-hydrogen-fuel-0812>
- Montel. (den 28 Juni 2022). *Liquid Wind: Anläggningen i Sundsvall kräver 150 MW*. Hämtat från Montel: <https://www.montelnews.com/se/news/1331491/liquid-wind-anl%C3%A4ggningen-i-sundsvall-kr%C3%A4ver-150-mw>
- Naturvårdsverket. (den 02 12 2021). *Emissionsfaktorer och värmevärden submission 2022*. Hämtat från [naturvardsverket.se](https://www.naturvardsverket.se/contentassets/2eceb288f8a84f29aa4da77e82b903a9/emissionsfaktorer-luft-2021-12-06.xlsx): <https://www.naturvardsverket.se/contentassets/2eceb288f8a84f29aa4da77e82b903a9/emissionsfaktorer-luft-2021-12-06.xlsx>
- Naturvårdsverket. (u.d.). *En hållbar mark- och vattenanvändning*. Hämtat från [naturvardsverket.se](https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/mark-och-vattenanvandning/hallbar-mark--och-vattenanvandning/): <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/mark-och-vattenanvandning/hallbar-mark--och-vattenanvandning/>
- North Sweden Cleantech. (u.d.). *North Sweden Cleantech*. Hämtat från [northswedencleantech.se](https://www.northswedencleantech.se/sv/om-oss/): <https://www.northswedencleantech.se/sv/om-oss/>
- Orsted. (den 12 Jan 2022). *Ørsted partners with Liquid Wind and expands presence in green fuels with investment in large-scale e-methanol project in Sweden*. Hämtat från [orsted.com/](https://www.orsted.com/):

<https://orsted.com/en/media/newsroom/news/2022/01/orsted-partners-with-liquid-wind-and-expands-presence-in-green-fuels-with/en/media/newsroom/news/2022/01/orsted-partners-with-liquid-wind-and-expands-presence-in-green-fuels-with>

Permascand. (den 22 Januari 2021). *Permascand stärker sin ställning inom vätgasproduktion: Deltar i utveckling av kunskapscenter för framtidens vätgasteknologi*. Hämtat från permascand.com: [https://permascand.com/mfn\\_news\\_sv/permascand-starker-sin-stallning-inom-vatgasproduktion-deltar-i-utveckling-av-kunskapscenter-for-framtidens-vatgasteknologi/](https://permascand.com/mfn_news_sv/permascand-starker-sin-stallning-inom-vatgasproduktion-deltar-i-utveckling-av-kunskapscenter-for-framtidens-vatgasteknologi/)

Permascand. (u.d.). *Grön Vätgas*. Hämtat från Permascand: <https://permascand.com/produkter-tjanster/gron-vatgas/>

Region Västernorrland. (den 06 Juni 2022). *Green*. Hämtat från rvn.se: <https://www.rvn.se/sv/Utveckling/Miljo/energikontoret-vasternorrland/projekt/green/>

Renklint, S. (den 3 Maj 2022). *Ny 100 mil vätgasledning ska stärka "gröna" omställningen i Norrland*. Hämtat från Sveriges Radio: <https://sverigesradio.se/artikel/ny-100-mil-vatgasledning-ska-starka-grona-omstallningen-i-norrland>

Rise. (den 12 November 2020). *Nytt centrum för testbäddar inom bioekonomi*. Hämtat från ri.se: <https://www.ri.se/sv/press/nytt-centrum-for-testbaddar-inom-bioekonomi>

Rise. (u.d.). *Systemperspektiv för effektiv vätgasproduktion via koppling till fjärrvärme*. Hämtat från ri.se: <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/systemperspektiv-for-effektiv-vatgasproduktion-via-koppling-till-fjarrvarme>

Rivard, E., Trudeau, M., & Zaghbi, K. (2019). Hydrogen Storage for Mobility: A Review. *Materials*, 12, 1973.

Rutgersson, A., & Lindgren, M. (2021). *Tillståndsansökan enligt 9 kap. miljöbalken för anläggning för produktion - Avgränsningssamråd*. SWECO.

Sekab. (den 18 Oktober 2021). *Sekab investerar i ökad tillverkning av gröna kemikalier*. Hämtat från Sekab: <https://www.sekab.com/sv/pressmeddelande/sekab-investerar-i-okad-tillverkning-av-grona-kemikalier/>

Sellén, P. (den 25 April 2022). *Permascand med i satsning på forskning kring grön vätgas i Alby*. Hämtat från SVT Nyheter: <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasternorrland/permascand-med-i-satsningen-pa-gron-vatgas-i-alby>

SGU. (den 04 10 2022). *CCS-Koldioxidlagring*. Hämtat från sgu.se: <https://www.sgu.se/samhallsplanering/ccs-koldioxidlagring/>

Sollefteå Kommun. (den 29 April 2022). *Unik anläggning för den gröna omställningen i Sollefteå kommun*. Hämtat från solleftea.se: <https://www.solleftea.se/kommun--politik/kommun--politik-nyheter/kommun--politik/2022-04-27-unik-anlaggning-for-den-grona-omstallningen-i-solleftea-kommun>

Statistiska Centralbyrån, a. (2022). *Försäljning av mineralgödsel, 1000 ton efter region, växtnäringssämne och år, brutna*. Hämtat från statistikdatabasen.scb.se: [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_\\_MI\\_\\_MI1002/ForsHandelsgodsel/table/tableViewLayout1/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI1002/ForsHandelsgodsel/table/tableViewLayout1/)

Statistiska Centralbyrån, b. (2022). *Slutanvändning (MWh), efter län och kommun, förbrukarkategori samt bränsletyp. År 2009 - 2020*. Hämtat från statistikdatabasen.scb.se: [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_\\_EN\\_\\_EN0203\\_\\_EN0203A/Sluta nvSektor/table/tableViewLayout1/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0203__EN0203A/Sluta nvSektor/table/tableViewLayout1/)



- Sundsvall Energi. (u.d.). *Samarbete med Liquid Wind*. Hämtat från Sundsvall Energi: <https://sundsvallenergi.se/liquidwind/>
- Söderbergh, I. (den 18 Juni 2020). *50 miljoner till vätgasforskning för hållbar energiproduktion*. Hämtat från Umeå Universitet: [https://www.umu.se/nyheter/50-miljoner-till-vatgasforskning-for-hallbar-energiproduktion\\_9277320/](https://www.umu.se/nyheter/50-miljoner-till-vatgasforskning-for-hallbar-energiproduktion_9277320/)
- TidningenBioenergi. (2022). *Biodrivmedel i Norden 2022*. Hämtat från bioenergitidningen.se: <https://bioenergitidningen.se/wp-content/uploads/sites/2/2021/12/BioDRIV2022-web.pdf>
- Umeå Universitet, a. (u.d.). *Förnyelsebara drivmedel - 7,5 hp*. Hämtat från umu.se: <https://www.umu.se/utbildning/kurser/fornyelsebara-drivmedel3/>
- Umeå Universitet, b. (u.d.). *Nano for energy*. Hämtat från umu.se: <https://www.umu.se/forskning/grupper/nanovetenskap/>
- Uniper Sverige. (den 8 September 2022). *SkyFuelH2 tar nästa steg – ansöker om medfinansiering av förstudie - Pressmeddelande*. Hämtat från mynewsdesk.com: <https://www.mynewsdesk.com/se/uniper/pressreleases/skyfuelh2-tar-naesta-steg-ansoeker-om-medfinansiering-av-foerstudie-3202825>
- Uniper Sverige. (u.d.). *Jetfuel*. Hämtat från uniper.energy: <https://www.uniper.energy/sv/sverige/jetfuel>
- Uniper Sverige. (u.d.). *Vätgas i Sverige*. Hämtat från uniper.energy: <https://www.uniper.energy/sv/sverige/om-uniper-i-sverige/vatgas-i-sverige>
- United States Geological Survey. (den 08 Mars 2019). *Making Minerals – How Growing Rocks Can Help Reduce Carbon Emissions*. Hämtat från usgs.gov: <https://www.usgs.gov/news/featured-story/making-minerals-how-growing-rocks-can-help-reduce-carbon-emissions>
- US Department of Energy. (2022). *www.fueleconomy.gov*. Hämtat från Where the energy goes: Electric Cars: <https://www.fueleconomy.gov/feg/atv-ev.shtml>
- Valera-Medina, A., & Banares-Alcantara, R. (2021). Techno-Economic Challenges of Green Ammonia as an Energy Vector. i A. Valera-Medina, & R. Banares-Alcantara. Academic Press.
- Valmet. (2022). *www.valmet.com*. Hämtat från Vaskiluoto - The world's largest biomass gasifier exceeds expectations: <https://www.valmet.com/media/articles/all-articles/vaskiluoto---the-worlds-largest-biomass-gasifier-exceeds-expectations/>
- Vaseduvan, S., Farooq, S., Karimi, I., Saeys, M., Quah, M., & Agrawal, R. (2016). Energy penalty estimates for CO2 capture: Comparison between fuel types and capture-combustion modes. *Energy (103)*, 709-714.
- Vindbrukskollen. (u.d.). Hämtat från vbk.lansstyrelsen.se
- von Bahr, B. (2016). *Miljösystemanalys av Ekobalans process för pyrolys av slam (SP-rapport 61)*. Borås: SP Technical Research Institute of Sweden.
- Vätgas Sverige. (den 1 Augusti 2022). *Nya tankstationer i Elektrifieringspiloter*. Hämtat från vatgas.se: <https://vatgas.se/2022/08/01/nya-tankstationer-i-elektrifieringspiloter/>
- Vätgas Sverige. (u.d.). *Medlemmar och finansiärer*. Hämtat från vatgas.se: <https://vatgas.se/medlemmar-och-finansiarer/>
- Wei, M., Wang, K., Zuo, Y., Liu, J., Zhang, P., & Pei, P. (2021). A high-performance Al-air fuel cell using a mesh-encapsulated anode via Al-Zn energy transfer. *iScience*, 24(11), 103259. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103259>
- WHA International. (den 4 Oktober 2022). *Hydrogen Industry Applications: Past, Present, and Future*. Hämtat från WHA International: <https://wha-international.com/hydrogen-in-industry/>

WSP. (2021). *Regional elnätsanalys - Rapport framtagen av WSP på uppdrag av Region Västernorrland*. Stockholm: WSP Sverige AB.

## VI ÄR WSP

WSP är ett av världens ledande analys- och teknikkonsultföretag. Vi verkar på våra lokala marknader med stöd av global expertis. Som tekniska experter och strategiska rådgivare har vi tillgång till ingenjörer, tekniker, naturvetare, planerare, utredare och miljöspecialister liksom professionella projektörer, konstruktörer och projektledare. Vi erbjuder hållbara lösningar inom Hus & Industri, Transport & Infrastruktur och Miljö & Energi. Med drygt 50 000 medarbetare på 500 kontor i 40 länder medverkar vi till en hållbar samhällsutveckling. I Sverige har vi omkring 4 200 medarbetare. [wsp.com](http://wsp.com)

### WSP Sverige AB

121 88 Stockholm-Globen  
Besök: Arenavägen 7

T: +46 10 7225000  
Org nr: 556057-4880  
Styrelsens säte: Stockholm  
[wsp.com](http://wsp.com)

