



HYBRIT

▶▶▶ FOSSIL-FREE STEEL





Ett samriskprojekt mellan SSAB, LKAB och Vattenfall

Sammanfattning av slutsatserna från HYBRIT
– genomförbarhetsstudie 2016–2017

Arbetet finansierades av Energimyndigheten, SSAB, LKAB och Vattenfall





FOTO LKAB

HYBRIT – PÅ VÄG MOT FOSSILFRITT STÅL

HYBRIT – en förkortning av Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology – är ett samriskprojekt mellan SSAB, LKAB och Vattenfall. Syftet är att ersätta kol med väte i stålframställningsprocessen. HYBRIT är en banbrytande satsning som syftar till att fasa ut användningen av kol och minska koldioxidutsläppen inom stålindustrin.



STIGANDE GLOBAL EFTERFRÅGAN PÅ STÅL

Stål är en viktig komponent i arbetet med att bygga det moderna samhället, inklusive industri, innovationer och infrastruktur. Stål höjer levnadsstandarden över hela världen och hjälper till att motverka fattigdom.

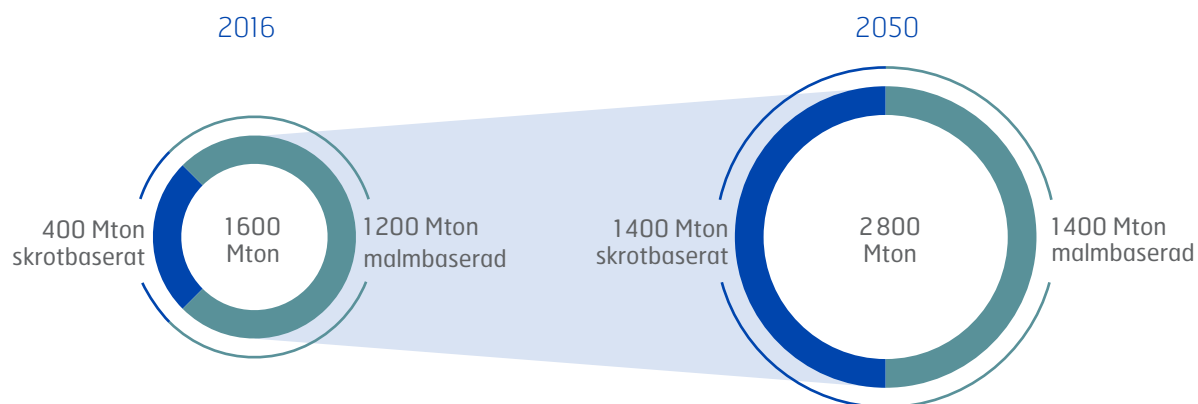
Stålindustrin har ett av de högsta koldioxidutsläppen bland alla industrier, med upp till sju procent av de globala utsläppen och tio procent av de svenska koldioxidutsläppen. Sverige har satt upp ett nationellt mål om att inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser senast år 2045. Detta mål definierar vägen framåt för landets stålindustri. Sverige erbjuder gynnsamma betingelser för HYBRIT att kunna bidra till dessa nationella mål. Exemplet på detta innefattar högklassig nischproduktion av järnmalmspellets, en specialiserad och innovativ stålindustri, och en riklig tillgång på fossilfri elektricitet.

Stål är ett av världens mest återvunna material. När materialet har framställts kan det användas upprepade

gånger genom återvinning. Även om stålframställning från återvunnet skrot bedöms öka drastiskt kan det totala behovet av stål under de kommande decennierna bara uppfyllas genom att även använda järn framställt från järnmalm.

HYBRIT konceptet för fossilfri industriproduktion står naturligtvis inför stora utmaningar. Samtidigt ser vi en fantastisk möjlighet att nå nya globala marknader för grön teknik och gröna produkter. HYBRIT kombinerar vetenskap och innovation och har möjlighet att ge Europa ledarpositionen vad gäller kampen mot klimatförändringar och samtidigt stärka konkurrenskraften.

Stålbehov – 2016 samt prognos för 2050



Stål är ett av
världens mest
mångsidiga och
återvinningsbara
material tack
vare dess unika
egenskaper.



FRIKOPPLING AV KOLDIOXID OCH ENERGI

Med HYBRIT-konceptet blir det möjligt att frikoppla energibärare och reduktionsmedel som genererar koldioxid.

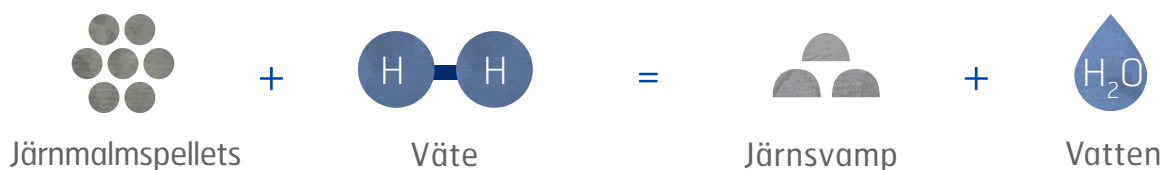
Den malmbaserade värdekedjan för stålframställning börjar i järngruvan. Efter brytningen bearbetas järnmalmen, och en produkt rik på järnoxider framställs i form av pellets, eller fines. Vid stålverket omvandlas järnmalmen till metalliskt järn genom reduktion av järnoxider med koks och kol i en masugn. Järnoxiden och kolet reagerar CO och CO₂-gaser bildas tillsammans med metalliskt järn. Det flytande järnet förs vidare till stålverket för fortsatt behandling innan en stålprodukt kan gjutas.

Ett alternativ till den dominerande masugnstekniken för järnframställning är att använda direktreduktion där naturgas ersätter koks som reduktionsmedel, och huvudprodukten är järnsvamp i fast form. Järnet behöver sedan smältas i en elektrisk ljusbågsugn, innan stålet framställs. I nuläget används inte den här reduktionsprocessen i Sverige, men den är ett alternativ i andra delar av världen där naturgas finns i stora mängder.

VATTEN I STÄLLET FÖR KOLDIOXID

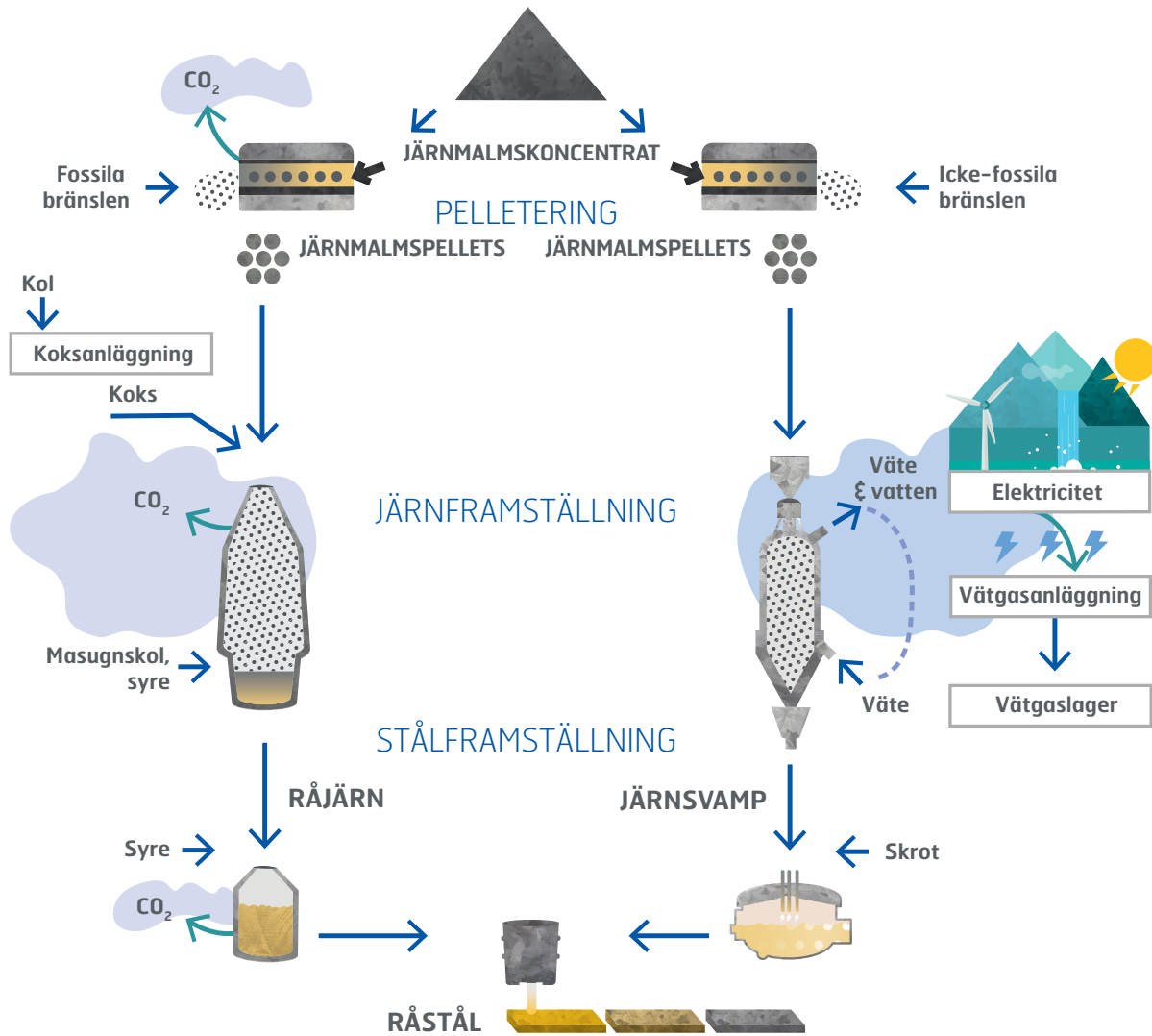
Reduktionsreaktionerna vid järnframställning står för cirka 85 till 90 procent av de totala koldioxidutsläppen vid malmbaserad stålframställning. Gasen från koks- och masugnar är dessutom energirik och spelar en viktig roll som huvudenergikälla för värmning av ugnar och material. Fossilfri stålproduktion kommer att eliminera bildandet av CO₂ genom användning av fossilfria reduktionsmedel och energikällor.

I HYBRIT-processen produceras järn och stål genom användning av vätgas som reduktionsmedel. Produktionen liknar befintliga direktreduktionsprocesser, med undantag för koldioxidutsläppen: väte reagerar med järnoxid och bildar vatten i stället för koldioxid. Vätgas (H₂) framställs genom elektrolys av vatten med hjälp av fossilfri elektricitet.



MASUGNSTEKNIK

HYBRIT-TEKNIK



FOKUS PÅ FRAMTIDA UTVECKLING

Den avslutade genomförbarhetsstudien för HYBRIT gav lovande resultat – inga oförutsedda problem upptäcktes.

LOVANDE TEKNOLOGISK POTENTIAL

Resultaten från genomförbarhetsstudien understryker att inga större, tidigare okända tekniska hinder har identifierats. Trots detta krävs betydande framtida utvecklingsinsatser för att realisera och verifiera konceptet, och för att hantera riskerna. Dessa innefattar grundläggande forskningsprojekt som använder modeller och experiment i laboratorieskala, plus försök genomförda i pilot- och demonstrationsanläggningar.

PRODUKTIONSKOSTNADERNA FÖREFALLER HANTERBARA

Med tanke på nuvarande kostnadsnivåer kommer en värdekedja för järn- och stålframställning baserad på HYBRIT-konceptet att ge en kostnadsökning på 20 till 30 procent vid produktion av råstål. Produktionskostnaden i de fossilbaserade och fossilfria värdekedjorna beror starkt av priserna på koks, el och utsläppsrätter. Förväntade framtida förändringar i kostnader och marknadskrav gör det fossilfria HYBRIT-konceptet till ett tilltalande alternativ.

VÄTE SOM BUFFERT I DET FÖRNYBARA ENERGISYSTEMET

Storskalig vätgasproduktion och -lagring medger flexibilitet i energiförbrukningen vilket underlättar balanseringen mellan produktion och förbrukning i det förnybara energisystemet.

SATSNINGAR PÅ VÄTGASTEKNIK

Storskalig vätgasproduktion kommer att underlätta övergången till annan vätgasbaserad teknik och driva på innovation och företagsutveckling inom vätgasområdet.

SAMHÄLLETS STÖD BEHÖVS

Utbyggnad av elektrisk infrastruktur och regionala stöd är grundläggande behov för omställningen. Kompetens- och kapacitetssuppbyggnad krävs för att stötta framtidens värdekedjor, produktionssystem och affärsmodeller. Ett hanterbart affärsscenario kan vara beroende av koldioxidavgifter samt, utveckling av nischmarknader för fossilfritt järn och stål.

**Stöd från samhället
krävs för att möjliggöra
övergången till fossilfrihet**



ATT VÄLJA DEN GRÖNA VÄGEN

För att undvika utsläpp i framtiden, måste lösningar som utvecklas vara tekniskt och ekonomiskt hanterbara.

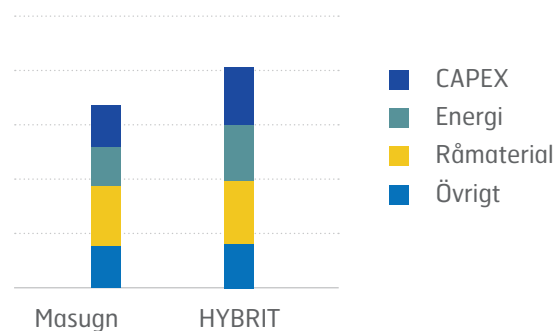
Vid beräkning av ursprungliga utsläpp för den i dagsläget dominerande produktionsprocessen ingick både direkta och indirekta utsläpp. I Sverige är mängden koldioxidutsläpp vid nuvarande teknik 1,6–1,7 ton CO₂ per ton råstål, jämfört med uppskattningsvis 2,0–2,1 ton CO₂ för ett typiskt integrerat stålverk i Västeuropa. Resultatet kan förklaras av skillnader i elmixen med fler förnybara källor tillgängliga i Sverige. En annan faktor är den höga energieffektiviteten inom den svenska industrin, där LKAB och SSAB är ledande verksamheter vad gäller energi och CO₂-effektivitet.

BEDÖMNING AV KAPITAL- OCH DRIFTKOSTNADER

Kapitalkostnader för anläggande och byggnation av respektive produktionssystem utifrån ett 'greenfield'-scenario. Detta är dock en generalisering då det i de flesta fall finns ett fungerande produktionssystem på plats som behöver omstruktureras. Det kommer att bli mycket dyrt att byta ut delarna i den befintliga infrastrukturen för stålframställning. Därför krävs noggrann planering så att övergången kan utföras när äldre investeringar har nått slutet av sin tekniska livslängd.

Den uppskattade totalkostnaden per ton råstål har beräknats baserat på aktuella råvaru- och energipriser. Beräkningen visar att produktionskostnaden för stål genom HYBRIT är cirka 20 till 30 procent högre än

Kostnadsjämförelse



Förväntade kostnader för råstålproduktion vid sk Greenfield villkor. (HYBRIT genomförbarhetsstudie).

i referensfallet. Inom stålindustrin kan råvarupriser och energipriser fluktuera betydligt över tiden, och det finns flera faktorer som tyder på att den relativa kostnadsnivån kan ändras under den period som utvecklingen av HYBRIT-konceptet pågår.

Kostnadsfaktorerna som påverkar HYBRIT på lång sikt är i huvudsak prisutvecklingarna för koksande kol, elektricitet och utsläppsrätter. Om pris på koksande kol

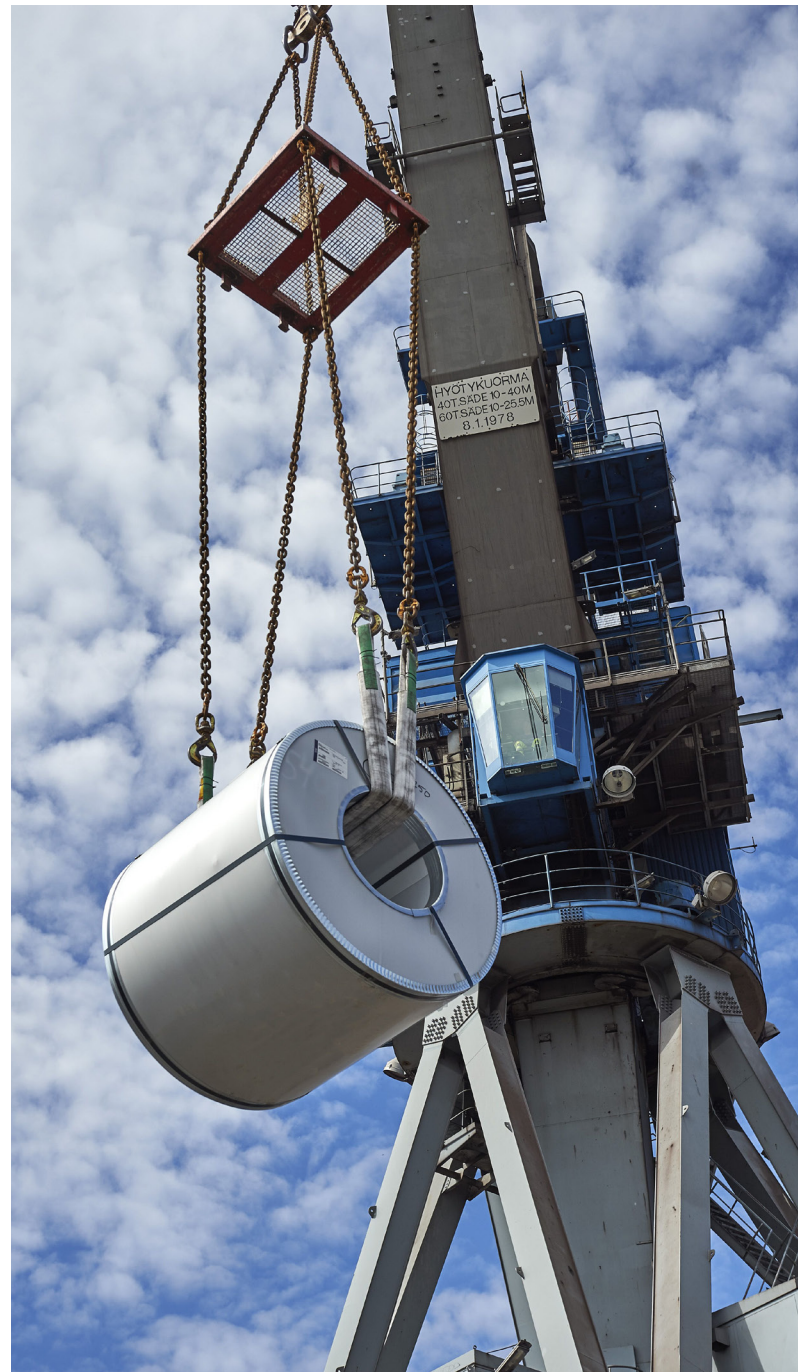
Investeringskostnaderna
är mycket höga.

Produktionskostnaderna
är hanterbara.

Extrakostnader för
slutanvändare är
begränsade.

ökar kommer detta att innebära fördelar för HYBRIT, medan en ökning av elpriserna kommer att försvaga HYBRIT. Framtida utveckling av system för handel med utsläppsrättigheter (EU ETS) kommer också att påverka.

Även om ett fullständigt utbyte av kol mot förnybar energi kommer att leda till högre materialkostnader så blir påverkan på slutanvändarprodukten försumbar. Prognoser för framtida kostnader är mycket osäkra, men förväntade variationer i priser och marknadskrav gör det fossilfria HYBRIT-konceptet till en kommersiellt tilltalande möjlighet.



REFERENSFALL

LKAB-SSAB har ett befintligt produktionssystem som är bland de mest effektiva i sitt slag i världen, men det släpper ändå ut cirka 6 miljoner ton koldioxid per år i Sverige.

JÄRNMALM

Koncentrerad finmald järnmalm innehåller normalt mer än 71 procent järn.

PELLETERING ①

I pelleteringsanläggningen avvattnas den finmalda järnmalmen och ett bindemedel tillsätts innan koncentratet rullas till 10-12 millimeter stora pellets. Dessa torkas, förvärms, sintras och kyls ned före lagring och transport till stålverken. Magnetitfyndigheterna i norra Sverige är särskilt lämpade för pelletsframställning. Under processen oxideras magnetiten till hematit. Reaktionen frigör värme som ersätter cirka två tredjedelar av de fossila bränslen som krävs när pellets framställs ur hematitkoncentrat.

KOKSPRODUKTION ②

Koks är ett bränsle och reduktionsmedel med hög kolhalt. Delar av flyktigt material i kolråvaran används som bränsle i koksframställningsprocessen.

MASUGN ③

Järnmalm och koks tillsätts i en process där syret avlägsnas från järnmalm enligt den förenklade reaktionen: järnmalm + kol => järn + koldioxid. Detta utförs i en schaktugn där de fasta ämnena tillsätts längst upp i ugnen samtidigt som förvärmad luft injiceras in i de nedre delarna vilket skapar en mycket effektiv sk motströmsreaktor. Produktion är flytande råjärn med ca 5% inlöst kol.

SYRGASKONVERTER ④

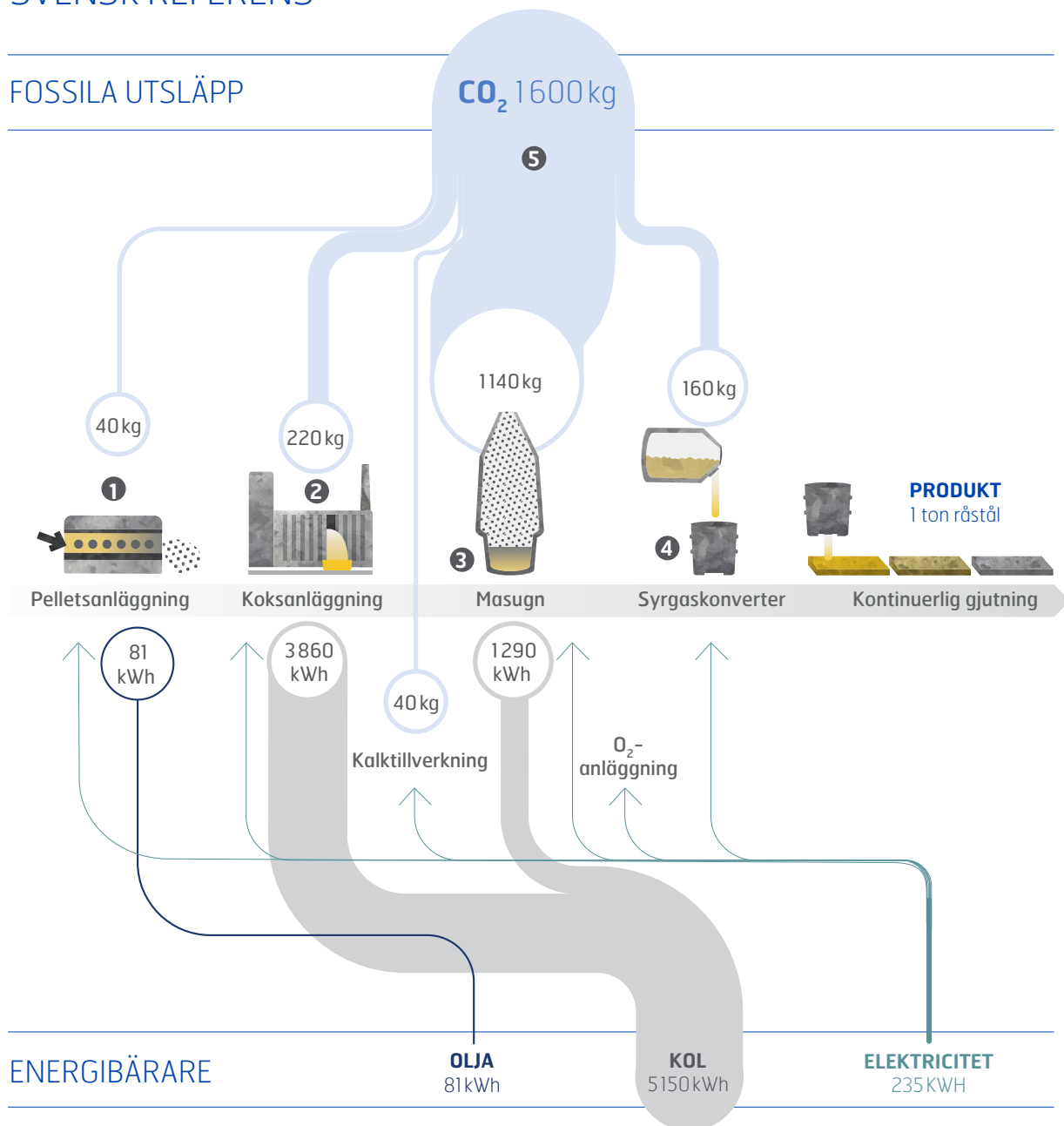
Råjärnet behandlas med syrgas för att sänka kolhalten och därmed producera flytande stål. Reaktionen frigör värme, som används för att smälta ytterligare 10-20% stålskrot, innan det flytande stålet tappas i en skänk. Stålets slutgiltiga sammansättning och temperatur justeras i skänkbehandlingsprocesserna varefter stålämnen gjuts i stränggjutningsprocessen.

CO₂ ⑤

Koldioxid genereras i masugnar, vid koksframställning, i konverteringsprocessen, samt fossila bränslen som används i pelleteringsprocessen.

SVENSK REFERENS

FOSSILA UTSLÄPP



Beskrivning av huvudsystemet. Siffrorna återspeglar inte någon specifik produktionsplats eller tidsperiod. Alla värden anges i ton råstål.

HYBRIT IMPLEMENTERAT

HYBRIT-konceptet använder väte – framställt med fossilfri elektricitet – istället för fossilt kol – och frigör vatten i stället för koldioxid. När tekniken byggs ut i industriell skala kan den göra Sverige till världens första land som kan framställa fossilfritt malmbaserat stål.

PELLETISERING ①

Det fossila bränslet vid malmpelletiseringsprocesserna kommer att elimineras tack vare högre energieffektivitet och övergång till fossilfria energikällor.

VÄTGASANLÄGGNING ②

Vätgasproduktionen sker med elektrolys av vatten till väte och syre. Förnybar el är den primära energikällan. Elektrolys är en beprövad teknik och det finns i princip inga hinder för att bygga en storskalig anläggning.

DIREKTREDUKTION ③

Den befintliga direktreduktionsprocessen måste anpassas till reduktion med väte för att eliminera koldioxidutsläppen. Restprodukten från reduktionsprocessen kommer att bli vatten, enligt en förenklad reaktion: järnmalm + vätgas => järn + vatten. Resultatet är en fast porös järnsvamp, lämplig som råvara vid stålframställning.

ELEKTRISK LJUSBÅGSUGN ④

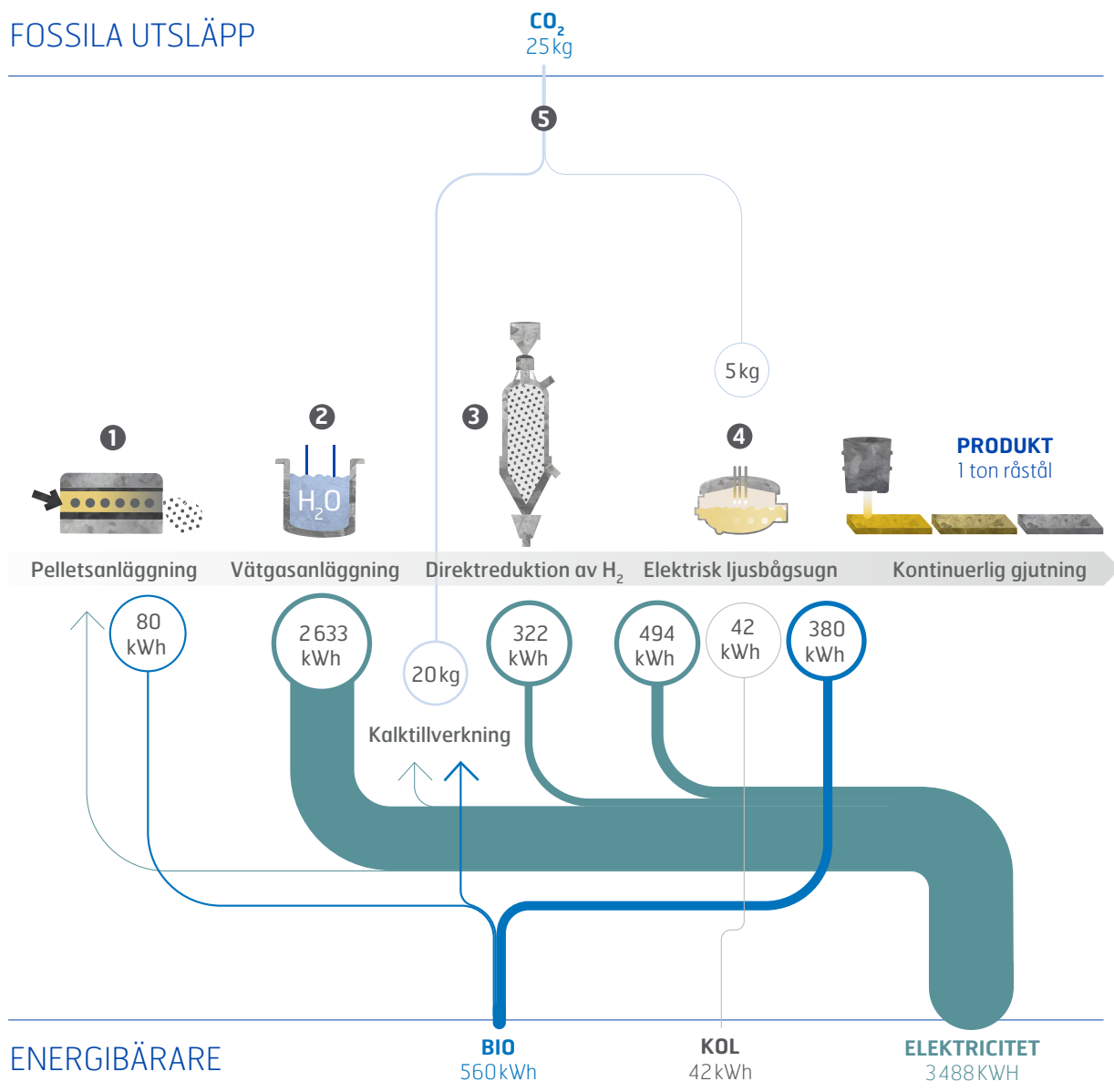
Den elektriska ljusbågsugnen (EAF) används för värming och smältning av metall med hjälp av elektrisk ström. Användningen av EAF gör att stål kan framställas av upp till 100 % metallsrot, eller enligt HYBRIT, från en blandning av järnsvamp och skrot. På samma sätt som vid referensprocessen tappas det flytande stålet i en skänk för vidare behandling i skänkbehandlingsprocessen innan gjutning sker i en stränggjutningsmaskin.

CO₂ ⑤

CO₂-utsläpp kommer att sänkas kraftigt, även om mindre utsläpp fortfarande kan förekomma vid användning av viss processutrustning, och eftersom små mängder kol måste användas i tillverkningsprocessen.

HYBRIT

FOSSILA UTSLÄPP



Alla värden anges i ton råstål.

FÖRNYBAR ELEKTRICITET ERSÄTTER KOL

Implementering av HYBRITs fossilfria malmbaserad stålproduktion före år 2045 kommer att bidra betydligt till målet om ett fossilfritt Sverige.

Figuren nedan visar den övergripande planen för koldioxidreduktion avseende utsläpp i Sverige från SSAB, LKAB och Vattenfall. På kort sikt kommer LKAB att nå en gradvis reduktion genom ytterligare åtgärder på energieffektivitetsområdet och bränsleersättning. Den slutliga elimineringen av utsläpp kräver teknologiska framsteg som ska implementeras senast 2045. SSAB:s plan innehåller ett första steg till elektrisk smältning år 2025 och, om förhållandena tillåter, ytterligare ett steg till elektrisk smältning före 2040.

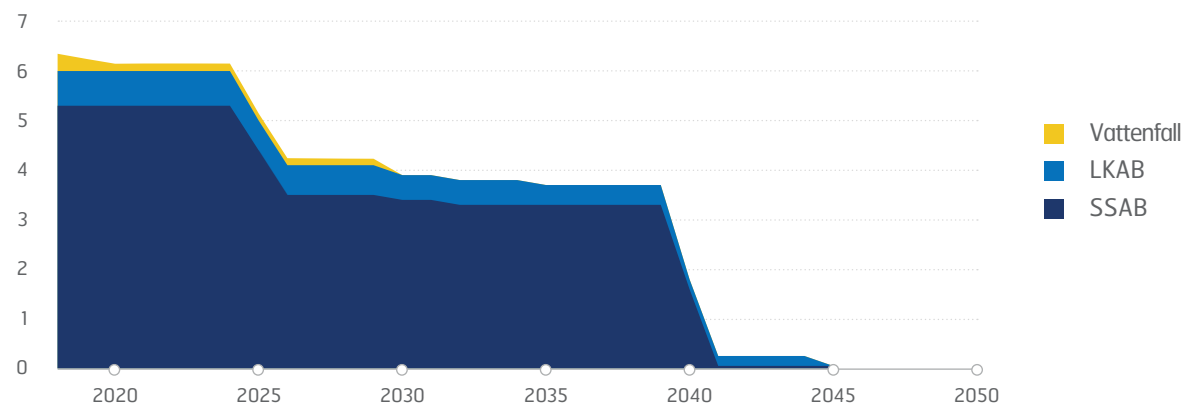
De mest betydande stegen avseende CO₂-reduktion associeras med utfasning av masugnar, ersatt av vätgasbaserade direktreduktionsanläggningar och

elektriska ljusbågsugnar. Den primära järnkällan i stålverken kommer sedan att växla från masugnsjärn till vätgasbaserat direktreducerat järn, producerat genom användande av HYBRIT-konceptet.

Efter den här utvecklingen kommer elektricitet från förnybara källor att bli den primära energibäraren och förbrukningen kommer att öka i storleksordningen 15TWh, i första hand för att användas för vätgaselektrolys och stålsmältningsprocesser.

Bidrag till regionalt koldioxidavtryck i Sverige

(Megaton/år)





-10%

Koldioxidutsläpp

+15 TWh

Behov av fossilfri elektricitet

IDENTIFIERADE VIKTIGA UTMANINGAR

För att skapa en framtida fossilfri stålproduktion krävs ett mycket stort arbete för att lösa stora utmaningar inom olika områden samt skala upp teknik till produktions skala.

PRINCIPER FÖR KOLSNÅLA PROCESSER måste klargöras. Kol är ett av de viktigaste elementen inom traditionell järn- och stålframställning. När kol inte är tillgängligt i några väsentliga mängder finns ett behov att förstå mekanismer och definiera processprinciper.

VÄTGASPRODUKTIONEN baseras på befintlig kommersiell teknik och måste utprovas i storskalig form. Det kommer därmed att vara viktigt att kunna värdera eventuella skaleffekter vad gäller processens verkningsgrad samt ekonomi.

VÄTGASLAGRING spelar en viktig roll i värdekedjans ekonomi och integration. Tekniken för storskalig vätgaslagring är fortfarande otestad.

FOSSILFRIA BRÄNSLEN OCH TEKNIK FÖR PROCESSENS VÄRMNING kommer att behövas för att ersätta befintliga fossila värmekällor i produktionssystemet.

PRODUKTIONSPRINCIPER måste upprättas för de nya processtegen vilka måste fungera som en fristående enhet, och som en del i en värdekedja som är tekniskt och ekonomiskt optimerad på systemnivå.

STRÖMFÖRSÖRJNINGEN OCH ÖVERFÖRINGEN från förnybara källor till framtida produktionsanläggningar spelar en viktig roll för att kunna säkerställa det prognosticerade ökade behovet av elektricitet.

REGIONAL PÅVERKAN PÅ SAMHÄLLET kommer att vara betydande i områden där övergången sker, vilket behöver studeras ytterligare.

POLITISKA INSTRUMENT, t.ex. handel med utsläppsrätter, påverkar industrins omställning och sannolikheten för ett hanterbart affärsscenario.

AFFÄRSSCENARION I FRAMTIDEN för en fossilfri järn- och stålprodukt kräver ytterligare djupgående studier för att finna sannolika framtidsscenarioer och relaterade affärsmoeller.

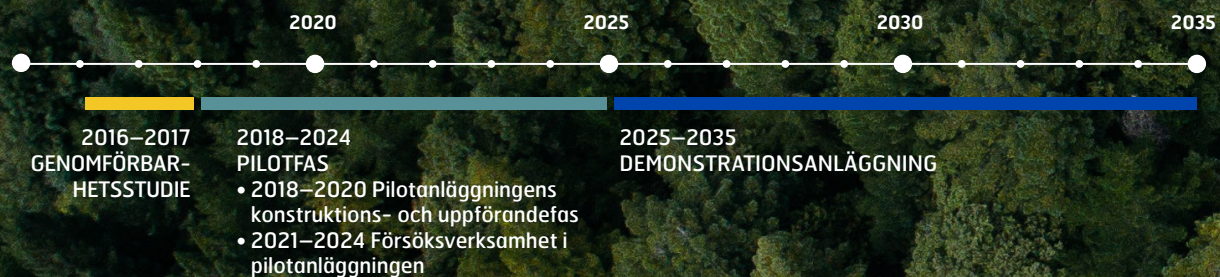
OMSTÄLLNINGEN INOM INDUSTRIEN och tillhörande teknologiska och ekonomiska effekter innebär betydande risker och kostnader för de företag som deltar, vilket är en fråga som måste lösas.

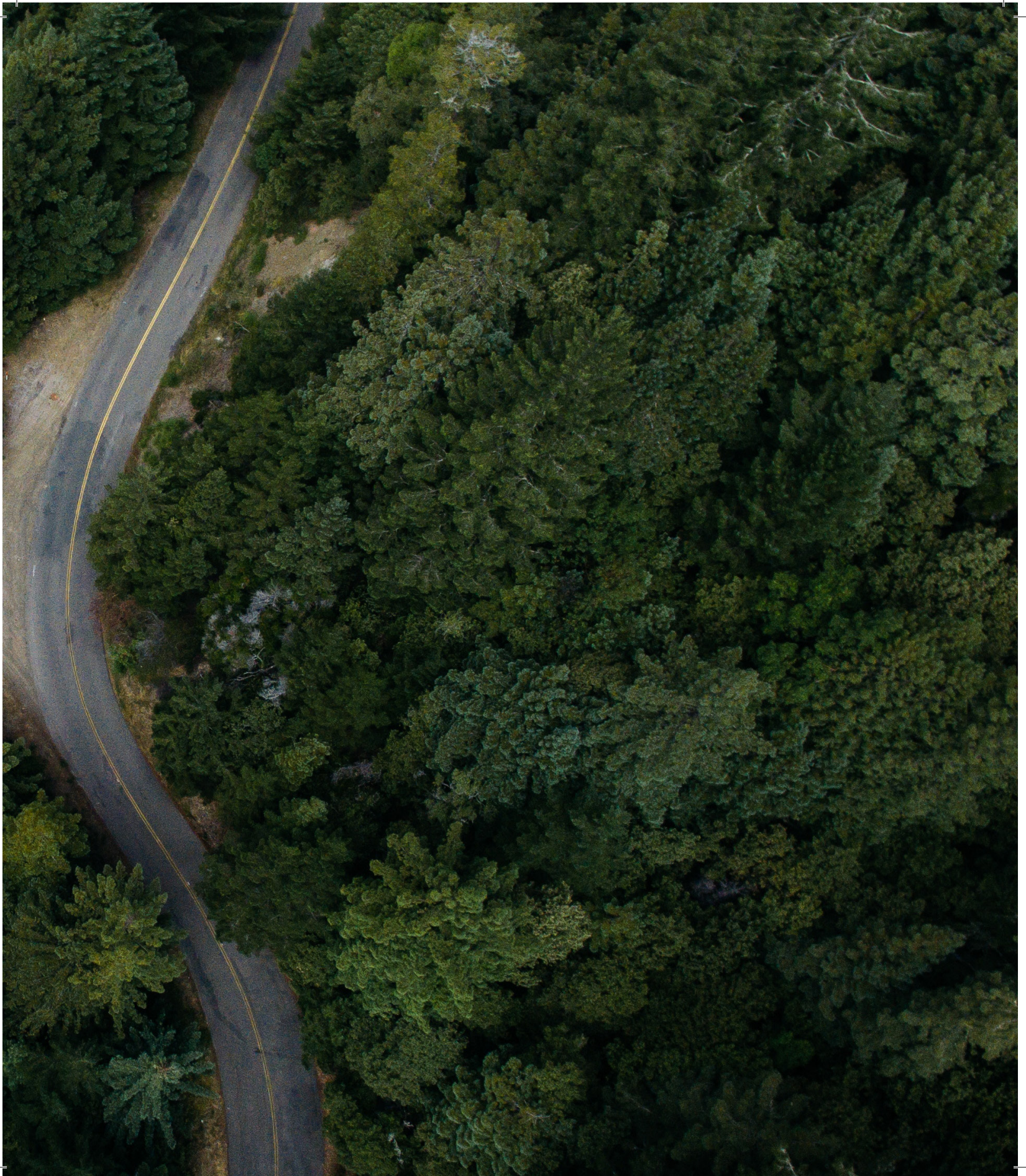


VÄGEN FRAMÅT

Planen för HYBRIT är fortfarande oförändrad. Pilotfasen börjar år 2018, där de första aktiviteterna syftar till att konstruera och uppföra en pilotanläggning vilken har målsättningen att drifvas år 2020.

Projektets huvudfaser





HYBRIT

 **FOSSIL-FREE STEEL**

HYBRIT DEVELOPMENT AB

INFO@HYBRIT.SE

WWW.HYBRITDEVELOPMENT.COM

SSAB

+46 8 45 45 700

INFO@SSAB.COM

WWW.SSAB.COM

LKAB

+46 771 760 000

INFO@LKAB.COM

WWW.LKAB.COM

VATTENFALL

+46 8 739 50 00

WWW.VATTENFALL.COM