

# Lönsam eller kostsam?

Lönsamhetsbedömning av de svenska satsningarna på fossilfritt stål i Norrland

Författare: Ekon.dr David Sundén



## **Om Skandinaviska Policyinstitutet**

Skandinaviska Policyinstitutet (SPI) är en icke vinstdrivande och politiskt oberoende forsknings- och public policy-organisation. SPI bedriver forskning, granskning och utvärdering av public policy. Syftet är att stärka näringslivets långsiktiga förmåga till policyutformning, med förankring i forskning och samhällsintressen, samt därmed vara till gagn för svensk konkurrenskraft. Målet är att framställa välgrundade och forskningsförankrade underlag med hög relevans för beslutsfattande, opinionsbildning och policyutformning.



# Lönsam eller kostsam?

Lönsamhetsbedömning av de svenska satsningarna på fossilfritt stål i Norrland

Författare: Ekon.dr David Sundén

## Om författaren

David Sundén är disputerad nationalekonom från Handelshögskolan i Stockholm. David arbetar med att analysera marknader utifrån ett nationalekonomiskt perspektiv. Det handlar bland annat om bedömningar av de samhällsekonomiska och offentligfinansiella effekterna av marknadsregleringar och teknikomställningar.

David har bland annat arbetat som rådgivare åt det tyska och det svenska finansdepartement. Han har på uppdrag skrivit samhällsekonomiska analyser åt exempelvis Nordiska Ministerrådet, Konkurrensverket och Expertgruppen för Studier i Offentlig ekonomi. Vissa av hans rapporter finns tillgängliga offentligt och handlar bland annat om optimal reglering av spel-, alkohol och tobaksmarknaderna.

Ekon.dr David Sundén  
Lakeville  
Förseppsgatan 5  
120 61 Stockholm  
Tel: +46 72-323 36 99  
Epost: david.sunden@lakevilleconsulting.se

# Innehållsförteckning

Förord .....	6
Sammanfattning .....	8
Summary .....	12
<b>1 Inledning</b> .....	<b>16</b>
<b>2 LKAB:s fossilfria järnsvamp</b> .....	<b>20</b>
2.1 Järnsvampsmarknaden .....	21
2.2 Är vätgasbaserad järnsvamp lönsam? .....	25
2.3 Motiverar avkastningen riskerna i investeringen? .....	31
<b>3 H2GS fossilfria stål</b> .....	<b>34</b>
3.1 Konkurrenssituationen för H <sub>2</sub> -stålverk .....	34
3.2 Är råstål från H <sub>2</sub> -stålverk lönsamt? .....	37
3.3 Sammantagen bedömning .....	42
<b>4 Bilaga: Värdekedjornas produktionskostnader</b> .....	<b>45</b>
4.1 Tidigare kostnadskalkyler .....	46
4.2 Vätgas – järnsvamp – råstål .....	49
4.2.1 Kostnader för att tillverka vätgas .....	49
4.2.2 Produktionskostnaden för vätgas .....	54
4.2.3 Kostnader för att producera järnsvamp .....	54
4.2.4 Produktionskostnad för vätgasbaserad järnsvamp .....	56
4.2.5 Kostnader för att producera råstål i ljusbågsugn .....	57
4.2.6 Produktionskostnad för råstål från H <sub>2</sub> -stålverk .....	60
4.2.7 Investeringskostnader för H <sub>2</sub> -stålverk .....	62
4.3 Naturgas – järnsvamp – råstål .....	63
4.3.1 Produktionskostnad för naturgasbaserad järnsvamp .....	63
4.3.2 Produktionskostnad för naturgasbaserat råstål .....	64
4.4 Råstål från den traditionella processen och ljusbågsugnar .....	64
4.5 Koldioxidutsläpp .....	65
Referenser .....	67

# Förord

Aktiv industripolitik upplever idag en global renässans – runt om i världen sker idag omfattande satsningar. Politiken drivs dels av den hållbarhetsagenda som pekar på behovet av omställning mot mer hållbara produktionsmetoder, dels av en många gånger uttalad önskan om att även stärka berörda regioners och nationers konkurrenskraft. I USA är Inflation Reduction Act ett exempel på en industripolitik som kommer att få konsekvenser långt utanför USA:s gränser. Likaså planerar och genomför EU och Sverige egna industripolitiska satsningar vars effekter är svåra att överblicka och därmed i behov av forskning och analys.

I Sverige utmärker sig särskilt de industripolitiska satsningarna i Norrland. För Sveriges vidkommande är dessa av en aldrig tidigare skådad omfattning. Omställningen av svensk stålindustri till fossilfria produktionsmetoder kommer under lång tid att få betydande konsekvenser för miljö, konkurrenskraft, ekonomi och samhället i stort. Konsekvenserna är dock högst osäkra och satsningarna är behäftade med betydande ekonomiska, tekniska och sociala risker. Under ledning av professor Magnus Henrekson publicerar policyinstitutet ett flertal rapporter som på olika sätt belyser dessa osäkra konsekvenser och risker.

Denna rapport, författad av ekon. dr David Sundén, är den andra i serien och har gjorts inom ramen för forsknings- och utredningsprojektet "Samhällsekonomiska effekter av att producera fossilfritt stål i norra Sverige". I projektet görs en såväl företagsekonomisk som samhällsekonomisk bedömning av satsningarna på att producera fossilfritt stål i norra Sverige. Det görs genom att systematiskt sammanställa företagens planer och bedöma dem utifrån ett tekniskt, marknadsekonomiskt och samhällsligt perspektiv.

Projektet finansieras via ett ramanslag från Marianne och Marcus Wallenbergs Stiftelse till Institutet för Näringslivsforskning, genom bidrag från Stiftelsen tekn. doktor Ernst Wehtjes fond och Axel och Margareta Ax:son Johnsons stiftelse för allmännyttiga ändamål samt en bred krets av privatpersoner såsom Rune Andersson, Mats Arnhög, Lars Backsell, Carl Bennet, Christer Gardell, Anders Lindström, Sven Salén och ytterligare fem entreprenörer och företagsledare som önskar förbli anonyma.

Rapportförfattaren ansvarar själv för analyser, metodval, slutsatser och rekommendationer som presenteras i rapporten. Dessa delas inte nödvändigtvis av Skandinaviska Policyinstitutet och dess företrädare.

Malmö i januari 2024

Johan Eklund  
Vd Skandinaviska Policyinstitutet

Magnus Henrekson  
Professor och projektansvarig



# Sammanfattning

I denna rapport bedöms lönsamheten i LKAB:s och H2GS satsningar att producera fossilfri järnsvamp respektive fossilfritt stål i norra Norrland. I stora drag bekräftar denna rapport tidigare studier inom området:

- Kostnaderna för att producera fossilfritt stål med hjälp av vätgas är högre än i traditionella stålverk med masugnar.
- Produktionskostnaderna är i synnerhet känsliga för priset på el.
- Givet vissa kombinationer av högt pris på koldioxid och lågt pris på el kan järnsvamp och stål baserat på vätgastekniker bli konkurrenskraftigt i framtiden, när stålindustrin fullt ut betalar för sina koldioxidutsläpp efter 2034.

LKAB:s och H2GS investeringar sker i dag. LKAB planerar att tillverka 5,4 miljoner ton järnsvamp i MalMBERGET 2030 och H2GS planerar att tillverka 2,5 miljoner ton 2026 och därefter fem miljoner ton 2030 i Boden. Det räcker inte att investeringarna är lönsamma om tio år, de behöver vara det även från start.

## Bedömning av lönsamheten i LKAB:s satsningar

LKAB har rapporterat att investeringskostnaderna för att ställa om företaget från producent av järnmalm till producent av järnsvamp uppgår till mellan 150 och 400 miljarder kronor. Den lägre gränsen bekräftas av beräkningarna i denna rapport, som uppskattar kostnaden till som minst 156 miljarder kronor.

Genom att övergå till järnsvamp ökar LKAB sitt beroende av externa marknader, särskilt elmarknaden. Sammantaget kommer enbart elkostnaderna i produktionen att utgöra 32 procent. Även LKAB:s anläggningskostnader förväntas öka på grund av de omfattande investeringarna i anläggningar för produktion av vätgas och järnsvamp.

LKAB:s planerade produktion bygger på redan existerande teknik att tillverka järnsvamp från naturgas. Användningen av naturgas leder till utsläpp av koldioxid. I LKAB:s värdekedja ska naturgasen ersättas av vätgas för att avlägsna syret från järnmalmen. Det leder till nära nollutsläpp av koldioxid. Beräkningarna i denna rapport visar att kostnaden för att ta bort syret ur järnmalmen med vätgas blir mer än fem gånger högre än med naturgas. Samtidigt har LKAB inga kostnadsfördelar i andra delar av värdekedjan. För att LKAB:s vätgasbaserade järnsvamp ska kosta mindre att producera än naturgasbaserad järnsvamp måste därför priset på koldioxid vara högt samtidigt som priset på el är lågt.



Om efterfrågan är tillräckligt hög på järnsvamp kan det finnas en marknad för LKAB:s dyrare järnsvamp. Efterfrågan på järnsvamp förväntas exempelvis öka i takt med att stålindustrin ställer om till grönare tekniker. Produktion av järnsvamp kräver dock så kallade DR-pellets (Direct Reduction pellets), vilka tillverkas från malm av hög kvalitet. LKAB har tillgång till sådan malm och planerar att tillverka DR-pellets av all sin högkvalitativa malm i framtiden. För LKAB innebär därför en högre global efterfrågan på järnsvamp även en högre global efterfrågan på deras DR-pellets.

Volymer DR-pellets som kan handlas på den globala marknaden förutspås nå sitt kapacitetstak från och med 2030. Orsaken är att utvinningen av högkvalitativ malm inte förväntas kunna öka i samma takt som efterfrågan ökar. Denna kapacitetsbegränsning på konkurrensutsatta marknader innebär att eventuella premier på marknaden för järnsvamp slussas vidare till marknaden för högkvalitativ järnmalm – det vill säga till de DR-pellets som LKAB planerar att tillverka. LKAB:s planerade investering i järnsvamp kan därför inte ge bättre avkastning än alternativet att bara producera DR-pellets.

Under vissa förutsättningar kan LKAB ändå få en prispremie på sin järnsvamp. Det kräver ett koldioxidpris som överstiger cirka 1 500 kronor per ton och ett elpris som understiger cirka 30 öre per kWh. Ett koldioxidpris på cirka 2 000 kronor per ton och ett elpris på 20 öre per kWh gör att LKAB i bästa fall kan förbättra sitt rörelseresultat med 2,7 miljarder kronor per år genom att investera i järnsvampsproduktion i Malmberget. Detta är en relativt låg avkastning som endast uppkommer vid en relativt osannolik framtida priskombination för koldioxid och el efter 2034.

Detta bästa möjliga utfall ska vägas mot de extra pris-, marknads- och projektrisker som LKAB tar på sig. Den tyngst vägande risken är att LKAB blir överbelastad av alla de omfattande investeringar och projekt som de planerar. Åtagandet att ställa om företaget från järnmalmproducent till järnsvampsproducent kan drabba LKAB:s högprioriterade och nödvändiga projekt för att säkra företagets existens. Här ingår bland annat att övergå till att producera fossilfria pellets och bedriva gruvdrift på djupet i både Malmberget och Kiruna. Dessutom ska LKAB även påbörja utvinningen av de sällsynta jordartsmetallerna i Per Geijer-fyndigheten, metaller som är strategiskt viktiga för EU.

Mot den bakgrunden måste LKAB:s planer på järnsvampsproduktion ses som en högrisksatsning med begränsade möjligheter att ge en rimlig avkastning. Satsningen måste i sammanhanget dessutom bedömas som lågprioriterad och endast genomföras om LKAB kan visa att satsningen med säkerhet blir lönsam.

## Bedömning av lönsamheten i H2GS satsningar

H2GS uppger att deras investering i stålverket i Boden uppgår till närmare 60 miljarder kronor. Beräkningarna i denna rapport uppskattar investeringskostnaden till 79 miljarder kronor. Detta indikerar att H2GS behöver ytterligare 19 miljarder kronor i kapital för att kunna täcka alla investeringskostnader fram till 2030.

Konkurrenssituationen för H2GS på kort och medellång sikt är utmanande. Beräkningarna visar att H2GS stål blir det dyraste på marknaden, men det kan samtidigt inte förväntas bli prissättande på grund av den globala överkapaciteten på stålmarknaden. På kort och medellång sikt måste därför H2GS förlita sig på att kunna sälja sitt stål till verksamheter som redan idag vill kompensera för sina koldioxidutsläpp och marknadsföra sina produkter som fossilfria. Det är oklart hur stor denna marknad är.

Konkurrensen kan dessutom förväntas bli hård. För det första eftersom det redan finns klimatneutralt stål på den europeiska marknaden som tillverkas från skrot i ljusbågsugnar. Detta stål släpper i stora drag ut lika mycket koldioxid som H2GS stål kommer att göra, bortsett från de indirekta utsläppen genom elsystemet. De indirekta utsläppen kompenseras dock för via ETS1 och återspeglas i elpriset. Kostnaden för att producera stål i ljusbågsugnar från stålskrot är betydligt lägre än med H2GS teknik och utbudet förväntas även öka inom EU och globalt. För det andra eftersom produktionskostnaden för H2GS stål på kort sikt är i paritet med kostnaden för stål från den traditionella processen, via masugnar med höga utsläpp, inklusive kompensation för koldioxidutsläpp. H2GS kommer därför att möta hård konkurrens inom detta snäva "fossilfria/klimatneutrala" segment på stålmarknaden på kort och medellång sikt.

Förutom att konkurrera om stål kunderna måste H2GS även konkurrera om att få tillgång till insatsvaror. Vad gäller stålskrot konkurrerar de med bland annat de europeiska stålverk som tillverkar stål från skrot i ljusbågsugnar. Vad gäller DR-pellets konkurrerar de med järnsvampfabriker och stålverk baserade på naturgastekniker – i synnerhet med anläggningar placerade i Mellanöstern med god tillgång till billig naturgas. Båda dessa tekniker har lägre produktionskostnader än H2GS vilket ger dem bättre marginaler att förhandla om leveranskontrakt. De kan även betala ett högre pris för sina insatsvaror än H2GS för att säkerställa fortsatt produktion om tillgången till stålskrot eller DR-pellets når sina kapacitetstak. I takt med den globala utbyggnaden av ljusbågsugnar och järnsvampanläggningar förväntas dessutom priserna på stålskrot och DR-pellets stiga. Sammantaget innebär detta att H2GS har betydande konkurrensnackdelar på insatsvarumarknaderna.

Uppskattningarna ovan gäller under relativt fördelaktiga antaganden om produktionskostnaden för H2GS stål jämfört med övriga tekniker. Antaganden om högre kostnader för insatsvaror, anläggningar och el innebär att H2GS möjligheter till lönsam produktion urholkas betydligt. På längre sikt kan visserligen högre koldioxidpriser inom ETS1 förbättra H2GS konkurrenskraft – när väl stålindustrin fullt ut omfattas av EU:s utsläpps-



handel och gränsjusteringsmekanism. Detta ligger dock tio år in i framtiden. En slutsats är att H2GS investering sker för tidigt för att fullt ut kunna dra nytta av vätgasteknikens möjliga fördelar.

Att stålindustrin kommer att tvingas betala för sina utsläpp skapar starka drivkrafter för branschen att minska sina utsläpp. För att nå utsläppsmålen investerar gruvbolag och stålproducenter därför i nya tekniker för att minska utsläppen så snabbt och kostnadseffektivt som möjligt. Det är oklart hur mycket utsläppen kan reduceras, i vilken takt och till vilken kostnad. Men om huvuddelen av den idag utsläppande stålindustrin lyckas minska utsläppen får H2GS mycket svårt att klara sig i konkurrensen på en framtida stålmarknad. Den mycket pessimistiska slutsatsen av detta är att H2GS endast kan bli lönsamt om den globala stålindustrin i allmänhet misslyckas med sina utsläppsminskningar – med fortsatt höga globala koldioxidutsläpp som följd.

# Summary

This report assesses the profitability of LKAB's and H2GS's investments to produce fossil-free sponge iron and fossil-free steel in northern Norrland. Broadly speaking, this report confirms previous studies in this area:

- The cost of producing fossil-free steel using hydrogen is higher than in traditional steel mills with blast furnaces.
- Production costs are particularly sensitive to the price of electricity.
- Given certain combinations of high carbon prices and low electricity prices, hydrogen-based steel may become competitive in the future, when the steel industry fully pays for its carbon emissions after 2034.

LKAB's and H2GS's investments are taking place today. LKAB plans to produce 5.4 million tons of sponge iron in Malmberget by 2030 and H2GS plans to produce 2.5 million tons of steel in 2026 and five million tons in 2030 in Boden. It is not enough for investments to be profitable in ten years, they need to be profitable from the start.

## Assessment of the profitability of LKAB's initiatives

LKAB has reported that the investment costs transitioning the company from an iron ore producer to a sponge iron producer amount to between 14 and 38 billion dollars. The lower limit is confirmed by the calculations in this report, which estimate the cost to be at least 15 billion dollars.

By switching to sponge iron, LKAB increases its dependence on external markets, especially the electricity market. Overall, electricity costs in production alone will account for 32%. LKAB's CAPEX costs are also expected to increase due to the extensive investments in hydrogen and sponge iron production facilities.

LKAB's planned production is based on existing technology to produce sponge iron from natural gas. The use of natural gas results in carbon dioxide emissions. In LKAB's value chain, natural gas will be replaced by hydrogen to remove oxygen from the iron ore, resulting in near-zero carbon dioxide emissions. The calculations in this report indicate that the cost of removing oxygen from iron ore with hydrogen will be more than five times higher than with natural gas. At the same time, LKAB has no cost advantages in other parts of the value chain. Therefore, for LKAB's hydrogen-based sponge iron to be less expensive to produce than natural gas-based sponge iron, the price of carbon dioxide must be high while the price of electricity is low.



If there is sufficient demand for sponge iron, there may be a market for LKAB's more expensive product. Demand for sponge iron is expected to increase as the steel industry transitions to greener technologies. However, the production of sponge iron requires so-called DR pellets (Direct Reduction pellets), which are made from high-quality ore. LKAB has access to such ore and plans to produce DR pellets from all its high-quality ore in the future. Therefore, for LKAB, higher global demand for sponge iron also means an increase in global demand for their DR pellets.

The volume of DR pellets that can be traded on the global market is predicted to reach its capacity limit starting in 2030. This is because the extraction of high-quality ore is not expected to increase at the same rate as demand. This capacity constraint in competitive markets means that any premiums in the sponge iron market will be passed on to the market for high-quality iron ore – that is, to the DR pellets that LKAB plans to produce. Therefore, LKAB's planned investment in sponge iron will not yield better returns than the alternative of solely producing DR pellets.

Under certain conditions, LKAB can still receive a price premium on its sponge iron. This requires a carbon dioxide price that exceeds 150 dollars per ton and an electricity price below 30 dollars per MWh. With a carbon price of about 200 dollars per ton and an electricity price of 20 dollars per MWh, LKAB can improve its operating profit by 260 million dollars per year via its investment in sponge iron production in Malmburget. However, considering the context, this is a low return that only occurs with relatively unlikely future price combinations for carbon dioxide and electricity after 2034.

This best-case outcome must be weighed against the additional price, market, and project risks that LKAB takes on. The most significant risk is that LKAB will be overburdened by the extensive investments and projects it is planning. The commitment to transition the company from an iron ore producer to a sponge iron producer may negatively affect LKAB's high-priority and necessary projects to secure the company's existence. This includes transitioning to producing fossil-free pellets and conducting deep mining operations in both Malmburget and Kiruna. Furthermore, LKAB also intends to commence extraction of rare earth metals in the Per Geijer deposit, which are strategically important for the EU.

Against this background, LKAB's plans for sponge iron production must be viewed as a high-risk venture with limited potential for reasonable returns. The investment must also be considered low-priority in this context and should only be pursued if LKAB can demonstrate with certainty that the venture will be profitable.

## Assessing the profitability of H2GS's ventures

H2GS states that their investment in the steel plant in Boden amounts to 5.7 billion dollars. The calculations in this report estimate the investment cost to be 7.5 billion dollars. This indicates that H2GS needs an additional 1.8 billion dollars in capital to cover their investment costs until 2030.

The competitive situation for H2GS in the short and medium term is challenging. The calculations show that H2GS steel will be the most expensive on the market, but at the same time cannot be expected to be price-setting due to the global overcapacity in the steel market. In the short and medium term, H2GS's must rely on selling its steel to businesses that already want to offset carbon emissions and market their products as fossil-free. The size of this market is unclear.

Moreover, competition can be expected to be fierce. Firstly, because there is already climate-neutral steel on the European market produced from scrap in electric arc furnaces. This steel emits roughly the same amount of CO<sub>2</sub> as H2GS steel will, except for the indirect emissions through the electricity system. The indirect emissions are compensated via ETS1 and reflected in the electricity price. The cost of producing steel in electric arc furnaces from steel scrap is significantly lower than with H2GS technology and supply is also expected to increase in the EU and globally. Secondly, because the production cost of H2GS steel in the short term is on par with the cost of steel from the traditional process, via blast furnaces with high emissions, including compensation for carbon dioxide emissions. Therefore, H2GS will face tough competition in this narrow "fossil-free/climate-neutral" segment of the steel market in the short and medium term.

In addition to competing for steel customers, H2GS must also compete for access to inputs. For scrap steel, it competes with, among others, European steel mills producing steel from scrap in electric arc furnaces. For DR pellets, they compete with sponge iron plants and steel plants based on natural gas technologies – in particular with plants located in the Middle East with good access to cheap natural gas. Both these technologies have lower production costs than H2GS, giving them better margins to negotiate supply contracts. They can also pay a higher price for their inputs than H2GS to ensure continued production if the supply of scrap steel or DR pellets reaches its capacity limits. Moreover, with the global expansion of electric arc furnaces and sponge iron plants, the price of scrap steel and DR pellets are expected to rise. Overall, this puts H2GS at a significant competitive disadvantage in the raw material markets.

The estimates above are based on relatively favorable production cost assumptions for H2GS steel compared to other technologies. Assumptions of higher input, plant and electricity costs mean that the potential for profitable production of H2GS is significantly eroded. In the longer term, higher carbon prices within the ETS1 may improve the competitiveness of H2GS – once the steel industry is fully covered by the EU Emissions Trading



Scheme and Border Adjustment Mechanism. However, this is ten years in the future. One conclusion is that H2GS investment is too early to fully benefit from the potential advantages of hydrogen technology.

The phase-in of carbon costs creates strong incentives for the steel industry to reduce its emissions. To meet emission targets, mining companies and steel producers are therefore investing in new technologies to reduce emissions as quickly and cost-efficiently as possible. It is unclear how much emissions can be reduced, at what rate and at what cost. However, if the majority of the emitting steel industry succeeds, H2GS will struggle to compete in a future steel market. The very pessimistic conclusion is that H2GS can only be profitable if the global steel industry in general fails to reduce its emissions – resulting in continued high global CO<sub>2</sub> emissions.



# 1 Inledning

SSAB, LKAB och H2 Green Steel (H2GS) har aviserat satsningar på att producera vad de marknadsför som "fossilfritt" eller "grönt" stål i Norrland. Storleken på satsningarna har ingen svensk historisk motsvarighet. Bolagens kommunicerade planer är knapphändiga samtidigt som de ekonomiska och tekniska detaljerna är begränsade och utspridda i ett stort antal källor.

Trots omfattningen av projekten har inget av bolagen redovisat någon ekonomisk lönsamhetsanalys, varken företagsekonomisk eller samhällsekonomisk. Vad gäller LKAB är detta synnerligen anmärkningsvärt eftersom bolaget ägs av staten och dess planer är så omfattande att de kommer att få betydande effekter på samhället.

## Företagens planer<sup>1</sup>

LKAB avser att ställa om sin verksamhet från att vara leverantör av järnmalm till att vara leverantör av fossilfritt järn i form av så kallad järnsvamp. Detta kräver omfattande investeringar i kapitalintensiva anläggningar för fossilfri produktion av järnsvamp med hjälp av vätgas samt anläggningar för att kunna producera den vätgas som behövs. LKAB har annonserat att omställningen kan komma att kosta mellan 150 och 400 miljarder kronor. LKAB avser att ställa om sin verksamhet i Malmberget till 2030 och därefter succesivt ställa om all verksamhet i Kiruna.

H2GS avser att 2030 producera fem miljoner ton fossilfritt stål i Boden i vad som här benämns "H<sub>2</sub>-stålverk".<sup>2</sup> Detta ska ske genom att först producera järnsvamp på liknande sätt som LKAB med hjälp av vätgas och i efterföljande steg tillverka handelsfärdigt stål.

## Tidigare studier

Det finns ett flertal komparativa kostnads- och lönsamhetsstudier av H<sub>2</sub>-stålverk jämfört med traditionella stålverk som tillverkar stål i masugnar<sup>3</sup> och andra tekniker. Studierna är sammanställda i bilagan. Litteraturen visar att H<sub>2</sub>-stålverken på sikt kan bli konkurrenskraftiga i relation till traditionella stålverk. Förutsättningarna för detta är att elpriset

---

<sup>1</sup> Se Sundén (2023) för en närmare beskrivning av företagets planer.

<sup>2</sup> Här definieras ett H<sub>2</sub>-stålverk som ett stålverk som tillverkar råstål från järnsvamp i ljusbågsugnar med hjälp av fossilfri el. Järnsvampen tillverkas av fossilfria DR-pellets med hjälp av vätgas och fossilfri el. Vätgasen tillverkas i sin tur genom elektrolys av vatten med hjälp av fossilfri el.

<sup>3</sup> Här definieras ett traditionellt stålverk som ett stålverk som tillverkar råstål från järnmalm med hjälp av syrereduktion i masugnar med efterföljande kolreduktion.



inte är för högt och att priset på koldioxid är tillräckligt högt. Det gäller även under förutsättning att investeringskostnaderna för elektrolys av vatten till vätgas samtidigt inte är för höga. Dessa förutsättningar uppskattas i de flesta fall kunna nås över tid i takt med att priset på koldioxid ökar och att kostnaderna för investeringar i elektrolys faller.

## Möjligheter för fossilfritt stål genom EU-ETS och CBAM

EU:s nya klimatmål medför ett hårt tryck på den europeiska järn- och stålindustrin att minska utsläppen. Den tidigare gratistilldelningen av utsläppsrätter till järn- och stålsektorn, inom ramen för ETS1, fasas ut till 2034. Samtidigt ska utsläppen minskas genom att i snabbare takt begränsa nyttgivningen av utsläppsrättigheter inom ETS1. Från och med 2039 ska utgivningen av utsläppsrättigheter upphöra.

För att förhindra att produktionen flyttar utanför EU och att producenter utanför EU får konkurrensfördelar på EU-marknaden införs parallellt en gränjusteringsmekanism som prissätter utsläppen på importerade järn och stålprodukter – Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Denna ska fungera som en importtariff (tull). Nivån på tariffen bestäms utifrån skillnaden på priset på utsläppsrättigheter inom EU och i den region produkterna importeras från. Efter 2039 ska det i princip inte vara möjligt att släppa ut växthusgaser i atmosfären från de sektorer som täcks av ETS1. Sparade utsläppsrättigheter och eventuella framtida regelförändringar i klimatmålen där utsläpp inom EU kvittas mot utsläppsminskningar utanför EU kan medföra möjligheter för fortsatta utsläpp efter 2039.

För traditionella stålverk, med utsläpp på motsvarande två ton koldioxid per ton stål, innebär detta en utmaning eftersom produktionskostnaden på stålet successivt kommer att stiga samtidigt som reglerna i sin nuvarande utformning i princip kräver nollutsläpp från 2039. Det ger EU:s järn- och stålsektor 15 år att ställa om. Fossilfria tekniker och tekniker som med tiden enkelt kan minska sina utsläpp blir därför intressanta att försöka industrialisera och kommersialisera.

## Omställningen kommer ske under hård konkurrens om insatsvarorna

Med en omställning till nya tekniker blir andra insatsvaror i stålproduktionen mer kritiska än tidigare. El, stålskrot och högkvalitativ järnmalm kommer bli mer betydelsefulla med en trolig press uppåt på priserna. Exempelvis ska LKAB:s och H2GS investeringar i norra Norrland konkurrera om elen med andra storskaliga industrisatsningar i området som vill få tillgång till den i dag billiga elen. Den norrländska elen har redan attraherat så omfattande investeringar att Svenska kraftnät (2022) prognosticerar att det genomsnittliga elpriset i elområde SE1 blir knappt 82 öre per kWh 2027. Sedan denna prognos publicerades har ytterligare stora investeringar aviserats i Norrland – exempelvis e-metanolprojektet Flagship One i Örnsköldsvik.

Satsningarna på järnsvamp och stål med fossilfria tekniker kommer därför att utsättas för hård konkurrens och på marknader där priserna på dessa teknikers insatsvaror kan förväntas stiga.

## Det finns alternativ för LKAB som kan vara mer lönsamma

LKAB:s planerade investeringar har ingen existerande motsvarighet globalt vad gäller omfattningen, varken vad gäller vätgas- eller järnsvampsproduktionen. Omställningen till järnsvampsleverantör innebär dessutom risker vad gäller marknadsutvecklingen för insatsvaror och järnsvamp. Till detta ska läggas konkurrerande innovationer, användningen av nya tekniker, LKAB:s interna kapacitet att ställa om till ett helt nytt affärsområde samt oklarheter rörande kapitalanskaffningen.

Riskerna och oklarheterna väcker därför frågan om BAU-alternativet (*Business As Usual*) är mer lönsamt för LKAB. Det vill säga om det är mer lönsamt att avstå från de planerade investeringarna i järnsvamp och i stället fokusera på att utveckla sin järnmalmsproduktion. Frågan är viktig eftersom efterfrågan på LKAB:s högkvalitativa järnmalm, så kallade DR-pellets, prognosticeras öka med högre priser som följd. Tillverkning av järnsvamp med hjälp av vätgas kommer under sådana omständigheter i bästa fall att ge begränsad avkastning och i värsta fall leda till stora förluster.

## Syfte

Syftet med denna rapport är att bedöma satsningarna i Norrland utifrån ett företagsekonomiskt lönsamhetsperspektiv. Frågeställningarna är:

1. Är LKAB:s satsning på järnsvamp lönsam?
2. Är LKAB:s planerade vertikala integration nedströms lönsam jämfört med BAU?
3. Är H2GS satsning på fossilfritt stål lönsam?

## Metod

För att bedöma lönsamheten behöver kostnaderna uppskattas för samtliga steg i värdekedjan. Det omfattar separata kostnadsbedömningar av vätgastillverkning, vätgaslager, järnsvampstillverkning samt ståltillverkning. Dessa kostnader beräknas som *Levelised Cost of Production* (LCOP) per producerad enhet. I denna kostnad ingår kostnader för anläggningstillgångar (CAPEX) samt kostnader för drift och underhåll (OPEX). Måttet gör det även möjligt att enkelt värdera hur kostnaderna för koldioxidutsläppen påverkar produktionskostnaderna i takt med att järn- och stålindustrin integreras i EU:s system för utsläppshandel och gränsjusteringsmekanism för koldioxid. Dessutom kan måttet jämföras mellan tekniker och ställas mot priset på marknaden för att bedöma lönsamheten i en satsning. Metoden är enkel, används generellt för att göra dessa typer av beräkningar samt ger tydliga svar på rapportens frågeställningar. Samtliga beräkningar sker i US dollar

eftersom marknadspriserna ofta anges i dollar. Det undviker växelkurseffekter.<sup>4</sup> I bilagan ges alla beräkningsförutsättningar.

De enskilda bolagens exakta konfigurationer av sina anläggningar är inte kända. Beräkningarna här ska därför ses som värderingar av de valda teknikerna i mer generella termer. Antagandena görs därför genomgående i första hand för att ge en så låg produktionskostnad som möjligt för de vätgasbaserade teknikerna i relation till de övriga och i andra hand för att reflektera antagandena i litteraturen. Detta innebär att bästa möjliga jämförbarhet av produktionskostnaderna uppnås. De resulterande värdena kan samtidigt även ses som en lägsta gräns för kostnaderna för att producera vätgas, vätgaslager, järnsvamp och råstål. Därefter görs känslighetskalkyler givet högre priser på el, DR-pellets och stålskrot.

Beräkningarna omfattar bara värdekedjan fram till och med produktionen av råstål. Värdestegen därefter kan skilja sig betydligt beroende på vilken typ av stål man avser att tillverka. Därför inkluderas denna inte i värderingen av produktionskostnaden för det fossilfria stålet.

Pandemin och Rysslands invasion av Ukraina medförde högre och mer volatila marknadspriser på insatsvaror, järnmalm, järn och stål. TransitionZero and Global Efficiency Intelligence (2022) uppskattar att priset på råstål oavsett tillverkningsteknik steg med mellan 40 och 60 procent bara under 2021. Dessutom uppskattas skillnaderna i produktionskostnaderna ha ökat mellan producenter med de lägsta och de högsta kostnaderna. Ökningarna drevs genomgående av stigande kostnader för insatsvaror. Priserna på insatsvaror har i de flesta fall under 2022 och 2023 fallit tillbaka och stabiliserats, med lägre produktionskostnader som följd.<sup>5</sup> Beräkningarna här måste förstås som att de inte fullt ut kan representera de globala spotmarknadspriserna som för tillfället gäller. De ska snarare ses som indikativa snittpriser över tid.

---

<sup>4</sup> När växelkurser används antas 10,5 kronor per dollar och 11,4 kronor per euro.

<sup>5</sup> OECD (2023a).

## 2 LKAB:s fossilfria järnsvamp

LKAB har aviserat att i ett första steg fram till 2030 ställa om hela sin produktion i Malmberget till järnsvamp.<sup>6</sup> Avsikten är att all bruten järnmalm ska gå till att tillverka fossilfria DR-pellets (Direct Reduction pellets) som därefter ska användas för att tillverka järnsvamp. Uppskattningsvis ska 5,4 miljoner ton järnsvamp produceras i Malmberget när omställningen är klar. Därefter är LKAB:s avsikt att ställa om verksamheten i Kiruna på samma sätt. Senast 2050 ska LKAB producera 24,4 miljoner ton järnsvamp totalt i Kiruna och Malmberget.

Det finns begränsad ekonomisk information om LKAB:s planer.

- LKAB uppger investeringsbehovet till mellan 10 och 20 miljarder kronor per år under en period på mellan 15 och 20 år framöver. Det motsvarar investeringar på mellan 150 och 400 miljarder kronor totalt.<sup>7</sup> Det är oklart om dessa siffror avser bolagets totala investeringsbehov eller om det enbart gäller ompositioneringen till fossilfri järnsvampsproducent.
- I LKAB:s och SSAB:s förstudie anger Hybrit (2018) att kostnaderna för att framställa råstål i H<sub>2</sub>-stålverk blir mellan 20 och 30 procent högre än via den traditionella processen.
- SSAB uppskattar att den bruttopremie som i framtiden kan tas ut på fossilfritt stål är cirka 330 dollar per ton.<sup>8</sup> De uppger dessutom att detta påslag uppskattningsvis leder till en procents högre priser i konsumentledet, exempelvis för köpare av en bil.<sup>9</sup>

---

6 En mer detaljerad beskrivning av satsningarna finns i rapporten *Från brunt till grönt* (Sundén 2023).

7 LKAB (2020).

8 SSAB (2023a).

9 SSAB (2023a).

## 2.1 Järnsvampsmarknaden

Järnsvamp från enbart vätgas finns än så länge inte i industrialiserad och kommersiell drift. Järnsvamp tillverkas i dagsläget till 70 procent från naturgas och till 30 procent från kol (främst för lokal användning i Indien). De flesta anläggningarna är baserade i Mellanöstern och Asien med god och nära tillgång till naturgas. Dessa två regioner står tillsammans för nästan 70 procent av produktionen. Det finns i dagsläget ytterst begränsad produktion i Europa.<sup>10</sup>

Eftersom cirka 80 procent av den producerade järnsvampen är inlåst i vertikala värdekedjor uppgår den tillgängliga handlade järnsvampen på marknaden endast till mellan 25 och 30 miljoner ton.<sup>11</sup> I ett globalt perspektiv innebär detta att handelsbar järnsvamp står för cirka 1,5 procent av den totala stålproduktionen.

### Efterfrågan på järnsvamp förväntas öka

Den globala efterfrågan på järnsvamp förväntas öka eftersom allt fler stålverk ställer om till grönare stålproduktion där järnsvamp är en produkt som kan bidra till att minska koldioxidutsläppen.

Den naturgasbaserade järnsvampen kostar drygt 300 dollar att tillverka, se bilagan. Det kan jämföras med att priset på järnsvamp i snitt har varit 350 dollar och under de allra senaste åren 370 dollar. Skillnaden mellan tillverkningskostnad och pris indikerar en premie som troligtvis har sitt ursprung i att efterfrågan på handelsbar järnsvamp överstiger produktionskapaciteten.<sup>12</sup> En sådan premie är en stark prissignal för mer investeringar i järnsvampsanläggningar. Marknaderna har reagerat på denna premie och den förväntade efterfrågeökningen genom att utöka produktionen och investera i järnsvampsanläggningar. Produktionskapaciteten av järnsvamp har ökat i snabb takt och uppskattas att öka med ytterligare 40 procent till 2032, från dagens 127 miljoner ton till 177 miljoner ton, se figur 1. Denna efterfrågeökning gäller enbart handelsbar järnsvamp. Till 2050 förväntas efterfrågan öka med 125 procent.<sup>13</sup>

LKAB:s planerade järnsvampsprojekt ska ses mot denna bakgrund. LKAB satsar på att tjäna pengar på järnsvampsmarknaden genom att integrera sig vertikalt nedströms och tillverka järnsvamp av den järnmalm bolaget har tillgång till.

---

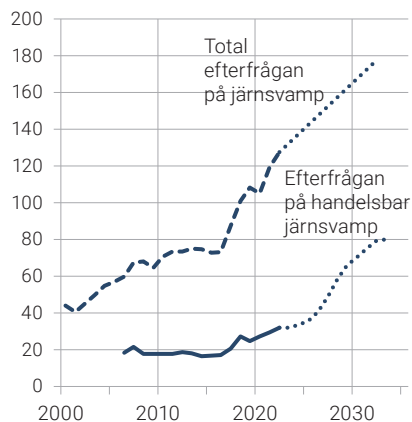
<sup>10</sup> Midrex (2023).

<sup>11</sup> Midrex (2023) och International Iron Metallics Association (2023).

<sup>12</sup> Priset under senare år har även drivits upp av högre pris på insatsvaror, i synnerhet naturgas.

<sup>13</sup> International Iron Metallics Association (2023).

**Figur 1: Produktion av järnsvamp**  
miljoner ton



**Figur 2: Pris på järnsvamp**  
dollar per ton järnsvamp (FOB Indien)



Källa: Midrex (2023), International Iron Metallics Association (2023), Steelonthenet.com (2023) och egna beräkningar.

## Effekter av EU-ETS och CBAM

Den potentiella lönsamheten i LKAB:s affärsidé accentueras av att stålindustrin måste betala för sina utsläpp via ETS1 och CBAM. Det kommer driva upp priset på järnsvamp som produceras från naturgas när den importeras till EU – dels för att naturgasen innebär utsläpp, dels på grund av att elsystemen i de järnsvampsproducerande länderna är bruna. Uppskattningsvis uppgår de direkta och indirekta utsläppen från naturgasbaserad järnsvamp till 766 kilo per ton järnsvamp, se bilagan. Ett pris på 100 dollar per ton koldioxid innebär således ett pålägg med 77 dollar per ton järnsvamp när ETS1 och CBAM är fullt utbyggt. LKAB:s järnsvamp leder i bästa fall endast till små indirekta utsläpp via det svenska elsystemet – i dagsläget cirka två kilo per ton järnsvamp – vilket kompenseras för inom ETS1, se bilagan.

## Insatsvarornas betydelse

Kostnaden för att tillverka järnsvamp består till största delen av kostnader för insatsvaror. För järnsvamp från naturgas utgör DR-pellets den i särklass största kostnaden, nästan 70 procent. För järnsvamp från vätgas står DR-pellets och el för de största kostnaderna – tillsammans 74 procent, se tabell 1.

## Tabell 1: Relativ produktionskostnad efter kostnadsslag

Procentuell andel

Kostnad	Naturgasbaserad järnsvamp	Vätgasbaserad järnsvamp
Anläggningskostnader	6,2	14,9
DR-pellets (järnmalm)	68,4	42,3
Naturgas	12,7	–
Elektricitet	4,7	31,7
Övrigt	8,1	11,0
<b>Summa</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Not: Antagna priser: DR-pellets: 150 dollar per ton, el: 50 dollar per MWh, naturgas: 4 dollar per mmBTU.

Källa: Egna beräkningar, se bilagan.

De höga elkostnaderna för vätgasbaserad järnsvamp härrör från produktionen av vätgas. Uppskattningsvis kostar enbart vätgasen 227 dollar per ton järnsvamp (vid ett antaget elpris inklusive nätavgift på 50 dollar per MWh, 52 öre/kWh). Det kan jämföras med cirka 40 dollar om naturgas används i stället. Det medför att kostnaden för att ta bort syret från järnmalmen blir mer än fem gånger så hög med vätgas från elektrolys jämfört med naturgas.

### DR-pelletsens betydelse för produktionskostnaden

Järnsvamp bör tillverkas från DR-pellets av så hög kvalitet som möjligt. Sämre kvalitet – genom lägre järnhalt och högre andel föroreningar – ger sämre effektivitet och högre produktionskostnader. Priset på DR-pellets uttrycks många gånger som en premie utöver priset på järnmalm av sämre kvalitet. Det genomsnittliga priset på järnmalm med 62 procents järnhalt var 106 dollar per ton under perioden 2010–2022. Premien för DR-pellets var i snitt 67 dollar per ton under perioden 2015–2022.<sup>14</sup> Det ger ett riktpreis för DR-pellets på cirka 173 dollar per ton på den globala marknaden. LKAB:s intäkter från pelletsverksamheten de senaste fem åren motsvarar ett pelletspris på cirka 140 dollar per ton och de två senaste åren på cirka 190 dollar per ton.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Fastmarkets.

<sup>15</sup> Det inkluderar alla typer av pellets även BF-pellets. Uppgifterna är baserade på LKAB:s årsredovisningar.

Utbyggnaden av järnsvampskapacitet har varit möjlig på grund av att tillgången på DR-pellets inte varit begränsad. Den ökade efterfrågan på järnsvamp och den ökade tillverkningskapaciteten är en delförklaring till att priset på DR-pellets stigit när produktionen av DR-pellets inte ökat i samma takt som efterfrågan.

Efterfrågan på DR-pellets är således direkt knuten till produktionen av järnsvamp. Uppskattningsvis handlades 46 miljoner ton DR-pellets på världsmarknaden under 2022. Enbart för att täcka behovet av redan planerade järnsvampsanläggningar behöver produktionen av DR-pellets mer än fördubblas till knappt 120 miljoner ton.<sup>16</sup> Tillgången till handelsbara DR-pellets är dock begränsad. Detta eftersom endast ett fåtal gruvor har malm av tillräckligt hög kvalitet och på grund av malmen är inlåst i vertikalt integrerade värdekedjor. Anrikning av malm av sämre kvalitet till DR-pellets är dessutom än så länge inte kostnadseffektivt.

International Iron Metallics Association (2023) uppskattar att tillgången på handelsbara DR-pellets endast ökar till 85 miljoner ton DR-pellets efter 2030. Det innebär att järnsvampsanläggningarna efter 2030 förväntas ha en överkapacitet på motsvarande 30 procent i förhållande till tillgången på DR-pellets. Till viss del kan behovet av DR-pellets täckas av malm av sämre kvalitet. För de järnsvampsanläggningar som väljer, alternativt tvingas till, detta alternativ ökar produktionskostnaderna på grund av den försämrade energieffektiviteten. Risken är att vissa anläggningar inte får tillgång till DR-pellets för att kunna köras med full kapacitet. I värsta fall kan vissa anläggningar tvingas att stänga ned.

Mot en sådan bakgrund blir tillgången till DR-pellets kritisk för järnsvampsindustrin. LKAB:s DR-pellets blir då en strategiskt viktig insatsvara på den globala järnmalmsmarknaden. En satsning enbart på DR-pellets är därmed ett ekonomiskt attraktivt alternativ till att satsa på egen järnsvampstillverkning. Eftersom LKAB även planerar att göra sina pellets fossilfria får de ytterligare en konkurrensfördel.

Givet en premie på cirka 67 dollar per ton DR-pellets i dag är en premie på upp till 100 dollar eller mer i framtiden inte orealistiskt. Det motsvarar ett pris på drygt 200 dollar per ton DR-pellets eller mer. Detta högre och troligtvis mer volatila pris drabbar alla järnsvampsanläggningar som drivs med handelsbara DR-pellets oavsett om tillverkningen sker med vätgas eller naturgas.

## Den fossilfria elens betydelse i värdekedjan

Den fossilfria elen i norra Norrland är attraktiv och har lockat till sig omfattande investeringar. Sammantaget har de största planerade investeringarna i elområde SE1 ett elbehov på mellan 34 och 39 TWh redan 2030, utöver de cirka 10 TWh som redan konsumeras i området.<sup>17</sup> Det överstiger de 27 TWh som produceras i elområdet. Följden är att övriga

---

<sup>16</sup> International Iron Metallics Association (2023).

<sup>17</sup> LKAB 16 TWh, SSAB 1 TWh, H2GS 13–17 TWh och Grupo Fertiberia 4–5 TWh.



elområden i Norden behöver överföra mellan 17 och 22 TWh till elområde SE1 under 2030 om alla satsningar realiserar. Enligt Svenska kraftnät (2022) leder investeringarna till att årsmedelpriset i elområde SE1 förväntas stiga till över 78 dollar per MWh under 2027 (82 öre per kWh). Johansson m.fl. (2022) uppskattar i sina beräkningar kostnaden för el till 89 dollar per MWh för att producera fossilfritt stål i elområde SE1.

Det är oklart om de investerade företagen har tagit med effekterna på elmarknaden av andra företags investeringar i sina kostnadskalkyler eller om de utgått från att nuvarande prisnivåer gäller även i framtiden. Oavsett hur företagen gjort sina lönsamhetskalkyler är den fossilfria elen i det nordiska elsystemet en attraktiv insatsvara som lockar till sig investerare, inte bara i Norrland. Om producenterna av fossilfritt stål kan generera betydande premier som baseras på den fossilfria elen reagerar naturligtvis både elproducenter och övriga marknader. Ett betydligt högre pris på industriproduktion i Norrland är därför en naturlig konsekvens. Det i synnerhet eftersom produktionen blir geografiskt inlåst i Norrland och därmed helt beroende av den regionala elmarknaden i elområdet och det nordiska elsystemet. Investeringarna i fossilfri järnsvamp och fossilfritt stål i kombination med andra stora investeringar i Norrland kommer att ta all elproduktion i elområde SE1 i anspråk. När H2GS produktion startar 2026 måste elområde SE1 få el från andra elområden för att täcka behoven. De låga priser som historiskt varit fallet kan därför inte ses som en riktlinje. Den höga efterfrågan på el kan även göra fossil elproduktion både lönsam och nödvändig för att balansera elsystemet.

## 2.2 Är vätgasbaserad järnsvamp lönsam?

För att värdera om produktion av vätgasbaserad järnsvamp är lönsam uppskattas här produktionskostnaderna för både vätgas- och naturgasbaserad järnsvamp. I referensberäkningen antas priset på el vara 50 dollar per MWh inklusive nätavgifter och priset på DR-pellets sätts till 150 dollar per ton. Beräkningarna innehåller även känslighetsanalyser där priset på el, premien på DR-pellets och priset på koldioxid varierar. Övriga antaganden och hur kostnaderna beräknas för de olika teknikerna redovisas i bilagan.

### Investeringskostnader

LKAB:s investeringskostnader för vätgastillverkning och järnsvampsanläggning beräknas till som minst 607 dollar per ton järnsvamp i installerad kapacitet. För Malmberget med en planerad produktion på cirka 5,4 miljoner ton järnsvamp innebär detta ett investeringsbehov för LKAB på minst 3,3 miljarder dollar (34 miljarder kronor) fram till 2030, se tabell 2. Per år motsvarar detta i grova drag LKAB:s genomsnittliga utdelning till staten under de senaste fem åren. För omställningen av produktionen i Kiruna krävs investe-



ringar på som minst 11,5 miljarder dollar (121 miljarder kronor). Sammanlagt ger det ett investeringsbehov för LKAB på 15 miljarder dollar (156 miljarder kronor). Det beräknade värdet är i linje med LKAB:s uppgivna lägsta nivå på 150 miljarder kronor. I de kommande beräkningarna är således de annualiserade anläggningskostnaderna (CAPEX) lågt räknade och troligtvis undervärderade.

**Tabell 2: LKAB:s investeringsbehov för att ompositionera bolaget**

*Miljarder dollar och miljarder kronor*

Plats och tidpunkt	Investeringsbehov (miljarder dollar)	Investeringsbehov (miljarder kronor)
Malmberget till 2030	3,3	34
Kiruna efter 2030	11,5	121
<b>LKAB totalt</b>	<b>14,8</b>	<b>156</b>

*Källa: Egna beräkningar, se bilagan.*

## Produktionskostnader

Avgörande för LKAB:s möjligheter att lönsamt kunna producera fossilfri järnsvamp är att marknadspriset är så pass högt att LKAB:s produktionskostnader kan täckas. Om vätgasbaserad järnsvamp har en lägre produktionskostnad än naturgasbaserad är detta villkor uppfyllt eftersom den dyrare naturgasbaserade järnsvampen kommer att vara prissättande på marknaden. Om LKAB:s järnsvamp i stället är dyrare än järnsvampen från naturgas betyder detta inte per automatik att LKAB:s järnsvamp inte går att sälja. Efterfrågan kan mycket väl vara så pass hög att LKAB:s dyrare vätgasbaserade järnsvamp blir prissättande.

Produktionskostnaden för naturgas- och vätgasbaserad järnsvamp redovisas i tabell 3. Uppskattningsvis blir produktionskostnaden cirka 191 dollar högre för vätgasbaserad järnsvamp. Den högre kostnaden förklaras främst av högre anläggningskostnader på grund av stora investeringar i vätgasproduktion samt av höga kostnader för elektricitet. Den naturgasproducerade järnsvampen har en stor konkurrensfördel i säker tillgång till billig naturgas i och med att anläggningarna är placerade i regioner med tillgång till stora mängder naturgas med redan uppbyggd infrastruktur för distribution. Denna infrastruktur kan även användas i stor skala för att transportera och lagra koldioxid som man i framtiden planerar att fånga i järnsvampsanläggningarna.

### Tabell 3: Produktionskostnad efter kostnadsslag

Dollar per ton järnsvamp

Kostnad	Naturgasbaserad järnsvamp	Vätgasbaserad järnsvamp	Skillnad
Anläggningskostnader	19	75	+56
DR-pellets (järnmalm)	213	213	0
Naturgas	40	0	-40
Elektricitet	15	160	+145
Övrigt	25	56	+31
<b>Summa</b>	<b>312</b>	<b>503</b>	<b>+ 191</b>

Not: Baserat på följande priser: DR-pellets: 150 dollar per ton, naturgas: 4 dollar per mmBTU, el: 50 dollar per MWh.

Källa: Egna beräkningar, se bilagan.

### Produktionskostnader inklusive kostnader för koldioxid

Prissätts koldioxidutsläppen från produktionen av naturgasbaserad järnsvamp blir den vätgasbaserade järnsvampen cirka 115 dollar dyrare per ton vid ett elpris på 50 dollar per MWh och ett koldioxidpris på 100 dollar.

I figur 3 visas hur olika kombinationer av priset på el och koldioxid påverkar skillnaden i produktionskostnad mellan naturgasbaserad och vätgasbaserad järnsvamp givet dagens utsläppsnivåer. Det ljusa området representerar de kombinationer av priser som gör att vätgasbaserad järnsvamp blir billigare än naturgasbaserad. Området är avgränsat till kombinationer där priset på el är lägre än 40 dollar per MWh och priset på koldioxid är högre än 135 dollar per ton koldioxid.

Med ett koldioxidpris på cirka 2 000 kronor per ton och ett elpris på 20 öre per kWh kan LKAB förbättra sitt rörelseresultat med som mest 2,7 miljarder kronor per år via sin investering i järnsvampsproduktion i MalMBERGET. I sammanhanget är detta en låg avkastning som endast uppkommer vid en relativt osannolik framtida priskombination för koldioxid och el efter 2034.

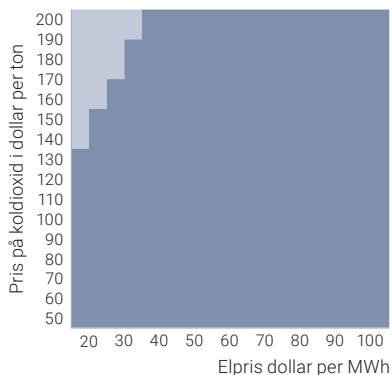
Elsystemen världen över är prognostiserade att gå mot allt högre fossilfri produktion, vilket leder till att de indirekta utsläppen via elkonsument minskar. Detta kan förväntas leda till att koldioxidutsläppen från produktion av naturgasbaserad järnsvamp minskar från 766 till 698 kilo per ton järnsvamp. Figur 4 visar på samma sätt som figur 3 skillnaden i produktionskostnader givet 2034 års lägre indirekta utsläpp i övriga världen. Området där den gröna järnsvampen har en kostnadsfördel blir mindre jämfört med figur 3 och begränsas ytterligare till än lägre priser på el och än högre priser på koldioxid. Vid ett

elpris på 50 dollar per MWh och ett koldioxidpris på 100 dollar blir den vätgasbaserade järnsvampen cirka 122 dollar dyrare per ton än den naturgasbaserade.

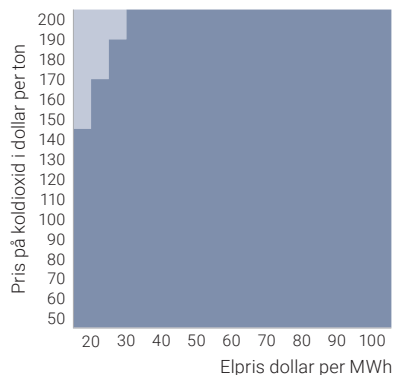
Ovanstående betyder att den naturgasbaserade järnsvampen tillverkad utanför EU med stor säkerhet kommer att vara billigare än LKAB:s fossilfria järnsvamp även med kompensation för koldioxidutsläpp. Kostnadsfördelen kan även förbättras om de naturgasbaserade anläggningarna går över till en högre inblandning av vätgas i produktionen. Detta innebär en övergång från grå till blå vätgas där naturgasen omvandlas till vätgas i ett första steg. Sådana anläggningar kan konstrueras så att koldioxidutsläppen sker på så få platser som möjligt i anläggningarna, vilket gör koldioxiden enklare och billigare att fånga in för att därefter kunna användas i annan verksamhet alternativt skickas vidare till lagring. I Mellanöstern innebär detta exempelvis att koldioxiden återförs till de utrymmen där olja och naturgas utvinns eller har utvunnits. Detta förfarande ger lägre kostnader för koldioxidutsläpp, men även högre anläggningskostnader för att fånga in och transportera koldioxiden. Faktiskt uppmätta resultat visar på att mellan 50 och 85 procent av CO<sub>2</sub>-utsläppen i nuläget kan fångas in, men kostnaderna är oklara.<sup>18</sup>

## Relativt lönsamhetsfönster för LKAB:s järnsvamp

Figur 3:  
Med 2022 års koldioxidutsläpp



Figur 4:  
Med 2034 års koldioxidutsläpp



Not: ■ Välgasbaserad järnsvamp billigare.  
■ Naturgasbaserad järnsvamp billigare.

Baserat på följande priser: DR-pellets: 150 dollar per ton, naturgas: 4 dollar per mmBTU, el: 50 dollar per MWh.

Källa: Egna beräkningar, se bilagan.

<sup>18</sup> Sundén (2023).

## Produktionskostnader med vätgaslager

LKAB har indikerat en storlek på vätgaslagret som motsvarar tre till fyra dagars produktion av järnsvamp.<sup>19</sup> Med vätgaslager är tanken att kunna styra produktionen av vätgas till tider när elpriset förväntas vara lågt på grund av låg efterfrågan och/eller högt utbud. LKAB:s planerade vätgaslager är för litet för att kunna dra nytta av säsongsvariationer i elpriset, men kan användas för justeringar mellan olika timmar och som mest ett par dagar.

För att täcka en kontinuerlig produktion av järnsvamp som planeras i Malmberget behöver LKAB installera elektrolysörer med en sammanlagd effekt på ungefär 2,0 GW. För att kunna producera extra vätgas till lagret när elpriset är lågt behövs ytterligare installerad effekt. Det är oklart hur mycket extra effekt som är nödvändig för att optimera kostnads-effektiviteten för hela systemet.

Energibehovet för den kontinuerliga driften av elektrolysörer och järnsvampsanläggningar kan uppskattas till drygt 17 TWh el för Malmberget. Det motsvarar 50 MWh per dag som behöver handlas upp från elmarknaden, timme för timme om samtliga anläggningar körs kontinuerligt 90 procent av tiden. Stängs elektrolysörerna av under vissa timmar av dygnet eller under veckan följer att motsvarande energibehov behöver tas igen under andra timmar under dygnet eller veckan. Konsekvensen är att energibehovet kommer vara betydligt högre än 50 MWh per dag när elektrolysörerna väl körs.

Det ligger utanför denna rapports möjligheter att uppskatta hur vätgaslager påverkar produktionskostnaderna utan mer detaljerad information om hur det avses att användas mer specifikt. Bhaskar m.fl. (2022) undersöker hur vätgaslager påverkar produktionskostnaden för råstål tillverkat av vätgasbaserad järnsvamp i norra Norge. Författarna kommer fram till att produktionskostnaden för råstålet kan sänkas med upp till 15 procent genom att utnyttja variationer i elpriset med hjälp av ett vätgaslager. Studien utgår från att producenten känner till morgondagens faktiska priser och även kan handla till dessa priser. Det är inte sannolikt att en aktör med så stort elbehov som LKAB kan handla el på spotmarknaden på ett sådant sätt utan att elpriset stiger. Besparingspotentialen på 15 procent kan därför troligtvis ses som en övre gräns för hur mycket kostnaderna i produktionen kan sänkas. Besparingspotentialen genom vätgaslager är för liten för att ändra ovanstående resultat.

## Är LKAB:s pelletstillverkning mer lönsam än järnsvampsproduktion?

Att den vätgasbaserade järnsvampen är dyrare än den naturgasbaserade innebär inte per automatik att den vätgasbaserade är olönsam. Om efterfrågan på järnsvamp är tillräckligt hög kan den fossilfria järnsvampen bli prissättande. En sådan utveckling är dock förknippad med problem för LKAB.

---

<sup>19</sup> LKAB (2022).

För att priset på järnsvamp ska bli så pass högt måste först efterfrågan på järnsvamp öka för att priset ska stiga till LKAB:s produktionskostnad. I takt med att priset på järnsvamp ökar följer att efterfrågan på DR-pellets ökar. Eftersom mängden handelsbara DR-pellets är begränsad och har en maximal kapacitet som i framtiden inte täcker de globala järnsvampsanläggningarnas behov kommer DR-pelletsen med tiden att öka i pris, utan att produktionen ökar. Med konkurrensutsatta marknader innebär detta att eventuella premier från ökningarna i priset på järnsvamp kommer att tillfalla DR-pelletsen.

Det vill säga, om priset på järnsvamp stiger till de nivåer som krävs för att vätgasbaserad järnsvamp ska vara lönsam att producera stiger även priset på DR-pellets i motsvarande mån eftersom DR-pelletsmarknaden är kapacitetsbegränsad. Förenklat innebär detta att om LKAB:s satsning på järnsvamp genererar en premie så skulle denna premie konkurreras bort och i stället tillfalla LKAB:s DR-pellets.

Detta är även fallet om efterfrågan på järnsvamp är så stor att kapaciteten på järnsvampsmarknaden nås. Återigen är orsaken att konkurrensutsatta marknader leder till att premien slussas uppåt i värdekedjan till den insatsvara som begränsar marknaderna, vilket är DR-pellets.

Genom att tillverka järnsvamp av sina DR-pellets låser dessutom LKAB in sina pellets i sin egen värdekedja. För Malmbergets del innebär detta cirka 7,6 miljoner ton pellets på en framtida marknad som förutspås omsätta cirka 170 miljoner ton omkring 2030. Det motsvarar att nästan sex procent av utbudet på världsmarknaden försvinner, vilket rimligtvis ökar priset på DR-pellets.

## Hur mycket kan LKAB tjäna på en vertikal integration?

Om den naturgasbaserade järnsvampen i stället är prissättande på marknaden – dvs. med högre produktionskostnad än den vätgasbaserade – kan LKAB få en premie. Detta motsvarar de ljusa fälten i figur 3 och 4.

I bästa fall, dvs. med ett elpris på 20 dollar per MWh och ett koldioxidpris på 200 dollar, är den vätgasbaserade järnsvampen 48 dollar billigare än den naturgasbaserade. Det innebär i förlängningen att vätgasbaserad järnsvamp får en premie på 48 dollar per ton. För satsningen i Malmberget, som omfattar drygt 5,4 miljoner ton järnsvamp per år ger en sådan premie en förstärkning av LKAB:s rörelseresultat med knapp 0,3 miljarder dollar, eller cirka 2,7 miljarder kronor, årligen. För LKAB:s sammantagna satsning på 24,4 miljoner ton järnsvamp efter 2045 förstärks LKAB:s rörelseresultat med 1,2 miljarder dollar eller 12,6 miljarder kronor per år. Det kan jämföras med LKAB:s rörelseresultat som i genomsnitt var 1,9 miljarder dollar 2020 till 2022.



## 2.3 Motiverar avkastningen riskerna i investeringen?

Osäkerheterna i den globala värdekedjan från järnmalm till stål har varit hög under de senaste åren och råvarumarknadspriserna har uppvisat hög volatilitet. Stora delar av osäkerheten har sitt ursprung i pandemin och i Rysslands invasion av Ukraina. Osäkerheterna i värdekedjan har även mer strukturella orsaker som till stor del härrör från att stålindustrin på sikt måste minska sina koldioxidutsläpp. Dessa innebär risker för LKAB:s planer att integrera sig vertikalt nedströms och börja tillverka järnsvamp. Förutom redan diskuterade risker ovan sammanfattas dessa nedan.

- **Behovet av kapital.** Det är oklart hur stora investeringar som satsningarna kräver, och LKAB har aviserat att investeringarna är mellan 150 och 400 miljarder under de kommande 15 till 20 åren. Det stora spannet visar på att inte ens LKAB vet vilka satsningar som kommer realiseras och/eller vad de kommer att kosta. Bara investeringarna under de kommande sex åren kan komma att uppgå till 126 miljarder.<sup>20</sup> Det motsvarar som minst 50 procent av företagets årliga omsättning. De stora volymerna kapital som företaget planerar att använda skapar även politiska risker i och med att staten som ägare kan svänga vad gäller krav på utdelning och tillsättning av styrelse.
- **Okunskap och brist på erfarenhet.** LKAB:s planer för framtiden är för bolaget inom helt ny teknik och nya affärsområden. Satsningarna är dessutom av en skala som aldrig tidigare genomförts i världen. Det gäller vätgastillverkning, vätgaslagring och produktion av järnsvamp. LKAB ska dessutom samtidigt utveckla tekniker för att bryta malm på djupare nivåer. I jämförelse med tidigare investeringar är satsningarna och omställningen av bolaget betydligt mer omfattande. Historiskt har LKAB ingen erfarenhet av så omfattande satsningar och omställningar. Varje enskild del i LKAB:s satsningar är i en större skala än samtliga tidigare genomförda investeringar.
- **Brist på arbetskraft.** LKAB uppger att deras planer temporärt skapar 2 000 till 3 000 arbetstillfällen under en period över 20 år och 100 till 200 arbetstillfällen i de färdiga anläggningarna.<sup>21</sup> Dessa jobb ska tillsättas i konkurrens med SSAB, H2GS, Grupo Fertiberia och andra investerare och verksamheter i norra Norrland. H2GS uppger att de behöver 2 000 anställda bara i Boden och detta i sin tur genererar cirka 10 000 nya jobb inom andra verksamheter i regionen.<sup>22</sup> Grupo Fertiberia

---

<sup>20</sup> Sundén (2023).

<sup>21</sup> LKAB (2020).

<sup>22</sup> H2 Green Steel (2023).

uppger att de behöver 500 anställda för driften och cirka 2 000 för att bygga sin anläggning. Sammantaget ger det upp till 3 000 fast anställda i de olika anläggningarna och cirka 5 000 anställda för att bygga anläggningarna. Detta exkluderar alla andra nödvändiga verksamheter. Det finns en betydande risk att verksamheterna inte kommer att kunna hitta kvalificerad arbetskraft till alla dessa positioner.

- **Nya tekniker för LKAB.** När produktionsanläggningen för järnsvamp i Malmberget är färdigställd kommer den inte bara att vara den största i världen, utan en av de första som drivs helt och hållet av vätgas. Det är inte bara en helt ny teknik för LKAB, utan även för marknaden. I tillägg till detta ska LKAB bygga, driftsätta och driva vätgasproduktion och vätgaslager i en skala som inte har några existerande förlagor – det ska dessutom göras helt utan några egna erfarenheter. För att sätta LKAB:s planerade vätgasanläggning i perspektiv kan man konstatera att den måste vara minst 11 gånger större än dagens största anläggning i drift.<sup>23</sup> Storleken på LKAB:s vätgaslager kan även jämföras med världens största underjordiska vätgaslager, vilket håller på att byggas i Utah, USA.<sup>24</sup> Den anläggningen kommer att vara dubbelt så stor som LKAB:s planerade vätgaslager i Malmberget, men vara uppdelad i två separata underjordiska bergrum.
- **Anpassningar av de traditionella stålverken i stor skala blir lönsamma.** De stora gruvbolagen och de stora stålbolagen menar att lösningen för att minska koldioxidutsläppen kräver tekniker som gör den traditionella processen att tillverka stål fossilfri.<sup>25</sup> Det huvudsakliga skälet är att stålmarknaden är inlåst i traditionella stålverk som tillverkar stål från lågkvalitativ järnmalm. Det finns således starka incitament för att bevara den traditionella produktionsmetoden för att tillverka stål och därmed investera i lösningar som gör metoden fossilfri. Om sådana lösningar blir kostnadseffektiva i närtid och i stor skala utgör de ett allvarligt hot mot LKAB:s planer och kan förvandla fossilfri järnsvampsproduktion till en begränsad nischprodukt och i värsta fall en förlustaffär.

Förutom de risker som diskuterats ovan finns även andra faktorer som är viktiga att ta med i bedömningen.

## Det finns inga alternativanvändningar om satsningen misslyckas

Satsningarna i så stora anläggningar i Norrbotten är svåra att dra tillbaka om de visar sig vara olönsamma. Det finns få kostnadseffektiva alternativanvändningar för ett vätgaslager, en elektrolysanläggning och ett flertal järnsvampsanläggningar i nordligaste Norr-

---

<sup>23</sup> Collins (2022).

<sup>24</sup> Aces Delta (2023).

<sup>25</sup> Sundén (2023).



land. Detta kan i värsta fall även komma att gälla för de investeringar i elproduktion och överföringskapacitet som är nödvändig för att driva alla anläggningar.

## **LKAB har andra viktiga prioriteringar som riskerar bli lidande**

LKAB har andra nödvändiga och högt prioriterade investeringar. Den högst prioriterade investeringen för LKAB är att säkra tillgången till järnmalm på lång sikt genom att investera i malmbrytning på stora djup i både MalMBERGET och Kiruna. Uteblir dessa riskerar LKAB all sin framtida produktion. Framtiden kräver dessutom att LKAB:s verksamhet som minst ställer om till fossilfri produktion av pellets. Detta arbete har bara påbörjats och kommer kräva fokus, resurser och kapital. Ett tredje prioriterat område är att de sällsynta jordartsmetallerna i Per Geijer-fyndigheten nu har blivit lönsamma att bryta. Denna investering är inte bara viktig för LKAB utan även för EU.

Investeringarna i järnsvamp måste i jämförelse med dessa tre helt nödvändiga, viktiga och omfattande satsningar ses som lågprioriterade. Detta i synnerhet som den eventuella lönsamheten i produktionen av järnsvamp till stor del baseras på lönsamheten i att producera DR-pellets.

## **Samman tagen bedömning**

För att LKAB:s investeringar i järnsvampsproduktion ska vara mer lönsamma än att enbart producera pellets krävs att marknaderna prissätter fossilfri el lågt och koldioxid högt. Denna möjliga högre lönsamhet ska ställas mot alla de risker som LKAB tar på sig genom att vertikalt integrera sig nedströms. LKAB har andra mer högprioriterade och omfattande åtaganden som är nödvändiga för att säkra bolagets framtida existens. Mot den bakgrunden måste LKAB:s satsning på järnsvamp ses som lågprioriterad och endast genomföras om det säkert går att visa att satsningen blir lönsam.

# 3 H2GS fossilfria stål

H2GS avser att tillverka 2,5 miljoner ton fossilfritt stål i Boden 2026 och fem miljoner ton stål 2030 inom ramen för ett H<sub>2</sub>-stålverk.<sup>26</sup> Planen är att tillverka vätgas genom elektrolys som ska matas till järnsvampsanläggningar på liknande sätt som LKAB. Därefter ska den egentillverkade järnsvampen och stålskrot utgöra basen för råstållstillverkning i ljusbågsugnar. Råstålet matas därefter till anläggningar för att tillverka varm- och kallvalsat stål.<sup>27</sup> Den tekniska specifikationen innebär en stålskrotinblandning på 25 procent.<sup>28</sup> H2GS uppger att produktionsanläggningen kostar drygt 60 miljarder kronor, vilket är 35 miljarder mer än det första kostnadsuppskattningarna.

## 3.1 Konkurrenssituationen för H<sub>2</sub>-stålverk

Inom EU förväntas efterfrågan på och produktionskapaciteten av stål att vara relativt oförändrad framöver.<sup>29</sup> Knappt 57 procent av det europeiska stålet kommer från den traditionella processen via masugnar. Resterande del tillverkas i ljusbågsugnar. Av den totala produktionen exporteras cirka 12 procent och cirka 20 procent av efterfrågan täcks av import.<sup>30</sup>

I takt med att järn- och stålindustrin fasas in i ETS1 kommer sektorns kostnader för utsläpp att läggas på övriga produktionskostnader, vilket innebär att stålprodukterna blir relativt dyrare. Detta gäller främst traditionella stålverk för vilka högre produktionskostnader ger lägre efterfrågan inom EU och minskade möjligheter till export utanför EU. EU:s klimatregler kommer således att accelerera forskningen för att minska utsläppen från de traditionella stålverken och öka takten i övergången från traditionella stålverk till ljusbågsugnar, vilket exempelvis SSAB har annonserat. Enbart inom EU har tolv projekt aviserats om nyinvesteringar i stålverk med ljusbågsugnsteknik.<sup>31</sup> En större produktion av råstål i ljusbågsugnar både inom EU och globalt leder till högre efterfrågan på framför allt el, stålskrot, järnsvamp och indirekt högkvalitativ järnmalm i form av DR-pellets.

---

<sup>26</sup> En mer detaljerad beskrivning av satsningarna finns i rapporten *Från brunt till grönt* (Sundén 2023).

<sup>27</sup> SMS Group (2023).

<sup>28</sup> SMS Group (2023).

<sup>29</sup> International Energy Agency (2021).

<sup>30</sup> Eurofer (2023).

<sup>31</sup> OECD (2023b).

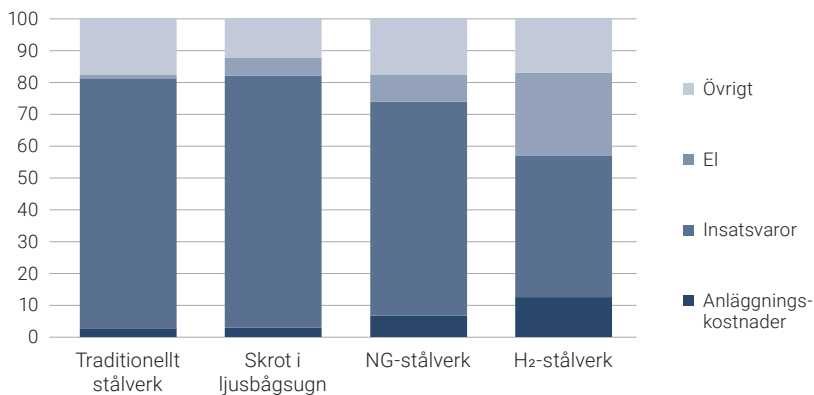
## Insatsvarornas betydelse

Kostnaden för att tillverka råstål består till största delen av kostnader för insatsvaror exklusive el. I ett traditionellt stålverk utgörs kostnaderna till cirka 80 procent av järnmalm, stålskrot och kol, se figur 5. I stålverk som baserar sin stålproduktion på järnsvamp från naturgas (NG-stålverk) eller från vätgas (H<sub>2</sub>-stålverk) utgör insatsvarorna knappt 70 procent respektive 44 procent av kostnaden, exklusive el. Det som skiljer är relativt sett högre kostnader för anläggningar då dessa även omfattar anläggningar för järnsvampsproduktion och för H<sub>2</sub>-stålverk tillkommer anläggningar för vätgasproduktion. Dessutom är kostnaden för el betydligt högre.

I ett H<sub>2</sub>-stålverk utgör elen uppskattningsvis en fjärdedel av kostnaden.

Figur 5: Fördelning av kostnaderna i vid produktion av råstål

Procentuell andel



Not: Antagna priser: Järnmalm: 100 dollar per ton, koks: 200 dollar per ton, stålskrot: 350 dollar per ton, DR-pellets: 150 dollar per ton, el: 50 dollar per MWh, naturgas: 4 dollar per mmBTU.

Källa: Egna beräkningar, se beräkningsförutsättningar och antaganden i bilagan.

Vätgasbaserad stålproduktion, där järnmalmen reduceras med vätgas i stället för koks, innebär därför ett tydligt skifte i kostnadssammansättningen. Produktionskostnaden i H<sub>2</sub>-stålverk styrs till större del av elpriset för att kunna ta bort syret ur järnmalmen. Det till skillnad mot den traditionella processen där produktionskostnaden är mer beroende av och känsligt för priset på koks för att kunna ta bort syret ur malmen.

## Stålskrot och/eller järnsvamp

Stålskrot, järnsvamp och andra järn- och järnmalmsprodukter kan till viss del användas utbytbart i produktionen av råstål. Marknaderna och priserna är därför delvis beroende av varandra. Ljusbågsugnar står för knappt 30 procent av den globala stålproduktionen, varav knappt fem procentenheter är baserat på järnsvamp och resterande 25 procent är baserat på stålskrot. Valet av hur mycket stålskrot som blandas in i tillverkningen av råstålet kan ändras i takt med att priset på stålskrot relativt järnsvamp ändras samt beroende på tillgång. För ljusbågsugnar som producerar högkvalitativt kall- och varmvalsat stål, såsom H2GS avser, kan andelen stålskrot utgöra upp till 60 procent.<sup>32</sup>

Under de senaste 15 åren har priset på stålskrot varierat mellan 200 och 600 dollar per ton. Under det senaste året har det stabiliserats mellan 300 och 400 dollar.<sup>33</sup> Det kan jämföras med priset på järnsvamp, som i snitt har varit 350 dollar per ton sedan 2011 och under de allra senaste åren legat på ca 370 dollar.

Stålintustrin förväntas ställa om till att använda mer stålskrot för att minska koldioxidutsläppen. En övergång till fler ljusbågsugnar ökar dessutom efterfrågan på högkvalitativt stålskrot eftersom toleranserna i ljusbågsugnar för orenheter i stålskrotet är mindre än för masugnar. Utbudet av stålskrot förväntas samtidigt öka i takt med att stålintustrin ställer om. Det är oklart hur priset på stålskrot kommer att påverkas av dessa förändringar på marknaderna.

Järnsvamp som tillverkas med hjälp av vätgas är dyrare än järnsvamp som tillverkas med naturgas (se avsnittet ovan om LKAB:s järnsvamp). Detta innebär att stål som tillverkas med vätgas blir dyrare än stål som tillverkas med naturgas, även om tekniken i övrigt är densamma. Sådant stål blir även dyrare än stål som tillverkas med en hög andel skrot i ljusbågsugnar.

H2GS stålverk är uppbyggt för att använda 25 procent stålskrot.<sup>34</sup> Detta låser in produktionen i 75 procent järnsvamp från vätgas. H2GS drabbas därför av samma problem som redan beskrivits för LKAB:s järnsvampstillverkning. Den dyrare järnsvampen är inlåst i H2GS värdekedja och blir den kritiska faktor som avgör konkurrenskraften i det handelsfärdiga stålet. Så blir fallet eftersom teknikerna i efterföljande steg är etablerade och inte driver upp produktionskostnaderna i förhållande till andra tekniker.

Konsekvensen av H2GS val av teknik ger därmed per automatik ett dyrare stål, men även en lägre flexibilitet jämfört med ljusbågsugnar som friare kan välja hur de ska fördela andelen skrot, järnsvamp och annat järn i sin produktion baserat på de priser som gäller för tillfället.

---

<sup>32</sup> Barrington (2022).

<sup>33</sup> OECD (2023a).

<sup>34</sup> SMS Group (2023).

## 3.2 Är råstål från H<sub>2</sub>-stålverk lönsamt?

För att värdera om råstål från H<sub>2</sub>-stålverk är lönsamt uppskattas här produktionskostnaderna för olika tekniker att tillverka råstål. I referensberäkningen antas priset på el vara 50 dollar per MWh inklusive nätavgifter och priset på DR-pellets sätts till 150 dollar per ton. Beräkningarna innehåller även känslighetsanalyser där priset på el, premien på DR-pellets och priset på koldioxid varierar. Övriga antaganden och hur kostnaderna beräknas för de olika teknikerna redovisas i bilagan.

### Investeringskostnader

Investeringskostnaderna i anläggningar för produktion av vätgas, järnsvamp och ljusbågsugnar uppskattas här till 687 dollar per ton råstål. Baserat på Nucors investering i ett liknande stålverk i West Virginia, exklusive vätgasproduktion, kan investeringskostnaden i efterföljande anläggningar för att processa råstålet till handelsfärdigt stål uppskattas till 820 dollar per ton.<sup>35</sup> Den sammanlagda investeringen för ett H<sub>2</sub>-stålverk kan därmed värderas till cirka 1 500 dollar per ton stål. För en anläggning med en kapacitet på fem miljoner ton blir investeringskostnaden 7,5 miljarder dollar.

H2GS har aviserat att investeringskostnaderna för stålverket i Boden med en kapacitet på fem miljoner ton stål är 5,7 miljarder dollar. Uppskattningen i denna rapport indikerar därför att H2GS i framtiden kommer behöva ta in ytterligare 1,8 miljarder dollar i kapital för att kunna täcka alla investeringskostnader.

### Produktionskostnader

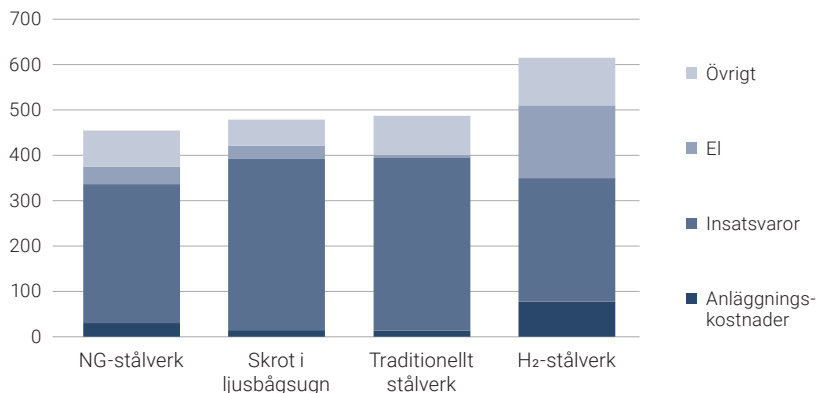
I referensberäkningen uppskattas produktionskostnaden för råstål från ett H<sub>2</sub>-stålverk till 614 dollar per ton, se figur 6. Det kan jämföras med 487 dollar från ett traditionellt stålverk. Uppskattningsvis är stålet från H<sub>2</sub>-stålverk mellan sju och 57 procent dyrare än råstål från ett traditionellt stålverk vid ett pris på el mellan 20 och 100 dollar per MWh. Det visar på den höga känsligheten för elpriset hos stål från H<sub>2</sub>-stålverk jämfört med andra tekniker.

---

<sup>35</sup> Nucor (2023) investerar för närvarande i ett stålverk i West Virginia exklusive vätgasproduktion men inklusive anläggningar för att tillverka handelsfärdigt stål. Investeringen beräknas till 3,4 miljarder dollar med en produktionskapacitet på tre miljoner ton.

**Figur 6: Produktionskostnad för råstål**

Dollar per ton råstål



Not: Antagna priser i referensberäkningen: Järnmalm: 100 dollar per ton, koks: 200 dollar per ton, stålskrot: 350 dollar per ton, DR-pellets: 150 dollar per ton, el: 50 dollar per MWh, naturgas: 4 dollar per mmBTU.

Källa: Egna beräkningar, se beräkningsförutsättningar och antaganden i bilagan.

Även jämfört med övriga tekniker är stålet från H<sub>2</sub>-stålverk dyrare. Jämfört med ett stålverk i Mellanöstern, baserat på naturgasbaserad järnsvamp (NG-stålverk), är kostnaden 35 procent högre. Jämfört med ett stålverk som tillverkar stål från skrot i ljusbågsugn är kostnaden 28 procent högre, se figur 6. Stål från skrot i ljusbågsugn inom EU medför dessutom relativt små koldioxidutsläpp i och med att de indirekta utsläppen från elsystemet redan är kompenserade för inom ETS1.

Stålet från H<sub>2</sub>-stålverk kommer således att bli det dyraste stålet som erbjuds på marknaden när det väl produceras. För att stålet ska vara lönsamt måste stålet därför antingen vara prissättande på marknaden alternativt kunna säljas till verksamheter som redan idag prisar in koldioxidutsläppen för att kunna sälja sina varor som fossilfria.

## Produktionskostnader inklusive kostnader för koldioxid

Problematiken med det första alternativet är att den globala stålproduktionen har cirka 30 procent överkapacitet.<sup>36</sup> Dessutom planeras produktionskapaciteten för ljusbågsugn att öka med som minst 11 miljoner ton brutto bara inom EU, vilket motsvarar en kapacitetsökning med som minst åtta procent. Det innebär att priset på marknaden kommer att sättas av billigare tekniker än H<sub>2</sub>-stålverk.

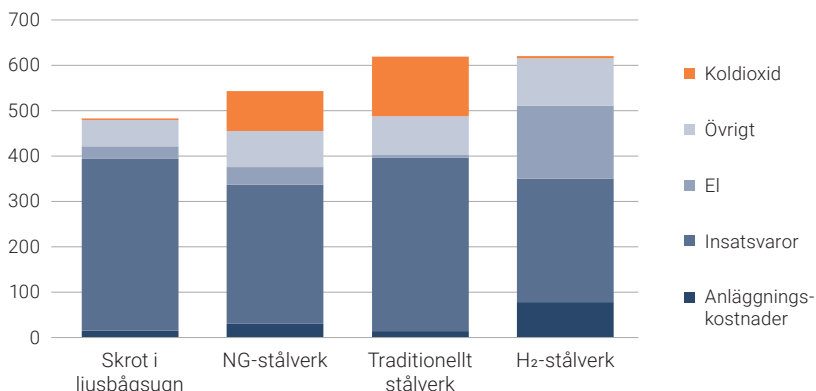
<sup>36</sup> OECD (2023b).

Problematiken med det andra alternativet är att stålet från H<sub>2</sub>-stålverk behöver konkurrera med stål som tillverkas från skrot i ljusbågsugnar. Detta stål är billigare, men samtidigt lika fossilfritt som det från H<sub>2</sub>-stålverk. Visserligen leder ståltillverkning från skrot i ljusbågsugnar i Kontinentaleuropa till indirekta utsläpp via brun elproduktion. Dessa utsläpp är dock redan kompenserade för inom ETS1 med högre elpriser som följd. Uppskattningsvis är stål från H<sub>2</sub>-stålverk nästan 30 procent dyrare att producera än skrotbaserat stål från ljusbågsugnar även med kompensation för utsläppen, se figur 7. En annan problematik är att stål från H<sub>2</sub>-stålverk i det närmaste kommer att kosta lika mycket som stålet från traditionella stålverk som i dagläget även kompenserar för sina utsläpp med dagens koldioxidpris, se figur 7.

På kort sikt och under övergångsperioden fram till att stålindustrin till fullo är infasad inom ETS1 kommer stål från H<sub>2</sub>-stålverk därför att vara dyrast och utsättas för hård konkurrens av redan etablerade tekniker. Detta vid ett lågt antaget elpris på 50 dollar per MWh, vilket ska jämföras med Svenska kraftnäts (2022) prognos för elpriset 2027 på 78 dollar per MWh och Johanssons m.fl. (2022) bedömning att elpriset för stålproduktion blir 89 dollar per MWh.

## Figur 7: Produktionskostnad för råstål inklusive kostnader för koldioxid

Dollar per ton råstål



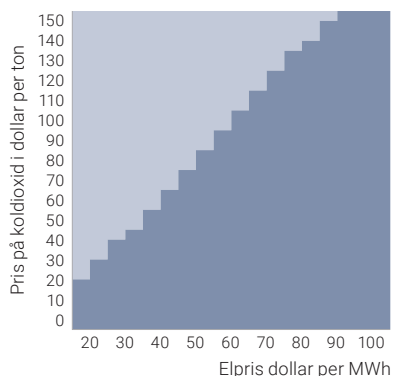
Not: Antagna priser i referensberäkningen: Järnmalm: 100 dollar per ton, koks: 200 dollar per ton, stålskrot: 350 dollar per ton, DR-pellets: 150 dollar per ton, el: 50 dollar per MWh, naturgas: 4 dollar per mmbTU, koldioxid: 80 dollar per ton.

Källa: Egna beräkningar, se beräkningsförutsättningar och antaganden i bilagan.

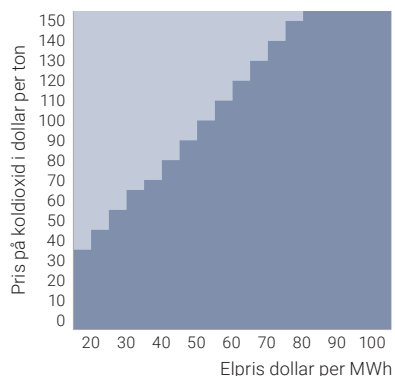
I figur 8 och 9 redovisas de kombinationer av el och koldioxidpris som gör stålet från H<sub>2</sub>-stålverk billigare att producera än stål från ett traditionellt stålverk från och med 2034 när stålindustrin är helt infasad i ETS1. Figur 9 visar samma sak som figur 8 men med högre antagna priser på insatsvarorna stålskrot och DR-pellets. Vilken nivå som priset på koldioxid då kommer ha är oklart. Prognoser visar ett spann mellan 110 och 180 dollar per ton koldioxid.<sup>37</sup> Givet ett koldioxidpris på 150 dollar kan stålet från H<sub>2</sub>-stålverk i framtiden vara konkurrenskraftigt upp till ett elpris på 90 dollar. Med högre priser på insatsvarorna är stålet konkurrenskraftigt upp till ett elpris på 80 dollar. I framtiden, från och med 2034 när stålindustrin är helt infasad i ETS1, kan stålet från H<sub>2</sub>-stålverk således bli konkurrenskraftigt gentemot den teknik som släpper ut mest koldioxid idag.

## Relativt lönsamhetsfönster för råstål från H<sub>2</sub>-stålverk jämfört med traditionellt stålverk

Figur 8:  
Referensberäkning



Figur 9:  
Med högre kostnader för insatser



Not:   
■ Råstål från H<sub>2</sub>-stålverk är billigare.   
■ Råstål från traditionella stålverk är billigare.

Antagna priser i referensberäkningen: Järnmalm: 100 dollar per ton, koks: 200 dollar per ton, stålskrot: 350 dollar per ton, DR-pellets: 150 dollar per ton, el: 50 dollar per MWh, naturgas: 4 dollar per mmBTU. Med högre insatskostnader är premien på DR-pellets och priset på stålskrot båda 50 dollar högre per ton.

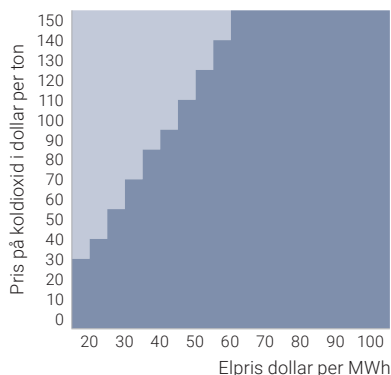
Källa: Egna beräkningar, se bilagan.

<sup>37</sup> GMK Center (2023).

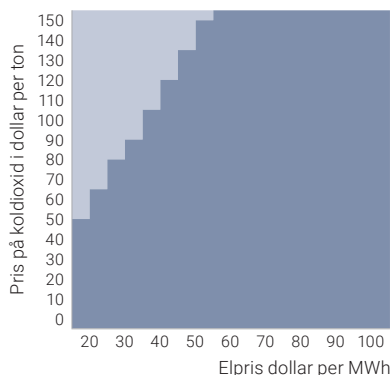


## Relativt lönsamhetsfönster för råstål från H<sub>2</sub>-stålverk med lägre koldioxidutsläpp

Figur 10:  
Referensberäkning



Figur 11:  
Med högre kostnader för insatser



Not: ■ Råstål från H<sub>2</sub>-stålverk är billigare.  
■ Råstål från traditionella stålverk är billigare.

Antagna priser i referensberäkningen: Järnmalm: 100 dollar per ton, koks: 200 dollar per ton, stålskrot: 350 dollar per ton, DR-pellets: 150 dollar per ton, el: 50 dollar per MWh, naturgas: 4 dollar per mmBTU. Med högre insatskostnader är premien på DR-pellets och priset på stålskrot båda 50 dollar högre per ton.

Källa: Egna beräkningar, se bilagan.

## Produktionskostnader med lägre koldioxidutsläpp i framtiden

Fram till 2034 kommer ett antal traditionella stålverk i Europa att i likhet med SSAB att tvingas ställa om till ljusbågsugnar och pensionera sina masugnar. De traditionella stålverk som blir kvar på marknaden kommer att vara de mest effektiva och de som lyckas minska sina utsläpp i en sådan omfattning att de fortfarande är konkurrenskraftiga även när de betalar för sina utsläpp.<sup>38</sup>

SSAB uppger exempelvis att de lyckats sänka sina utsläpp till 1,6 ton koldioxid per ton råstål.<sup>39</sup> Det pågår dessutom ett stort antal projekt för att försöka minska utsläppen från masugnarna. I takt med att den europeiska stålindustrin får betala alltmer för sina utsläpp kommer dessa tekniker att testas och implementeras. Det är oklart hur mycket utsläppen kan komma att kunna reduceras i de traditionella stålverken fram till 2034 när de behöver betala fullt ut för sina koldioxidutsläpp.

<sup>38</sup> För exempel på tekniker som utvecklas se Sundén (2023).

<sup>39</sup> Hybrit (2018).

I figur 10 och 11 visas konkurrensförhållandet mellan stål från H<sub>2</sub>-stålverk och från traditionella stålverk givet att de traditionella stålverken lyckats sänka sina utsläpp med 30 procent från 1,7 till 1,2 ton koldioxid per ton råstål.

Givet ett koldioxidpris på 150 dollar är det vätgasbaserade stålet konkurrenskraftigt upp till ett elpris på 60 dollar. Givet högre priser på insatsvarorna är stålet konkurrenskraftigt upp till ett elpris på 55 dollar.

### 3.3 Sammantagen bedömning

De redovisade beräkningarna ovan är baserade på antaganden som så långt som möjligt håller ned produktionskostnaden av stål från H<sub>2</sub>-stålverk jämfört med andra tekniker. Detta gäller främst investeringskostnaderna för produktion av vätgas och järnsvamp.

Vad gäller vätgasproduktion via elektrolys är detta en etablerad teknik. Problemet är i stället skalan på anläggningen och kravet på kontinuerlig tillgång till vätgas. Här antas att vätgasanläggningen kan utnyttjas till 90 procent av sin kapacitet. Kan inte vätgasanläggningen användas i denna omfattning måste vätgaskapaciteten vara högre med betydligt högre investeringskostnad som följd.

Vad gäller järnsvamp så antas investeringskostnaden i en anläggning som använder vätgas att vara densamma som i en anläggning som använder naturgas. Detta är ett starkt antagande eftersom den naturgasbaserade tekniken är fullt utvecklad, industrialiserad och kommersialiserad. Den vätgasbaserade tekniken har ännu enbart visats fungera på pilotstadiet.

Dessutom antas H<sub>2</sub>-stålverket kunna köras med full kapacitet från start, vilket troligtvis inte är möjligt. I H<sub>2</sub>-stålverket måste produktionen i samtliga steg harmoniseras – produktionen av vätgas, järnsvamp, råstål och handelsfärdigt stål. Detta är inte ett problem för tekniken, men för de företag, exempelvis H2GS, som är först ut på marknaden är detta en risk och ett lönsamhetsproblem som måste hanteras.

#### **Konkurrenssituationen för H<sub>2</sub>-stålverken på kort och medellång sikt**

Stålet från H<sub>2</sub>-stålverk kommer att vara det dyraste på marknaden. På kort och medellång sikt kan detta stål inte förväntas bli prissättande eftersom stålmarknaden lider av en omfattande global överkapacitet baserad på billigare tekniker.

På kort och medellång sikt måste H<sub>2</sub>-stålverken därför förlita sig på att kunna sälja sitt stål till verksamheter som redan idag klimatkompenserar för koldioxidutsläppen för att kunna sälja sina produkter som fossilfria. Hur stor denna marknad är i dagsläget är oklart. Oavsett marknadens storlek är konkurrensen inom segmentet hård eftersom stål som är klimatneutralt i samma grad som stålet från ett H<sub>2</sub>-stålverk redan finns på den europeiska marknaden i form av stål som tillverkas från skrot i ljusbågsugnar. Detta stål

orsakar samma utsläpp som H<sub>2</sub>-stålverk med undantag för de indirekta utsläppen via elsystemet. De indirekta utsläppen kompenseras för inom ETS1 och läggs på stålpriset. Kostnaden för att producera sådant "fossilfritt" stål är betydligt lägre än kostnaden för stål från H<sub>2</sub>-stålverk och utbudet förväntas även öka inom EU och globalt. H<sub>2</sub>-stålverken kommer därför att utsättas för mycket hård konkurrens på detta "fossilfria" segment på kort och medellång sikt från leverantörer som kan erbjuda ett billigare stål.

Förutom att konkurrera om kunder måste H<sub>2</sub>-stålverken konkurrera om insatsvaror. Vad gäller stålskrot måste de konkurrera med europeiska ljusbågsugnar och vad gäller DR-pellets måste de konkurrera med naturgasbaserade järnsvamps- och stålverk främst i Mellanöstern. Båda dessa tekniker har betydligt lägre produktionskostnader än H<sub>2</sub>-stålverken, vilket ger dem bättre marginaler att förhandla om leveranskontrakt och betala ett högre pris än H<sub>2</sub>-stålverken för att säkra fortsatt produktion om tillgången blir knapp. Det innebär i värsta fall att H2GS hamnar sist i kön för att få köpa både DR-pellets och stålskrot och därmed riskerar att antingen bli utan eller tvingas köpa sämre kvalitet. Givet att priserna på stålskrot och DR-pellets stiger i takt med att det etableras fler ljusbågsugnar och järnsvampsanläggningar har därför H<sub>2</sub>-stålverken betydande konkurrensnackdelar på insatsvarumarknaderna.

## Konkurrenssituationen för H<sub>2</sub>-stålverken på längre sikt

På längre sikt och i takt med att stålindustrin faser in i ETS1 kommer priset på stål från traditionella stålverk att öka till nivåer som kan göra stålet från H<sub>2</sub>-stålverk konkurrenskraftigt. Detta kräver för det första att priset på koldioxid inte blir för lågt och att priset på el inte blir för högt. För det andra krävs att priserna på de nödvändiga insatsvarorna stålskrot och DR-pellets inte blir för höga. För det tredje krävs att H<sub>2</sub>-stålverken inte drabbas av begränsad tillgång på dessa insatsvaror och tvingas köra med begränsad kapacitet eller blanda in järnmalm av lägre kvalitet. Lönsamhetsfönstret för H<sub>2</sub>-stålverken är därmed pressat från många olika håll. Lönsamheten i H<sub>2</sub>-stålverk avgörs således av att rätt kombinationer av priserna på koldioxid, el, stålskrot och DR-pellets faller ut i framtiden. Marginalerna för detta är snäva jämfört med andra tillverkningstekniker.

I takt med att de traditionella stålverken behöver betala för sina utsläpp kommer kravet på att minska utsläppen alltmer att realiseras. De stora gruvbolagen och stålproducenterna menar att utsläppsmålen inte går att nå utan att de traditionella stålverken blir koldioxidneutrala.<sup>40</sup> De investerar därför tillsammans i nya tekniker som snabbt och kostnads-effektivt kan få ned utsläppen. Trots att många nya tekniker utvecklas och testas är det oklart hur pass mycket utsläppen kan reduceras, i vilken takt och hur mycket reduktionen kommer att kräva i ökade investeringar och driftkostnader.

---

<sup>40</sup> Sundén (2023).

Det är viktigt att förstå att högre koldioxidpriser visserligen förbättrar H<sub>2</sub>-stålverkens konkurrenskraft. Men viktigare är att högre koldioxidpriser skapar mycket starka drivkrafter för de traditionella stålverken att minska sina koldioxidutsläpp. För att H<sub>2</sub>-stålverken ska bli konkurrenskraftiga krävs således att de traditionella stålverken inte kan minska sina utsläpp allt för mycket och i allt för snabb takt, alternativt att teknikerna för att minska utsläppen blir kostsamma. Med andra ord, för att H<sub>2</sub>-stålverken ska vara lönsamma ska helst de mest utsläppande teknikerna misslyckas med att minska sina utsläpp med högre utsläpp globalt som följd.

## **Kritiska faktorer för att H2GS ska få lönsamhet i sin produktion**

För H2GS betyder detta att deras stål på kort sikt med stor säkerhet kommer vara det dyraste på marknaden. De måste därför förlita sig på att de kan sälja sitt stål till verksamheter som i sin tur vill sälja sina produkter som fossilfria. H2GS kommer inom detta stålmarknadssegment att konkurrera med europeiska stålverk som redan idag tillverkar fossilfritt stål från stålskrot i ljusbågsugnar.

För att H2GS ska lyckas på kort sikt måste bolaget producera med full kapacitet. Detta kräver för det första att de kan säkra leveranser av el, DR-pellets och stålskrot till rimliga priser. Dessa ska handlas upp på konkurrensutsatta marknader där tillgången till de nödvändiga resurserna på samtliga marknader är begränsad. För det andra krävs att de kan sälja hela sin produktion. Det kräver att efterfrågan inom segmentet är tillräckligt hög och att stålproducenter med lägre produktionskostnader inte kan täcka efterfrågan. På längre sikt blir H2GS även beroende av tillräckligt höga priser på koldioxid och att alternativa tekniker inte ställer om i för snabb takt. Marginalerna för H2GS att skapa lönsamhet är således knappa och förenade med betydande osäkerheter på både kort och lång sikt.

# 4 Bilaga: Värdekedjornas produktionskostnader

Beräkningarna och antagandena som redovisas i denna bilaga ligger till grund för värderingarna av lönsamheten hos de värdekedjor som LKAB och H2GS planerar med antaganden där så är möjligt utifrån vad som är känt om deras respektive satsningar.

Antagandena görs genomgående för att ge en så låg produktionskostnad som möjligt men samtidigt så långt reflektera antaganden som görs i litteraturen och de marknadspriser som gäller. De resulterande värdena kan således ses som lägsta gränser för kostnaderna för att producera vätgas, järnsvamp och råstål.

I redovisningen nedan antas priset på el, DR-pellets och stålskrot vara fast i samtliga beräkningar: DR-pellets 150 dollar per ton, elpris 50 dollar per MWh och stålskrot 350 dollar per ton. Därefter görs känslighetskalkyler vad gäller dessa insatsvarors priser i själva rapporten.

Beräkningarna omfattar bara värdekedjan fram till och med produktionen av råstål. Värdestegen därefter kan skilja sig betydligt beroende på vilken typ av stål man avser att tillverka. Det är inte helt klart vilket slags anläggningar som H2GS och SSAB avser att använda i dessa steg och därmed vilka kostnader det handlar om. Därför inkluderas de inte i värderingen av produktionskostnaden för det fossilfria stålet.

De produktionstekniker som produktionskostnaden beräknas för och jämförs är följande:

1. produktion av vätgas,
2. produktion av vätgasbaserad järnsvamp,
3. produktion av vätgasbaserat råstål,
4. produktion av naturgasbaserad järnsvamp,
5. produktion av naturgasbaserat råstål,
6. produktion av råstål från masugnar samt
7. produktion av råstål från stålskrot i ljusbågsugnar.

## 4.1 Tidigare kostnads-kalkyler

Det finns ett flertal komparativa kostnads- och lönsamhetsstudier av integrerade H<sub>2</sub>-stålverk jämfört med traditionella stålverk och andra tekniker.

Fischedick m.fl. (2014) visar att H<sub>2</sub>-stålverken kan konkurrera ut traditionella stålverk först runt 2050. Höga investeringskostnader och beroendet av billig fossilfri el gör att H<sub>2</sub>-stålverken kan bli lönsamma tidigast mellan under 2030-talet. Studien visar även att vätgaslager påverkar tillverkningskostnaderna eftersom större delar av vätgasproduktionen då kan förläggas till perioder med lägre elpris.

Vogl m.fl. (2018) visar att produktionskostnaden i ett H<sub>2</sub>-stålverk är mellan 397 och 704 dollar per ton råstål och är känsligt för priset på el och andelen stålskrot som används. Stål från ett H<sub>2</sub>-stålverk blir konkurrenskraftigt först vid ett koldioxidpris mellan 37 och 75 dollar med ett elpris på 44 dollar per MWh. Författarna påpekar även att tillverkningsprocessen i ett H<sub>2</sub>-stålverk är mer flexibel genom att det är möjligt att lagra vätgas och/eller järnsvamp samt variera andelen stålskrot i produktionen, vilket ger utrymme att anpassa efterfrågan på el.

Hybrit (2018) anger att LKAB:s och SSAB:s planerade vertikalt integrerade Hybrit process – liknande ett H<sub>2</sub>-stålverk – innebär att produktionskostnaderna blir 20–30 procent högre än den traditionella masugnstekniken. De menar att lägre elpriser på förnybar el och högre pris på koldioxid kommer att göra Hybrit-tekniken mer attraktiv i framtiden.

Material Economics (2019) uppskattar att produktion av stål med litet till inget koldioxidavtryck kommer att kosta 20 till 30 procent mer än det stål som tillverkas i dag. Specifikt uppger de att kostnaden för råstål från H<sub>2</sub>-stålverk uppgår till mellan 443 och 517 dollar per ton vid ett elpris i intervallet 44 och 66 dollar per MWh. Kostnaden för råstål från ett traditionellt stålverk uppskattar de till 371 dollar per ton. Det implicerar att råstålet från H<sub>2</sub>-stålverken kostar 10 till 27 procent mer än stål från ett traditionellt stålverk.

Agora (2019) uppskattar att vätgasbaserat råstål kommer att kosta mellan 36 och 61 procent mer än råstål från den traditionella masugnstekniken 2050. Mer precist menar de att kostnaden blir 585 till 693 dollar per ton råstål jämfört med 430 dollar för råstål från den traditionella processen.

Krüger m.fl. (2020) beräknar produktionskostnaderna i ett H<sub>2</sub>-stålverk till cirka 440 dollar per ton råstål. Syftet är dock att jämföra olika tekniker att tillverka stål inom ramen för H<sub>2</sub>-stålverk och är således inte en direkt lönsamhetsanalys av hur tekniken står sig mot konkurrerande metoder.

International Energy Agency (2020) uppskattar produktionskostnaden för stål från H<sub>2</sub>-stålverk till mellan 550 och 750 dollar per ton råstål om priset på el är 45 dollar per MWh. Jämfört med stål från masugnar, utan kostnader för koldioxidutsläpp, är kostnaden mellan 20 och 70 procent högre. Givet ett koldioxidpris på cirka 100 dollar per ton koldioxid kan stålet från H<sub>2</sub>-stålverk bli konkurrenskraftigt jämfört med traditionella stålverk om priset på el är lägre än 30 dollar per MWh.

Bhaskar m.fl. (2021) uppskattar produktionskostnaden i ett H<sub>2</sub>-stålverk till 669 dollar per ton råstål vid ett elpris på 56 dollar per MWh. Det är 60 procent högre än produktionskostnaden för i övrigt samma produktionsteknik men driven med naturgas.

Jacobasch m.fl. (2021) beräknar produktionskostnaden i H<sub>2</sub>-stålverk till mellan 786 och 1 000 dollar per ton råstål med ett elpris på 86 dollar per MWh. Det är 100 till 150 procent mer än för stål från ett traditionellt stålverk eller för samma produktionsteknik drivet av naturgas. Även om elen är gratis blir kostnaden för att producera stål i ett H<sub>2</sub>-stålverk högre. Med ett koldioxidpris på 120 dollar kan ett H<sub>2</sub>-stålverk bli konkurrenskraftigt. Till 2050 uppskattar de att produktionskostnaden kan minska till cirka 550 dollar per ton. De menar därför att H<sub>2</sub>-stålverken gradvis kan introduceras på marknaden genom att börja drivas med naturgas för att därefter gå över till vätgas vartefter kostnaderna för att investera elektrolysörer blir lägre.

Hydrogen Europe (2022) baserar sina beräkningar på att vätgasen produceras från solel. Produktionskostnaden för ett ton råstål från ett H<sub>2</sub>-stålverk skattar de till mellan 774 och 897 dollar med ett elpris på 88 dollar per MWh. Produktionskostnaden blir mellan 17 och 40 procent högre än för stål från ett traditionellt stålverk som betalar för sina koldioxidutsläpp. För att H<sub>2</sub>-stålverk ska kunna konkurrera med traditionella stålverk behöver priset på koldioxid vara cirka 154 dollar per ton.

Bhaskar m.fl. (2022) inkluderar vätgaslager i sina beräkningar av produktionskostnaden för ett H<sub>2</sub>-stålverk i Norge. Med ett fast elpris på 60 dollar per MWh är kostnaden 714 dollar per ton råstål. Med vätgaslager varierar kostnaden mellan 622 och 722 dollar per ton beroende på hur vätgasproduktionen konfigurerats. Som bäst kan vätgaslager minska produktionskostnaden med 15 procent. Jämfört med ett traditionellt stålverk är kostnaden cirka 40 procent högre.

Skillnaderna i litteraturen mellan de skattade produktionskostnaderna i H<sub>2</sub>-stålverk är i vissa fall stora och har olika bakgrund.

## Investeringar i och effektiviteten hos elektrolysörer

I flera fall i litteraturen antas låga investeringskostnader för elektrolysörerna samt att de är mer effektiva än vad dagens teknik tillåter. Det för att efterlikna en situation som kan tänkas gälla i framtiden. I flera fall återspeglar därför varken de antagna investeringskostnaderna eller effektiviteten dagens faktiska förhållanden. De lägre estimaten på produktionskostnader reflekterar många gånger således investeringar i framtiden och är inte alltid relevanta som jämförelse med en investering idag.<sup>41</sup>

## Premien på DR-pellets är ofta lågt satt

Premien för DR-pellets var i snitt 67 dollar per ton under perioden 2015–2022 med ett snittpris på 173 dollar per ton. Trots detta väljer flertalet av studierna ett pris på cirka 100 dollar per ton eller lägre, vilket innebär att premien för DR-pellets antingen är noll och i vissa fall till och med negativ.<sup>42</sup>

## Priset på stålskrot ofta satt lågt

Priset på stålskrot sätts i de flesta fall till betydligt under dagens snittpris på mellan 300 och 400 dollar per ton. Det stålskrot som säljs till ett pris under 300 dollar är inte användbart i ljusbågsugnar. Det är förbehållet den traditionella processen där masugnarna har högre toleranser för föroreningar i skrotet.

## Kostnaderna för anläggningsinvesteringar har ökat

Såväl de senaste årens höga inflation som den makroekonomiska och säkerhetspolitiska utvecklingen har medfört att kostnaderna för anläggningsinvesteringar ökat betydligt. Flera av studierna är genomförda med antaganden om priser som ligger många år bakåt i tiden och utan hänsyn till inflation och en stigande efterfråga på fossilfri teknik.

---

<sup>41</sup> Fishedick m.fl. (2014), Vogl m.fl. (2018), Material Economics (2019), Agora (2019) och International Energy Agency (2020).

<sup>42</sup> Vogl m.fl. (2018), Krüger m.fl. (2021), Bahaskar m.fl. (2021), Fishedick m.fl. (2014) och International Energy Agency (2020).



## 4.2 Vätgas – järnsvamp – råstål

Värdekedjan i ett H<sub>2</sub>-stålverk består av produktion av vätgas, vätgaslager samt tillverkning av järnsvamp och råstål. Ett modernt naturgasdrivet stålverk, med järnsvampstillverkning och ljusbågsugnar, har i dagsläget en ungefärlig kapacitet att tillverka drygt två miljoner ton järnsvamp och drygt 2,5 miljoner ton stål årligen. Där så är möjligt redovisas kostnader och investeringar för ett sådant stålverk för att ge en bild av omfattningen. Som jämförelse avser H2GS att tillverka fem miljoner ton stål per år i ett H<sub>2</sub>-stålverk med två produktionslinjer.

### 4.2.1 Kostnader för att tillverka vätgas

#### Investeringskostnader

Mängden vätgas som krävs för att kommersiellt tillverka järnsvamp i industriell skala innebär omfattande investeringar i elektrolyskapacitet. Investeringskostnaden för elektrolysörer har fallit över tid. Uppskattningsvis har kostnaderna minskat med upp till 2,5 procent per år uttryckt som priset per kW H<sub>2</sub>.<sup>43,44</sup> Utvecklingen framöver är oklar, men ett flertal prognosmakare indikerar att investeringskostnaden kan falla med över 80 procent till 2050, se tabell 4. Det gäller oavsett typ av elektrolysör.

Tabell 4: Investeringskostnad hos olika typer av elektrolysörer

Dollar per kW H<sub>2</sub>

Typ <sup>1</sup>	Referens	År	Min	Medel	Max	
AE	IEA	2020		500		
		2030		400		
		2050		200		
	IRENA	2020			840	
		2050			200	
	Bloomberg	2019			1200	
2022			600	850	1 100	

<sup>43</sup> Priset per kW H<sub>2</sub> är ett normaliserat mått som uttrycker investeringskostnaden att tillverka en kW vätgas i stället för investeringskostnaden per kW för elektrolysören, eftersom elektrolysörernas effektivitet varierar.

<sup>44</sup> Christensen (2020).

Typ <sup>1</sup>	Referens	År	Min	Medel	Max	
	Bloomberg	2025	400	700	1 000	
		2030	115	125	135	
		2050	80	89	98	
	Christensen	2020	571	920	1 268	
		2030	541	875	1 208	
		2050	487	789	1 090	
PEM	IEA	2020		1 100		
		2030		650		
		2050		200		
	Bloomberg	2019			1 400	
		2030	425	713	1 000	
		2050	150	175	200	
	Christensen	2020	385	1 227	2 068	
		2030	365	1 167	1 968	
		2050	325	1 053	1 781	
	SOE	IEA	2020		2 800	
			2030		800	
			2050		500	
Christensen		2020	677	1 481	2 285	
		2030	647	1 411	2 175	
		2050	587	1 278	1 968	

Not: <sup>1</sup> AE – Alkaline Electrolysers, PEM – Polymer Electrolyte Membrane Electrolysers, SOE – Solid Oxide Electrolysers.

Källa: Christensen (2020).

Investeringarna i Norrland ska ske i närtid och eventuella framtida lägre investeringskostnader kan inte ligga till grund för lönsamhetsanalyser i dag. En sammanställning av investeringskostnaderna ger en kostnad för elektrolysörer på mellan 900 och 1 800

dollar per kW H<sub>2</sub> i dagsläget, se tabell 5. För ett modernt H<sub>2</sub>-stålverk med en kapacitet att tillverka cirka 2,5 miljoner ton råstål varierar investeringskostnaden enbart för elektrolysörerna mellan 828 och 1 655 miljoner dollar.

Investeringskostnaden för anläggningarna (CAPEX) antas vara 1 000 dollar per kW H<sub>2</sub>. Denna kostnad antas inkludera kostnader för markpreparering, byggnader och anslutning till externt elnät utanför anläggningen.<sup>45</sup> Diskonteringen och avkastningskravet sätts till 10 procent, vilket motiveras av att risken i investeringen är hög. Vätgasanläggningarna är de största som någonsin byggts och i en aldrig tidigare genomförd skala. Det höga avkastningskravet har i sammanhanget relativt liten påverkan på den totala produktionskostnaden. Anläggningarna antas ha en livslängd på 20 år men elektrolysörerna måste bytas var tionde år.

Uppgifterna om elektrolysörernas effektivitet varierar i litteraturen. Detta har medfört att de flesta studier utgår från relativt schablonartade antaganden om effektiviteten. Många gånger antas 50 kWh för att tillverka ett kilo vätgas, vilket motsvarar 66,7 procents effektivitet. I beräkningarna antas 50 kWh per kilo vätgas. Antagandet sker i kombination med antagandet om anläggningskostnader (CAPEX) som sätts till 1 000 dollar per kW H<sub>2</sub>. Det motsvarar en installation av relativt billiga PEM-elektrolysörer med hög effektivitet eller AE-elektrolysörer.

**Tabell 5: Investeringskostnad och effektivitet hos olika typer av elektrolysörer**

*Dollar, miljoner dollar och procent*

Typ <sup>1</sup>	År	Investering			Effektivitet (%)
		per kW H <sub>2</sub> (\$)	per ton råstål (\$)	H <sub>2</sub> -stålverk <sup>2</sup> (miljoner \$)	
AE	2020	900	331	828	70
PEM	2020	1 250	460	1 150	60
SOE	2020	1 800	662	1 655	80

Not: <sup>1</sup> AE – Alkaline Electrolysers, PEM – Polymer Electrolyte Membrane Electrolysers, SOE – Solid Oxide Electrolysers. <sup>2</sup> Med en kapacitet på 2,5 miljoner ton råstål.

Källa: Egna beräkningar baserade på Christensen (2020) och Europeiska kommissionen (2020).

<sup>45</sup> Hydrogen Europe (2022).

Elektrolysörerna antas kunna köras 90 procent av tiden, vilket ger relativt liten marginal för driftstopp och underhåll. Totalt ger dock dessa antaganden ett krav på en total installerad effekt på 766 MW, vilket grovt överensstämmer med H2GS planerade kapacitet på 800 MW.<sup>46</sup>

## Driftkostnader för elektrolys

Det finns inga exakta uppgifter om de fasta driftkostnaderna inklusive underhåll för att tillverka vätgas från elektrolys. I litteraturen anges uppgifter om två till fem procent av kapitalkostnaden per kW H<sub>2</sub>.<sup>47</sup> En grov uppskattning ger att de fasta driftkostnaderna är mellan 30 och 60 dollar per kW H<sub>2</sub>. I beräkningarna antas den fasta driftkostnaderna vara 50 dollar per kW H<sub>2</sub> baserat på Christensen (2020).

De rörliga driftkostnaderna för att tillverka vätgas består av kostnader för vatten, arbetsinsats och el. Den genomsnittliga kommunala vattenavgiften är fem öre per liter. Det krävs cirka nio liter för att tillverka ett kilo vätgas. Detta behov kan till 90 procent täckas genom återvinning av vatten från järnsvampstillverkningen.<sup>48</sup> Med vattenåtervinning ger det ett pris på vatten på cirka 4,3 dollar per ton vätgas. Kostnaderna för arbetsinsatserna sätts till 200 dollar per ton vätgas.<sup>49</sup>

## Vätgas- och elbehov

Uppskattningsvis behövs mellan 50 och 60 kilo vätgas för att tillverka ett ton järnsvamp.<sup>50</sup> I beräkningarna antas Midrex, den största tillverkaren av järnsvampsanläggningar, egna uppgivna värde på 58 kilo.<sup>51</sup> För att tillverka vätgas med elektrolys behövs mellan 2,4 och 2,7 MWh el per ton järnsvamp. Ett H<sub>2</sub>-stålverk med en produktion på 2,5 miljoner ton råstål enbart från järnsvamp kräver således tillgång till mellan 6,6 och 7,4 TWh el för att tillverka den nödvändiga mängden vätgas, se tabell 6.

---

<sup>46</sup> SMS Group (2023).

<sup>47</sup> Christensen (2020), Vogl m.fl. (2018), Bahaskar m.fl. (2021) och Krüger m.fl. (2021).

<sup>48</sup> Bhaskar (2021) och Jacobasch (2021).

<sup>49</sup> Detta motsvarar 13 dollar per ton råstål och baseras på en arbetskraftskostnad på totalt 53 dollar per ton råstål för hela värdekedjan från vätgas till råstål enligt Fishedick (2014). Arbetskraftskostnaden antas vara 20 dollar per ton råstål i järnsvampsanläggningen respektive ljusbågsugnen.

<sup>50</sup> Millner (2021), Jacobasch (2021) och Bhaskar (2022).

<sup>51</sup> Millner (2021).

**Tabell 6: Elanvändning för vätgasproduktion via elektrolys**

*kWh och TWh*

Referens	per kilo H <sub>2</sub> (kWh)	per ton råstål (kWh)	H <sub>2</sub> -stålverk <sup>2</sup> (TWh)
Bhaskar m.fl. (2021)	50,0	2 960	7,4
Hybrit (2018)	40,9 <sup>1</sup>	2 633	6,6

Not: <sup>1</sup> Uppskattat givet ett behov av 58 kilo H<sub>2</sub> för att tillverka ett ton järnsvamp.

<sup>2</sup> Med en kapacitet på 2,5 miljoner ton råstål.

Källa: Egna beräkningar och referenser i tabell.

Antagandena för att producera vätgas redovisas i tabell 7.

**Tabell 7: Antaganden för att beräkna produktionskostnaden för vätgas**

*Enhet enligt tabell*

	Parameter	Värde	Enhet
Teknisk specifikation	Effektivitet	50	kW per kilo H <sub>2</sub>
	Utnyttjandegrad	90	procent
	Livslängd vätgasanläggning	20	år
	Livslängd elektrolysörer	10	år
Ekonomisk specifikation	WACC (Diskontering)	10	procent
	CAPEX	1 000	dollar per kW H <sub>2</sub>
Marknadspriser	Arbetskraftskostnad	200	dollar per ton H <sub>2</sub>
	OPEX fix	50	dollar per kW H <sub>2</sub>
	Vatten	4,3	dollar per kW H <sub>2</sub>

## 4.2.2 Produktionskostnaden för vätgas

Med ovanstående antaganden blir produktionskostnaden för ett kilo vätgas 3,9 dollar, se tabell 8. Elkostnaderna utgör de i särklass största kostnaderna med 2,5 dollar per kilo vätgas, vilket är 70 procent av totalkostnaden. Kostnaden varierar mellan 2,4 dollar och 6,4 dollar vid ett elpris på 20 respektive 100 dollar per MWh.

Tabell 8: Produktionskostnad för vätgas

Dollar per kilo vätgas

Kostnadskomponent	Kostnad
Anläggningskostnader, annualiserade	0,9
Elkostnader	2,5
Driftkostnader exklusive el	0,4
<b>Total produktionskostnad</b>	<b>3,9</b>

Källa: Egna beräkningar.

Bloomberg New Energy Finance (2020) uppger att en produktionskostnad på mellan 2,5 och 4,5 dollar per kilo vätgas för större produktionsprojekt som använder förnybar el.<sup>52</sup> International Renewable Energy Agency (2019) uppger produktionskostnaden till 3,5 dollar givet ett elpris på 40 dollar per MWh och en investeringskostnad på 840 dollar per kW H2. Det kring ett intervall mellan 2,6 och 5,0 dollar per kg.<sup>53</sup> Tang m.fl. (2022) uppskattar produktionskostnaden till mellan 3,3 och 6,9 dollar per kilo för vätgas producerad i Sverige via elnätet.<sup>54</sup> Den uppskattade kostnaden här ligger således med god marginal inom intervallet för andra skattade produktionskostnader.

## 4.2.3 Kostnader för att producera järnsvamp

### Investeringskostnader

Investeringskostnaden för en järnsvampsanläggning som drivs med naturgas ligger mellan 180 och 315 dollar per ton järnsvamp, se tabell 9. För en anläggning som drivs med ny teknik, vätgas och nyanläggs är kostnaden rimligtvis högre. I beräkningarna sätts investeringskostnaden (CAPEX) till 240 dollar per ton järnsvamp. Diskonteringen och

<sup>52</sup> BloombergNEF (2020).

<sup>53</sup> International Renewable Energy Agency (2019).

<sup>54</sup> Tang m.fl. (2022).

avkastningskravet sätts till 7,5 procent. Det högre avkastningskravet motiveras av att risken i investeringen är förhöjd med tanke på att kommersiella järnsvampsanläggningar som enbart drivs med vätgas aldrig tidigare byggts. Järnsvampsanläggningen antas ha en livslängd och avskrivningstid på 20 år.

## Driftkostnader för järnsvampstillverkning

Det finns inga exakta uppgifter om de fasta driftkostnaderna inklusive underhåll. I litteraturen anges uppgifter om tre procent av kapitalkostnaden per ton järnsvamp, vilket motsvarar en kostnad mellan 5,3 och 7,5 dollar per ton järnsvamp.<sup>55</sup> Andra uppgifter indikerar en fast driftkostnad på 12 dollar per ton järnsvamp.<sup>56</sup> De fasta drift- och underhållskostnaderna sätts till tre procent av investeringskostnaden, vilket i detta fall motsvarar 7,2 dollar per ton järnsvamp.

I beräkningarna antas att 1,42 ton DR-pellets krävs för att producera ett ton järnsvamp.<sup>57</sup> Priset på DR-pellets sätts till 150 dollar per ton.<sup>58</sup>

### Tabell 9: Investeringskostnad för järnsvampsanläggningar

Dollar och miljoner dollar

Referens	per ton järnsvamp (\$)	per ton råstål (\$)	H <sub>2</sub> -stålverk <sup>1</sup> (miljoner \$)
Krüger m.fl. (2021)	240	267	668
BCG (2013)	207	230	575
Deloitte (2014)	180–315	200–350	500–875

Not: <sup>1</sup> Med en kapacitet på 2,5 miljoner ton råstål.

För att tillverka ett ton järnsvamp behövs 58 kilo vätgas och priset på vätgas sätts till dess produktionskostnad, se vätgasavsnittet ovan.

Elbehovet för att tillverka järnsvamp sätts till redovisat behov enligt LKAB:s och SSAB:s förstudie, Hybrit (2018), 290 kWh per ton järnsvamp.

Det finns få uppgifter om arbetskraftskostnaderna för järnsvampsproduktion. Millner m.fl. (2021) rapporterar en arbetsinsats om 0,12 arbetstimmar per ton järnsvamp i framtida Midrex H<sub>2</sub>-anläggningar. Givet en lönekostnad på 35 dollar per timme ger det en

<sup>55</sup> Vogl m.fl. (2018) och Krüger m.fl. (2021).

<sup>56</sup> Cavaliere (2019).

<sup>57</sup> Millner m.fl. (2021), Jacobasch m.fl. (2021).

<sup>58</sup> Millner m.fl. (2021).

arbetskraftskostnad på 4,2 dollar per ton järnsvamp.<sup>59</sup> Bhaskar m.fl. (2021) uppger en arbetskraftskostnad på 22 dollar per ton järnsvamp. Priset på arbetskraftsinsatsen i produktionen sätts till 18 dollar per ton järnsvamp.

Antagandena för att producera järnsvamp med vätgas redovisas i tabell 10.

**Tabell 10: Antaganden för produktionskostnaden för vätgasbaserad järnsvamp**

*Enheter enligt tabell*

	Parameter	Värde	Enhet
Teknisk specifikation	DR-pellets	1,42	ton per ton DRI
	Vätgas	58	kg per ton DRI
	Elanvändning	290	kWh per ton DRI
	Livslängd	20	År
Kapitalkostnader	WACC (Diskontering)	7,5	procent
	CAPEX	240	dollar per ton DRI
Marknadpriser	Arbetskraftskostnad	18	dollar per ton DRI
	OPEX fix	7,2	dollar per ton DRI
	Vätgas	Enligt beräkning ovan	dollar per kilo H <sub>2</sub>

## 4.2.4 Produktionskostnad för vätgasbaserad järnsvamp

Med ovanstående antaganden är produktionskostnaden för ett ton vätgasbaserad järnsvamp 476 dollar. Kostnaderna för DR-pellets utgör de största kostnaderna tillsammans med vätgasen – nästan 90 procent av de totala kostnaderna.

<sup>59</sup> 35 dollar per timme i arbetskraftskostnad motsvarar en månadslön på cirka 35 000 kronor med tillägg för lönebikostnader.



**Tabell 11: Produktionskostnad för vätgasbaserad järnsvamp**

Dollar per ton järnsvamp

Kostnadskomponent	Kostnad
Anläggningskostnader, annualiserade (CAPEX)	24
DR-pellets	213
Vätgas	227
El	15
Övriga driftkostnader	25
<b>Total produktionskostnad</b>	<b>503</b>

Källa: Egna beräkningar.

Produktionskostnaden är 336 dollar per ton järnsvamp vid ett elpris på 20 dollar per MWh och ett pris på DR-pellets på 100 dollar per ton. Kostnaden blir 733 dollar per ton järnsvamp vid ett elpris på 100 dollar per MWh och 200 dollar per ton DR-pellets.

## 4.2.5 Kostnader för att producera råstål i ljusbågsugn

### Investeringskostnader

Det finns relativt få unika referenser till investeringskostnaderna för ljusbågsugnar. Den referens som används i de flesta fall är BCG (2013) som uppger att kostnaden för en anläggning är 202 dollar per ton råstål. Det motsvarar 505 miljoner dollar för ett H<sub>2</sub>-stålverk med en kapacitet på 2,5 miljoner ton råstål.

## Tabell 12: Investeringskostnad för ljusbågsugnar

Dollar och miljoner dollar

Referens	per ton råstål (\$)	H <sub>2</sub> -stålverk <sup>1</sup> (miljoner \$)
BCG (2013)	202	505
Algoma Steel (2021), Kelly och Della-Mattia (2023)	180	450

Not: <sup>1</sup> Med en kapacitet på 2,5 miljoner ton råstål.

Källa: Enligt referenser i tabell.

Denna siffra ligger över de 144 dollar som Algoma Steel tidigare angav för sin nya ljusbågsugn i Kanada.<sup>60</sup> Bygg- och materialkostnader på grund av inflationen har dock ökat Algomas utgifter med upp till 25 procent samtidigt som förseningar senarelagt färdigställandet med sex månader.<sup>61</sup> Algomas investering förväntas i dagsläget bli 180 dollar per ton råstål. Baserat på detta antas investeringskostnaden i en ljusbågsugn vara 180 dollar per ton råstål. Ljusbågsugnen antas ha en livslängd och avskrivningstid på 20 år med ett avkastningskrav eller diskontering (WACC) på fem procent.

### Driftkostnader för ståltillverkning i ljusbågsugnar

Det finns inga exakta uppgifter om de fasta driftkostnaderna inklusive underhåll för att tillverka råstål i ljusbågsugnar. I litteraturen anges uppgifter om tre procent av kapitalkostnaden per ton järnsvamp.<sup>62</sup> Andra uppgifter indikerar en fast driftkostnad på 33 dollar per ton råstål.<sup>63</sup> De fasta drift- och underhållskostnaderna sätts till tre procent av investeringskostnaderna, vilket i detta exempel motsvarar 5,4 dollar per ton råstål.

Uppskattningsvis behövs 1,11 ton järnsvamp för att tillverka ett ton råstål utan tillsats av stålskrot. Priset på järnsvamp sätts till dess produktionskostnad enligt tidigare avsnitt.

Utbytet av stålskrot varierar beroende på stålskrotets kvalitet från 80 till 96 procent.<sup>64</sup> Här antas att ljusbågsugnen matas med skrot av hög kvalitet och att 1,08 ton stålskrot krävs för att producera en ton råstål samt att priset är 350 dollar per ton. Andelen stålskrot i ljusbågsugnen antas vara 25 procent.<sup>65</sup>

<sup>60</sup> Algoma Steel Inc. (2021).

<sup>61</sup> Kelly och Della-Mattia (2023).

<sup>62</sup> Vogl m.fl. (2018) och Krüger m.fl. (2021).

<sup>63</sup> Cavaliere (2019).

<sup>64</sup> Manning och Chevrier (2020).

<sup>65</sup> Detta överensstämmer med H2GS planerade andel enligt SMS Group (2023).

För att råstålet ska få de rätta egenskaperna behövs även kalk och legeringsmetaller. Ljusbågsugnarna sliter dessutom ut sina elektroder. Åtgång och pris för dessa tas från Fishedick (2014): kalk (50 kilo per ton råstål, 100 dollar per ton), legeringsmetaller (11 kilo per ton råstål, 1,8 dollar per kg) och elektroder (2 kilo per ton råstål, fyra dollar per kilo).

Det finns få uppgifter om arbetskraftskostnaderna för stålproduktionen. Fishedick m.fl. (2014) uppger en arbetskraftskostnad på 53,2 dollar per ton råstål för hela värdekedjan vätgas-järnsvamp-stål. Arbetskraftskostnaden för att driva ljusbågsugnen sätts därför 20 dollar per ton råstål. Detta motsvarar 53 dollar för hela värdekedjan med avdrag för arbetskraftskostnader som redan antagits i vätgasjärnsvampstillverkningen.

## Elbehov för råstålstillverkning i ljusbågsugn

För att smälta järnsvampen krävs mellan 494 och 760 kWh per ton råstål beroende på järnsvampens kvalitet och inblandningen av stålskrot, se tabell 13. Hybrit (2018) anger den lägsta nödvändiga elanvändningen av alla referenser – knappt 500 kWh per ton råstål. I beräkningarna antas 550 kWh behövas för att producera en ton råstål.

Tabell 13: Elanvändning för råstålstillverkning i ljusbågsugn

kWh per ton

Referens	Insatsvaror	Elbehov (kWh)
Bhaskar m.fl. (2021)	Från järnsvamp	537
Hybrit (2018)	Från järnsvamp	494
Vogl (2019)	Från stålskrot	667
	Från järnsvamp	753
Krüger m.fl. (2020)	Från järnsvamp utan kol	760
	Från järnsvamp med kol	520
Jacobasch (2021)	20 % procent från skrot	524

Källa: Enligt referenser i tabell.

Antagandena för att producera stål i ljusbågsugna redovisas i tabell 14.

Tabell 14: Antaganden för att beräkna kostnaden för att producera råstål i ljusbågsugn

Enheter enligt tabell

	Parameter	Värde	Enhet
Teknisk specifikation	Järnsvamp	1,11	ton per ton råstål
	Stålskrot	1,08	ton per ton råstål
	Andel stålskrot	25	procent
	Elanvändning	550	kWh per ton råstål
	Livslängd	20	År
Kapitalkostnader	WACC (Diskontering)	5,0	Procent
	CAPEX	180	dollar per ton råstål
Marknadspriser	Arbetskraftskostnad	43	dollar per ton råstål
	OPEX fix	5,7	dollar per ton råstål
	Järnsvamp	Enligt ovan	dollar per ton
	Stålskrot	350	dollar per ton

## 4.2.6 Produktionskostnad för råstål från H<sub>2</sub>-stålverk

Med ovanstående antaganden är blir produktionskostnaden för ett ton råstål 614 dollar. De största kostnaderna utgörs av järnsvampen från tidigare steg, knappt 70 procent.

Tabell 15: Produktionskostnad för fossilfritt råstål i ljusbågsugn

Dollar per ton råstål

Kostnadskomponent	Kostnad
Anläggningskostnader, annualiserade (CAPEX)	14
Järnsvamp	419
Stålskrot	95
Elkostnader	28
Övriga driftkostnader	58
<b>Total produktionskostnad</b>	<b>614</b>

Källa: Egna beräkningar. Produktionskostnad för råstål för hela värdekedjan

De olika produktionskostnaderna för hela värdekedjan redovisas i tabell 16. Där summeras kapital- och driftkostnaderna för samtliga värdesteg. Kapitalkostnaderna uppgår till 77 dollar per ton råstål, vilket motsvarar 13 procent av totalkostnaden. De största kostnaderna utgörs av insatsvarorna DR-pellets och el som står för 29 respektive 26 procent av kostnaderna.

**Tabell 16: Produktionskostnad för hela värdekedjan för fossilfritt råstål**

*Dollar per ton råstål*

Kostnadskomponent	Vätgassteg	Järnsvampssteg	Råstålssteg	Totalt	Andel (procent)
Anläggningskostnader, annualiserade (CAPEX)	43	20	14	77	13
DR-pellets		178		178	29
Stålskrot				95	15
Elkostnader	121	12	28	160	26
Övriga kostnader	26	21	38	59	17
<b>Total produktionskostnad</b>	<b>231</b>	<b>298</b>	<b>123</b>	<b>613</b>	<b>100</b>

*Källa: Egna beräkningar.*

Produktionskostnaden är 458 dollar per ton råstål vid ett elpris på 20 dollar per MWh och ett pris på DR-pellets på 100 dollar per ton. Kostnaden blir 833 dollar per ton råstål vid ett elpris på 100 dollar per MWh och 200 dollar per ton DR-pellets.

Med ett antagande om att produktionen av råstål i ett traditionellt stålverk kostar mellan 400 och 500 dollar<sup>66</sup> blir vätgasstålet här således mellan 23 och 53 procent dyrare. Uppskattningen är högre än Hybrit (2018) som anger att kostnaden för att producera råstål är 20 till 30 procent högre. Den högre produktionskostnaden ligger inom intervallet för andra beräknade produktionskostnader i den vetenskapliga litteraturen och rapporter med ett undantag, se tabell 17.

<sup>66</sup> Se exempelvis International Energy Agency (2020) och Material Economics (2019).

**Tabell 17: Produktionskostnad för råstål från H<sub>2</sub>-stålverk***Dollar per ton skrot, dollar per ton DR-pellets, dollar per MWh och dollar per ton råstål*

Studie	Stålskrot (dollar per ton)	DR-pellets (dollar per ton)	EI (dollar per MWh)	Produktions- kostnad (dollar per ton)
Vogl m.fl. (2018)	–	110	22–110	384–704
Material Economics (2019)	i.u.	i.u.	44–66	443–517
Agora (2019) <sup>1</sup>	i.u.	i.u.	55–66	585–693
IEA (2020)	200–300	60–100	30–90	500–850
Bhaskar m.fl. (2021)	–	75–120	20–60	699
Jacobasch m.fl. (2021) <sup>2</sup>	312	92	84	786–1001
Hydrogen Europe (2022)	242–440	160	88–198	774–897
Bhaskar m.fl. (2022)	-	120	60	622–722
Denna studie <sup>3</sup>	350	100–200	20–100	458–833

Not: I studierna inkluderas stålskrot i olika andelar i produktionen. Där så är fallet anges priset på stålskrot eller i.u. om priset är okänt. <sup>1</sup> 17 procent stålskrot och uppgifterna gäller för 2050. <sup>2</sup> 20 procent stålskrot. <sup>3</sup> 25 procent stålskrot.

Källa: Enligt tabell. Investeringskostnader för H<sub>2</sub>-stålverk.

## 4.2.7 Investeringskostnader för H<sub>2</sub>-stålverk

Investeringskostnaden per kapacitet ton råstål uppgår till 687 dollar. Det är i linje med de 600 till 800 dollar som rapporteras av Roland Berger (2020), lägre än 874 dollar enligt Fishedick (2013) och 751 dollar enligt Bhaskar m.fl. (2022) men högre än 575 dollar enligt Vogl (2018).

ArcelorMittal har aviserat en investering på 1,35 miljarder dollar i en ny anläggning i Hamilton i Kanada. Den omfattar en järnsvampsanläggning och en ljusbågsugn med en kapacitet på 2,4 miljoner ton råstål.<sup>67</sup> Det ger en investeringskostnad på jämförelsevis 563 dollar per ton råstål exklusive vätgasanläggningar. Det kan jämföras med samma anläggningskostnader exklusive vätgastillverkning i denna rapport som antas vara 360 dollar per ton.

<sup>67</sup> ArcelorMittal (2022).



H2GS investeringskostnad i Boden uppges vara cirka 5,7 miljarder dollar för fem miljoner ton handelsfärdigt stål. Det ger en kostnad på cirka 1 140 dollar per ton stål för hela anläggningen från vätgastillverkning till varmvalsat och kallvalsat stål. Skillnaden mellan H2GS och ArcelorMittals investering kan ses som en uppskattning på hur mycket H2GS vätgasanläggning kostar – 777 dollar per ton råstål (1 140 minus 563 dollar). Det är betydligt högre än de 307 dollar per ton råstål som antas här.

Den beräknade investeringskostnaden är således inom ramarna för vad som rapporterats i litteraturen, men lägre än vad faktiskt genomförda investeringar indikerar.

## 4.3 Naturgas – järnsvamp – råstål

Den värdekedjan som beskrivs ovan finns ännu inte i praktisk användning. Den bygger på den redan existerande värdekedjan där naturgas används i stället för vätgas. Alla antaganden för järnsvampsanläggning och ljusbågsugn är desamma men järnsvampsanläggningen matas med naturgas i stället för vätgas.

Följande undantag och kompletteringar gäller. Avkastningskravet för järnsvampsanläggningen (WACC) sätts till 5,0 procent i stället för 7,5 procent eftersom den naturgasbaserade tekniken är både kommersialiserad och industrialiserad sedan länge. Priset på naturgas sätts till 4,0 dollar per mmBTU. Detta är relativt högt eftersom anläggningen antas vara baserad utanför Europa.<sup>68</sup> För att tillverka ett ton järnsvamp antas att det krävs 9,9 mmBTU naturgas.<sup>69</sup>

### 4.3.1 Produktionskostnad för naturgasbaserad järnsvamp

Med ovanstående antaganden blir produktionskostnaden för naturgasbaserad järnsvamp 312 dollar per ton. Det genomsnittliga spotpriset på järnsvamp tillverkat från naturgas har varierat mellan 202 och 678 dollar per ton sedan 2011. I genomsnitt var spotpriset 350 dollar under perioden 2011–2023 och 370 dollar 2020–2023.<sup>70</sup> De senaste årens höga priser har drivits av höga och volatila priser på DR-pellets och naturgas på grund av pandemin och Rysslands invasion av Ukraina.

---

<sup>68</sup> Det genomsnittliga priset på naturgas är knappt 2,5 dollar per mmBTU (Trading Economics 2023). Priset inom EU är dock betydligt högre.

<sup>69</sup> Millner (2021) och Jacobasch (2021).

<sup>70</sup> DRI India FOB, hämtat från Steelonthenet.com (2023).

## 4.3.2 Produktionskostnad för naturgasbaserat råstål

Med ovanstående antaganden är produktionskostnaden för ett ton råstål tillverkat från naturgasbaserad järnsvamp 454 dollar. Det är dyrare än rapporterade kostnader i litteraturen: 362 dollar per ton enligt Jacobasch m.fl. (2021), 450 dollar enligt International Energy Agency (2020) och 414 dollar enligt Bhaskar m.fl. (2021). Det kan även jämföras med det genomsnittliga spotpriset på 382 dollar per ton tackjärn i genomsnitt sedan 2011 eller 440 dollar per ton i snitt sedan 2020. Det högre priset kan förklaras av ett högre antaget pris på el, DR-pellets och stålskrot än tidigare beräkningar, vilka till stor del är baserade på äldre priser.

Sammantaget betyder detta att produktionskostnaden på det naturgasbaserade råstålet i denna rapport är högre än vad som uppskattats tidigare. Samtidigt ligger den uppskattade produktionskostnaden för råstål från H<sub>2</sub>-stålverk i linje med tidigare beräkningar. Jämförelser mellan de två produktionsteknikerna innebär således att skillnaden underskattas till det vätgasbaserade råstålets fördel.

## 4.4 Råstål från den traditionella processen och ljusbågsugnar

För att uppskatta produktionskostnaden i den traditionella processen görs följande kompletterande antaganden till ovanstående. Kostnader för anläggningar sätts till 170 dollar per ton råstål, vilket motsvarar en omställning av en redan existerande masugn.<sup>71</sup> Livstiden för anläggningen sätts till 20 år med ett avkastningskrav på fem procent.

Priset på järnmalm (62 % Fe) sätts till 100 dollar per ton. Det är något lägre än genomsnittspriset under de senaste åren.<sup>72</sup> Samtidigt ger det en premie för DR-pellets på 50 dollar per ton, vilket är lägre än den genomsnittliga premien de senaste åren. 1,8 ton järnmalm antas behövas per ton råstål.<sup>73</sup> Priset på skrot till den traditionella processen sätts till 300 dollar per ton, vilket är cirka 50 dollar mindre än det premiumskrot som används i de mer känsliga ljusbågsugnarna. Andelen stålskrot sätts till 20 procent, vilket approximativt motsvarar snittet i Europa.<sup>74</sup> Priset på koks sätts till 200 dollar per ton och

---

<sup>71</sup> BCG (2013).

<sup>72</sup> OECD (2023a).

<sup>73</sup> Fishedick (2014).

<sup>74</sup> Agora (2019).



700 kilo antas krävas för att producera ett ton råstål.<sup>75</sup> Det är lägre än dagens spotpriser i Västvärlden på cirka 250 dollar.<sup>76</sup> De höga priserna för närvarande är främst en följd av uteblivna leveranser från Ryssland. Ryssland exporterar i stället till Kina och andra länder som inte deltar i embargot. Koksmarknaderna har ännu inte anpassat sig till dessa nya förhållanden. 300 kilo kalk antas behövas för att tillverka ett ton råstål till en kostnad på 0,1 dollar per kilo.<sup>77</sup> Arbetskraftskostnaden sätts till 50 dollar per ton råstål.<sup>78</sup> De fasta driftkostnaderna antas vara tre procent av investeringskostnaden, vilket motsvarar 5,1 dollar per ton råstål.<sup>79</sup>

Beräkningsförutsättningarna för att tillverka råstål från stålskrot i ljusbågsugn är desamma som för hur kostnaden beräknas för ljusbågsugnar ovan men med 100 procent skrotandel.

## 4.5 Koldioxidutsläpp

De ovan nämnda teknikerna innebär olika mängder av direkta och indirekta utsläpp. De indirekta utsläppen beror även på region i och med att elsystemen är mer eller mindre bruna. För anläggningar lokaliserade i Europa är utsläppen från den bruna el som används reglerade inom ETS1 och är redan prissatta. Följande antaganden är baserade på en sammanställning av uppgifter redovisade i Millner m.fl. (2021), Jacobasch m.fl. (2021), Agora m.fl. (2019), Bhaskar m.fl. (2021) och Bhaskar m.fl. (2022).

Utsläppen från ljusbågsugnar antas leda till 50 kilo indirekta utsläpp av koldioxid per ton råstål till följd av användningen av kalk, elektroder och andra insatsvaror.

För den vätgasbaserade värdekedjan antas varken produktionen av vätgas eller järnsvamp leda till några utsläpp för LKAB. De indirekta utsläppen från elsystemen är redan kompenserade för inom EU-ETS och utsläpp från transporter och tillverkning av DR-pellets tas inte med. Vid beräkningar av H2GS utsläpp vid produktionen av järnsvamp antas 140 kilo koldioxid i indirekta utsläpp från tillverkningen av DR-pellets.

För den naturgasbaserade värdekedjan antas produktionen av järnsvamp leda till 556 kilo utsläpp av koldioxid per ton järnsvamp på grund av användningen av naturgas. De indirekta utsläppen från elsystemet antas vara 380 kilo per ton råstål baserat på en

---

<sup>75</sup> Fishedick (2014).

<sup>76</sup> OECD (2023a).

<sup>77</sup> Fishedick (2014).

<sup>78</sup> Fishedick (2014) och TransitionZero and Global Efficiency Intelligence (2023).

<sup>79</sup> Fishedick (2014).

utsläppsfaktor på 436 kilo koldioxid per MWh i dagsläget.<sup>80</sup> Denna utsläppsfaktor uppskattas falla över tid och antas 2034 vara 200 kilo koldioxid per MWh.<sup>81</sup> De indirekta utsläppen från DR-pellets och transport av naturgas antas vara 140 kilo koldioxid per ton råstål. Sammantaget ger detta utsläpp motsvarande 1 141 kilo koldioxid per ton råstål i dagsläget. För 2034 blir de totala utsläppen 936 kilo per ton råstål.

I ett traditionellt stålverk med masugnar antas utsläppen vara 1 700 kg per ton råstål totalt i dagsläget.<sup>82</sup> För ett framtida scenario där den traditionella processen har minskat sina utsläpp antas att utsläppen minskat med 30 procent till 1 190 kg per ton råstål.

---

<sup>80</sup> Our World in Data (2023).

<sup>81</sup> Enerdata (2023).

<sup>82</sup> Fishedick m.fl. (2014) och Agora m.fl. (2019).

# Referenser

- Aces Delta (2023). "Advanced clean energy storage hub", <https://aces-delta.com/hubs/>.
- Algoma Steel Inc. (2021), "Algoma steel announces final investment decision for electric arc steelmaking", <https://algoma.com/algoma-steel-announces-final-investment-decision-for-electric-arc-steelmaking/>.
- ArcelorMittal (2022), "ArcelorMittal decarbonisation project in Hamilton, Canada confirmed with the announcement of a CAD\$500M investment by the Government of Ontario", <https://corporate.arcelormittal.com/media/press-releases/arcelormittal-decarbonisation-project-in-hamilton-canada-confirmed-with-the-announcement-of-a-cad-500m-investment-by-the-government-of-ontario>.
- ArcelorMittal (2022), "HyDeal España, the world's largest integrated renewable and competitive hydrogen hub", <https://corporate.arcelormittal.com/media/news-articles/hydeal-espana-the-world-s-largest-integrated-renewable-and-competitive-hydrogen-hub>.
- Barrington, C. (2022), "OBMs & carbon neutral steelmaking – Future DRI production and iron ore supply", International Iron Metallics Association.
- Bhaskar, A., Abhishek, R., Assadi, M. och Somehesaraei, H. N. (2022), "Decarbonizing primary steel production: Techno-economic assessment of a hydrogen based green steel production plant in Norway", *Journal of Cleaner Production*, 350, 131339.
- Bahaskar, A., Mohsen, A. och Somehsaraei, H. (2021), "Can methane pyrolysis based hydrogen production lead to the decarbonisation of iron and steel industry?", *Energy Conversion and Management: X*, 10, 100079.
- BloombergNEF (2020), "Hydrogen Economy Outlook", Bloomberg New Energy Finance.
- Boston Consulting Group (2013), "Steel's contribution to a low carbon Europe 2050: Technical and economic analysis of the sectors CO<sub>2</sub> abatement potential", Steel Institute VDEh.
- Cavaliere, P. (2019), "Direct reduced iron: Most efficient technologies for greenhouse". I P. Cavaliere (red.), *Clean Ironmaking and Steelmaking Processes* (s. 419–484). Cham: Springer International Publishing.

- Chen, F., Ma, Z., Nasrabadi, H., Chen, B., Zakaria, M., Mehana, S. och van Wijk, J. (2023), "Capacity assessment and cost analysis of geologic storage of hydrogen: A case study in Intermountain-West Region USA", *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(24), 9008–9022.
- Christensen, A. (2020), *Assessment of Hydrogen Production Costs from Electrolysis: United States and Europe*, International Council on Clean Transportation.
- Collins, L. (2022), "Record breaker: World's largest green hydrogen project, with 150MW electrolyser, brought on line in China", <https://www.rechargenews.com/energy-transition/record-breaker-world-s-largest-green-hydrogen-project-with-150mw-electrolyser-brought-on-line-in-china/2-1-1160799>.
- Epelle, E., Obande, W., Udourioh, G., Afolabi, I., KwaghtaverDesongu, Orivri, U., . . . Okolieh, J. (2022), "Perspectives and prospects of underground hydrogen storage and natural hydrogen", *Sustainable Energy & Fuels*, 6, 3324–3343.
- Enerdata (2023), "2050 projections for CO<sub>2</sub> intensities", "Forecasting world energy": <https://eneroutlook.enerdata.net/forecast-world-co2-intensity-of-electricity-generation.html>.
- Eurofer (2023), "European steel in figures 2023", European Steel Association.
- Europeiska kommissionen (2020), "Hydrogen generation in Europe: Overview of costs and key benefits", Bryssel.
- Fischedick, M., Marzinkowski, J., Winzer, P. och Weigel, M. (2014), "Techno-economic evaluation of innovative steel production technologies", *Journal of Cleaner Production*, 84, 563–580.
- Gaffney Cline (2022), "Underground hydrogen storage", Gaffney Cline.
- Gas Infrastructure Europe (2021), "Picturing the value of underground gas storage to the European hydrogen system", Gas Infrastructure Europe.
- Glenk, G. C. (2019), *Economics of Renewable Hydrogen*, doktorsavhandling. Technische Universität München.
- GMK Center (2023), "Carbon price in the EU in 2030", GMK Center.
- H2 Green Steel (2022), "H2 Green Steel partners with Midrex for technology and Kobe Steel for equity investment", <https://www.h2greensteel.com/latestnews/h2-green-steel-partners-with-midrex-for-technology-and-kobe-steel-for-equity-investment>.
- H2 Green Steel (2022), "Leading European financial institutions support H2 Green Steel's €3.5 billion debt financing", <https://www.h2greensteel.com/latestnews/leading-european-financial-institutions-support-h2-green-steels-35-billion-debt-financing>.



- H2 Green Steel (2023), "Frågor och svar – Information från H2 Green Steel", <https://bodenxt.se/h2gs/fragor-och-svar/>.
- Hall, W., Millner, R., Rothberger, J., Singh, A. och Shah, C. (2021), "Green steel through hydrogen direct reduction", Energy and Resources Institute.
- Hybrit (2018), "Summary of findings from HYBRIT pre-feasibility study 2016–2017", <https://dh5k8ug1gwbyz.cloudfront.net/uploads/2021/02/Hybrit-broschure-engelska.pdf>.
- Hydrogen Europe (2022), *Steel from Solar Energy – A Techno-Economic Assessment of Green Steel Manufacturing*, Hydrogen Europe.
- International Energy Agency (2020), "Iron and steel technology roadmap – Towards more sustainable steelmaking", International Energy Agency.
- International Renewable Energy Agency (2019), "Hydrogen: A renewable energy perspective", International Renewable Energy Agency.
- Jacobasch, E., Herz, G., Rix, C., Müller, N., Reichelt, E. och Jahn, M. (2021), "Economic evaluation of low-carbon steelmaking via coupling of electrolysis and direct reduction", *Journal of Cleaner Production*, 328, 129502.
- Johansson, P.-O. och Kriström, B. (2022), "Paying a premium for 'green steel': Paying for an illusion?", *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 13(3), 383–393.
- Kelly, B. och Della-Mattia, E. (22 06 2023). "Rising costs, supply chain issues increase pricetag of electric arc furnace project", *The Sault Star*, 22 juni, <https://www.saultstar.com/news/local-news/algoma-steel-pushes-back-start-date-of-new-furnaces>.
- Krüger, A., Andersson, J., Grönkvist, S. och Cornell, A. (2021), "Integration of water electrolysis for fossil-free steel production", *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(55), 29966–29977.
- LKAB (2019), "Års- och hållbarhetsredovisning 2018", LKAB.
- LKAB (2020), "Up to 3,000 new jobs and major investment in Malmfälten", <https://lkab.com/en/news/up-to-3000-new-jobs-and-major-investment-in-malmfaltan/>.
- LKAB (2021), "Års- och hållbarhetsredovisning 2020", LKAB.
- LKAB (2022), "HYBRIT: Nästa milstolpe nådd – pilotanläggningen för vätgaslagring i drift", <https://lkab.com/press/hybrit-nasta-milstolpe-nadd-pilotanlaggningen-for-vatgaslagring-i-drift/>.
- LKAB (2023), "Års- och hållbarhetsredovisning 2022", LKAB.

- Manning, C. och Chevrier, V. (2020), "Maximizing iron unit yield from ore to liquid steel (part 3) – Melting practice", Midrex, juni, <https://www.midrex.com/tech-article/maximizing-iron-unit-yield-from-ore-to-liquid-steel-part-3-melting-practice/>.
- Material Economics (2019), "Industrial transformation 2050 – Pathways to net-zero emissions from EU heavy industry", Stockholm.
- Midrex (2023), *2022 World Direct Reduction Statistics*, Midrex.
- Millner, R., Rothberger, J., Rammer, B., Boehm, C., Sterrer, W., Ofner, H. och Chevrier, V. (2021), "MIDREX H2 – The Road to CO<sub>2</sub>-free direct reduction", Primetals Technologies, Linz.
- Norrbottenskuriren (2022), "H2 Green Steels avgörande tid: 'Den kritiska linjen'", <https://kuriren.nu/framtidsfabriken/nyheter/boden/artikel/avgorande-tid-for-h2-green-steel-stor-intervju-oppar-for-malm-fran-latinamerika-det-ar-den-kritiska-linjen/jpoze5ql>.
- Nucor (2023 02 23), "Nucor provides one-year update on new West Virginia sheet mill", <https://nucor.com/news-release/19651>
- NREL Transforming ENERGY (2023), "Annual technology baseline – 2023 electricity ATB technologies and data overview". NREL Transforming ENERGY, <https://atb.nrel.gov/electricity/2023/index>.
- OECD (2023a), "Steel Markets Developments Q2 2023", OECD, Paris.
- OECD (2023b), "Latest developments in steelmaking capacity 2023", OECD, Paris.
- Our World in Data (2023), "Carbon intensity of electricity per kilowatt-hour", <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity>.
- Rechberger, K., Spanlang, A., Sasiain Conde, A., Wolfmeir, H. och Harris, C. (2020), *Green Hydrogen-Based Direct Reduction for Low-Carbon Steelmaking*, Steel Research International.
- Riksgälden (2022), "Riksgälden arbetar med en grön kreditgaranti till H2 Green Steel", Riksgälden, <https://www.riksgalden.se/sv/press-och-publicerat/pressmeddelanden-och-nyheter/nyheter/2022/riksgalden-arbetar-med-en-gron-kreditgaranti-till-h2-green-steel/>.
- Roland Berger (2020), "The future of steelmaking – How the European steel industry can achieve carbon neutrality", Roland Berger GMNH, München.
- SMS Group (2023), "SMS insights – Turning metals green 2023-1", SMS Group.
- Somers, J. (2022), "Technologies to decarbonise the EU steel industry", Publications Office of the European Union, Luxembourg.

- SSAB (2022), "SSAB planerar för nytt produktionssystem i Norden och tidigarelägger den gröna omställningen", SSAB, <https://www.ssab.com/sv-se/nyheter/2022/01/ssab-planerar-fr-nytt-produktionssystem-i-norden-och-tidigarelagger-den-grna-omstllningen>.
- SSAB (2023a), "SSAB Capital Markets Day 2023", SSAB, <https://mb.cision.com/Public/980/3741949/b98c206f3a0cb0b4.pdf>.
- SSAB (2023b), "Produktionsorter över hela världen", SSAB, <https://www.ssab.com/sv-se/ssab-koncern/om-ssab/var-verksamhet/produktionsorter-over-hela-varlden>.
- SSAB (2023c), "SSAB investerar för en grön omställning av produktionen i Oxelösund", SSAB, <https://www.ssab.com/sv-se/nyheter/2023/06/ssab-investerar-fr-en-grn-omstllning-av-produktionen-i-oxelsund>.
- Steelonthenet.com (2023), "DRI prices – steelmaking input costs – direct reduced iron", Steelonthenet.com, <https://www.steelonthenet.com/files/dri.html>.
- Sundén, D. (2023), *Från brunt till grönt – Bedömning av de svenska satsningarna på fossilfritt stål i Norrland utifrån ett teknik- och marknadsperspektiv*, Skandinaviska Policyinstitutet, Malmö.
- Svenska kraftnät (2022), "Kortsiktig marknadsanalys 2022 – Analys av kraftsystemet 2023–2027", Svenska kraftnät, Sundbyberg.
- SVT Nyheter (2022), "SSAB satsar 45 miljarder – bygger ny anläggning i Luleå", <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/norrboten/ssab-bygger-ny-anlaggning-i-lulea>.
- Tang, O., Rehme, J. och Cerin, P. (2022), "Levelized cost of hydrogen for refueling stations with solar PV and wind in Sweden: On-grid or off-grid?", *Energy*, 241, 122906..
- Trading Economics (2023-12-12), "Natural gas", Trading Economics, <https://tradingeconomics.com/commodity/natural-gas>.
- TransitionZero and Global Efficiency Intelligence (2022), "Global Steel Production Costs – A country and plant-level cost analysis".
- Vogl, V., Åhman, M. och Nilsson, L. (2018), "Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking", *Journal of Cleaner Production*, 203, 736–745.





