

|   |  |
|---|--|
| Energimyndighetens titel på projektet – svenska<br><b>Pilotförsök med CO2-neutral biokol i Höganäsprocessen</b>   |  |
| Energimyndighetens titel på projektet – engelska<br><b>Pilot trial using CO2 neutral bio-coal in the Höganäs Sponge Iron Process</b>  |  |
| Universitet/högskola/företag<br><b>Höganäs AB</b>   | Avdelning/institution<br><b>Höganäs AB</b> |
| Adress<br><b>263 83 HÖGANÄS</b>   |  |
| Namn på projektledare<br><b>Ryan Robinson / Magnus Pettersson</b>   |  |
| Namn på ev övriga projektdeltagare<br><b>Ulf Rosenkvist, Carl Wadskog, Olof Larsson, Gunilla Mattsson, Ola Hallenheim, Elin Hernebrant, Stellan Bengtsson, Pontus Hydén</b> |  |
| Nyckelord: 5-7 st<br><b>Biokol, Komprimering, Torkning, Lagring, Självuppvärmning, Reduktion, Järnsvamp</b>   |  |

## Förord

Projektet, Pilotförsök med CO2-neutral biokol i Höganäsprocessen, har utförts i sin helhet hos Höganäs AB i Höganäs mellan åren 2021 och 2023. Projektet finansierades till huvuddel av Höganäs AB själv med stöd från Statens Energimyndigheten. Projektledare har varit Tekn. Dr. Ryan Robinson med bistånd av Tekn. Dr. Magnus Pettersson.

Övriga deltagare från Höganäs AB och Höganäs Sweden AB var Ulf Rosenkvist, Olof Larsson, Gunilla Mattsson, Ola Hallenheim (Driftledare, Underhåll, Projektledning, Driftansvar), Elin Hernebrant och Carl Wadskog (Processingenjörer), Stellan Bengtsson och Pontus Hydén (Gruppchef och Teknikchef) och flera tekniker/operatörer från Höganäs Pilot Centre och Järnsvampverket.

## Innehållsförteckning

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Sammanfattning .....        | 2  |
| Summary .....               | 2  |
| Inledning/Bakgrund .....    | 2  |
| Genomförande .....          | 4  |
| Resultat & Diskussion ..... | 6  |
| Publikationslista.....      | 18 |
| Referenser, källor.....     | 19 |

## Sammanfattning

Höganäsprocessen släpper ut mest fossil CO<sub>2</sub> inom Höganäs AB (Höganäs) och är därför i fokus när det gäller att minska klimatpåverkan och målet att bli netto noll i sina egna tillverkningsprocesser till 2030. För att minska det fossila CO<sub>2</sub>-utsläppet måste fossila reduktionsmedel ersättas med CO<sub>2</sub>-neutralt reduktionsmedel, mer specifikt biokol. Syftet med projektet har varit att få svar på en del frågor gällande de långsiktiga effekterna av att använda biokol som reduktionsmedel innan det kan implementeras i processen. Därför har man genomfört ett omfattande pilotförsök i detta projekt, där 20% fossilt reduktionsmedel ersattes med biokol i järnsvampprocessen, för att kunna utvärdera eventuella effekter på produkt och process. Pilotförsöket bestod av följande steg och händelser: ett komprimeringsförsök med 450 ton biokol under ett år uppdelat i två perioder; innan och efter en glödbrand i vårt bulklager, bulklagring av det komprimerade biokolet under 6 månader fram till glödbranden och sedan lagring i storsäck ytterligare 6 månader och slutligen ett lyckad produktionstest med det komprimerade biokolet som råmaterial i järnsvampprocessen under 4 veckor. Det visade sig möjligt att med smärre justeringar av processparametrar producera järnsvamp som uppfyller befintlig specifikation trots att 20 % av det fossila kolet ersatts med biokol och därmed 17% lägre klimatpåverkan. Projektet har också rönt stort intresse inom stål- och metallindustrin och har märkbart accelererat utvecklingen och planerna kring biokol i Norden.

## Summary

Höganäs' sponge iron process is the largest fossil-CO<sub>2</sub> emitter within Höganäs AB and is therefore a priority area to reduce climate impact and achieve net-zero scope-1 emissions by year 2030. In order to affect significant reductions in fossil-CO<sub>2</sub> emissions, fossil-based reducing agents must be replaced with a CO<sub>2</sub>-neutral alternative, more specifically densified bio-coal. Therefore, the aim of this project is to define the yet unknown steady-state and long-term effects of using densified bio-coal as a replacement for 20% of the fossil-based reduction agents used in full-scale operation. The trial included the following stages and incidents: pilot densification of 450 tons bio-coal split into two trial periods; before and after a fire in the bulk storage, bulk storage of densified bio-coal for 6 months before the fire and 6 additional months storage in big bags after the fire, and finally a successful full-scale test of densified bio-coal in Höganäs' sponge iron production for a period of 4 weeks. The project has shown that, with only minor adjustments in process parameters, bio-coal can replace at least 20% of the fossil reduction agents used in sponge iron production resulting in a sponge iron product with the same quality and 17% lower climate impact. Furthermore, the project has attracted great interest from players in the metals industry as well as potential bio-coal suppliers which has noticeably sped up the development of bio-coal prospects in the Nordics.

## Inledning/Bakgrund

Sverige har som mål att senast år 2045 ha ett nettonollutsläpp av växthusgaser och baserat på det har Höganäs AB (Höganäs) satt upp målet att bli CO<sub>2</sub>-neutral i hela

värdekedjan till år 2037.<sup>1</sup> I sin roll som världsledande producent av metallpulver till den pulvermetallurgiska industrin vill Höganäs kunna fortsätta producera och leverera produkter i framtiden som redan idag bidrar till en energi- och resurseffektiv tillverkning av komponenter jämfört med andra tillverkningsmetoder. I takt med att CO<sub>2</sub>-utsläpp från bränsleförbrukning i bilar kommer att minska i framtiden på grund av övergång till mer hållbara drivmedel, så förväntas behovet av material och materialframställning med låga CO<sub>2</sub>-avtryck att öka för att minska CO<sub>2</sub>-utsläppet vid tillverkningen av bilen. Höganäs järnsvamppulver är en unik produkt som tillämpas i olika komponenter, till exempel inom bilindustrin, och svetsapplikationer på grund av sin höga renhet och svampliknande partikelform.

Det CO<sub>2</sub>-neutrala alternativ som har visat sig mest lämpligt som reduktionsmedel i Höganäsprocessen är biokol. Planen är att fossila reduktionsmedel ska ersättas med biokol successivt under de kommande åren och att år 2030 ska allt fossilt reduktionsmedel antingen ersättas med enbart biokol eller i kombination med kolfångningsteknik, vilket kommer innebära netto noll fossila CO<sub>2</sub>-utsläpp från Höganäsprocessen. För att det ska bli möjligt behövs en djupare förståelse för biokolets eventuella inverkan på järnsvampen och processen. Dessutom behövs mer förståelse för hur teknikvalet för komprimering och torkning av biokol påverkar kvalitén på biokol som reduktionsmedel över tid och hur arbetsmiljön påverkas vid hantering och lagring av produktionsenliga volymer komprimerad biokol. Således måste ett pilotförsök utföras, där en större volym komprimerad biokol ska tillverkas för att därefter kunna ersätta en del av det nuvarande fossila reduktionsmedlet under en längre tid i produktionen. Det är viktigt att det är tillräckligt stora volymer komprimerad biokol som används över lång tid för att uppnå stabilt läge ("steady-state") i järnsvampprocessen för att det ska vara möjligt att utvärdera eventuell inverkan på produkt och process. Dessutom är det ett ypperligt tillfälle att utvärdera de förutsättningar, både praktiska och ur en riskhanteringssynpunkt, som krävs för hantering och lagring av stora volymer biokol i framtiden.

Forskning visar att biomassa från skogen är ett möjligt förnyelsebart alternativ till de fossila råmaterialen som används inom stålindustrin. Tidigare och pågående forskning handlar bland annat om biomassans tillgänglighet, pris och potentiella miljö fördelar. Forskning har även handlat olika typer av termisk omvandling från biomassa till biokol, biokolets egenskaper samt de tekniska utmaningarna vid övergången från fossilt till förnyelsebart alternativ inom stålindustrin.<sup>2,3,4</sup> Detta projekt kommer framför allt att bidra med kunskap om de praktiska och tekniska utmaningarna som uppstår vid komprimeringen och användandet av biokol som en betydande del av reduktionsmedel i en process där järnmalm direktreduceras i fast fas (Höganäsprocessen).

Höganäs tillverkar ca 100 000 ton järnsvamp per år och släpper ut 135 000 ton fossil CO<sub>2</sub> från reduktionsmedel i Höganäsprocessen, vilket är ca 50% av de totala CO<sub>2</sub>-utsläppen från hela Höganäskoncernen. Höganäsprocessen släpper ut mest CO<sub>2</sub> i Höganäskoncernen och är därför i fokus när det gäller att minska Höganäs klimatpåverkan och att nå målet att ha netto noll direkta CO<sub>2</sub>-utsläpp till år 2030.

Intresse har därför väckts för biobaserade produkter. Det gäller både tillverkning och användning av bio-syngas men också att ersätta fossilt kol med biokol i Höganäs processer, både som reduktionsmedel i Höganäsprocessen och uppkolningsmedel atomiseringsprocessen. Arbetet som gjorts hittills gällande biokol som reduktionsmedel i Höganäsprocessen består bland annat av två examensarbeten<sup>5,6</sup> och interna förstudier på Höganäs. De viktigaste slutsatserna hittills är:

- Biokol baserat på skogsråvaror är lämpligaste CO<sub>2</sub>-neutrala reduktionsmedlet i Höganäsprocessen.
- Biokol har betydligt lägre densitet jämfört med fossilt kol och måste komprimeras innan det kan användas som reduktionsmedel i Höganäsprocessen. Komprimering behövs för att en viss mängd kol (C) per volymenhet behövs i processen och för att sänka biokolets reaktivitet och för öka stabiliteten i kapseln.
- Vakuumentruderung är teknologin att föredra för att komprimera biokol för användning i Höganäsprocessen.
- Konsumtionen av kol (C) kommer att öka med ca 5% när 20% fossilt kol ersätts med biokol som reduktionsmedel i befintlig Höganäsprocessen på grund av dess högre reaktivitet.

Hittills har endast test i labbskala och ett engångstest i produktionen gjorts där en mindre mängd fossilt kol ersattes med biokol. Engångstestet i produktionen visade endast på positiva resultat men för att kunna implementera biokol finns ett behov av kunskap och en djupare förståelse för användning av biokol i fortvarighet i Höganäsprocessen, till exempel biokolets påverkan på:

- Kolförbrukning
- Naturgasförbrukning
- Mängd returkoks i förhållande till tunnelugnskalk
- Järnsvampkvalitet
- Hantering och lagring av råmaterial

För att få svar på frågorna måste ett långvarigt pilotförsök utföras i kontinuerlig produktion. Målet är att denna kunskap ska göra det möjligt för successiv ersättning av biokol i Höganäsprocessen fram till år 2030, då målet är att allt fossilt reduktionsmedel ska vara ersatt med biokol eller med en kombination av biokol och kolfångningsteknik. Den stora utmaningen med projektet är att samordna alla delmoment i den provisoriska anläggningen för komprimering av biokol och sedan utföra ett pilotförsök i produktionen och inte störa ordinarie produktion allt för mycket. Den långsiktiga utmaningen är tillgången till den mängd biokol av rätt kvalitet som kommer att behövas vid en implementering.

## Genomförande

Arbetet i projektet har delats upp i tre arbetspaket:

Arbetspaket 1: Komprimera biokol (Period 1: Q2 2021-Q2 2022, Period 2: Q3 2022-Q1 2023)

I detta arbetspaket har råmaterial köpts in, levererats och lagrats. Utrustning till komprimeringsanläggningen har hyrts in, levererats och monterats. Därefter har biokol komprimerats till biokolpellets enligt specifikation och lagrats i bulk under period 1. I slutet av period 1 skedde en glödbland som krävde att hela bulklagret av biokolpellets tömdes och förvarades utomhus. Under period 2 omarbetades materialet efter branden och lagrades i storsäck för att undvika en ny brand. Färdig komprimerat biokol från period 2 användes i det långvariga pilotförsöket i Höganäsprocessen.

*a. Leverans och förvaring av råmaterial*

En lämplig biokolleverantör valdes ut och biokolleveranser skede löpande under period 1. Tillsatsråmaterialen levererades i början av period 1 och förvarades i lagertältet.

*b. Leverans, montering och idrifttagning av utrustning till komprimeringsanläggning*

Hela pilotproduktionen har huserats i två tälthallar, ett processtält och ett lagertält. Pilotanläggning för blandning, vakuumextrudering och torkning av biokolpellets hyrdes in av ett flertal maskinleverantörer. Anläggningen monterades och togs i drift under Q4 2021.

*c. Tillverkning av biokolpellets*

550 ton biokolpellets tillverkades under perioden Q1-Q2 2022. 450 ton färdigställdes under perioden Q3 2022-Q1 2023.

*d. Förvaring av biokolpellets*

Biokolpellets lagrades i bulk t.o.m. Q2 2022 då det skedde en glödbland i bulklagret. Efter branden, fortsatt lagring gjordes i storsäck som en åtgärd efter en ny riskbedömning.

Utförare: Höganäs i samarbete med leverantörer.

Arbetspaket 2: Genomföra långvarigt pilotförsök (Q2-Q4 2023)

I detta arbetspaket har 20% fossilt reduktionsmedel ersättas med biokolpellets i ett 4 veckor långt pilotförsök i Höganäsprocessen. Efter pilotförsöket har resultatet utvärderats med avseende på produkt och process.

*a. Förkrossning av biokolpellets*

Biokolpellets har krossats till en mindre partikelstorlek då den minsta diameter och längd för pellets som kunde tas fram i pilotproduktion var förr grov.

*b. Processövervakning*

Standardmetoder för processövervakning har använts för att se till att allt fungerar som planerat och för att kunna definiera ett stabilt läge ("steady-state") i Höganäsprocessen.

*c. Provtagning*

Under försöket har provtagning gjorts av järnsvamp, återcirkulerande reduktionsmedel (returkoks) och "slagg" (tunnelugnskalk).

*d. Utvärdering av resultat*

Utvärdering av påverkan på produkt och process.

Utförare: Höganäs.

Arbetspaket 3: Ta fram ett exempel på layout för en fullskalig komprimeringsanläggning (Q2 2022-Q2 2023)

För att det ska vara möjligt att implementera biokol som reduktionsmedel i Höganäsprocessen behövs en fullskalig komprimeringsanläggning. Valet av utrustning för en fullskalig komprimeringsanläggning har fastställts i detta arbetspaket samt framtagning av layout och CAPEX.

*a. Komprimeringsutrustning*

Utvärdering och fastställning av utrustning till en fullskalig komprimeringsanläggning.

*b. Layout och CAPEX*

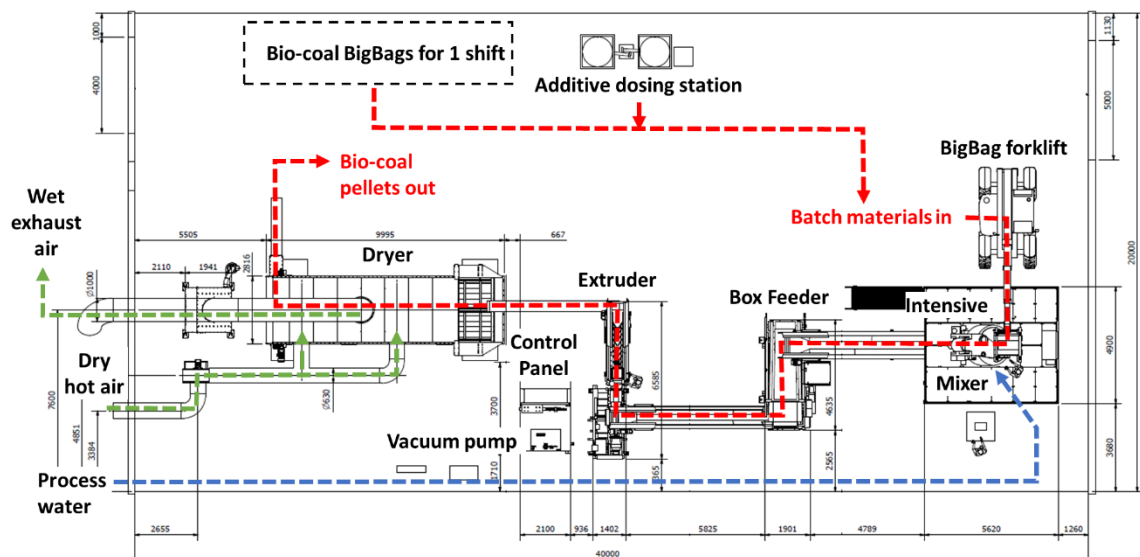
Framtagning av layout och preliminära investeringskostnader för en fullskalig komprimeringsanläggning.

Utförare: Höganäs i samarbete med leverantörer.

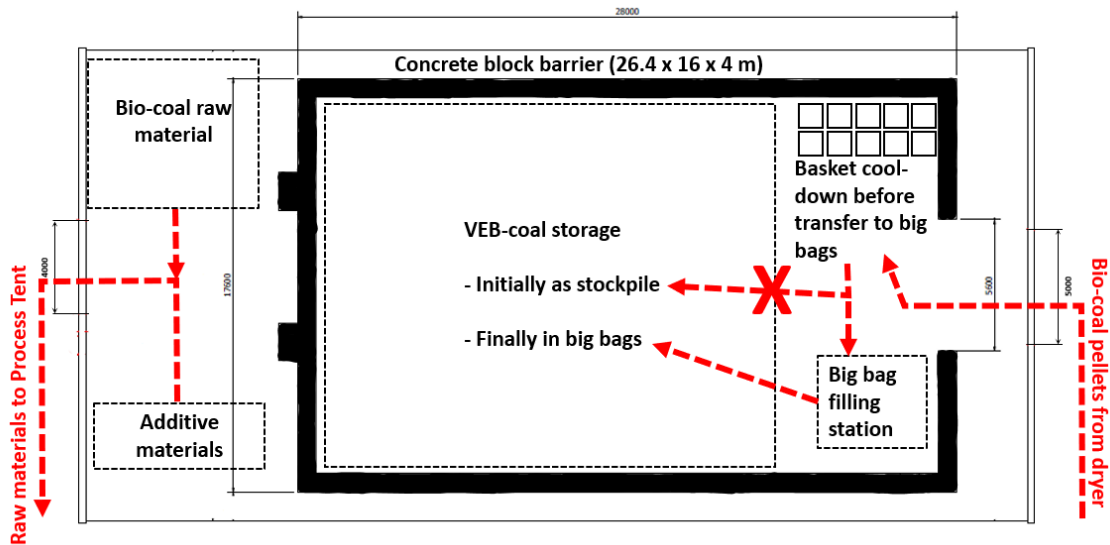
## Resultat & Diskussion

### Pilottillverkning av biokolpellets, AP1

Pilotanläggningen för tillverkning av biokolpellets bestod av fyra huvudenheter: en intensivblandare, en vakuumextruder och en tork i processtället och lagring av torkade biokolpellets i lagertältet, se Figur 1 och Figur 2.



**Figur 1 Processtält**


**Figur 2 Lagertält**

Komprimeringsprocessen har körts enligt följande metod:

1. Biokol med  $200 \text{ kg/m}^3$  i bulkdensitet sönderdelas och blandas i intensivblandaren med bindemedel och vatten i 200 kg satser som resultera i en blandning med  $500 \text{ kg/m}^3$  i bulkdensitet.
2. 5-6 satser mellanlagras på en bandmatare för att sedan matas kontinuerligt till vakuumextrudern.
3. Biokolblandning matas genom vakuumextrudern där det komprimeras till pellets med  $\geq 1,2 \text{ g/cm}^3$  i styckedensitet.
4. Pellets av biokol sedan matas till en bäddtork som torkar pellets med restvärme i form av varmluft från Höganäsprocessen.
5. Torkade biokolspelletas matas ut periodvis från torken till en behållare som sedan kördes till lagertältet.

Resultat från intensivblandning:

- Det rekommenderas att biokol har minst 15% fukthalt innan intensivblandning påbörjas för att undvika risken för uppkomst av explosivmiljö under sönderdelningen av biokolet.
- Blandningskniv och blandningsspanna i blandaren bör roteras i motsatsriktning från varandra för att undvika generering av överskottsvärme som dels driver av för mycket vatten, dels aktiverar bindemedlet för tidigt vilket leder till instabila betingelser i vakuumextruderingen.
- Genom att köra många blandningar i större skala i följd kunde man sänka bindemedel- och vattenhalten i biokolblandning jämfört med resultat för optimala blandningar framtagit i labbförsök hos maskinleverantören.
- Maximal effektiv blandningskapacitet var  $1200 \text{ kg/h}$ .

Resultat från vakuumextrudering:

- Noga dosering av vattenhalten i biokolblandningen är kritiskt för att undvika processstörningar i vakuumextrudern.
- Fler olika diameter på biokolpellets har extruderats under försöket. Erfarenhet visar att med ökande pelletediameter ökar man kapacitet för materialgenomströmning men pelletedensitet sjunker samtidigt när övriga extruderinställningar hålls konstant. För att kompensera detta behöver man öka motstånd i systemet genom t.ex. öka vridmoment i matarskruben och/eller ändra blandningssammansättning för att sänka blandningens plasticitet.
- Biokol är var mer aggressivt på slitdelar än vad först troddes.
- Vid pelletedensitet =  $1,2 \text{ g/cm}^3$  (250 mm trummadiameter), var den maximala effektiv extruderingskapaciteten = 1225 kg/h.
- Vid pelletedensitet =  $1,25 \text{ g/cm}^3$ , var den maximala effektiva extruderingskapaciteten = 580 kg/h.

#### Resultat från torkning:

- Initialt i period 1 av komprimeringsförsöket var målet för torkning 15% fukthalt i torkade biokolpellets men efter glödbranden i vårt bulklager sänktes målet till 5% fukthalt i period 2 av försöket.
- Torkningssteget bäddtorken var flaskhalsen i den totala kapaciteten som kunde nås i produktion av biokolpellets. Torkningskapacitet var bara 60% av den som uppnåddes i kapacitetstester gjord med mer industrirelevans hos en annan torktrustningsleverantör.
- Torkningshastigheten är begränsad av den dåliga värmeöverföringsförmågan i biokolpellets, där pelletsytan torkar relativt snabbt men den krympande kärna av fukt i pelletsen inre tar lång tid att torka helt. Därför ska vattentillsatsen i biokolblandning och bäddtjockleken i torken minimeras så mycket som är praktiskt möjligt.
- När målet för fukthalten i torkade biokolpellets minskades från 15% till 5% minskade kapaciteten i hyrd bäddtork med 25%.

#### Resultat från lagring:

- Under period 1 av komprimeringsförsöket lagrades torkade biokolpellets (15% fukthalt) i bulk i en enda hög. Risken för självantändning av biokolpellets bedömdes kunna hanteras med följande åtgärder:
  - biokolpellets direkt från torken måste hållas separat från lagerhögen tills deras temperatur har sjunkit till  $\leq 40^\circ\text{C}$ .
  - 2 m långa temperaturspjut används för att övervaka temperaturutveckling i lagerhögen och ger möjlighet för tidig ingripande ifall en temperaturökning sker och separera det påverkade materialet från resten av högen.
  - Kontinuerlig mätning av syrehalten i luften i lagertältet gjordes för att övervaka risken för bildning av kolmonoxid pga. ambient oxidering a biokolpellets på lager.



Tyvärr skedde en glödbrand i bulklagret vid slutet av period 1 när det fanns 550 ton (1300 m<sup>3</sup>) biokolpellets på lager. En rotorsaksanalys kom fram till följande bidragande faktorer:

- Fuktvandring pga. ojämn fukthalt i biokolpellets. På grund av låg torkkapacitet i den avsedda bäddtorken använde man en gammal palltork i närheten för att torka fyllda IBC burar med extra pelletssatser för att öka torkkapaciteten. I efterhand visade det sig att torkade pelletssatser från palltorken hade ojämn fukthalt där de yttre pellets i burarna var förr torr och de inre pellets förr blöta. När dessa satser lades till lagerhögen så fanns det förutsättningar för fuktvandring och kondensering mellan positioner av låg och hög fukthalt. Denna process genererar värme och om det sker långt in i högen där värmen inte kan ventileras bort så kan en värmehärd bildas.
- Mikrobiologisk aktivitet. Stärkelse har använts som bindemedel i biokolpellets vilket kan leda till mögeltillväxt och medföljande värmegenerering om de rätta förutsättningarna finns. Mögeltillväxt fanns på enstaka platser i lagerhögen där pellets hade fallit sönder och fukthalten var högre än 30%.
- Ökad tillgång till syre. Några veckor innan glödbranden hade man mät sänkta syrehalter i lagringstältet till följd av misstänkt ökad oxideringsaktivitet i biokolpellets högen. Då införda man en rutin att hålla porten på bak- och framsidan öppna under dagtid för att vädra bort någon kolmonoxid som kan ha bildats. Detta ledde till ökad syretillförsel vid upptakten till att glödbranden upptäcktes.
- Värmeisolerande barriär runt biokolpellets högen. En lagringsficka med väggar bestående av betongblock byggdes upp för att husera högen med biokolpellets. När man tömde fickan i brandinsatsen såg man att det hade varit varmaste vid väggarna där värmeutveckling inte kunde ledas bort.
- Inneboende reaktivitet i poröst biokol. Biokol är mer benägen än fossilt kol att ingå kemisorption av syre från luft vid ambient temperaturer som leder till självuppvärmning. Detta pga. den betydligt högre porositet i biokol.
- Efter branden började period 2 av komprimeringsförsöket där man både extruderade en del nytt material och omarbetade det av det gammalt material man kunde rädda. För att undvika risken för en ny brand infördes följande åtgärder:
  - Ändring till ett nytt torkningsmål där biokolpellets torkades till ≤ 5% fukthalt.
  - Ändring från bulklagring på hög till lagring i storsäck för att dela upp lagret i mindre enheter som underlätta bortventilering av potentiell värmeutveckling.

Period 2 av komprimeringsförsöket avslutades när produktion av biokolpellets nådde 450 ton.

Den uppskattade energiförbrukning per ton torkade biokolpellets i pilotanläggningen under hela försöksperioden var:

- Intensivblandning: El 30 kWh/ton
- Vakuumextrudering: El 60 kWh/ton
- Torkning: El 100 kWh/ton, Värme 2300 kWh/ton

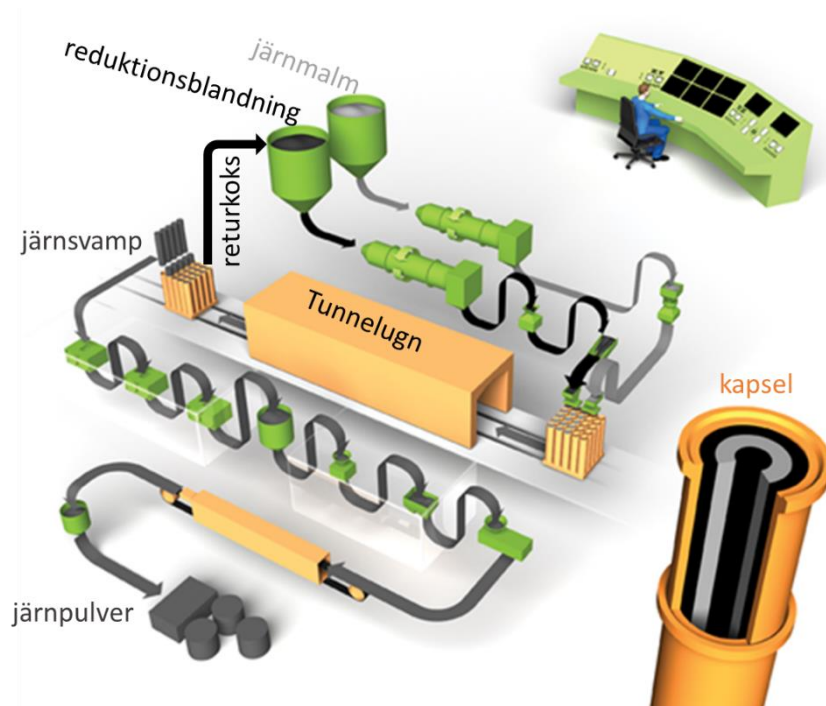
Produktionstest med 20% ersättning av fossilt reduktionsmedel med biokol i Höganäsprocessen, AP2

Höganäsprocessen producerar högkvalitativt järnsvamp för vidare förädling till rena järnpulver och som bas i metallpulverblandningar som säljs för applikationer i bland annat bilindustrin och växande marknader för elmotorer och batterier. I processen använder man finkornig järnmalm och reduktionsblandning, blandning av fossilt reduktionsmedel och kalk, som råvaror, se Figur 3.

Processflödet börjar med torkning av både järnmalm och reduktionsblandning innan dessa packas i eldfasta kapslar. Kapslarna står staplade på vagnar som körs igenom tunnelugnar där de värmebehandlas vid 1200°C under en period av 2-3 dygn. Under resan i tunnelugnen reduceras järnoxider i malmen till metallisk järnsvamp (98% Fe) via en reaktion med kol i reduktionsblandningen. När vagnarna lämnar tunnelugnen, plockar man ut rör av sintrad järnsvamp som krossas till pulver för vidare förädling och reduktionsaska som fördelas i två strömmar, returkoks och tunnelugnskalk. Returkoks återcirkuleras till ny reduktionsblandning och tunnelugnskalk läggs på deponi. Som referens, under 2022 producerades 100 000 ton järnsvamp genom användning av ungefär 45 000 ton fossilt kol i reduktionsblandningen som genererade 135 000 ton fossilt CO<sub>2</sub>-utsläpp av de totalt 160 000 ton fossilt CO<sub>2</sub> från järnsvampproduktionen.

I produktionstestet har man ersatt 20% av det fossila kolet i reduktionsblandningen med biokolpellets under 4 veckors drift i maj och juni 2023. Huvudsyftet för försöket var att definiera nivåer för kolförbrukning, naturgasförbrukning och returkoksflödet när man har hittat en stabil process läge med 20% biokol i reduktionsblandningen. Partikelstorleken på biokolpellets var för grov att mata direkt till järnsvampsprocessen och därför började man förkrossa biokolpellets ett par veckor innan testet för att bygga upp ett mindre mellanlager till försökets start. Detta så man kunde utföra huvuddelen av krossningen parallellt med försöket för att undvika självantändningsrisken med stora lager av krossade biokolpellets.

Vid försöksstarten med en ny reduktionsblandning är alla materialflöden nedströms i järnsvampsprocessen mättade med den tidigare blandningen så det tar ungefär 2 veckor innan innehållet i alla buffertfickor och transportörer motsvara den nya blandningen. Därför kan man säga att halva mängden biokolet gick åt för att uppnå en nivå där det var möjligt att börja styra processen till ett stabilt läge med 20% biokol i blandningen, se Figur 4.


**Figur 3 Höganasprocessen**

| Datum   | % Biokol i reduktionsmedel | Chargerad biokol, ton | Producerat järnsvamp, ton | Sänkt fossil CO <sub>2</sub> utsläpp, ton |
|---------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|---|
| Maj 8   | 0                          | 0                     | 0                         | 0   |
| Maj 12  | 12                         | 65                    | 970                       | 190                                       |
| Maj 15  | 16                         | 131                   | 1690                      | 380                                       |
| Maj 19  | 18                         | 196                   | 2670                      | 570                                       |
| Maj 22  | 20                         | 261                   | 3390                      | 760                                       |
| Maj 26  | 20                         | 325                   | 4370                      | 950                                       |
| Maj 29  | 20                         | 388                   | 5140                      | 1140                                      |
| Juni 2  | 20                         | 454                   | 6140                      | 1330                                      |
| Juni 6  | 7                          |                       | 7080                      | 1390                                      |
| Juni 10 | 3                          | Steady-state period   | 7990                      | 1410                                      |
| Juni 14 | 1                          |                       | 8840                      | 1420                                      |

**Figur 4 Period för stabil process under försöket med biokol**

Man kunde likväl se en begynnande påverkan av biokol i blandning under övergångstiden där kolhalten i producerade järnsvamp hade en uppgående trend vilket betyder att reduktionen av järnmalm till järnsvamp sker snabbare. Detta var väntat då man har sett tidigare att biokol har en högre reaktivitet än fossil reduktionsmedel i labbförsök.

Därför har man redan under övergångstiden börjat ändra visa styrparametrar för att stabilisera process- och produktenskaper:

- Uppehållstiden i tunnelugnarna sänktes med 3,5%
- Naturgasförbrukning sänktes med 8%

- Andelen färskt reduktionsmedel i reduktionsblandningen ökades med 1%

Med dessa ändringar hittade man ett stabilt processläge för 20% biokolsanvändning i Höganäsprocessen. För att kunna dra slutsatser om biokols påverkan på processen i sin helhet jämfördes med tidigare produktionsdata där man höll en liknande produktionstakt och använde samma andelar av övriga råmaterial i reduktionsblandning. Denna jämförelse visade att järnsvampsproduktion med 20% biokol resulterar i...

- Järnpulver som har ett 17% lägre klimatavtryck men uppfyller samma kravspecifikation som 100% fossilbaserat järnpulver.
- Ingen signifikant ökning av kolförbrukningen eller naturgasförbrukning i tunnelugnen.
- En 5% lägre nivå på returkoks för åter cirkulering i reduktionsblandningen. Anledning till detta kan vara biokolets lägre densitet jämfört med fossilt reduktionsmedel som leder till en lägre fyllningsvikt i kapslarna för reduktionsblandning som innehåller biokol.

Ett par rekommendationer för processändringar som kan förbättra biokolets prestanda i Höganäsprocessen är:

- Om försäljningsprognoser tillåter, öka normal produktionstakt med 3% för att ta fördel av biokolets högre reaktivitet medan de andra specifika förbrukningar kan hållas konstant.
- Optimera biokolets partikelstorleksfördelning i reduktionsblandningen så att man förbättra fyllningsdensiteten i kapslarna.

#### Layout för fullskalig komprimeringsanläggning, AP3

Figur 5 visar en enkel bild av hur en möjlig layout för komprimeringsanläggningen skulle se ut runt den befintliga järnsvampverket i Höganäs.



**Figur 5 Layout komprimeringsanläggning för biokolpellets i Höganäs**

Figurerna nedan är ett exempel på ett förenklat processflöde diagram för storskalig implementering av biokol i Höganäsprocessen som innehåller följande delprocesser:

1. Mottagningsapparat för hantering och lagring av råmaterial biokol och tillsatser, se Figur 6.
2. Komprimeringsanläggning för tillverkning av biokolpellets och mellanlagring av torkade biokolpellets, se Figur 7.
3. Vid behov, krossning av biokolpellets innan matning till befintlig kokslinjen i Järnsvampverket, se Figur 8.

Viktiga funktioner i olika steg av biokolhantering:

- Shredder/Roll Crusher: Här är det risk för brand och dammexplosioner i samband med damm- och gnistbildning. Åtgärder är dammsug med filter och gnistdetektering som signalera behov av släckning innan en brand har tid att utvecklas.
- Silo för råbiokol/biokolpellets: I stället för planlagring av biokol, rekommenderas lagring i silo där man har större möjligheter att övervaka och kontrollera utveckling av möjlig självuppvärmning/självantändning i biokol. Exempel på åtgärder för silolagring är kontinuerlig övervakning av temperatur och gasutveckling i silon som ger förutsättning att ingripa med kvävgasspolning för att kväva ökande temperaturutveckling från oxideringsreaktioner och ventiler bort fukt och gassamlingar.
- Metalldetektorer: Metallföremål som kan följa med råmaterialleveranser bör separeras ut från flödet då de är källor till gnistbildning och kan störa extruderingsprocess när de sätter igen extruderformen.
- Kontinuerlig fuktmätning: Det är viktigt att kontinuerligt kontrollera fukthalt i råmaterial innan blandning, i blandning innan vakuumentrering, efter vakuumentrering innan torkning och efter torkning. Fukthalten i råmaterialet måste bestämmas innan korrekt vattendosering kan tillämpas i blandningssteget. Fukthalten efter blandning krävs för att eventuellt justera fukthalt på grund av förluster via förångning. Fukthalten i biokolpellets efter extrudering är behövs för att styra pelletsegenskaper. Fukthalten efter torkning är viktigt för att styra torkprocessen och kontrollera fuktnivå i torkade biokolpellets så att inte för fuktigt material hamnar i mellanlagringssilon.
- Torkning av biokolpellets: Val av torkningsprocess är viktigt då denna steg var flaskhalsen för hela pilotproduktion av biokolpellets. Vidare tester har gjorts hos flera leverantörer för torkutrustning. De torktekniker som testades var fluidiserad bädd, roterugn, skakande bädd, och bandtork. Fluidiserad bädd och roterugn har avfärdats då de orsakar för stort

sönderfall av biokolpellets under torkning. Kvar är bandtork och skakande bädd vilka fördelar och nackdelar jämförs nedan:

Bandtork fördelar:

- Kan nyttja lägre temperatur i torkluften då uppehållstiden är lång.
- I princip inget sönderfall av biokolpellets och då mindre behov av en stor stofthanteringsapparat.

Bandtork nackdelar:

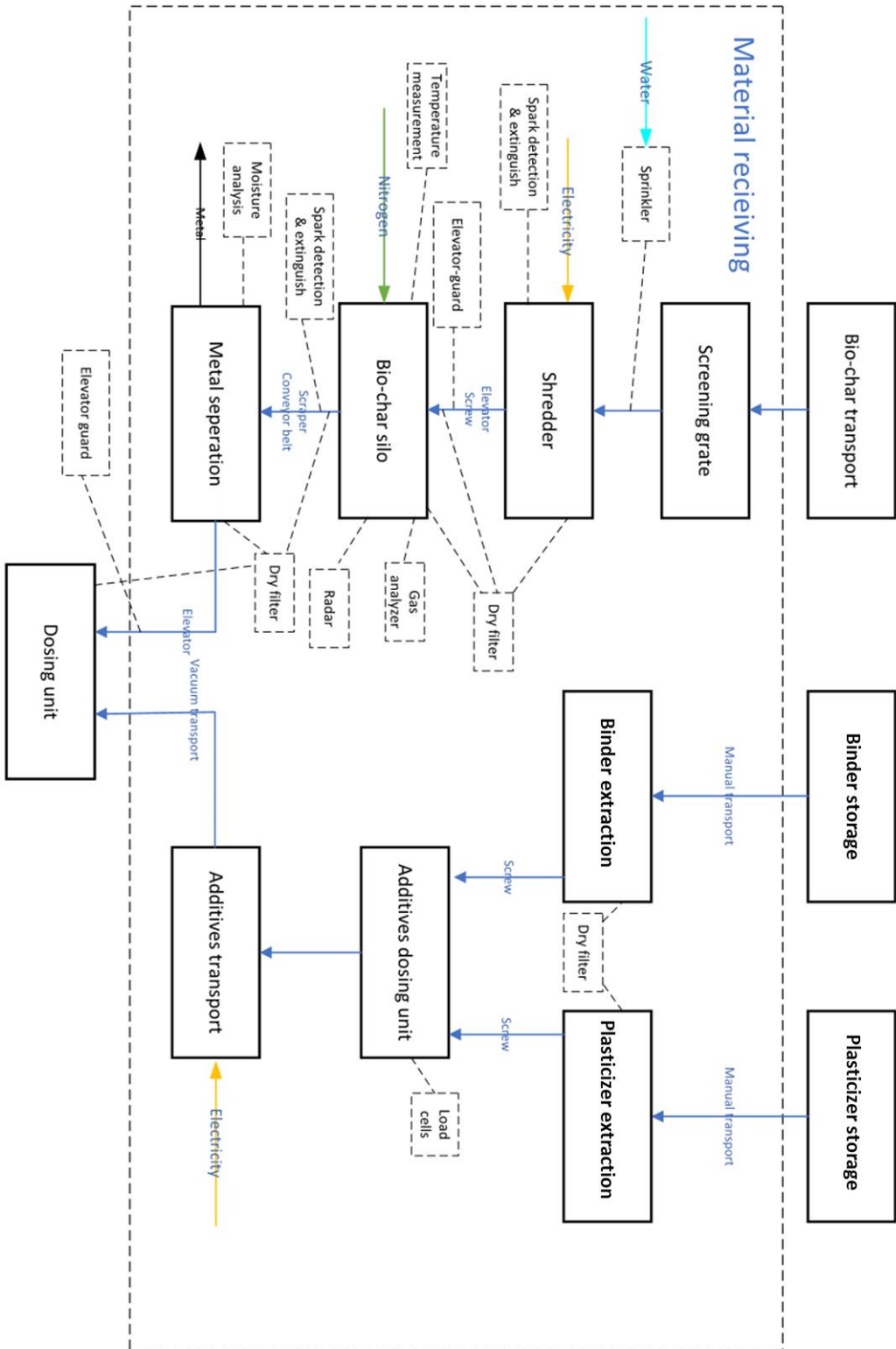
- Stor byggyta.
- Mindre effektiv torkning med högre luftflöde, värme- och elförbrukning per ton biokolpellets.

Skakande bädd fördelar:

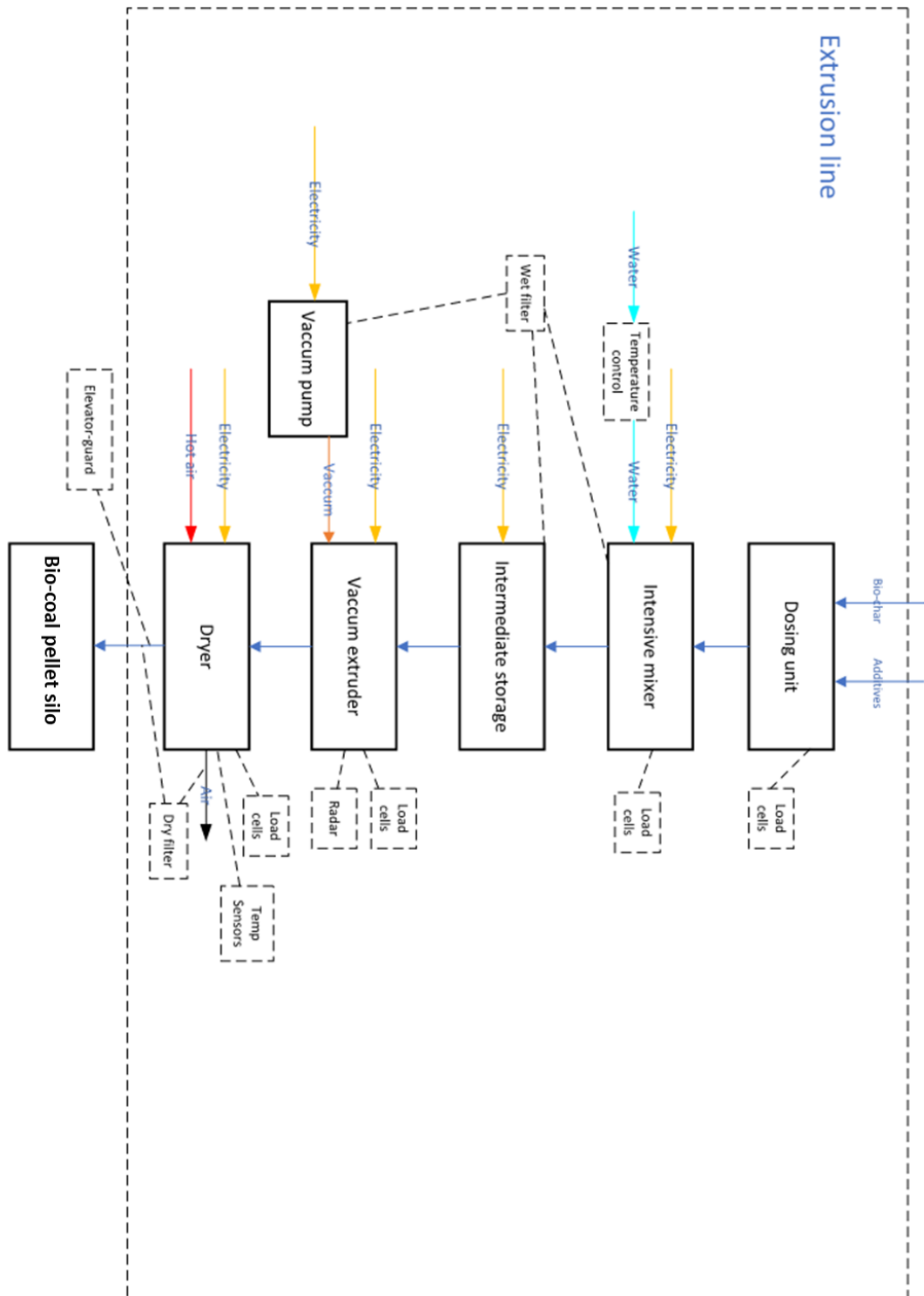
- Bättre torkningseffektivitet
- Mindre byggyta

Skakande bädd nackdelar:

- Kräver högre temperatur i torkluften vid mindre byggyta (högre risk för antändning av biokol)
- Större sönderfall av biokolpellets.

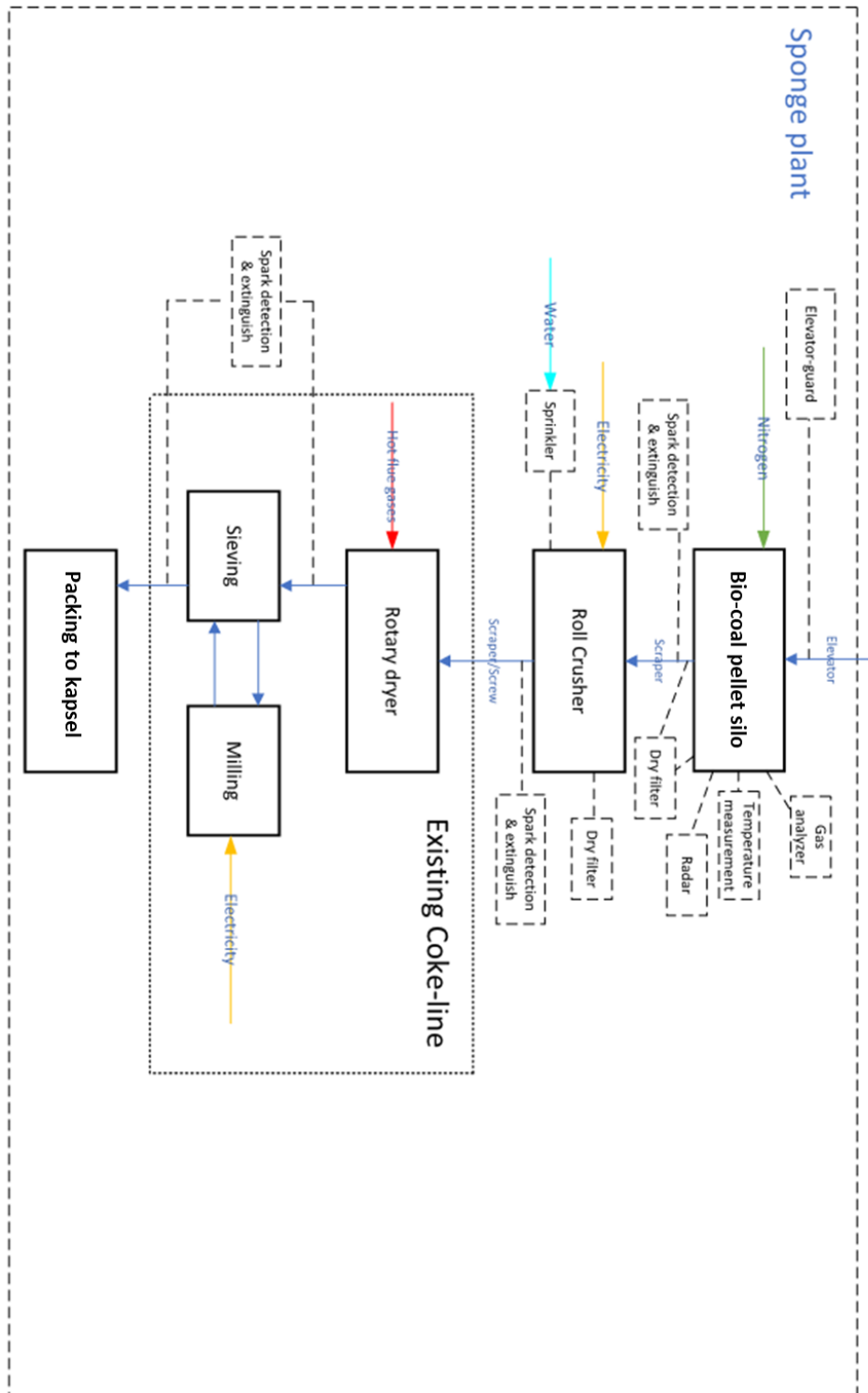


Figur 6 Mottagning och förbehandling av råmaterial



Figur 7 Komprimeringsanläggning för tillverkning av biokolpellets





Figur 8 Lagring och sedan krossning av biokolpellets för inmatning till befintlig Högånsprocessen

### *Preliminära investeringskostnader för fullskalig biokolpellets implementering*

Två fall har tagits hänsyn till:

1. En komplett anläggning för mottagning av ej kompakterad biokol enligt Figuren 6, 7, 8 i Höganäs. Den totala investeringen blir ~200 MSEK.
2. En anläggning bara för mottagning av kompakterad biokol baserade på Figur 8 med några funktioner från Figur 6 i Höganäs. Kompaktering görs hos biokolleverantören. Den totala investeringen blir då ~80 MSEK.

### *Relevans av projektets resultat för övrig industri*

Den största lärdomen från projektet är hur nyckfullt biokol är när man hantera det i stora mängder. Biokol är ett material med stor potential att hjälpa industrin använda sitt fossilt beroende men det är mycket kvar att utreda hur en säker och hållbar försörjningskedja ska se ut. Det krävs att biokolsproducenter och användare ökar samarbetet kring standardisering av metoder för mer hållbar och säkert produktion, transport och lagring av biokol i stor industriell skala. Resultat som kan vara nyttigt för den metallurgiska industrin mer specifikt är hur komprimering av biokol är absolut nödvändigt om man ska lyckas ersätta fossila reduktionsmedel även delvis.

Sist men inte minst, intresset för projektet från övrig stål- och metallindustri har varit omfattande med ett stort antal besök, sidoleveranser av material för utvärdering och fördjupade diskussioner. Det har också funnits intresse från biokolstillverkare och några skogsindustrier att lära både om tillämpningen och kravspecifikation på materialet. Sammantaget har projektets resultat bidragit till att accelerera utvecklingen och planerna kring biokol långt utanför Höganäs AB.

## **Publikationslista**

1. Kentaro Umeki, Ryan Robinson, Fossil Free Iron Powder: Production and Use of Biocarbon in a Direct Reduced Iron (DRI) Plant, Jernkontorets och Metallinjalostajats seminarium om biokol och bioråvara, 28-29 September 2022 <https://www.jernkontoret.se/sv/publicerat/nytt-fran-jernkontoret/nyheter/2022/lyckat-svensk-finskt-seminarium-om-biokol/>
2. Elin Hernebrant, Möjligheter med biokol för att minska Höganäs AB:s klimatavtryck, föredrag vid Metallurgmöte hos Jernkontoret, March 2023.
3. Ryan Robinson, Biokol – nödvändigt för stålindustrins omställning, invited presentation at Svebios Årsmöte & Vårmöteskonferens, online participation, April 2023.
4. SVT: <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/helsingborg/fornybart-kol-satsningen-som-ska-minska-utslappen-fran-metallpulvertillverkaren>
5. Dagens industri: <https://www.di.se/nyheter/biokol-nasta-for-hoganas/>

6. Ny Teknik: <https://www.nyteknik.se/hallbar-industri/hoganas-testar-att-tillverka-jarnsvamp-med-biokol-det-blev-jattelyckat/4201746>
7. Bioenergitidningen: <https://bioenergitidningen.se/hardgjord-biokol-hjalper-hoganas-att-bli-klimatneutrala/>

## Referenser, källor

1. Energimyndigheten. 2020. *Sveriges energi- och klimatmål*. Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/sveriges-energi--och-klimatmal/> [2020-11-11]
2. Mandova, H., et al. 2018. Possibilities for CO<sub>2</sub> emission reduction using biomass in European integrated steel plants. *Biomass and Bioenergy* 115: 231-243. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953418301107> [2020-11-11]
3. Suopajärvi, H., et al. 2018. Use of biomass in integrated steelmaking – Status quo, future needs and comparison to other low-CO<sub>2</sub> steel production technologies. *Applied Energy* 213: 384-407. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918300709> [2020-11-11]
4. Mousa, E., et al. 2016. Biomass application in iron and steel industry: An overview of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 65: 1247-1266. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116303896> [2020-11-12]
5. Lyttbacka, J. 2015. *Alternativa reduktionsmedel i järnsvampprocessen*. Luleå tekniska universitet. Tillgänglig: <http://tu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1016928/FULLTEXT02.pdf> [2020-11-06]
6. Hernebrant, E. 2015. *Optimization of Biomass Materials for use in the Sponge Iron Process*. Lunds universitet. Tillgänglig: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=7760175&fileId=7994863> [2020-11-06]