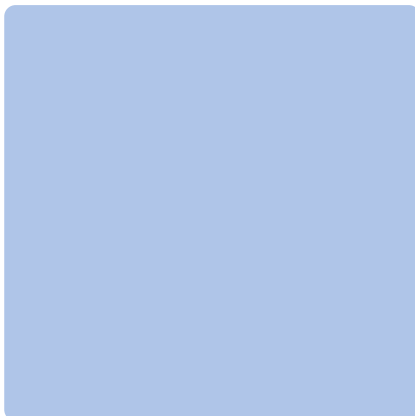


# Energinyckeltal och växthusgasutsläpp baserade på industrins energianvändande processer

Slutrapport

PATRIK THOLLANDER, MAGNUS WALLÉN, CURT BJÖRK, SIMON JOHNSSON, JOAKIM HARALDSSON, ELIAS ANDERSSON, MARIA ANDERSSON, MARIA JOHANSSON NOOR JALO, FAYAS MALIK KANCHIRALLA

RAPPORT 6972 • JUNI 2021



# Energinyckeltal och växthusgasutsläpp baserade på industrins energianvändande processer

Slutrapport

av Patrik Thollander, Magnus Wallén, Curt Björk, Simon Johnsson,  
Joakim Haraldsson, Elias Andersson, Maria Andersson, Maria Johansson,  
Noor Jalo och Fayas Malik Kanchiralla

NATURVÅRDSVERKET

**Beställningar**

Ordertel: 08-505 933 40

E-post: natur@cm.se

Postadress: Arkitektkopia AB, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: [www.naturvardsverket.se/publikationer](http://www.naturvardsverket.se/publikationer)

**Naturvårdsverket**

Tel: 010-698 10 00

E-post: [registrator@naturvardsverket.se](mailto:registrator@naturvardsverket.se)

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)

ISBN 978-91-620-6972-8

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2021

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma 2021

Omslagsfoto: Mark Marissink



## Förord

Rapporten presenterar resultaten från forskningsprojektet ”Carbonstruct” inom utlysningen från år 2017 med rubriken Uppföljningsmått för samhällsomställningar och miljömålen.

Syftet med projektet var att ta fram bättre uppskattningar av energieffektivitet i svensk industri för att bidra med kunskap om var man bäst kan effektivisera. Projektet har genererat processträd och etablerat energinyckeltal avseende de största, till slutenergianvändning räknat, svenska industribranscherna för hur slutenergianvändningen är fördelad på olika energibärare och slutenergiprocesser. Dessutom har projektet allokerat växthusgasutsläpp på dessa olika processer. De branscher som ingår är massa- och pappersindustrin, järn- och stålindustrin, kemiindustrin, livsmedelsindustrin, verkstadsindustrin, trävaruindustrin och aluminiumindustrin.

Projektet har finansierats med medel från Naturvårdsverkets miljöforskningsanslag vilket syftar till att finansiera forskning till stöd för Naturvårdsverkets och Havs- och vattenmyndighetens kunskapsbehov.

Denna rapport är författad av Patrik Thollander, Magnus Wallén, Curt Björk, Simon Johnsson, Joakim Haraldsson, Elias Andersson, Maria Andersson, Maria Johansson, Noor Jalo och Fayas Malik Kanchiralla, alla från Linköpings universitet.

Författarna ansvarar för innehållet i rapporten.

Stockholm, maj 2021

Maria Ohlman  
*Avdelningschef*  
*Hållbarhetsavdelningen*



# Innehåll

|                       |   |    |
|-----------------------|---|----|
| <b>SAMMANFATTNING</b> |   | 7  |
| <b>SUMMARY</b>        |   | 8  |
| <b>1</b>              | <b>INLEDNING</b>  | 9  |
| <b>2</b>              | <b>MÅL OCH AVGRÄNSNINGAR</b>  | 10 |
| <b>3</b>              | <b>BAKGRUND</b>   | 11 |
| <b>4</b>              | <b>FORSKNINGSMETODIK</b>  | 15 |
| 4.1                   | Taxonomier (uppdelningar) över de huvudsakliga energi-<br>användande processerna inom svensk industri | 15 |
| 4.2                   | Kategorisering av slutenergianvändning och allokering av<br>växthusgasutsläpp inom svensk industri    | 17 |
| 4.3                   | Beräkning av växthusgasutsläpp  | 18 |
| 4.4                   | Primära nyckeltal som industrin idag använder sig av i det<br>operativa energihushållningsarbetet     | 19 |
| 4.5                   | Förslag på förbättrad uppdelning av energinyckeltal i industrin                                       | 20 |
| 4.6                   | Analyserade anläggningar  | 20 |
| <b>5</b>              | <b>RESULTAT OCH ANALYS</b>  | 21 |
| 5.1                   | Vetenskapliga artiklar inom forskningsprojektet   | 21 |
| 5.1.1                 | Massa- och pappersindustrin   | 21 |
| 5.1.2                 | Järn- och stålindustrin   | 23 |
| 5.1.3                 | Livsmedelsindustrin   | 23 |
| 5.1.4                 | Verkstadsindustrin  | 23 |
| 5.1.5                 | Trävaruindustrin  | 23 |
| 5.1.6                 | Aluminiumindustrin  | 24 |
| 5.2                   | Massa- och pappersindustrin   | 24 |
| 5.2.1                 | Kategorisering av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp  | 24 |
| 5.2.2                 | Energinyckeltal   | 29 |
| 5.3                   | Järn- och stålindustrin   | 32 |
| 5.3.1                 | Kategorisering av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp  | 32 |
| 5.3.2                 | Energinyckeltal   | 42 |
| 5.4                   | Livsmedelsindustrin   | 45 |
| 5.4.1                 | Kategorisering av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp  | 45 |
| 5.4.2                 | Energinyckeltal   | 49 |
| 5.5                   | Verkstadsindustrin  | 52 |
| 5.5.1                 | Kategorisering av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp  | 52 |
| 5.5.2                 | Energinyckeltal   | 57 |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 5.6       | Trävaruindustrin  | 60        |
| 5.6.1     | Kategorisering av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp            | 60        |
| 5.6.2     | Energinyckeltal   | 63        |
| 5.7       | Aluminiumindustrin  | 65        |
| 5.7.1     | Kategorisering av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp            | 65        |
| 5.7.2     | Energinyckeltal   | 77        |
| 5.8       | Kemiindustrin   | 79        |
| <b>6</b>  | <b>IMPLIKATIONER FÖR STYRMEDEL</b>                                      | <b>81</b> |
| 6.1       | Implikationer för befintliga styrmedel inom energisystemområdet         | 81        |
| 6.1.1     | Miljöbalken   | 81        |
| 6.1.2     | Lagen om energikartläggning för stora företag                           | 82        |
| 6.1.3     | Energisteget  | 84        |
| 6.2       | Implikationer för design av framtida styrmedel inom energisystemområdet | 86        |
| 6.3       | Digitala verktyg  | 87        |
| <b>7</b>  | <b>SLUTSATS OCH DISKUSSION</b>  | <b>89</b> |
| 7.1       | Taxonomi, utveckling av tidigare taxonomier                             | 89        |
| 7.2       | Beräkningar av växthusgasutsläpp/emissionsfaktorer                      | 90        |
| 7.2.1     | Perspektiv på nordisk elmix och marginalel                              | 90        |
| 7.3       | Branscherna har studerats på olika sätt                                 | 91        |
| 7.4       | Primära slutsatser  | 91        |
| 7.5       | Framtida forskning  | 92        |
| <b>8</b>  | <b>KOMMUNIKATION OCH INFORMATIONSSPRIDNING</b>                          | <b>93</b> |
| <b>9</b>  | <b>TACKORD</b>  | <b>96</b> |
| <b>10</b> | <b>KÄLLFÖRTECKNING</b>  | <b>97</b> |

# Sammanfattning

Svensk industri bör strategiskt arbeta mot ökad energi- och resurseffektivitet på en global marknad med knappare resurser. I detta sammanhang spelar beslutsunderlag och nyckeltal en central roll för att nå ökad effektivitet. Även för tillsynsmyndigheter är rättvisande nyckeltal avseende slutenergianvändning av mycket stor vikt för att kunna bedriva ett rättvist förebyggande och proaktivt arbete med svenska företag. De nyckeltal som finns på internationell och nationell nivå är baserade på tillförd energi och ofta relaterade till en ekonomisk output, till exempel förädlingsvärde. Det saknas emellertid nyckeltal kring slutenergianvändningen inom svensk industri fördelat på energibärare såsom el och olja och fördelat på slutenergiprocesser såsom ugnar, tryckluftskompressorer, etc. De siffror som ibland anges är baserade på grova uppskattningar. Projektets mål har därför varit att generera ett processträd avseende flera av de största, till slutenergianvändning räknat, svenska industribranscherna avseende hur slutenergianvändningen är fördelad på processnivå och olika energibärare, samt att allokerar växthusgasutsläpp på dessa olika processer. Resultaten indikerar att nyckeltal baserade på energianvändning och indirekta växthusgasutsläpp på processnivå kan bidra till bättre kunskap om i vilka industriella energianvändande processer den största potentialen för energieffektivisering och minskning av växthusgasutsläpp finns. För att upprätthålla kunskap om var den största potentialen för förbättring finns krävs att energidata regelbundet samlas in efter en standardiserad kategorisering av energianvändande processer. Även om projektet har avgränsats till svensk industri kan resultatet vara till nytta också för andra medlemsstater inom EU liksom globalt.

## Summary

Swedish industry should strategically work towards improved energy and resource efficiency. In this context, decision making and key performance indicators (KPIs) play a central role in achieving improved efficiency. Even for regulation authorities, fair KPIs of energy end-use are very important to be able to perform excellent, preventive and proactive work towards Swedish companies. KPIs at international and national levels are based on energy supplied, normally related to an economic output, such as value added. However, there are no key figures about the energy end-use in Swedish industry, distributed on energy carriers such as electricity and oil, and in turn allocated on energy end-using processes such as furnaces, air compressors, etc. The existing figures regarding this are based on rough estimates. The goal of the project has therefore been to generate a process tree for several of the largest, energy end-using Swedish manufacturing industries, as regards how energy end-use is distributed at the process level and for different energy carriers, and in turn allocate greenhouse gas emissions for these different processes. The results indicate that energy KPIs based on energy use and indirect carbon greenhouse gas emissions at process level can contribute to better knowledge of the industrial energy end-use processes that have the greatest potential for energy efficiency improvements as well as greenhouse gas abatement. In order to continuously know the processes with the greatest potential for improvement, energy end-use data should be collected regularly and follow a standardized categorization of energy end-use processes. The project has been limited to Swedish industry, but the results can be useful for other EU member states as well as globally.

# 1 Inledning

Förbättrad energieffektivitet utgör tillsammans med ökad materialeffektivitet nyckelkomponenter i omställningen mot hållbara, klimatneutrala energisystem, lokalt, regionalt såväl som globalt.

Svensk industri bör strategiskt arbeta mot ökad energi- och resurseffektivitet på en global marknad med knappare resurser. Föregående är av vikt för att svensk industri ska vara långsiktigt konkurrenskraftig. I detta sammanhang spelar beslutsunderlag och nyckeltal en central roll för att nå ökad effektivitet. Även för tillsynsmyndigheter är rättvisande nyckeltal avseende slutenergianvändning av stor vikt för att kunna bedriva ett rättvist förebyggande och proaktivt arbete mot svenska företag. Rättvisande underlag är helt enkelt en förutsättning för att energianvändning och energirelaterade investeringar ska behandlas på ett strategiskt rätt sätt i beslutssituationer.

Trots att det finns en stor potential för ökad energieffektivitet så realiserar inte denna pga. ett antal vanligt förekommande hinder såsom andra prioriteringar, tidsbrist och bristande information om möjliga energieffektiviseringsåtgärder (Rohdin et al., 2007). Ett av de primära sätten att realisera förbättrad energieffektivitet, är att arbeta internt med energiledning. Nationell forskning, såväl som internationell, visar emellertid att arbetet med energiledning utanför de större, energiintensiva företagen är kraftigt underutvecklad (Schulze et al., 2015).

Trots studier som statuerar en energieffektiviseringspotential i svensk industri (Paramonova, 2016), och trots studier som påvisar förekomsten av olika hinder (e.g. Rohdin et al., 2007) återfinns stora utmaningar i svensk industri. En av de kanske största förbättringarna som kan göras i form av forskningsprojekt och nationella insatser är att täcka kunskapsgapet kring var energin de facto används i industrin, så kallad slutenergianvändning. Potentialskattningar till trots så visar internationell forskning att det idag saknas kunskap kring var energin används i svensk industri (Thollander m.fl., 2015), dvs. vi vet hur mycket och vilka energibärare som tillförs det industriella energisystemet uppdelat på olika branscher, men inte inom vilka processer som energin används. En sådan kunskap kan tyckas rudimentär men leder till att klimatstyrmedel för industrin idag främst berör tillförsel av energi, dvs. EU ETS, skatter, och elcertifikatsystemet. Att öka kunskapsläget kring detta öppnar upp oanade möjligheter för att kunna se var de stora egentliga växthusgasgenererade utsläppskällorna emanerar. I dagsläget finns det sammanställningar från EU ETS för pannor på 20 MW eller större men ej till vad eller vilka processer som dessa pannor levererar processvärme, processånga etc.

## 2 Mål och avgränsningar

Det övergripande målet med projektet är att bidra till ökad kunskap rörande energieffektivisering (energiushållning) i svensk industri. Projektmålet är att generera ett processträd för de största, till slutenergianvändning räknat, svenska industribranscherna avseende hur slutenergianvändningen är fördelad på processnivå och olika energibärare, samt allokera växthusgasutsläpp på dessa olika processer. Projektets delmål är:

- Ta fram övergripande taxonomi (uppdelning) över de huvudsakliga energianvändande processerna inom de stora svenska industrigrenarna
- Kategorisera slutenergianvändning och allokering av växthusgasutsläpp utifrån den framtagna taxonomin för de stora svenska industrigrenarna fördelat på energibärare
- Studera vilka primära nyckeltal (Eng: KPI (Key Performance Indicators), som industrin idag använder sig av i det operativa energiushållningsarbetet
- Föreslå ytterligare uppdelning av nyckeltal, baserat på den framtagna taxonomin, för de stora svenska industrigrenarna

Projektet avgränsar sig till industrigrenarna, massa- och pappers-, järn- och stål-, kemi-, livsmedels-, verkstad-, aluminium- och trävaruindustrin. Dessa branscher utgör tillsammans drygt 90 % av den svenska industriella energianvändningen (Energimyndigheten, 2017).

Samtliga större industribranscher i Sverige ämnades således att studeras. Frånsett kemiindustrin så omfattar föreliggande rapport, resultat från dessa studerade branscher. Inom kemiindustrin kontaktades ett tjugotal personer men bland annat personalnedskärningar pga. rådande Covid-19 pandemi och att företagen ej ville dela med sig av data gjorde att vi inte kunde ta fram resultat.

Rapporten är disponerad på följande vis. Utöver svensk och engelsk sammanfattning inleds rapporten med kapitel 1 Inledning följt kapitel 2 Mål och avgränsningar, kapitel 3 Bakgrund och kapitel 4 Forskningsmetodik. I kapitel 5 återfinns primära resultat för de studerade branscherna följt av kapitel 6 där projektets resultat kopplat till implikationerna till befintliga och nya styrmedel diskuteras och även dess koppling till digitala verktyg. Rapporten avslutas med kapitel 7 Slutsats och Diskussion, kapitel 8 Kommunikationsinsatser och Kapitel 9 Tackord.

I föreliggande rapport beskrivs de övergripande resultaten från respektive delstudie. För den intresserade läsaren hänvisas till de vetenskapligt publicerade artiklarna, som ger en mer fulltecknad bild avseende resultat, metodologiska ansatser och antaganden.

### 3 Bakgrund

Kunskapen kring vilka processer som energin används till och var och inom vilka processer som det finns en stor potential för energieffektivisering är idag bristfällig bland svenska industriföretag. Detsamma gäller både inom EU, såväl som globalt. Därmed saknas kunskap om vilka möjligheter (och potentialer) för effektivisering som finns, samt hur långt företagen nått idag. Skälen till detta är flera, bland annat är industrins processer generellt komplexa, och mycket olika, vilket gör jämförelser mellan branscher, och till och med mellan två företag i samma bransch, svåra, i synnerhet i brist på enhetlig kategorisering/klassificering av energianvändande processer. För stödprocesser finns en taxonomi (Söderström, 1996) som gör det möjligt att kategorisera, både åtgärdsförslag och energianvändning, men då en sådan datainsamlingsmetodik idag inte tillämpas, saknas kunskap kring till exempel nationell elförbrukning från tryckluftskompressorer i svensk industri. Idag saknas också en användbar enhetlig uppdelning av industrins olika produktionsprocesser. Det vid Linköping universitet (LiU) framtagna enhetsprocessbegreppet (Söderström, 1996) anses av industrin själva svårt att använda för produktionsrelaterade processer. Detta gör i sin tur att datahanteringen för företag, akademi och offentlig sektor blir fallspecifik, det vill säga bara kopplad till det specifika företaget, samt saknar en enhetlig metodik.

En litteraturstudie av Thollander och Ottosson (2012) om internationellt publicerad forskning kring drivkrafter för industrins energianvändning, visade på att den internationella forskningen fortfarande inte tar hänsyn till en uppdelning av till exempel produktions- och stödprocesser. En litteraturgenomgång av publicerade vetenskapliga artiklar inom ämnet industriell energiledning visade på samma resultat (Schulze m.fl., 2015).

Tidigare bidrag gällande kategorisering av slutenergianvändning är en publikation av Trygg och Karlsson (2005) som redovisade slutenergianvändning på processnivå för de tio största företagen i Oskarshamn samt Henning och Trygg (2008) där bland annat slutelektricitetsanvändningen redovisas för ett antal företag.

Forskning inom ett avslutat IEA IETS-projekt, Annex XVI - Energy Efficiency in SMEs (Small and Medium-sized Enterprises), visar även den på att en enhetlig uppdelning avseende slutenergianvändningen i industriella små- och medelstora företag (SMF) saknas helt i flera länder, och där den finns är den bristfällig, och har mycket kvar att utveckla (Thollander m.fl., 2015). Detta gör att jämförande studier mellan industrier, i samma bransch, och mellan branscher omöjliggörs. Jämförelser mellan industrisektorer i olika länder blir således omöjlig.

Den första genomgången av tillgängliga indikatorer som tillhandahålls av bland annat OECD, Världsbanken, och Europeiska miljöbyrån (EEA) visar på ett antal existerande mått som kopplar till både tillförd och använd energi liksom utsläpp av växthusgaser. Indikatorerna baseras nästan genomgående på beräkningar på en aggregerad nivå (nationell eller per sektor). Typiskt

återkommande energirelaterade nyckeltal är energiintensitet (till exempel total slutenergianvändning per BNP), total slutenergianvändning, och andel förnybar energi i total slutenergianvändning. Av de tillgängliga förklaringsarna över hur indikatorerna beräknas framgår att en top-down-metod appliceras. Dessa indikatorer har en viktig funktion för att mäta trender och utveckling av miljöpåverkan, samtidigt som det saknas möjligheter att jämföra industrier (inom och mellan branscher).

En enhetlig kategorisering av produktionsprocesser behövs för att kunna tillämpa en datainsamling som gör det möjligt att allokeras i vilka processer de olika energibärarna används och var störst växthusgasutsläpp sker. Morfeldt m.fl. (2015) ger ett viktigt bidrag i att utveckla energiindikatorer till att även inkludera koldioxid (CO<sub>2</sub>) effektivitet, samtidigt som de poängterar komplexiteten i tillverkande industri. I studien av Morfeldt m.fl. (2015) användes energidata på företagsnivå, och metoder likt deras samt andra (nya) indikatorer skulle gagnas av en mer detaljerad tillgång av energidata. Detta förutsätter att en enhetlig kategorisering appliceras vid datainsamling av industrins energianvändning.

Ett initiativ för att utveckla datakategorisering och kunskap kring slutenergianvändning inom industrin togs av Energimyndigheten och projektet STatistik i INDustrin (STIND) där man likt STatistik I Lokaler (STIL) planerade att kartlägga industrins energianvändning. I projektet togs även fram energikartläggningsprotokoll som baserades på det av Söderström (1996) utvecklade enhetsprocessbegreppet. Ett resultat av STIND var att kategorisering av industriella små- och medelstora företags slutenergianvändning är väsentligt enklare än kategorisering av energianvändning och åtgärder för energiintensiv processindustri, detta med anledning av att de senare processerna är kaskadkopplade och integrerade.

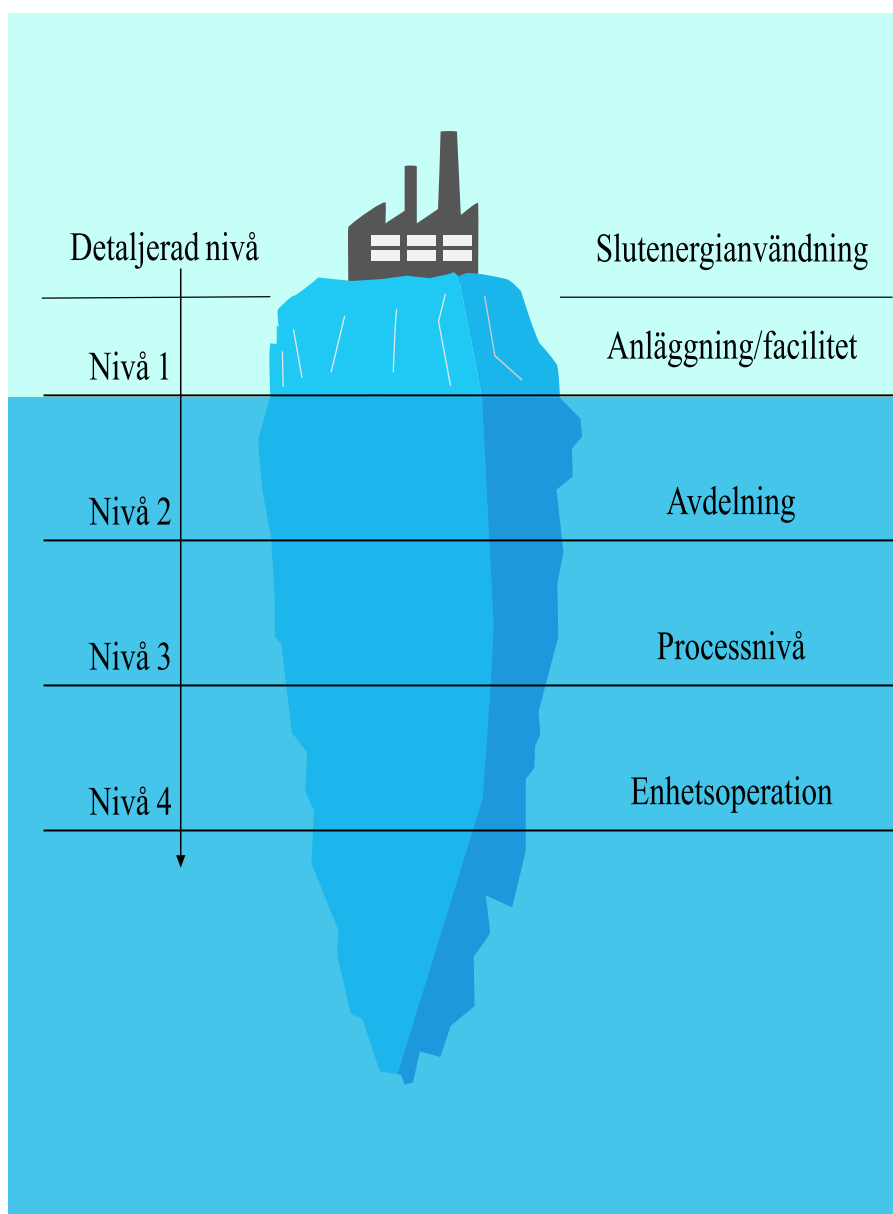
I utvärdering av projekt Utveckling Högland och i utvärderingen av styrmedlet energikartläggningschecken (EKC) användes en uppdelning som gjorde det möjligt att jämföra mellan stödprocesser. Uppdelningen, som också den byggde på det vid LiU framtagna enhetsprocessbegreppet, är i starkt behov av vidareutveckling.

Ett forskningsprojekt vid avdelningen Energisystem, LiU, Kategorisering av industriella SMF:s energianvändande processer, studerade bland annat industriella små- och medelstora industriföretags slutenergianvändning med utgångspunkt från en unik databas med drygt 700 företag som deltagit i det svenska energikartläggningsstödet åren 2010-2014. Projektet påbörjade en kategorisering av slutenergianvändande processer i vissa branscher, där data återfanns och som utgjordes av små och medelstora industriföretag. Rapporteringen inom ramen för energikartläggningslagen visar dock att små och medelstora företag enbart står för drygt 10 procent av energianvändningen i industrin, resten utgörs av stora företag.

Ett tidigare initiativ till utveckling av nyckeltal och energianvändning omfattande åtta svenska industribranscher är energieffektiviseringsnätverket ENIG, där företag kan rapportera in sin energianvändning, och även se andra företags energianvändning (Sommarin m.fl., 2014).



Behovet av en utveckling av datakategorisering, både avseende industriell slutenergianvändning, typ av energibärare och energieffektiviseringsåtgärder, är stort. Utifrån en sådan datakategorisering är det också möjligt att allokera växthusgasutsläpp. En generell modell över tillgänglighet och kunskap om slutenergianvändning i svensk tillverkningsindustri (Figur 1) beskriver avsaknaden av kunskap om slutenergianvändning på mer detaljerad nivå än för hela anläggningar som ”isbergsproblemet”, det vill säga att den största delen av energianvändningen kartläggs inte mer detaljerat än för hela anläggningar. På nivå 4 återfinns enhetsoperationer och aggregerat för nivå 3 återfinns processnivån där ett antal olika enhetsoperationer återfinns. Dessa enhetsoperationer och processer bildar gemensamt sedan en avdelning på företaget, nivå 2. Avdelningarna på nivå 2 bildar sedan tillsammans nivå 1, dvs hela anläggningen.



Figur 1: Isbergsproblemet för slutenergianvändning i svensk industri.

Detta begränsar möjligheter till utveckling av nyckeltal till att främst baseras på specifik energianvändning (SEC)<sup>1</sup> för hela anläggningar, eftersom det räcker med tillförd energi och producerad mängd produkter för att beräkna nyckeltalet. Det är ett användbart nyckeltal för att följa utvecklingen av energieffektivitet över tid men säger inget om vilka slutenergiprocesser som har sämre energieffektivitet.

---

<sup>1</sup> SEC är i sitt enklaste utförande (European Commission, 2009):  $SEC = \frac{\text{energianvändning}}{\text{producerad mängd, volym eller antal}}$

## 4 Forskningsmetodik

Detta projekt genomfördes huvudsakligen som en multipel fallstudie, inspirerad av Yin (2015), tillsammans med vetenskapliga litteraturstudier. I nedanstående text redogörs för projektets metodologiska ansatser. Metodiken för varje branschspecifik studie följde inte exakt samma metodologiska ansats utan definierades specifikt för varje enskild studie. För exakt beskrivning av metod för varje bransch hänvisas därför till publicerade artiklar (se avsnitt 5. Resultat och analys).

### 4.1 Taxonomier (uppdelningar) över de huvudsakliga energianvändande processerna inom svensk industri

Avseende delmål 1 att ta fram en taxonomi, utgjordes de huvudsakliga metoderna av en litteraturstudie av vetenskaplig, internationell såväl som nationell, litteratur på området. En primär källa utöver de vetenskapliga artiklarna var EU:s BREF-dokument (BAT-referensdokument), som finns framtaget för ett stort antal industrigrenar. Litteraturstudien, kompletterades med intervjuer med företrädare för en tillsynsmyndighet samt med energiansvariga på företag i de studerade industrigrenarna.

Den data som idag finns tillgänglig är till exempel data från Energikartläggningslagen (EKL) och Svenska Miljörapporteringsportalen (SMP). Data som rapporteras inom ramen för detta var visat sig hålla en för grund nivå avseende slutenergianvändning. Endast kategorierna byggnad, process och transport rapporteras in från företagen avseende EKL. Även data som rapporteras in inom SMP visade sig sakna sådan detaljeringsgrad på data, att den bedömdes kunna utgöra ett stöd för ökad kunskap kring slutenergianvändning för processer i de stora svenska industrigrenarna och växthusgasallokering. Avsaknaden av data av tillräcklig detaljnivå gjorde att en framtagning av en ny taxonomi inte möjliggjordes via dessa källor.

Det saknas dock inte studier som ämnat att ta fram en taxonomi av tillverkande industrins processer. Under 90-talet utvecklade Söderström m.fl. (1994) en taxonomi som syftade till att dela upp industrins processer i enhetsprocesser. Denna taxonomi har senare reviderats av Thollander m.fl., (2012). Taxonomin utgår från processernas ändamål. Detta innebär följande (Söderström m.fl., 1994):

*”Genom att definiera begreppet enhetsprocesser som en minsta gemensam nämnare på funktioner inom industriell bearbetning och tillverkning möjliggörs systematisk analys.”*

En sådan systematisk analys kan exempelvis vara – som i delmål 2 i forskningsprojektet Carbonstruct – att allokeras slutenergianvändningen till industriella processer. Vidare möjliggörs då en analys av var den största potentialen för energieffektivisering finns tillika minskning av direkta och indirekta växthusgasutsläpp.

Enhetsprocessbegreppet (Söderström m.fl., 1994) delar upp industriella processer i två huvudgrupper: stödprocesser och produktionsprocesser (Tabell 1). Stödprocesser är processer som inte direkt är en del av produktionen och inte bidrar till ökat förädlingsvärde, till exempel belysning, medan produktionsprocesser behövs för framställandet av slutprodukten och bidrar till ökat förädlingsvärde. Distinktionen mellan vad som är en stödprocess kan skilja sig åt mellan olika branscher, till exempel är pumpning ofta inom icke energiintensiv verksamhet en stödprocess, ofta då i form av cirkulationspumpning för värmesystemet medan det i en energiintensiv bransch kan utgöra själva produktionsprocessen i form av pumpning av bland annat produkt.

En idé med enhetsprocessbegreppet var att processerna skulle vara anpassade för att kunna appliceras på alla företag oavsett bransch. Detta har visat sig fungera bra för stödprocesserna där exempelvis rapporteringen av energianvändning inom styrmedlet Energikartläggningscheckar (EKC) i stort har följt uppdelningen i stödprocesser, men mindre bra för produktionsprocesser där uppdelning enligt Tabell 1 i praktiken varit svårt att applicera för företagen.

**Tabell 1: Taxonomi baserad på enhetsprocessbegreppet uppdelad på produktionsprocesser och stödprocesser utvecklad av Söderström m.fl. (1994) och reviderad av Thollander m.fl. (2012).**

| <b>Produktionsprocesser</b> | <b>Stödprocesser</b>  |
|-----------------------------|-----------------------|
| Sönderdelning               | Belysning             |
| Blandning                   | Tryckluft             |
| Avverkning                  | Ventilation           |
| Hopfogning                  | Pumpning              |
| Påläggning                  | Lokalkomfort          |
| Formning                    | Tappvarmvatten        |
| Värmning                    | Interna transporter   |
| Smältning                   | Ånga                  |
| Torkning/koncentrering      | Kontor/administration |
| Kylning/frysning            | Lokalkyla             |
| Förpackning                 |                       |

Ett omfattande arbete för att ta fram en fördelning av energianvändningen inom industrins processer genom ett besiktningsprotokoll gjordes i STIND, baserat på användningen av el och värme (Borg m.fl., 2009). I STIND identifierades några fördelar med förbättrade nyckeltal/taxonomier avseende slutenergianvändningen (Borg m.fl., 2009):

1. Det underlättar särskilt små och medelstora företags arbete med att få en översyn av energianvändningen,

2. benchmarking<sup>2</sup> av energieffektivitet möjliggörs samt att
3. nyckeltalen stöttar Länsstyrelsernas tillsynsverksamhet.

Det finns initiativ för kategorisering av energianvändande processer för enskilda branscher, i syfte att underlätta benchmarking. Ett projekt för sågverksindustrin delade upp energianvändningen i olika ”zoner”, som exempelvis torkhus och såghus, där ett eller flera processteg ingår i varje zon (Olsson m.fl., 2011). Taxonomin som föreslås för trävaruindustrin i Carbonstruct är baserad på detta tidigare arbete, och vidare reviderad, vilket kan läsas om i kapitel 5.1.6 Trävaruindustrin.

Det finns till forskningsgruppens kännedom inte några andra svenska långt gångna initiativ till utveckling av standardiserade/enhetliga taxonomier för de andra studerade branscherna i Carbonstruct.

För branschen massa och papper genomfördes utanför ovan beskrivna metodik, en ansats att anordna en serie workshops, för att med branschrepresentanter arbeta fram en taxonomi. Dessa genomförda workshops och metoden för detta beskrivs mer detaljerat i (Andersson m.fl., 2021).

## 4.2 Kategorisering av slutenergianvändning och allokering av växthusgasutsläpp inom svensk industri

Avseende delmål 2, allokering av växthusgasutsläpp och slutenergianvändning uppdelat på energibärare, användes en i all väsentlighet liknande metodik som för delmål I. Denna metodik, dvs. litteraturstudier, intervjuer och enkäter, kompletterades emellertid med top-down-data från Statistikmyndigheten SCB för att möjliggöra att en enhetlig bild tas fram avseende växthusgasutsläpp och slutenergianvändning för mer än 90 % av den svenska industriella energianvändningen.

Teoretiskt så genomfördes en större ansats kring detta inom ramen för projektet STIND (2008-2009), men eftersom energikartläggningar som planerades i projektet aldrig sjösattes blev projektet utan egentliga resultat (Nyström m.fl.m.fl., 2008, Borg m.fl., 2009). I Thollander m.fl. (2015) gjordes senare ett försök till enhetlig uppdelning av energianvändning för industriella små- och medelstora industriföretag tillsammans med forskare från Japan, Italien, Belgien, Spanien och Sverige, inom ramen för Internationella Energimyndighetens (IEA) ramprogram Industrial Energy-related Technologies and Systems (IETS). Utfallet i den aktuella studien visade på skiftande datakvalitet och olika typer av uppdelningar gällande hur slutenergianvändningen rapporteras (dvs. olika taxonomier) i olika länder (Thollander m.fl., 2015).

---

<sup>2</sup> Dvs. jämförelse av slutenergienergianvändningen.

Nationella nyckeltal utvecklade inom Carbonstruct har baserats på en bottom-up-metod och på den framtagna taxonomin. Principiellt har detta gjorts på samma sätt för olika branscher, men på grund av att datamaterial skiljer sig mellan branscher, bland annat i form av datamängd och kvalitet, skiljer sig uppskalningen från energianvändning på processnivå till energianvändning nationellt för branschernas utvecklade taxonomier mellan branscher. I grunden har de studerade företagens energianvändning, utifrån antagandet att de är representativa för hela branschen, aggregerats till nationell nivå genom multiplikation av den genomsnittliga procentuella energianvändningen för varje enskild process med den totala energianvändningen för respektive energibärare (el, fossila bränslen, förnybara bränslen, fjärrvärme) enligt statistik från Statistikmyndigheten (SCB). Det här innebär, givet att energidata från SCB är korrekt, att den sammanlagda energianvändningen stämmer men samtidigt att det inte nödvändigtvis representerar en korrekt bild av fördelningen av energianvändningen. Med andra ord ska resultatet här ses som en indikation på hur den nationella energianvändningen ser ut för varje enskild process (samma sak gäller för växthusgasutsläppsberäkningar). Däremot visar resultaten i Carbonstruct på vilken processuppdelning som är möjlig i en standardiserad taxonomi (Andersson, 2020). Detta ger ett viktigt bidrag till kommande studier och framtida sammanställningar av energidata i olika sammanhang, vilket diskuteras i kapitel 7. För mer detaljerade data kring hur respektive studie genomfördes hänvisas till respektive publicerad delstudie där publikationer återfinns från projektet, se kapitel 7 för ingående delstudier i projektet.

### 4.3 Beräkning av växthusgasutsläpp

Vid allokeringen av växthusgasutsläpp på processnivå har en så kallad bokföringsmetod använts inom Carbonstruct. Denna typ av metod beräknar de absoluta utsläppen relaterade till en viss enhet. Enheten kan vara en produkt, ett företag, ett land eller som i detta fall en enskild process inom industrin. Detta görs genom att multiplicera mängden använd energibärare för en process, med energibärarens emissionsfaktor. De emissionsfaktorer som använts redovisas i Tabell 2. Projektet fokuserar på förbränningsutsläpp och processrelaterade utsläpp. Detta omnämns som Scope 1 och Scope 2 i standarden för växthusgasberäkningar från Greenhouse Gas Protocol. Projektet har inte tagit i beaktning de biogena växthusgasutsläpp som uppstår vid användning av biobränslen. För beräkning av utsläpp relaterade till elanvändning används emissionsfaktorn för nordisk elmix. Sverige är en del av elbörsen <sup>3</sup>Nord Pool där el importerar och exporterar mellan olika länder i Europa. För att ta i beaktning den el som Sverige importerar används emissionsfaktorn för Nordisk elmix i stället för emissionsfaktorn för Svensk elmix.

---

<sup>3</sup> Elbörsen Nord Pool består av 16 länder från norra och centrala Europa.

För exakt beskrivning av metod för varje bransch hänvisas därför till publicerade artiklar (se avsnitt 4. Resultat och analys).

**Tabell 2. Emissionsfaktorerna som använts för att beräkna växthusgasutsläppen på processnivå.**

| Energibärare                             | Emissionsfaktor (kgCO <sub>2ekv</sub> /MWh) | Källa                     |
|--|---|---------------------------|
| El                                       | 131,2                                       | (Martinsson et al., 2012) |
| Fjärrvärme                               | 55,6  | (Engström et al., 2009)   |
| Diesel                                   | 187,1                                       | (Naturvårdsverket, 2020)  |
| Gasol                                    | 234,6                                       | (Naturvårdsverket, 2020)  |
| Naturgas                                 | 205,5                                       | (Naturvårdsverket, 2020)  |
| Kol och koks<br>(Järn och stålindustrin) | 370,9                                       | (Naturvårdsverket, 2020)  |
| Eldningsolja                             | 269,6                                       | (Naturvårdsverket, 2020)  |
| Masugnsgas                               | 1109,9                                      | (Naturvårdsverket, 2020)  |
| Koksgas                                  | 164,2                                       | (Naturvårdsverket, 2020)  |
| LD-gas                                   | 292,4                                       | (Martinsson et al., 2012) |

## 4.4 Primära nyckeltal som industrin idag använder sig av i det operativa energihushållningsarbetet

Avseende delmål 3, att studera vilka energinyckeltal som idag används i det operativa energiledningsarbetet hos företagen, så byggde detta främst på intervjuer med energiansvariga på företag i de studerande industrigrenarna, men även intervjuer med tillsynsmyndighet genomfördes.

Utöver de operativa energinyckeltalen finns andra, top-down-indikatorer som används för exempelvis att sätta nationella energi- och klimatmål. Det svenska målet om 50 % effektivare energianvändning till 2030 jämfört med 2005 uttrycks exempelvis i förhållandet mellan tillförd energi och BNP. Andra top-down-indikatorer finns på europeisk nivå, där energiintensiteten för olika sektorer i olika medlemsstater i EU finns för benchmarking (ODYSSEE-MURE, 2017). Tidigare studier har undersökt träffsäkerheten för top-downindikatorer (till exempel Morfeldt & Silveira, 2014). I Carbonstruct har fokus varit att utveckla nyckeltal genom en bottom-up-metod, som kan komplettera de befintliga top-down-indikatorerna (delmål 4).

## 4.5 Förslag på förbättrad uppdelning av energinyckeltal i industrin

Delmål 4 ämnade att föreslå ytterligare uppdelning av nyckeltal, baserat på den framtagna taxonomin. Metoden för detta för de svenska industrigrenarna utgjordes primärt av analysarbete baserat på de applicerade metoderna i respektive delstudie, dvs. dessa delstudier genererat i form av ny kunskap avseende delmål 1-3.

Energinyckeltal som tagits fram i Carbonstruct har två delar, dels de nyckeltal som tagits fram utifrån vad som bedöms vara relevant för företagets arbete med energiledning, dels hur top-down-indikatorer kan kompletteras med energianvändning och energieffektivitet med hjälp av en bottom-up-metod.

## 4.6 Analyserade anläggningar

De studerade anläggningarna och relationen till dataunderlaget från respektive anläggning har kopplats till den data som återfinns på aggregerad nivå från SCB (Tabell 2).

**Tabell 2: Studerade företag och dess energianvändning, relaterat till branschens totala energianvändning.**

| Bransch          | Antal anläggningar med dataunderlag | Total energianvändning i dataunderlag (TWh/år) | Total energianvändning per bransch (TWh/år) | Andel av branschens energianvändning täckt av dataunderlaget (%) |
|------------------|-------------------------------------|--|---|--|
| Aluminium        | 7                                   | 2,6  | 3   | 86,6   |
| Massa och papper | 9                                   | 3,5  | 72  | 5,0  |
| Järn och stål    | 4                                   | 11,9   | 22  | 54,1   |
| Verkstad         | 26                                  | 0,2  | 8   | 2,5  |
| Livsmedel        | 15                                  | 0,03   | 5   | 0,6  |
| Trävaror         | 13                                  | 0,09   | 7   | 1,3  |



## 5 Resultat och analys

I Carbonstruct har följande branscher studerats: massa- och pappersindustrin, järn- och stålindustrin, kemiindustrin, livsmedelsindustrin, verkstadsindustrin, trävaruindustrin och aluminiumindustrin. I nedanstående underkapitel kommer resultat från respektive delstudie presenteras. För samtliga branscher förutom för kemiska industrin finns resultat utförligt beskrivna i vetenskapliga artiklar kopplade till projektets genomförande.

### 5.1 Vetenskapliga artiklar inom forskningsprojektet

I projektet har ett tiotal vetenskapliga forskningspublikationer skrivits varav åtta publikationer är publicerade vid författandet av denna slutrapport. Dessa har genomgått en vetenskaplig peer-review-granskning. Här finns en kort sammanfattning av dessa publikationer.

Utöver vetenskapliga Journalpublikationer har även två doktorsavhandlingar försvarats där dessa Journalartiklar har ingått:

- *Andersson, E. (2020). Enabling industrial energy benchmarking: Process-level energy end-use, key performance indicators, and efficiency potential. (Doctoral dissertation). Linköping: Linköping University Electronic Press.*
- *Lawrence, A. (2019). Energy Management for Improved Energy Efficiency in the Pulp and Paper Industry: Success Factors for Strengthening Drivers and Overcoming Barriers. (Doctoral dissertation). Linköping: Linköping University Electronic Press.*

#### 5.1.1 Massa- och pappersindustrin

- *Andersson, E., Dernegård, H., Wallén, M., Thollander, P., 2021. Decarbonization of industry: Implementation of energy performance indicators for successful energy management practices in kraft pulp mills. Energy Reports, 7, 1808-1817.*

Artikeln presenterar en modell för utveckling och implementering av energinyckeltal i ett sulfatmassabruk, för användning inom energiledningsarbetet. Modellen är harmoniserad med standarden för energiledningssystem, ISO 50001, samt standarden för utveckling av nyckeltal för uppfyllande av ISO 50001, ISO 50006.

- *Lawrence, A., Thollander P., Andrei, M. Karlsson, M., 2019. Specific Energy Consumption/Use (SEC) in Energy Management for Improving Energy Efficiency in Industry: Meaning, Usage and Differences. Energies, 12, 247.*

Artikeln sammanfattar kunskapsläget gällande användning av Specific Energy Consumption (SEC) inom massa- och pappersindustrin. Artikeln går igenom de väsentliga delarna som påverkar SEC och hur benchmarking av nyckeltal inom massa- och pappersindustrin bör användas med stor varsamhet eftersom definitionen av de olika ingående variablerna vid beräkning av nyckeltalen skiljer sig åt.

- *Andersson, E., Thollander, P., 2019. Key performance indicators for energy management in the Swedish pulp and paper industry. Energy Strategy Reviews, 24, 229-235.*

Artikeln undersöker vilka typer av energirelaterade nyckeltal som svensk massa- och pappersindustri har implementerat och följer upp i energiledningsarbetet, dels vilka hinder mot och drivkrafter för implementering av nyckeltal som upplevts av företagen. Ett noterbart resultat är att företagen verkar föredra att utveckla nyckeltal för energiledningsarbete in-house snarare än att använda sig av externt utvecklade nyckeltal, till exempel de som återfinns i BAT (Best Available Technology)-referensdokumentet för massa- och pappersindustrin. Artikeln kan tillskrivas under övriga publikationer i forskningsprojektet.

#### Övrigt

- *Lawrence, A., Nehler, T., Andersson, E., Karlsson, M., 2019. Drivers, barriers and success factors for energy management in the Swedish pulp and paper industry. Journal of Cleaner Production, Vol. 223, s. 67-82.*

Artikeln utgörs av en enkätstudie där hinder mot och drivkrafter för energiledning i svensk massa- och pappersindustri studeras. Anmärkningsvärd forskning visar bland annat att företagsrespondenterna rankar kunskap om den interna produktionsprocessen högt vad gäller både hinder och drivkrafter. Artikeln kan tillskrivas under övriga publikationer i forskningsprojektet.

- *Andersson, E., Karlsson, M., Thollander, P., Paramonova, S., 2018. Energy end-use and efficiency potentials among Swedish industrial small and medium-sized enterprises – A dataset analysis from the national energy audit program. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 93, 165–177.*

Artikeln använder dataunderlag från det svenska energikartläggningsstödet och studerar produktionsprocesser i bland annat mekanisk verkstad och trävaruindustrin samt visualiserar dessa med hjälp av så kallade Conservation Supply Curves. Resultatet från artiklarna visar på vilka åtgärder som framtida branschspecifika styrmedel bör inriktas emot. Artikeln kan tillskrivas relaterade publikationer i forskningsprojektet.

### 5.1.2 Järn- och stålindustrin

- *Johnsson, S. and Johansson, M.T. Energy transition to a fossil-free iron and steel industry in Sweden by 2045 – impact analysis on energy use and global greenhouse gas emissions using a novel taxonomy. (Ej inskickad)*

Artikeln presenterar en taxonomi över energianvändande stöd- och produktionsprocesser inom järn- och stålindustrin (SNI 24.1–24.3). Taxonomin testas genom att allokera energidata från fem anläggningar. Vidare görs även en scenarioanalys för hur svensk järn- och stålindustris övergång till att bli fossilfri påverkar de globala växthusgasutsläppen.

### 5.1.3 Livsmedelsindustrin

- *F. M. Kanchiralla, N. Jalo, P. Thollander, S. Johnsson, M. Andersson, "Energy use categorization with performance indicators in the food industry and a conceptual energy planning framework for industries". (Under granskning.)*

Artikeln beskriver taxonomin för energianvändningen hos en grupp livsmedelsföretag i Sverige. Artikeln gör även en allokering av energianvändning och koldioxidutsläpp för denna grupp, baserat på taxonomin. Några exempel på energinyckeltal, som används hos några av livsmedelsföretagen, presenteras. Ett antal nya energinyckeltal för dels stödprocesser, dels produktionsprocesser inom livsmedelsindustrin föreslås. Dessutom så beskrivs ett ramverk för energiplanering, som syftar till att underlätta arbetet med energieffektivisering på företagen. Ramverket är framtaget i ett examensarbete i samband med skrivandet av artikeln, och hör inte till frågeställningarna i denna rapport.

### 5.1.4 Verkstadsindustrin

- *Kanchiralla, F.M., Jalo, N., Johnsson, S., Thollander, P., Andersson, M., 2020. Energy End-Use Categorization and Performance Indicators for Energy Management in the Engineering Industry. Energies 13 (2) 1-24.*

Artikeln föreslår en taxonomi för energianvändningen hos en grupp svenska verkstadsföretag. Dessutom görs allokering av energianvändning och CO<sub>2</sub>-utsläpp baserat på taxonomin. Några existerande energinyckeltal hos verkstadsföretagen presenteras och diskuteras. Slutligen föreslås även ett antal nya energinyckeltal för både stöd- och produktionsprocesser.

### 5.1.5 Trävaruindustrin

- *Johnsson, S., Andersson, E., Thollander, P., Karlsson, M., 2019. Energy savings and greenhouse gas mitigation potential in the Swedish wood industry. Energy 187, 15.*

Artikeln presenterar en taxonomi över energianvändande processer inom trävaruindustrin, inkluderat både sågverk (SNI 16.1) och företag som tillverkar produkter av trä (SNI 16.2). Energianvändning baserat på en fallstudiemetodik fördelas på den framtagna taxonomin och aggregeras genom en bottom-up-approach till svensk nationell nivå. Även växthusgasutsläpp på nationell nivå visas. Vidare beräknas energieffektiviseringspotentialen för enskilda processer och förslag på energinyckeltal för ökad energihushållning inom sågverk redovisas.

#### 5.1.6 Aluminiumindustrin

- *Haraldsson, J., Johnsson, S., Thollander, P., Wallén, M. Taxonomy, saving potentials and key performance indicators for energy end-use and greenhouse gas emissions in the aluminium industry and aluminium casting foundries. Energies 14 (12) 1-26.*

Artikeln presenterar en taxonomi över energianvändande processer inom aluminiumindustrin (SNI 24.42) samt aluminiumgjuterier (SNI 24.53). Energidata från samtliga fem företag inom den svenska aluminiumindustrin har fördelats enligt den framtagna taxonomin. Även energidata från två aluminiumgjuterier har fördelats på den framtagna taxonomin. Växthusgasutsläpp för de studerade företagen allokeras också på taxonomin. Förutom detta studeras även potentialen för energibesparing samt minskningar av växthusgasutsläpp för individuella processer samt föreslås ett antal energinyckeltal för aluminiumindustrin

## 5.2 Massa- och pappersindustrin

### 5.2.1 Kategorisering av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp

Föreslagen taxonomi över slutenergianvändande processer i massa- och pappersindustrin är baserad på elva energikartlägningsrapporter. Av dessa var sju utförda vid icke-integrerade pappersbruk, tre vid integrerade massa- och pappersbruk (varav två producerade sulfatmassa och en producerade mekanisk pappersmassa) och en vid ett icke-integrerat mekaniskt massabruk. Detta innebär att data saknades för tillverkning av sulfitmassa (SNI 17.113). Dessa bruk ingår därför inte i aggregering av slutenergianvändning. Inte heller mekanisk pappersmassa (SNI 17.111) har sammanställts för aggregering till nationell nivå på grund av att det saknades tillräckligt dataunderlag. Istället visas den totala energi- och elanvändningen för tillverkning av mekanisk pappersmassa eller halvkemisk massa och sulfitmassatillverkning (Tabell 3).

**Tabell 3: Total energianvändning samt total elanvändning för svenska massa- och pappersindustrin för SNI-koderna 17.111 (mekanisk eller halvchemisk massa) och 17.113 (sulfitmassatillverkning). Data är hämtad från Statistiska centralbyrån och gäller för 2015. Total elanvändning för sulfitmassatillverkning är ej tillgänglig på grund av sekretesskäl.**

| SNI-kod | Klassificering                                   | Total energianvändning (GWh/år) | Total elanvändning (GWh/år) |
|---------|--|---------------------------------|-----------------------------|
| 17.111  | Tillverkning av mekanisk eller halvchemisk massa | 809                             | 522                         |
| 17.113  | Sulfitmassatillverkning                          | 1 499                           | -                           |

För uppdelningen av slutenergianvändande processer inom sulfatmassatillverkning föreslås i Andersson m.fl. (2021) en taxonomi på tre olika nivåer (Tabell 4).

**Tabell 4: Föreslagen taxonomi för kemiska massabruk (Andersson m.fl., 2021).**

| Anläggningsnivå (nivå 1) | System och flöden (nivå 2)          | Processer (nivå 3)               |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Sulfatmassabruk          | Kemikalieåtervinning                | Mottagning och lagring av timmer |
|                          | Massatvätt                          | Avbarkning, flisning och silning |
|                          | Fiberlinje/vatten i massasuspension | Kokning                          |
|                          | Sekundärvärme                       | Silning och tvättning            |
|                          | Processånga                         | Syrgasdelignifiering             |
|                          |                                     | Blekning                         |
|                          |                                     | Eftersileri                      |
|                          |                                     | Torkning av massa                |
|                          |                                     | Flingtork                        |
|                          |                                     | Indunstning                      |
|                          | Sodapanna                           |                                  |
|                          | Turbin                              |                                  |
|                          | Kausticering                        |                                  |
|                          | Mesaugn                             |                                  |
|                          | Ångpanna                            |                                  |
|                          | Sågverk                             |                                  |
|                          | Övriga processer <sup>a</sup>       |                                  |

\*Inkluderar till exempel *talloljeproduktion, metanolproduktion, kyltorn och syrgasproduktion*.

På nivå 2 (System och flöden) inkluderas endast en energibärare (ett flöde) för varje system, enligt följande: el för *Kemikalieåtervinning* och *Fiberlinje*, vatten för *Massatvätt*, ånga för *Processånga* samt hetvatten för *Sekundärvärme*. Varje system eller flöde är relaterat till flera processer på nivå 3, där en process kan vara kopplat till två eller flera system på nivå 2. Kokning, till exempel, ingår i *Fiberlinjen* (elanvändning), *Processånga* (användning av processånga), *Kemikalieåtervinning* samt *Massatvätt*. Processer på nivå 3 kategoriseras därför in under varje system och flöde (Tabell 5).

**Tabell 5: Kategorisering av processer på nivå 3 för vilken/vilka system och flöde på nivå 2 de relaterar till i taxonomin för sulfatmassatillverkning (Andersson m.fl., 2021).**

| Kemikalie-återvinning | Massatvätt            | Fiberlinje/vatten i massasuspension | Sekundärvärme                    | Processånga          |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Kokning               | Kokning               | Kokning                             | Sågverk                          | Sågverk              |
| Indunstning           | Silning och tvättning | Silning och tvättning               | Avbarkning, flisning och silning | Kokning              |
| Sodapanna             | Syrgasdelignifiering  | Syrgasdelignifiering                | Syrgasdelignifiering             | Syrgasdelignifiering |
| Kausticering          | Blekning              | Blekning                            | Blekning                         | Blekning             |
| Mesaugn               |                       | Eftersileri                         | Eftersileri                      | Torkning av massa    |
|                       |                       | Torkning av massa                   | Torkning av massa                | Indunstning          |
|                       |                       | Flingtork                           | Evaporation                      | Sodapanna            |
|                       |                       |                                     | Övriga processer                 | Turbin               |
|                       |                       |                                     |                                  | Ångpanna             |
|                       |                       |                                     |                                  | Övriga processer     |

Den föreslagna taxonomin (Tabell 4) var inte möjlig att applicera på de energikartläggningsrapporter som studerades för kemiska massabruk, därför gjordes en mindre detaljerad uppdelning på system/avdelningsnivå för aggregeringen av energianvändning (Tabel 6). Tabell 7 visar de indirekta och direkta växthusgasutsläppen för kemiska massabruk.

Baserat på företagens egen uppdelning av energi föreslås en taxonomi för samtliga typer av pappersbruk (SNI 17.2) (Tabell 8). Tabellen visar också resultatet av aggregeringen av energianvändning på nationell nivå fördelat på energibärarna elektricitet, förnybar energi och fossila bränslen. Aggregeringen utgår från antagandet att de inkluderade pappersbruken representerar hela den svenska massa- och pappersindustrin.

Slutenergianvändningen för varje process på nationell nivå (Tabell 8) ger också indirekta utsläpp av växthusgaser, beräknat på nordisk elmix (Tabell 9).

**Tabell 6: Resulterande energianvändning på nationell nivå för kemiska massabruk under antagandet att energianvändningen för de studerade företagen representerar svensk industri. Data från Statistikmyndigheten SCB från 2015 har använts för aggregering till nationell nivå.**

| Processer kemiskt massabruk (sulfatmassa) | Total elanvändning [GWh/år] | Total elanvändning [%] | Totalt använd förnybar energi [GWh/år] | Totalt använd förnybar energi [%] | Totalt använd fossil energi [GWh/år] | Totalt använd fossil energi [%] |
|---|-----------------------------|------------------------|--|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Fiberlinjen                               | 1 300                       | 53                     |  |                                   |                                      |                                 |
| Kemikalieåtervinning                      | 900                         | 37                     |  |                                   |                                      |                                 |
| Övrigt                                    | 200                         | 10                     | 2 000                                  | 11                                | 250                                  | 89                              |
| Stödprocesser                             | <10                         | 0                      |  |                                   |                                      |                                 |
| Processånga                               |                             |                        | 16 700                                 | 89                                | 30                                   | 11                              |
| <b>Totalt:</b>                            | <b>2 400</b>                | <b>100</b>             | <b>18 700</b>                          | <b>100</b>                        | <b>280</b>                           | <b>100</b>                      |

**Tabell 7: Indirekta och direkta utsläpp av växthusgaser i de enskilda processerna i kemisk massatillverkning.**

|  | Fiberlinjen (ton CO <sub>2</sub> -ekv/år) | Kemikalie-återvinning (ton CO <sub>2</sub> -ekv/år) | Övrigt (ton CO <sub>2</sub> -ekv/år) | Stödprocesser (ton CO <sub>2</sub> -ekv/år) |
|--|---|---|--------------------------------------|---|
| Indirekta utsläpp från elanvändning:         | 164 000                                   | 115 000   | 32 000                               | < 1 000                                     |
| Utsläpp från användning av förnybar energi:  |   |   | < 1 000                              |   |
| Utsläpp från användning av fossila bränslen: |   |   | 8 000                                |   |
| <b>Totalt:</b>                               | <b>164 000</b>                            | <b>115 000</b>                                      | <b>32 000</b>                        | <b>&lt; 1 000</b>                           |

**Tabell 8: Föreslagen taxonomi för pappersbruk och den resulterande energianvändningen på nationell nivå under antagandet att energianvändningen för de studerade företagen representerar svensk industri. Data från Statistikmyndigheten SCB från 2015 har använts för aggregering till nationell nivå.**

| Processer pappersbruk | Total elanvändning [GWh/år] | Total elanvändning [%] | Totalt använd förnybar energi [GWh/år] | Totalt använd förnybar energi [%] | Totalt använd fossil energi [GWh/år] | Totalt använd fossil energi [%] |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------|--|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Mäldberedning         | 1 700                       | 10                     | 500                                    | 1                                 | 20                                   | 1                               |
| Pappersmaskin         | 11 300                      | 70                     | 27 500                                 | 90                                | 960                                  | 86                              |
| Konvertering          | 700                         | 4                      | 100                                    | 0                                 | < 10                                 | 0                               |
| Vattenreningsverk     | 700                         | 4                      |  |                                   |                                      |                                 |
| Övrigt                | 1 400                       | 9                      | 2 200                                  | 7                                 | 80                                   | 7                               |
| Stödprocesser         | 500                         | 3                      | 200                                    | 1                                 | 60                                   | 6                               |
| <b>Totalt:</b>        | <b>16 300</b>               | <b>100</b>             | <b>30 500</b>                          | <b>100</b>                        | <b>1 120</b>                         | <b>100</b>                      |

**Tabell 9: Indirekta och direkta utsläpp av växthusgaser i de enskilda processerna i pappersindustrin.**

|  | Mäldberedning (ton CO <sub>2</sub> -ekv/år) | Pappersmaskin (ton CO <sub>2</sub> -ekv/år) | Konvertering (ton CO <sub>2</sub> -ekv/år) | Vattenreningsverk (ton CO <sub>2</sub> -ekv/år) | Övrigt (ton CO <sub>2</sub> -ekv/år) | Stödprocesser (ton CO <sub>2</sub> -ekv/år) |
|--|---|---|--|---|--------------------------------------|---|
| Indirekta utsläpp från elanvändning:         | 220 000                                     | 1 484 000                                   | 91 000                                     | 90 000  | 184 000                              | 61 000                                      |
| Utsläpp från användning av förnybar energi:  | 0   | 0   | 0  |   | 0                                    | 0   |
| Utsläpp från användning av fossila bränslen: | < 1 000                                     | < 1 000                                     | < 1 000                                    |   | < 1 000                              | < 1 000                                     |
| <b>Totalt:</b>                               | <b>220 000</b>                              | <b>1 484 000</b>                            | <b>91 000</b>                              | <b>90 000</b>                                   | <b>184 000</b>                       | <b>61 000</b>                               |



### 5.2.2 Energinyckeltal

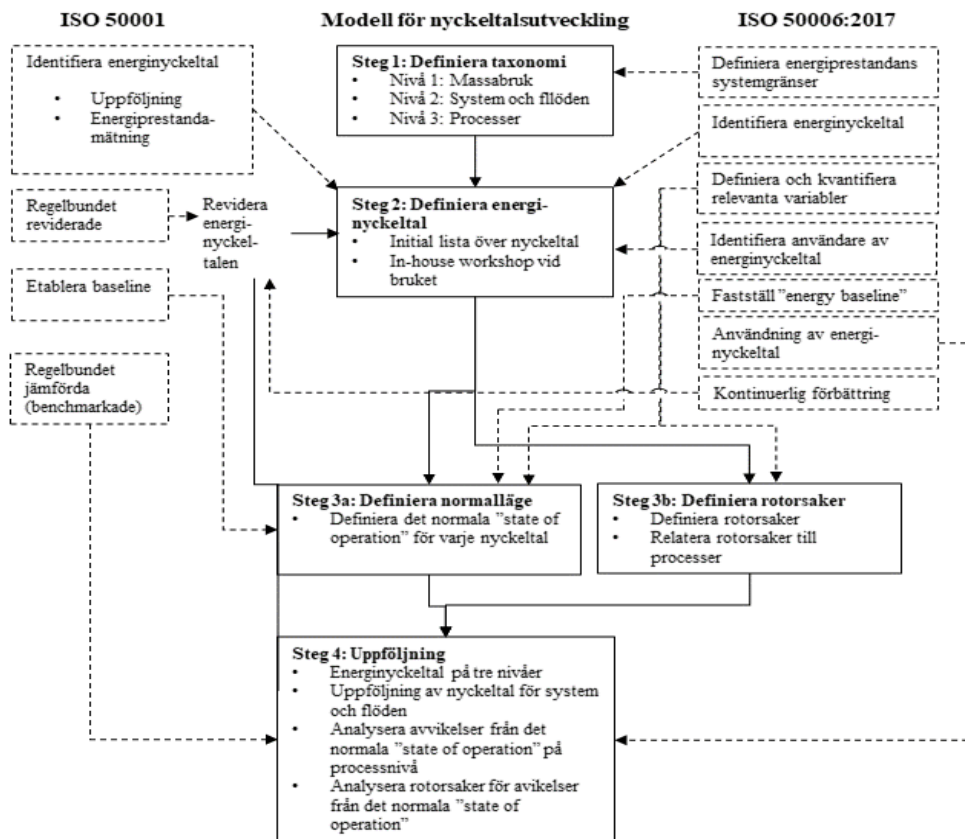
För att utreda vilka energinyckeltal som massa- och pappersindustrin använder sig av i det operativa energihushållningssystemet (delmål 3) valdes kemiska massabruk (sulfatmassatillverkning) som fallstudie. År 2014 var det 21 av 35 massabruk i Sverige som helt eller delvis producerade sulfatmassa varav det fanns totalt 50 massa- och pappersbruk i Sverige (Skogsstyrelsen, 2014). Dessutom står sulfatmassabruk för störst andel energianvändning totalt sett och särskilt i användning av förnybara bränslen (biomassa) utav alla delbranscher. Resultatet från studien om det befintliga arbetet med implementering av energinyckeltal vid sulfatmassabruk är därför representativt för en stor del av branschen och troligtvis också till nytta för andra delbranscher.

För att svara på delmål 3 i massa- och pappersindustrin genomfördes en multipel fallstudie vid en svensk koncern inom svensk massa- och pappersindustri utifrån frågeställningen att arbeta fram en modell för utveckling av energinyckeltal inom massabruk (Andersson m.fl., 2021). I studien deltog tre kemiska sulfatmassabruk. Fallstudien ledde fram till 1) en taxonomi över processerna i kemisk massatillverkning, 2) definition av de nuvarande nyckeltalen som används inom branschen, 3) relatering av de relaterade nyckeltalen till den framtagna taxonomin samt 4) en utvecklad modell för att definiera och implementera energinyckeltal för in-house energiledningssystem (Andersson m.fl., 2021).

Resultatet av steg 1 (Tabell 4, se 4.2.1). Tabell 10 visar konventionella energinyckeltal som används inom kemiska massabruk samt vilka produktionsprocesser de är relaterade till (steg 2 och 3). I Figur 2 presenteras resultatet av den utvecklade modellen för nyckeltalsutveckling och implementering (steg 4).

**Tabell 10: Konventionella energinyckeltal implementerade vid kemiska massabruk.**

| Indicator  | Formel/enhet                          | Produktionsprocess               | Kommentar   |
|--|---------------------------------------|----------------------------------|---|
| Energianvändning per mängd trä fast under bark (fub) | kWh/m <sup>3</sup> fub                | Mottagning och lagring av timmer |   |
|  |                                       | Avbarkning, flisning och silning |   |
| Energianvändning per producerad mängd massa (ADt)    | kWh/ADt                               | Kokning                          | Ton kokad massa   |
|  |                                       | Silning och tvättning            | Ton kokad massa   |
|  |                                       | Syrgasdelignifiering             | Ton blekt massa   |
|  |                                       | Blekning                         | Ton blekt massa   |
|  |                                       | Eftersileri                      | Ton blekt massa   |
| Energianvändning per mängd svartlut (BLS)            | kWh/t <sub>BLS</sub>                  | Indunstning                      |   |
|  |                                       | Sodapanna                        | För producerad ånga och använd ånga                       |
|  |                                       | Ångpanna                         | För producerad ånga och använd ånga                       |
| Kalkkonsumtion per producerad mängd massa (ADt)      | t(CaO)/ADt                            | Kausticering                     |   |
| Energianvändning per mängd producerad kalk (CAO)     | kWh/t(CaO)                            | Mesaugn                          |   |
| Talloljaproduktion per ton producerad massa          | kg/ADt                                | Övriga processer                 |   |
| Metanolproduktion per ton producerad massa           | kg/ADt                                | Övriga processer                 |   |
| Energianvändning per ton producerad metanol          | kWh/t(MeOH)                           | Övriga processer                 |   |
| Fordonsbränsle per mängd inkommande timmer           | liter/m <sup>3</sup> fub              | Mottagning och lagring av timmer |   |
| Fordonsbränsle per producerad mängd massa            | liter/ADt                             | Övriga processer                 | För lastning av timmer och marknads massa                 |
| Reningsverkets effektivitet                          | kWh/m <sup>3</sup> (H <sub>2</sub> O) | Övriga processer                 | Produktion av matarvatten från råvatten samt vattenrening |
| Elproduktion   | kWh/ADt                               | Turbin                           |   |
| Mängd värme till fjärrvärm nätet                     | kWh/ADt                               | Övriga processer                 |   |



Figur 2: Modell för utveckling och implementering av energinyckeltal relaterat till de internationella standarderna för energiledningssystem (ISO 50001) och implementering av energinyckeltal (ISO 50006) (Andersson m.fl., 2021).

Andersson och Thollander (2019) bedömde att användning av externa nyckeltal inte var av någon större relevans för svensk massa- och pappersindustri. Dessutom anses inte BAT-referensdokumentet för massa- och pappersindustrin, en av de mest omfattande rapporter som finns om industrins processer, ge värdefull input till att implementera energinyckeltal (Andersson & Thollander, 2019). Istället anser massa- och pappersbruken att det är mer relevant att utveckla energinyckeltalen in-house.

Den utvecklade modellen (Figur 2) är ett verktyg för kemisk massaindustri (Andersson m.fl., 2021). Verktöget är relaterat till energiledningsstandarden (ISO 50001) samt standarden för vägledning att ta fram energinyckeltal (ISO 50006). Utifrån en initial lista av energinyckeltal (exempelvis de som redan används i bruket eller som finns tillgängligt i litteratur) arbetas i workshop-format nya, för bruket relevanta, nyckeltal fram (steg 2) – gärna baserat på den föreslagna taxonomin för kemiska massabruk (Tabell 4).

För varje framtaget nyckeltal behöver ett normalläge definieras (steg 3a), det vill säga inom de driftintervall (för exempelvis energianvändning) som bruket förväntas vara. Dessutom behöver rot-orsaker, det vill säga de bakomliggande faktorer som påverkar utfallet av ett nyckeltal<sup>4</sup> definieras (steg 3b). Dessa rot-orsaker analyseras främst vid avvikelser från normalläget, det vill säga under uppföljningen av de definierade nyckeltalen (steg 4). (Andersson m.fl., 2021)

Modellen (Figur 2) är ett arbetssätt för att uppfylla kraven för nyckeltalsimplementering och kontinuerlig förbättring i ett certifierat energiledningssystem (ISO 50001). Andersson och Thollander (2019) visade att det finns stor förbättringspotential inom svensk massa- och pappersindustri för implementering och uppföljning av energinyckeltal.

Ett initiativ för att förbättra energinyckeltalen för att möjliggöra nationell benchmarking av energieffektivitet har tagits av Naturvårdsverket där ett verktyg är under utveckling. Verktiget utgår från principen av att alla svenska massa- och pappersbruk ska kunna rapportera in energianvändning efter samma mall – vilket då skulle möjliggöra att samma systemgränser används för energianvändningen, något som är nödvändigt om jämförelser av energieffektivitet ska vara relevant.

## 5.3 Järn- och stålindustrin

### 5.3.1 Kategorisering av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp

För järn- och stålindustrin användes en kategorisering av slutenergianvändande processer som baserades på de produktionsprocesser som observerades från dataunderlaget hos de studerade företagen, dvs. energikartläggningsrapporter, miljörapporter samt intervjusvar. Kategoriseringen av stödprocesserna utgick från den taxonomi som beskrivs i Tabell 1. Ytterligare stödprocesser lades till denna taxonomi baserat på de studerade företagens energikartläggningsrapporter.

Utöver stödprocesserna inkluderades även rökgasrening samt processkyla. Kategoriseringen validerades av två företag inom den svenska järn- och stålindustrin.

För produktionsprocesserna utvecklades en kategorisering för var och en av de huvudsakliga produktionsmetoderna av stål och järnpulver inom den svenska järn- och stålindustrin dvs. masugn, ljusbågsugn samt direktreduktion av järnmalm. Utöver detta utvecklades kategoriseringar för plastisk bearbetning (till exempel dragning, smidning och valsning) samt slutbearbetning av stål. Den framtagna kategoriseringen omfattar verksamheter inom näringsgrensindelningarna SNI 24.1, 24.2 samt 24.3. Brytning och förädling av järnmalm exkluderades ur kategoriseringen då dessa typer av verksamheter tillhör

---

<sup>4</sup> Här görs en distinktion mellan deskriptiva nyckeltal och förklarande nyckeltal. Deskriptiva nyckeltal beskriver ett utfall av energieffektivitet (exempelvis specifik energianvändning). Förklarande nyckeltal förklarar orsakerna bakom utfallet av ett deskriptivt nyckeltal (exempelvis torrhalt i massasuspensionen). För ytterligare bakgrund, se följande referenser: (Andersson m.fl., 2021; Patterson, 1996; Sivill m.fl., 2013, 2009).

en annan näringsgrensindelning (SNI 07.1). Den framtagna kategoriseringen för produktionsprocesserna i järn- och stålindustrin redovisas i Figur 3 och Figur 4. Figur 3 redovisar kategoriseringen för produktionsprocesserna för de huvudsakliga produktionsmetoderna av stål och järnpulver.

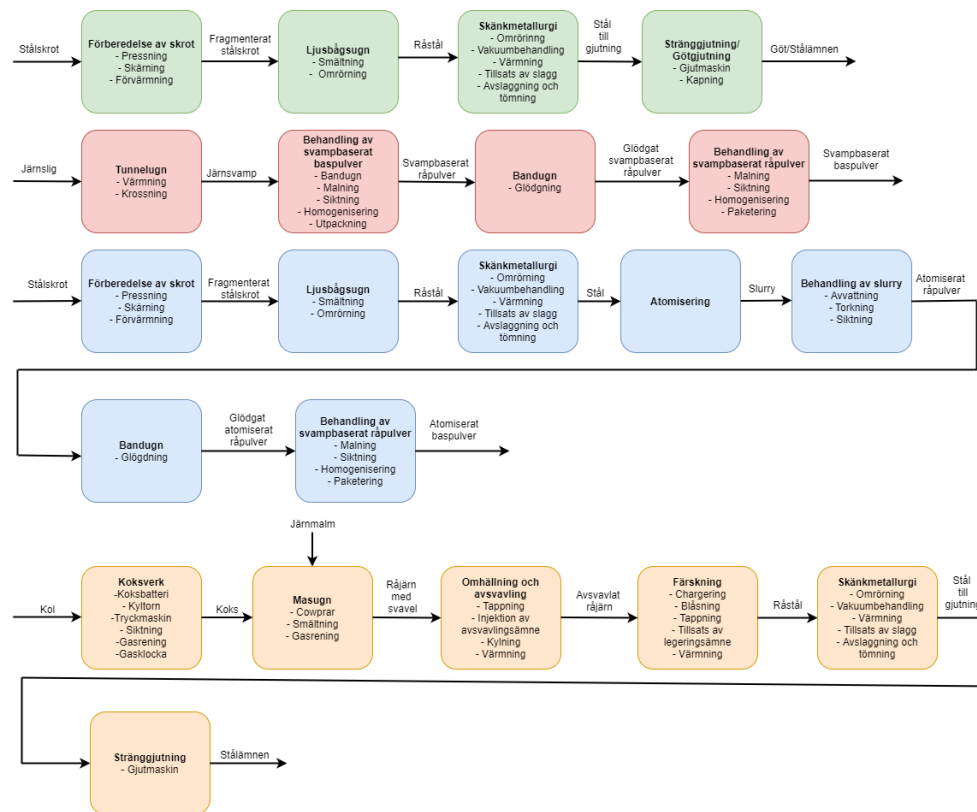
Processerna markerade i grönt representerar de produktionsprocesser som tillhör tillverkning av skrotbaserat stål. Det finns tre typer av skrot: skrot från det egna stålverket, skrot från stålverkets kunder eller köpskrot (till exempel skrotade bilar). Innan skrotet går in i ljusbågsugnen kan det behöva förberedas genom att pressas och skäras i mindre delar, samt förvärmas. I ljusbågsugnen smälts skrotet under omrörning. Omrörningen kan vara elektromagnetisk eller ske genom inerta gaser. Efter ljusbågsugnen tappas råstålet till en skänk där det genomgår metallurgiska reaktioner för att uppnå rätt kemisk sammansättning och en lämplig temperatur för gjutning. Skänken rörs om med en induktionsspole och kan slutas med lock. Stålet i skänken kan värmas med ljusbågar för att uppnå avsedd gjuttemperatur, alternativt behandlas med vakuumutrustning för att sänka vätehalten och för att undvika luftoxidation då deoxidationsmedel och legeringsämnen tillsätts. Efter skänkmetsallurgin transporteras stålet till gjutningsprocessen. För anläggningar med tillverkning av skrotbaserat stål har två olika typer gjutning identifierats, göt gjutning och stränggjutning. För stränggjutning tappas stålet via en gjutlåda in i gjutkokillen. Kokillen kyls med vatten. För att stålet inte ska fastna rör sig kokillen i en pendlande rörelse. Vattenkylningen gör att ett skal stelnar runt stålet. När stelningsen skett dras en sträng ut med drivrullar under kokillen. Efter att stålskalet lämnat kokillen når den ett antal kylzoner med sprayvattenkylning. När smältan stelnat helt kapas stålämnet upp till önskad längd. Vattenkylningen, omrörningen av kokillen, drivrullarna och kapningen av stålämnena är integrerade i gjutmaskinen. För göt gjutningen hålls smältan i en kokill. När stålet stelnat vänds kokillen upp och ned, vilket resulterar i att götet trillar ur kokillen. Efter detta får götet svalna, alternativt transporteras till götvalsningen.

I Sverige tillverkas två olika typer av järnpulver. Atomiserat och svampbaserat järnpulver. Processerna markerade i rött representerar de produktionsprocesser som tillhör tillverkning av svampbaserat järnpulver. Tillverkningen inleds med att järnslig, blandas i keramiska behållare tillsammans med antracit, kalk och koks. Behållarna placeras i vagnar som skjuts genom en så kallad tunnelugn där de värms upp. I tunnelugnen reduceras sligen till järnsvamp som krossas och förs till bandugnen. I denna ugn genomgår råpulvret slutreduktion och glödning och blir baspulver. Slutligen genomgår det svampbaserade baspulvret malning, siktning, homogenisering och paketering.

Processerna markerade i blått representerar de produktionsprocesser som tillhör tillverkning av atomiserat järnpulver. Stålskrot väljs ut efter dess kvalitet och förbereds innan det smälts i en ljusbågsugn. Smältan genomgår sedan skänkmetsallurgi där dess kemiska innehåll kalibreras och temperaturen jämnas ut. I atomiseringssteget lyfts skänken upp i luften och placeras i en

ställning. Det smälta järnet flyter därefter genom ett munstycke ner i en gjutlåda. I gjutlådan träffas järnet vattenstrålar med högt tryck. Vattenstrålarna delar järnet till små droppar som svalnar snabbt. Efter atomiseringen har järnet omvandlats till en slurry som avvattnas, torkas och siktas till pulverform. Det atomiserade råpulvret genomgår sedan samma typ av slutbehandling (glödning, slutreduktion, malning, siktning, homogenisering och paketering) som det svampbaserade råpulvret.

Processerna markerade i orange representerar de produktionsprocesser som tillhör tillverkning av malmbaserat stål. I koksverket tillverkas koks som används i masugnen. Vid koksningen torrdestilleras kol utan lufttillförsel. Under denna process frigörs koksgas. Koksgasen renas i flera steg och lagras i en gasklocka för att sedan användas som bränsle. Koksningen sker i ugnar som kallas för koksbatteri. Efter att koksningen i ugnen är klar trycks koksen ut med en tryckmaskin till en släckvagn som körs in i ett släcktorrn där koksen kyls med vatten. Efter släcktorret transporteras koksen till masugnen. I masugnen tillverkas råjärn genom att järnmalmspellet reduceras med kol och koks. Till masugnen tillförs het blästerluft som värms i så kallade cowpror (varmapparater) uppvärmda med koks- och masugnsgas. Råjärnet tappas av i masugnens nedre del till torpeder som transporteras till stålverket där det behandlas till råstål. I omhållningen hålls råjärnet över i skänkar. Skänkarna transporteras till avsvavlingen där råjärnet injiceras med kalciumkarbid och magnesium. Dessa ämnen reagerar med svavel och bildar slagg som flyter till ytan och avskiljs. Slaggen kyls och upparbetas för återanvändning eller försäljning. I färskningen förädlas råjärnet till stål genom att syrgas blåses mot järnets yta i en LD-konverter. Detta leder till att kolet avgår som LD-gas. En del av denna gas återvinns som bränsle. Vid behov tillsätts även legeringsämnen under färskningen. Efter färskningen justeras stålet till rätt temperatur och kvalitet genom skänkmetsallurgi. Skänkmetsallurgiprocessen för malmbaserat stål liknar den som finns beskriven ovan för skrotbaserat stål. För malmbaserad ståltillverkning har endast stränggjutning identifierats. Stränggjutningsprocessen för malmbaserad ståltillverkning är den samma som stränggjutningsprocessen för skrotbaserad ståltillverkning beskriven ovan.



Figur 3: Utvecklad kategorisering av produktionsprocesser relaterade till framställning av malm-baserat stål (grönt), svampbaserat järnpulver (rött), atomiserat järnpulver (blått) och skrotbaserat stål (orange)).

Figur 4 redovisar kategoriseringen för produktionsprocesserna för olika typer av plastisk bearbetning. Processerna markerade i grått representerar de produktionsprocesser som tillhör valsning av stål. För att de gjutna göten ska bli ämnen behöver de genomgå götvalsning och ämnesvalsning. I götvalsningen omvandlas göten till ämnen<sup>5</sup> i form av blooms eller billets. Dessa ämnen genomgår sedan ämnesvalsning för att bli ämnen till rör-, profil-, stång- och trådvalsning.

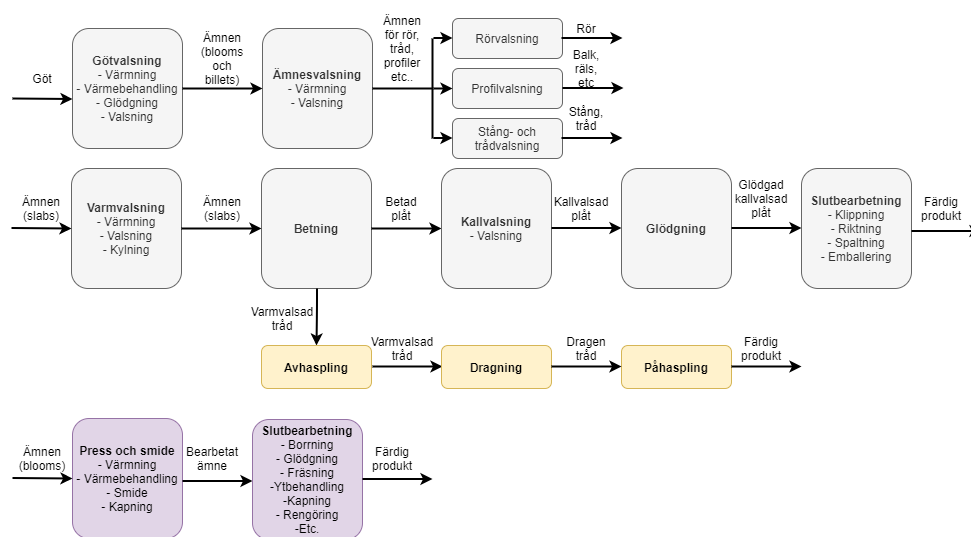
Stålämnen av typen slabs behandlas till att börja med genom varmvalsning. Denna form av valsning inleds med att ämnet värms upp. Efter det valsas ämnet för att sedan kylas med hjälp av vatten. En liten volym av den varmvalsade plåten säljs till kunder redan i detta steg. Den största mängden varmvalsad genomgår betning. Under betningen avlägsnas järnoxid från plåtens yta med hjälp av saltsyra. Efter betningen kallvalsas de betade banden, vilket resulterar i en tunn plåt med förbättrad yta. För att skapa en formningsbar produkt efter kallvalsningen glödgas plåten i det nästkommande

<sup>5</sup> Det finns fyra olika typer av ämnen. Billets som är fyrkantsämnen med dimensionerna 100x100 mm till 180x180 mm. Blooms som är kraftigare fyrkantsämnen med dimensionerna 200x200 mm till 400x400 mm. Slabs som används för plåt och band. Vanliga dimensioner för slabs är 200x400 mm till 250x900-2000 mm. Sista typen av ämne är rounds, vilket är runda ämnen med diametrarna 175 mm till 325 mm.

steget. För att färdigställa varm- och kallvalsade produkter genomgår plåten klippning, riktning, spaltning och emballering. Processerna markerade i gult representerar de produktionsprocesser som tillhör tråddragning. Varmvalsad tråd som genomgått betning avhasplas och placeras i en dragbänk där tråddragningen sker. Efter dragningen sker påhaspling.

Processerna markerade i lila representerar de produktionsprocesser som tillhör smide. Vid smide förekommer två huvudsakliga principer hammare och pressar. Hammare skapar formförändring genom slag mot ämnet. Pressar arbetar hydrauliskt eller mekaniskt för att åstadkomma formförändring. Pressar används för större arbetsstycken medan hammare används för mindre arbetsstycken. Inledningsvis värms ämnet till smidestemperatur i ugnar. De färdigsmidda ämnena genomgår sedan värmebehandling i ugnar. Skillnaden mellan värmning och värmebehandling är att värmning ämnar att göra stålet bearbetningsbart i det nästkommande processteget. Värmebehandling syftar till att ändra mikrostrukturen för att ge stålet specifika egenskaper. Hydrauliksystemet för smidespressen kyls med vatten. Slutligen kapas de smidda ämnena till önskad längd.

Efter att stålmenna genomgått valsning, dragning eller press och smide genomgår de ibland slutbearbetning innan de uppnår statusen färdigställd produkt. Exempel på sådana processer är fräsning, kapning, glödning, borrar och rengöring.



Figur 4: Utvecklad kategorisering av produktionsprocesser relaterade till valsning (grått), tråddragning (gult) samt press och smide (lila).

Sammanlagt finns tio skrotbaserade stålverk samt ett 15-tal anläggningar för plastisk bearbetning (till exempel valsverk, smidesverk, trådtrageri och rörverk) av stål i Sverige. Utöver energidata från specifika anläggningar används energidata hämtad från registren Industrins energianvändning och Företagsdatabasen för att extrapolera den anläggnings-specifika datan till nationell nivå. Dessa register innehåller arbetsplatser med tio anställda eller



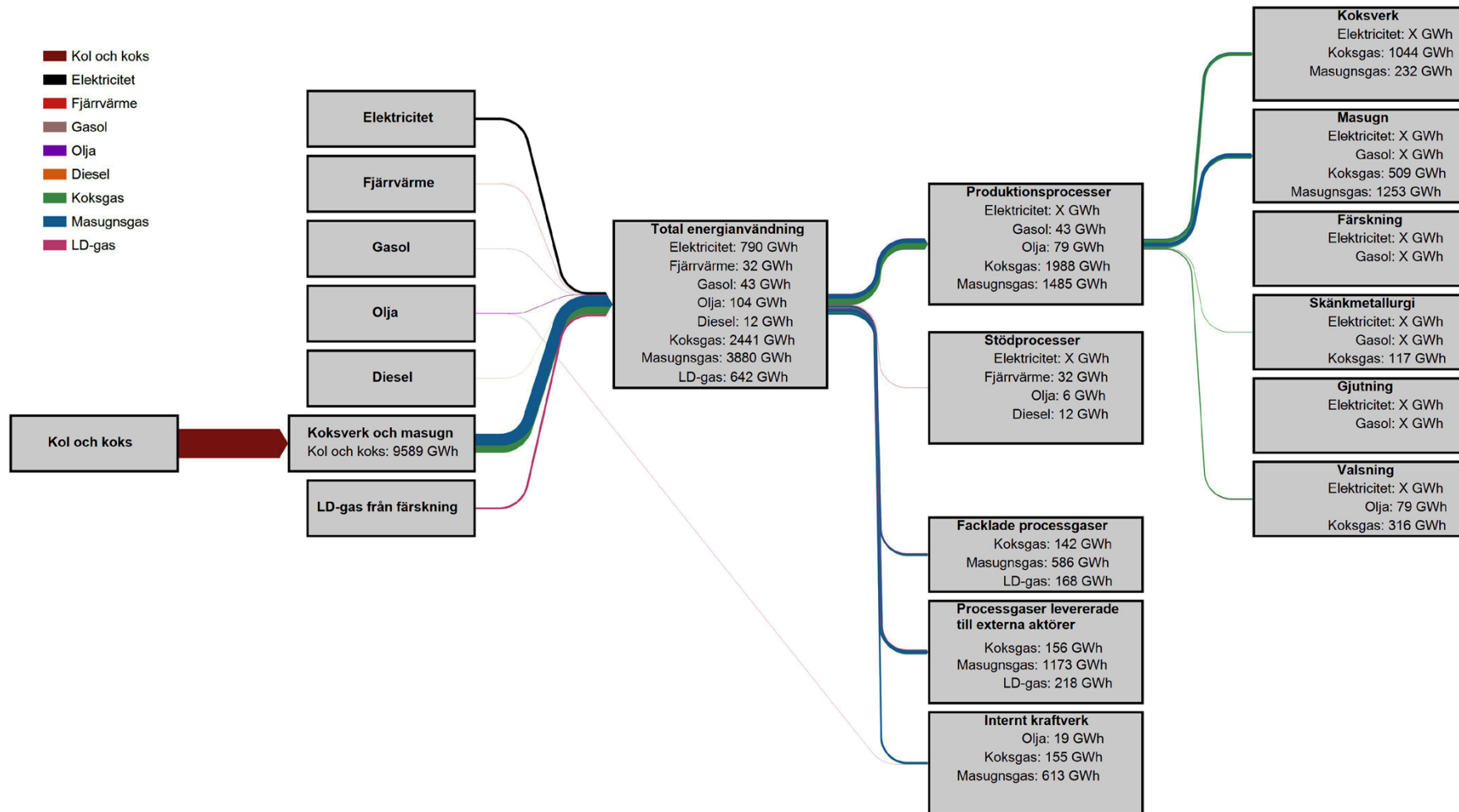
fler inom näringsgrensindelningen SNI2007. För energibärarna el och fjärrvärme har information tagits bort i sekretesshänseende inom vissa näringsgrenar. Den sanna totala användningen av dessa energibärare är därför högre än det som framgår av den data som använts i syfte att extrapolera energianvändningen hos de studerade anläggningarna till nationell nivå. Genom att subtrahera energianvändningen för malmbaserad stålproduktion samt produktion av järnpulver erhålls energianvändningen för anläggningar som producerar skrotbaserat stål och eller bedriver plastisk bearbetning av stål. Den estimerade energianvändningen för respektive anläggningstyp, fördelat på el, fjärrvärme och fossila bränslen visar att produktion av malmbaserat stål står för 45 % av branschens totala energianvändning, produktion av järnpulver står för 1 % av branschens totala energianvändning, och produktion av skrotbaserat stål samt plastisk bearbetning av stål står för 54 % av branschens totala energianvändning (Tabell 11).

**Tabell 11: Den estimerade energianvändningen för de olika anläggningarna inom svensk järn- och stålindustri uppdelat på energibärarnivå. Anläggningarna kategoriseras efter dess huvudsakliga produktion.**

|                        | Produktion av malmbaserat stål | Produktion av järnpulver | Produktion av skrotbaserat stål och eller plastisk bearbetning av stål |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------|--|
| El (GWh)               | 790                            | 60                       | 2895   |
| Fjärrvärme (GWh)       | 32                             | 8                        | 141  |
| Fossila bränslen (GWh) | 8740                           | 236                      | 8190   |

I Sverige finns två anläggningar som tillverkar malmbaserat stål. På grund av detta samt att masugnarna i dessa anläggningar planeras att konverteras till ljusbågsugnar med start 2025, redovisas energianvändningen för tillverkning av malmbaserat stål separat (Figur 5). Energidata från båda dessa anläggningar har använts för att genomföra allokeringen av energianvändning. Då företaget som driver dessa två anläggningar är ensamma i Sverige om att tillverka malmbaserat stål, baseras allokeringen endast på energidata som är tillgänglig via offentliga rapporter så som miljörapporter och årsredovisningar. Detta för att undvika användning av känsliga data. En stor del av de två anläggningarnas energianvändning består av kol och koks (Figur 5). Den största delen av det kol och koks som tillförs används som reduktionsmedel i masugnen. Vid tillverkningen av koks i koksverket samt under reduktionen av järnmalm i masugnen erhålls en rad biprodukter bland annat de energirika gaserna koksgas och masugngas. Dessa processgaser används som bränsle i koksverket, masugnen och i skänkmetsallurgin. En av anläggningarna använder även koksgas som bränsle i sin valsningsprocess (Figur 5). LD-gasen som avges under färskningsprocessen levereras som bränsle till externa aktörer. Även koksgas och masugngas levereras till externa aktörer. Den processgas som varken kan användas internt eller externt facklas. Cirka 14 % (896 GWh) av processgaserna facklas, cirka 23 % (1547 GWh) levereras till externa aktörer. Resterande 63 % (4204 GWh) används internt.

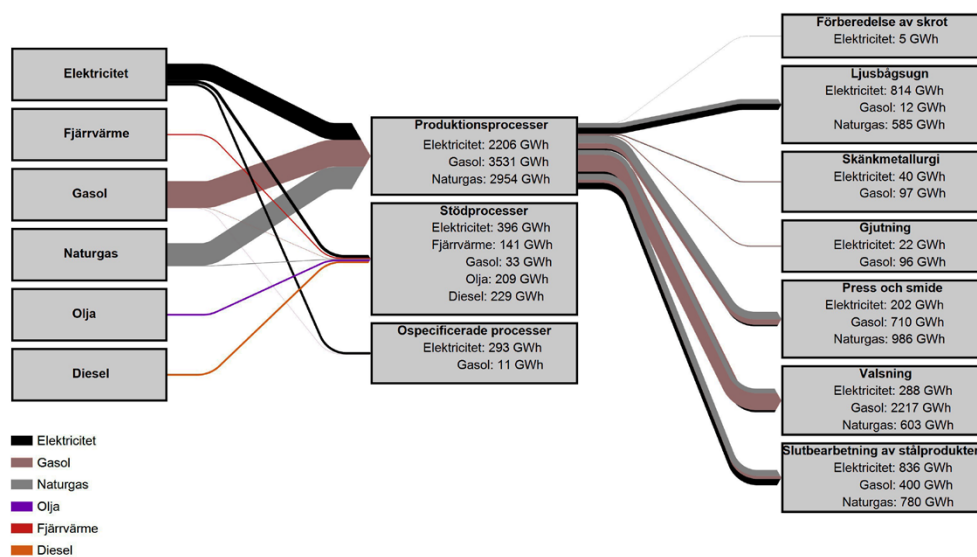
En av anläggningarna har sitt eget valsverk. Valsningen använder el, gasol, olja och koksgas. För några processer redovisas användningen av el och gasol som X GWh. Anledningen till detta är att de använda datakällorna inte redovisar användningen av el och gasol på processnivå. Datakällorna redovisar endast den totala användningen av dessa två energislag. Energianvändningen för stödprocesserna saknar dataunderlag för att redovisas på processnivå. Fjärrvärme antas användas uteslutande för lokaluppvärmning. Diesel antas användas uteslutande för interna transporter. Oljan används för ångproduktion och valsning. Likt användningen av el i produktionsprocesserna går det inte säga något kring hur stor elanvändningen är på processnivå för stödprocesserna. Den totala elanvändningen hos de båda anläggningarna har beräknats till 790 GWh. En majoritet av denna el antas gå till produktionsprocesserna. Den totala gasolanvändningen hos de båda anläggningarna har beräknats till 43 GWh. Det går dock inte säga hur denna användning fördelar sig mellan processerna masugn, färskning, skänkmetsallurgi, gjutning och valsning. En av anläggningarna som tillverkar malmbaserat stål har ett internt kraftverk som genererar el och fjärrvärme. Fjärrvärmen levereras internt inom anläggningen samt till fjärrvärmenätet i den kommunen där anläggningen är belägen. Koksgas (155 GWh), masugnsgas (613 GWh) och olja (19 GWh) används som bränsle i det interna kraftverket.



Figur 5: Estimerad energianvändning på årlig basis för framställning av malmbaserat stål extrapolerat till nationell nivå.

Den estimerade energianvändningen för anläggningar som producerar skrotbaserat stål och eller bedriver plastisk bearbetning av stål är extrapolerat till nationell nivå (Figur 6). Uppskattningen baseras på energidata från två anläggningar som producerar skrotbaserat stål. Valsning står för den största energianvändningen. Processen står för cirka 15 % av järn- och stålindustrins totala användning av fossila bränslen. Ljusbågsugnen står för 22 % av branschens totala elanvändning. Även slutbearbetningen av smidda, valsade och dragna produkter står för en betydande andel av branschens energianvändning (836 GWh el, 400 GWh gasol och 780 GWh naturgas). Press och smide är ytterligare en process som har en stor energianvändning. Denna process står för cirka 9 % av branschens användning av fossila bränslen.

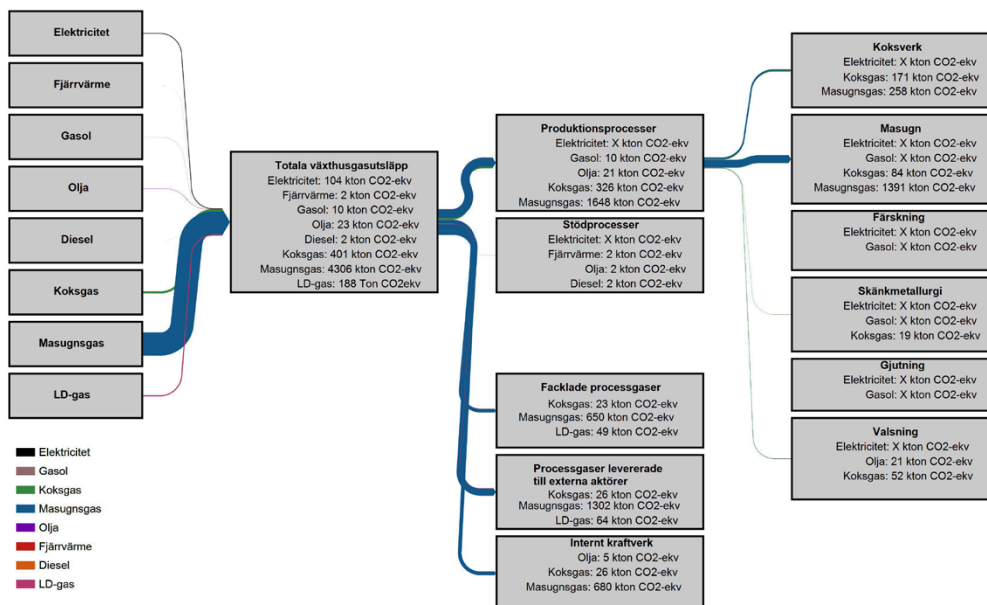
De tillgängliga energidata redovisar inte energianvändningen på en tillräckligt detaljerad nivå för att göra det möjligt att presentera stödprocessernas energianvändning på processnivå. Stödprocesserna står för cirka 10 % av den totala elanvändningen hos anläggningarna med tillverkning av skrotbaserat stål och eller plastisk bearbetning. Kategorin ”Ospecificerade processer” omfattar energianvändning som inte går att allokera till en specifik process.



Figur 6: Estimerad energianvändning för anläggningar med framställning av skrotbaserat stål och eller plastisk bearbetning extrapolerat till nationell nivå.

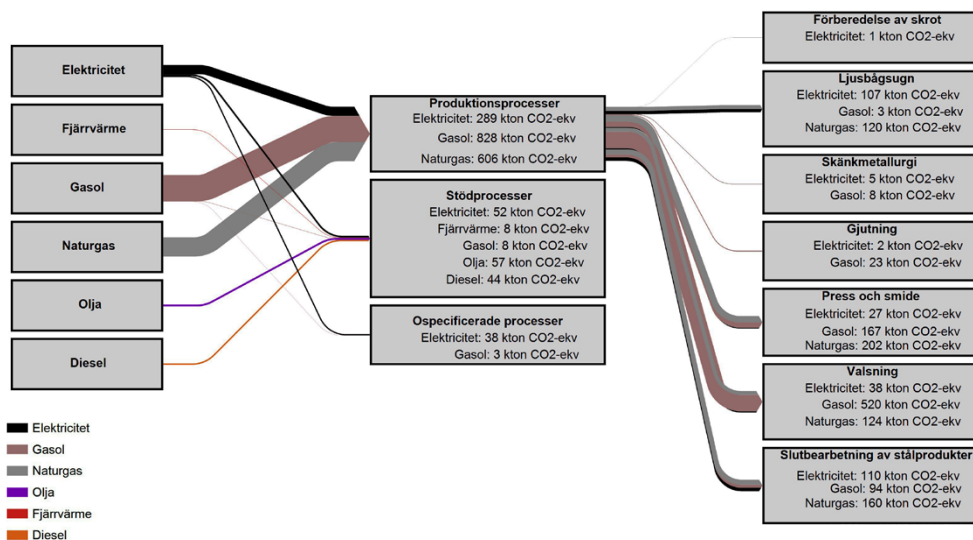
Figur 7 redovisar de estimerade växthusgasutsläppen för tillverkning av malm-baserat stål. Likt energibalansen (Figur 6) är det inte möjligt att allokera växthusgasutsläppen från el och gasol på processnivå för de anläggningar som producerar malmbaserat stål. För att undvika dubbelräkning av växthusgasutsläpp från kol och koks tas endast utsläppen från användning av koksgas, masugnsgas och LD-gas i beaktning. De totala växthusgasutsläppen för järn- och stålindustrin baserat på den estimerade energianvändningen (Figur 6 och Figur 7) är 7031 kton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>-ekv). Förbränningen av koksgas, masugnsgas och LD-gas står för cirka 70 % av branschens totala växthusgasutsläpp. Masugnen (1475 kton CO<sub>2</sub>-ekv) tillsammans med förbrän-

ningen av processgaser hos externa aktörer (1392 kton CO<sub>2</sub>-ekv) står för de största växthusgasutsläppen. I takt med att framställningen av malmbaserat stål, ställs om från reduktion av järnmalm i masugnar med kol och koks, till direktreduktion med vätgas kommer växthusgasutsläppen minska drastiskt. Processerna koksverk, masugn och färskning kommer ersättas av processerna tillverkning av vätgas genom elektrolys samt reduktionsreaktor för direktreduktion av järnmalmspellet. Aktörer som använt koksgas, masugns gas eller LD-gas som bränsle i sina processer kommer behöva ersätta detta behov med andra bränslen.



Figur 7: Estimerade växthusgasutsläpp för framställning av malmbaserat stål extrapolerat till nationell nivå.

Figur 8 redovisar de estimerade växthusgasutsläppen för anläggningar som tillverkar malmbaserat stål och eller bedriver plastisk bearbetning av stål. Valsning står för växthusgasutsläpp motsvarande 682 kton CO<sub>2</sub>-ekv i denna typ av anläggningar. Detta är cirka 10 % av branschens totala växthusgasutsläpp. Utöver valsning bidrar även press och smide (396 kton CO<sub>2</sub>-ekv), slutbearbetning av stålprodukter (364 kton CO<sub>2</sub>-ekv) och ljusbågsugn (230 kton CO<sub>2</sub>-ekv) för betydande utsläpp.



Figur 8: Estimerade växthusgasutsläpp för anläggningar med framställning av skrotbaserat stål och eller plastisk bearbetning extrapolerat till nationell nivå.

### 5.3.2 Energinyckeltal

Morfeldt m.fl. (2015) identifierar de vanligast förekommande energi- och växthusgasnyckeltalen inom den svenska järn- och stålindustrin:

- Energi/ton produkt
- Energi/förädlingsvärde<sup>6</sup>
- Energi/produktionsvärde<sup>7</sup>
- Växthusgasutsläpp/ton produkt
- Växthusgasutsläpp/förädlingsvärde
- Växthusgasutsläpp/produktionsvärde

Baserat på detta tillfrågades fyra företag om de använder eller har förslag på andra nyckeltal än de som listas ovan. Två av de tillfrågade företagen svarade. En respondent lyfte fram att processspecifika nyckeltal blir alltmer

<sup>6</sup> Förädlingsvärdet är differensen mellan värdet av produktionen av en vara och värdet av den förbrukning som går åt för denna produktion.

<sup>7</sup> Produktionsvärdet är det sammanlagda värdet av alla varor som produceras under en viss tidsperiod.

vanliga. Syftet med processspecifika nyckeltal är att övervaka att det råder optimala driftsförhållanden och att följa energieffektiviteten i en enskild process. Vidare menade samma respondent att processspecifika nyckeltal inte är relevanta för att följa energieffektiviteten på en mer övergripande nivå i organisationen.

En annan respondent menade att valet av nyckeltal beror på vart i en organisation nyckeltalet ska användas. På ledningsnivå är det svårt att använda nyckeltal som innehåller parametern ton produkt, eftersom sammanslagning av produktionens alla delar resulterar i att samma material redovisas flera gånger. Dessutom blir det svårt att redogöra för variationerna i bearbetning av produkterna eftersom alla produkter inte går igenom samma mängd bearbetning. Vidare menade respondenten att det är lämpligare att använda andra jämförande faktorer såsom förädlingsvärde när hela produktionens energiprestanda ska utvärderas. För att kunna jämföra denna typ av faktor är det viktigt att alla aktörer definierar parametern på samma sätt. Respondenten angav att för parametern förädlingsvärde skulle det gå att använda den definition som återfinns i lagen om elcertifikat. Enligt denna lag definieras förädlingsvärdet som skillnaden mellan en aktörs sammanlagda omsättning (intäkter från försålda varor och utförda tjänster, inräknat egna uttag, som ingår i företagets normala verksamhet (nettoomsättningen), förändring av varulager, aktiverat arbete för egen räkning, övriga rörelseintäkter samt ränteintäkter) och de sammanlagda inköpen (inräknat avskrivningar och nedskrivningar på tillgångar, samt räntekostnader dock inte personalkostnader, inräknat arbetsgivaravgifter och kostnader för inhyrd personal) (SFS 2011:1200).

Ett av de studerade företagen använder nyckeltalet energianvändning eller växthusgasutsläpp per ton valsbart stål för att utvärdera sin energi- och klimatprestanda på nationell koncernnivå. Dessa nyckeltal används på grund av att valsning är den enskilda process som står för den största energianvändningen, samt växthusgasutsläppen hos detta företag. På anläggningsnivå använder företaget nyckeltalen energianvändning och växthusgasutsläpp per ton producerad produkt lokalt. På global koncernnivå används främst indikatorn faktisk energianvändning, men det förs diskussioner kring att börja relatera energianvändningen till omsättningssiffror eller liknande. En av respondenterna menar att det inte alltid är relevant att jämföra samma process i olika verksamheter inom den svenska järn- och stålindustrin då faktorer runt processen kan skilja sig åt kraftigt. Till exempel användning av råvaror, toleranser (till exempel för dimensioner, form, svetsbarhet och brottgräns) samt vilken typ av produkt som kommer ut ur processen.

Morfeltdt m.fl., (2015) konstaterar att en av de viktigaste åtgärderna för att göra nyckeltalen mer lämpliga för uppföljning av energiprestanda är att förbättra struktureringen av mätning och datainsamling. Baserat på detta tillfrågades de studerade företagen om de har gjort några förändringar relaterade till mätning och insamling av energidata de senaste fem åren. En respondent svarade att förbättring av mätning och datainsamling är ett prio-

riterat område. Förhoppningen och ambitionen är att ökad digitalisering av processerna ska möjliggöra förbättrad övervakning av driftförhållanden och energieffektivitet i realtid. Den andra respondenten svarade att mätning och insamling av data är en ständigt pågående diskussion men att inga konkreta åtgärder kring detta har implementerats de senaste åren.

Tabell 12 presenterar energi- och växthusgasnyckeltal som lyfts fram av respondenterna inom den svenska järn- och stålindustrin. Med respektive nyckeltal presenteras även ett antal förklarande indikatorer som påverkar nyckeltalen. Parametrar såsom utnyttjandegrad av processer, ”tap-to-tap”-tid för LD-konverten samt mängden stål som omsmälts på grund av fel i produktionen påverkar en anläggnings övergripande energieffektivitet.

**Tabell 12: Energi- och växthusgasnyckeltal som lyfts fram av respondenterna inom den svenska järn- och stålindustrin.**

| Anläggningstyp | Nyckeltal   | Förklarande indikator   |
|----------------|---|---|
| Valsverk       | MWh eller CO <sub>2-ekv</sub> /ton valsbara ämnen                                 |   |
| Stålverk       | MWh/ton lokalt producerad produkt <sup>8</sup> (anläggningsnivå)                  | Fyllningsgrad av ugn (%)  |
|                |   | Utnyttjandegrad av process (%)                                  |
|                |   | Mängd stål som måste omsmältas på grund av produktionsfel (ton) |
|                |   | Tap-to-tap tid <sup>9</sup> (min)                               |
| Stålverk       | MWh/SEK (förädlingsvärde)   |   |
| Stålverk       | Ton CO <sub>2-ekv</sub> /SEK (förädlingsvärde)                                    |   |
| Stålverk       | CO <sub>2-ekv</sub> /ton lokalt producerad produkt <sup>5</sup> (anläggningsnivå) | Mängd facklad processgas (%) eller (MWh)                        |
|                |   | Ersättning av fossilt bränsle (MWh) <sup>10</sup>               |
|                |   | Typ av energibärare   |

Järn- och stålindustrin omfattas av flera dokument för bästa tillgängliga teknik (BREF). Det senaste av dessa dokument berör järnbearbetning. De anläggningar som omfattas av detta dokument är de som har valsning och, eller betbad (Directorate B - Growth and Innovation m.fl., 2019). Det ska nämnas att dokumentet är ett utkast och har inte antagits eller godkänts av Europeiska kommissionen. Processerna valsning och glödning har vägledande värden för specifik energianvändning. Efter att dokumentet antagits kommer företagen behöva förhålla sig till dessa värden. För valsning anges 28–167 kWh/ton valsat gods som riktvärde. För glödningen som sker efter varmvalsning anges 167–333 kWh/ton glödgat gods som riktvärde.

<sup>8</sup> Uttrycket ”lokalt producerad produkt” syftar på gjutna ämnen, valsad produkt och andra produkter (t.ex. rör och tråd).

<sup>9</sup> Relevant för stålverk med LD-konverter. Indikatorn beskriver tiden för LD-omvandlingen, det vill säga tiden från att skrot och råjärn laddas i konverten, tills stål- och slaggprodukten tappas från konverten och nästa sats laddas. Ju längre tap-to-tap tiden är desto lägre är produktionstakten i anläggningen. Detta i sin tur leder till mindre mängd producerad produkt under en viss tidsperiod.

<sup>10</sup> Det ersatta fossila bränslet tillgodoses som utsläppsminskning. Exempel på detta är när fossila bränslen som används vid värmning och värmebehandling ersätts med el eller biobränslen.



En respondent som är väl insatt i branschen men ej direkt i själva industrin menar att beroende på syfte och målgrupp är olika nyckeltal användbara. Vidare att aktieägare är intresserade av nyckeltal på koncernnivå och besparingar i förhållande till investerad krona eller liknande. För koncernledningen är det däremot mer relevant med nyckeltal som går att använda för att jämföra olika anläggningar. Lokala beslutfattare vill ha nyckeltal på processnivå medan en enskild operatör av en ugn endast behöver ha information kring mängden energi som behöver tillföras för att nå måltemperaturen.

## 5.4 Livsmedelsindustrin

### 5.4.1 Kategorisering av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp

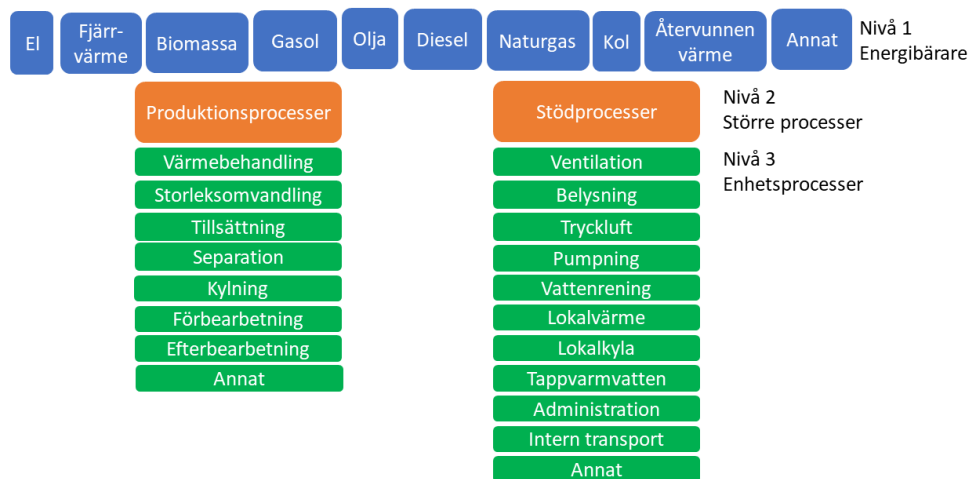
Taxonomin för livsmedelsindustrin bygger på kunskaper som har erhållits från litteraturstudier och 15 energikartläggningsrapporter från svenska livsmedelsföretag. Den bygger också på den taxonomi som presenteras i (Kanchiralla m.fl., 2020), vilket är en artikel som har tagits fram i projektet men som fokuserar på verkstadsindustrin. Taxonomin samt kategoriseringen av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp för livsmedelsindustrin presenteras i mer detalj i Kanchiralla m.fl. (under granskning). De 15 företag vars energikartläggningsrapporter data erhållits från, skiljer sig åt i sin produktion (Tabell 13).

Tabell 13. De olika typer av livsmedelsföretag som det erhållits data från.

| Typ av verksamhet                                 | Antal studerade företag |
|---|-------------------------|
| Slakteri  | 4                       |
| Tillverkning av chark- och köttprodukter          | 4                       |
| Tillverkning av sallader, såser och köttprodukter | 1                       |
| Tillverkning av sylt                              | 1                       |
| Tillverkning av ekologiska livsmedel              | 1                       |
| Bageri  | 1                       |
| Bryggeri  | 1                       |
| Tillverkning av mjöl och djurfoder                | 1                       |
| Tillverkning av lagad mat och färdigrätter        | 1                       |

Den föreslagna taxonomin består av tre nivåer (Figur 9). Nivå 1 beskriver vilka energibärare som används hos livsmedelsföretagen. Nivå 2 innehåller kategorierna produktions- och stödprocesser. Slutligen beskriver nivå 3 vilka enhetsprocesser som har identifierats inom livsmedelsföretagens produktions- och stödprocesser. Sju enhetsprocesser har identifierats inom kategorin produktionsprocesser. Dessa är värmebehandling, storleksomvandling, tillsättning, separation, kylning, förbearbetning och efterbearbetning. Med exempelvis storleksomvandling menas att förändra en area eller en volym genom att mala, krossa, skära, filea eller strimla. Tio enhetsprocesser har identifierats inom

kategorin stödprocesser. Dessa stödprocesser har stora likheter med stödprocesserna hos andra industribranscher. Taxonomin har validerats av fyra livsmedelsföretag.



Figur 9: Taxonomi för livsmedelsindustrin.

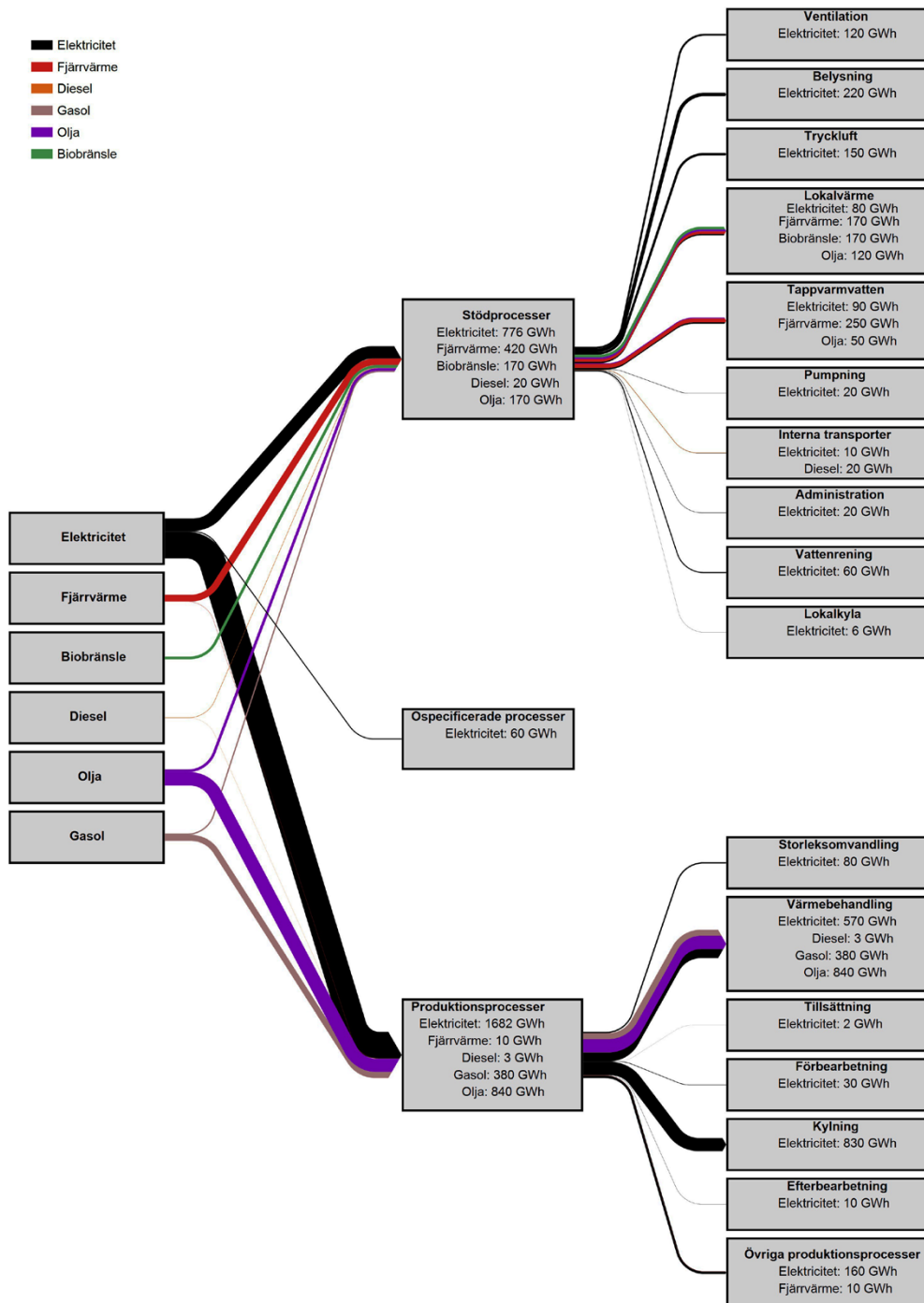
Livsmedelsindustrin består i sin tur av olika delbranscher såsom exempelvis chark, mejeri, bryggeri och bageri. Det finns därmed stora variationer i vilka typer av processer och tekniker som används för tillverkning av livsmedel. Denna stora variation utgör en svårighet då en taxonomi för hela branschen ska tas fram, speciellt då det gäller produktionsprocesserna. Men, nivå 3 i taxonomin är förhållandevis generell och kan nog passa in på flera av delbranscherna. En eventuell ytterligare nivå under nivå 3 skulle nog kunna uppvisa ett stort antal delenhetsprocesser för att representera alla de delbranscher som finns.

Figur 10 presenterar energibalansen för den svenska livsmedelsindustrin på nationell nivå, baserat på taxonomin i Figur 12. Uppskalningen till nationell nivå har gjorts på samma sätt som i Johnsson m.fl. (2019). Resultatet visar att livsmedelsindustrin använder ca 30 % av energin till stödprocesser och resterande cirka 70 % till produktionsprocesser.

El är den huvudsakliga energibäraren bland stödprocesserna, följt av fjärrvärme, lika stora delar biobränsle och olja, och sist diesel. Lokalvärmens är den mest energiintensiva enhetsprocessen. För lokalvärmens används i storleksordning följande energibärare: biobränsle och fjärrvärme (med lika stora delar), följt av olja och el. Tappvarmvatten är den näst mest energiintensiva enhetsprocessen och baseras på tre energibärare, nämligen i storleksordning fjärrvärme, el och olja. Även intern transport använder fler än en energibärare, det vill säga el och diesel. Övriga enhetsprocesser använder endast el.

El är även den huvudsakliga energibäraren bland produktionsprocesserna, följt av olja och gasol. Värmebehandling är den mest energiintensiva enhetsprocessen och energin tillgodoses med hjälp av fyra energibärare.

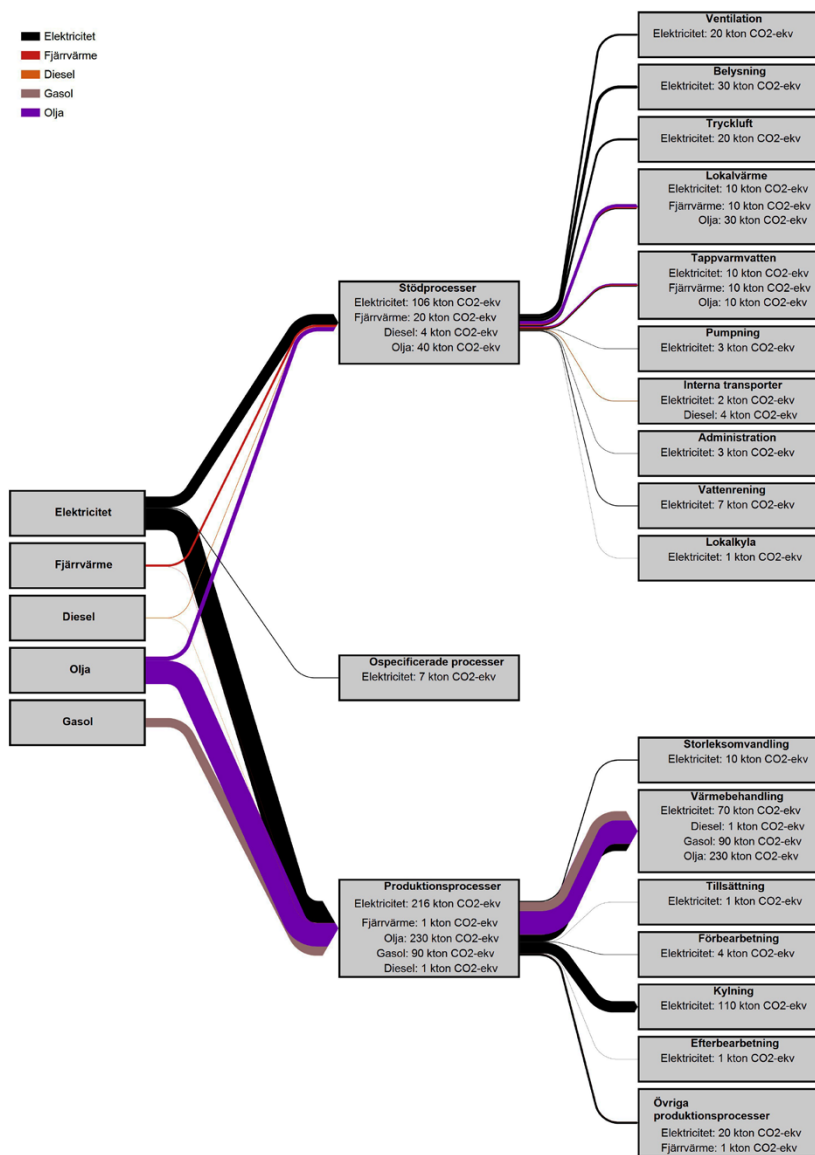
Dessa är i storleksordning olja, el, gasol och diesel. Diesel utgör dock en mycket liten del (Figur 13). Kylning är den näst mest energiintensiva enhetsprocessen, och baseras endast på el. Övriga enhetsprocesser utgör en relativt liten del jämfört med värmebehandling och kylning. Fjärrvärme finns med som en del i kategorin ”övriga produktionsprocesser”.



Figur 10: Estimerad energibalans för produktions- och stödprocesser extrapolerad till nationell nivå.

Figur 11 visar estimerad mängd växthusgasutsläpp på de olika enhetsprocesserna enligt taxonomin. Bland stödprocesserna är lokalvärme den enhetsprocess som står för det största utsläppet av växthusgaser, följt av tappvarmvatten. Anledningen är att dessa båda enhetsprocesser till stor del baseras på olja. Övriga enhetsprocesser använder el (förutom intern transport som har en liten mängd dieselanvändning) och släpper därmed ut en mindre mängd växthusgaser.

Bland produktionsprocesserna så är värmebehandling den enhetsprocess som släpper ut den största mängden växthusgaser. Anledningen är att den till stor del baseras på fossila bränslen såsom olja, gasol och diesel. Kylning, som utgör en relativt stor energianvändare (Figur 10), bidrar med en relativt mindre mängd växthusgasutsläpp. Anledningen är att kylning endast baseras på el och att inköpt el antas motsvara nordisk elmix (Kanchiralla m.fl., under granskning). Övriga enhetsprocesser utgör endast en liten del av växthusgasutsläppen jämfört med värmebehandling och kylning.



Figur 11: Estimerade utsläpp av växthusgaser för produktions- och stödprocesser extrapolerad till nationell nivå.

### 5.4.2 Energinyckeltal

En enkät skickades ut till ett antal livsmedelsföretag med syfte att ta reda på om energinyckeltal används och, om så är fallet, vilka energinyckeltalen är. Fyra av livsmedelsföretagen svarade och resultatet visas i Tabell 14. Av de fyra företagen var det tre som uppgav att de använder energinyckeltal. Flera av energinyckeltalen relaterar energin till företagets produktion såsom energi per ton total produktion, per tillverkad produkt och per produktionslinje. Ett av företagen har energinyckeltal som relaterar till ångproduktion och tomgångslast.

Tabell 14: Resultatet från enkäten om energinyckeltal.

| Företag | Exempel på tillverkade produkter | Energinyckeltal  |
|---------|----------------------------------|--|
| A       | Pasta, majonnäs                  | Energi per ton ånga (kWh/ton)<br>Tomgångslast (kWh)                    |
| B       | Choklad, godis                   | Energi per ton produktion<br>(MWh/ton produktion)                      |
| C       | Bröd                             | Energi per produkt (kWh/kg)<br>Energi per produktionslinje (kWh/linje) |
| D       | Öl                               | Inga nyckeltal används   |

Ett förslag på ett antal nya energinyckeltal för de mest energiintensiva produktionsprocesserna, d.v.s. värmebehandling, kylning och även storleksomvandling, har tagits fram (Tabell 15). Det föreslås även några nya generella energinyckeltal som kan användas för övriga produktionsprocesser. Förslagen baseras på insamlade data från livsmedelsföretagen, olika studier av energinyckeltal samt den kunskap som erhöles vid framtagningen av nya energinyckeltal för verkstadsindustrin (Kanchiralla m.fl., 2020).

De föreslagna energinyckeltalen skulle, tillsammans med de som redan används, kunna bidra till en mer komplett bild av energianvändningen hos företagen. Några energinyckeltal beskriver en enskild maskin, en lokalarea eller en process, medan andra är mer generella såsom användning av fossilt bränsle eller energianvändning under toppeffekttimmar. Ett av dem relaterar till genomförda energieffektiviseringsåtgärder.

**Tabell 15: Förslag på nya energinyckeltal för olika produktionsprocesser.**

| Enhetsprocess                      | Energinyckeltal  |
|------------------------------------|--|
| Värmebehandling                    | Värmepannans verkningsgrad (%)<br>Energianvändning (kWh)/mängd producerad ånga (ton)<br>Energianvändning (kWh)/uppvärmt utrymme (m <sup>3</sup> )  |
| Kylning                            | Köldfaktor (COP)<br>Energianvändning (kWh)/kylt utrymme (m <sup>3</sup> )<br>Energianvändning (kWh)/ton material   |
| Storleks-omvandling                | Energianvändning (kWh)/materialtvärsnitt skapat i processen (m <sup>2</sup> )<br>Energianvändning (kWh)/materialvolym skapat i processen (m <sup>3</sup> )   |
| Generellt för produktionsprocesser | CO <sub>2</sub> -utsläpp(kg)/energianvändning hos en produktionsprocess (MWh)<br>Fossilbränsleanvändning (kWh) per år<br>Total energianvändning per energibärare (kWh) per år<br>Total energibesparing från effektiviseringsåtgärd (MWh) per år<br>Total energianvändning (kWh)/produktionstid (h)<br>Energianvändning under företagets toppeffektimmisar (kWh) per år<br>Efterfrågad toppeffekt(kW)/månad<br>Total elanvändning (kWh) per år<br>Energianvändning vid tomgång i förhållande till total energianvändning hos produktionsprocessen (%) |

Även för stödprocesserna har förslag tagits fram på nya energinyckeltal (Tabell 16). På samma sätt som för produktionsprocesserna har nya energinyckeltal föreslagits för dels de mest energiintensiva stödprocesserna, dels generella energinyckeltal för övriga stödprocesser. De mest energiintensiva stödprocesserna är lokalvärme, tappvarmvatten, belysning, tryckluft och ventilation.

De föreslagna energinyckeltalen skulle också för stödprocesserna kunna bidra med en mer komplett bild av energianvändningen. Dels för att energinyckeltalen är relaterade till specifika enhetsprocesser, dels för att de speglar olika delar av energianvändningen även på en mer detaljerad nivå (till exempel energianvändning relaterad till area, volym och toppeffektimmisar).

**Tabell 16: Förslag på nya energinyckeltal för olika stödprocesser.**

| <b>Enhetsprocess</b>        | <b>Energinyckeltal</b>  |
|-----------------------------|---|
| Lokalvärme                  | Total energianvändning per area och år (kWh/m <sup>2</sup> , år)<br>Elenergianvändning per area och år (kWh/m <sup>2</sup> , år)<br>Fossilbränsleanvändning (kWh) per år<br>Toppeffekt(kW)/månad<br>Värmepumpens värmefaktor (COP)  |
| Tappvarmvatten              | Total energianvändning per produktionstimme (kWh/h)<br>Total energianvändning per anställd (kWh/anställd)<br>Fossilbränsleanvändning (kWh) per år<br>Toppeffekt(kW)/månad   |
| Belysning                   | Energianvändning (MWh)/golvarea (m <sup>2</sup> )<br>Total energianvändning (kWh)/produktionstimme (h)<br>Specifik effekt per golvarea (W/m <sup>2</sup> )  |
| Tryckluft                   | Energianvändning/(kWh)/lufttillförsel (Nm <sup>3</sup> )<br>Läckage (fri avgiven luftmängd (m <sup>3</sup> /h) x medelvärde av lasttid (h))   |
| Ventilation                 | Specifik effekt (kW)/ flödes hastighet (m <sup>3</sup> /s)<br>Energianvändning (MWh)/ byggnadsvolym (m <sup>3</sup> )<br>Energianvändning (kWh)/ area (m <sup>2</sup> )   |
| Generellt för stödprocesser | Energianvändning under företagets toppeffektimmisar (kWh)<br>Total energibesparing från energieffektivisering (MWh) per år<br>Total energianvändning relaterat till energibärare (MWh) per år<br>Koldioxidutsläpp per enhetsprocess (kg/MWh)<br>Total energianvändning (MWh) per år |

Ett av de större bagerierna i Sverige har validerat de nya energinyckeltalen. Bageriet nämnde att energinyckeltal är viktiga vid analys av deras energianvändning. Bageriet konstaterade även att speciellt energinyckeltal för produktionsprocesser är viktiga. Fler energinyckeltal för produktionsprocesser skulle kunna hjälpa bageriet att förstå statusen hos processerna bättre. Detta kan vara bra ur fler synvinklar, det vill säga inte bara för energianvändningen utan även för kvaliteten hos produkterna som kommer ut från processerna. Energinyckeltal för produktionsprocesser kan vara svåra att identifiera för en utomstående part, eftersom produktionsprocesserna ofta är komplicerade, och kan många gånger förstås bäst av de på företaget som arbetar nära dem.

## 5.5 Verkstadsindustrin

### 5.5.1 Kategorisering av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp

Kategoriseringen av produktionsprocesser inom verkstadsindustrin togs fram med hjälp av energikartlägningsrapporter. Energikartläggningarna hade utförts av samma företag. Totalt 41 rapporter studerades, varav 26 var möjliga att använda för att utveckla taxonomin för produktionsprocesser inom verkstadsindustrin. Den föreslagna taxonomin (Tabell 17) validerades i intervjuer med energimanagers i fem olika verkstadsföretag.



Tabell 17: Föreslagen taxonomi för verkstadsindustrin, där nivå 3 visar kategorierna för indelning av energianvändning och växthusgasallokering på processnivå, medan nivå 4 visar exempel på enhetsoperationer som kan ingå i varje processkategori på nivå 3 (det vill säga att listan i nivå 4 inte är heltäckande) (Reviderad från Kanchiralla m.fl., 2020).

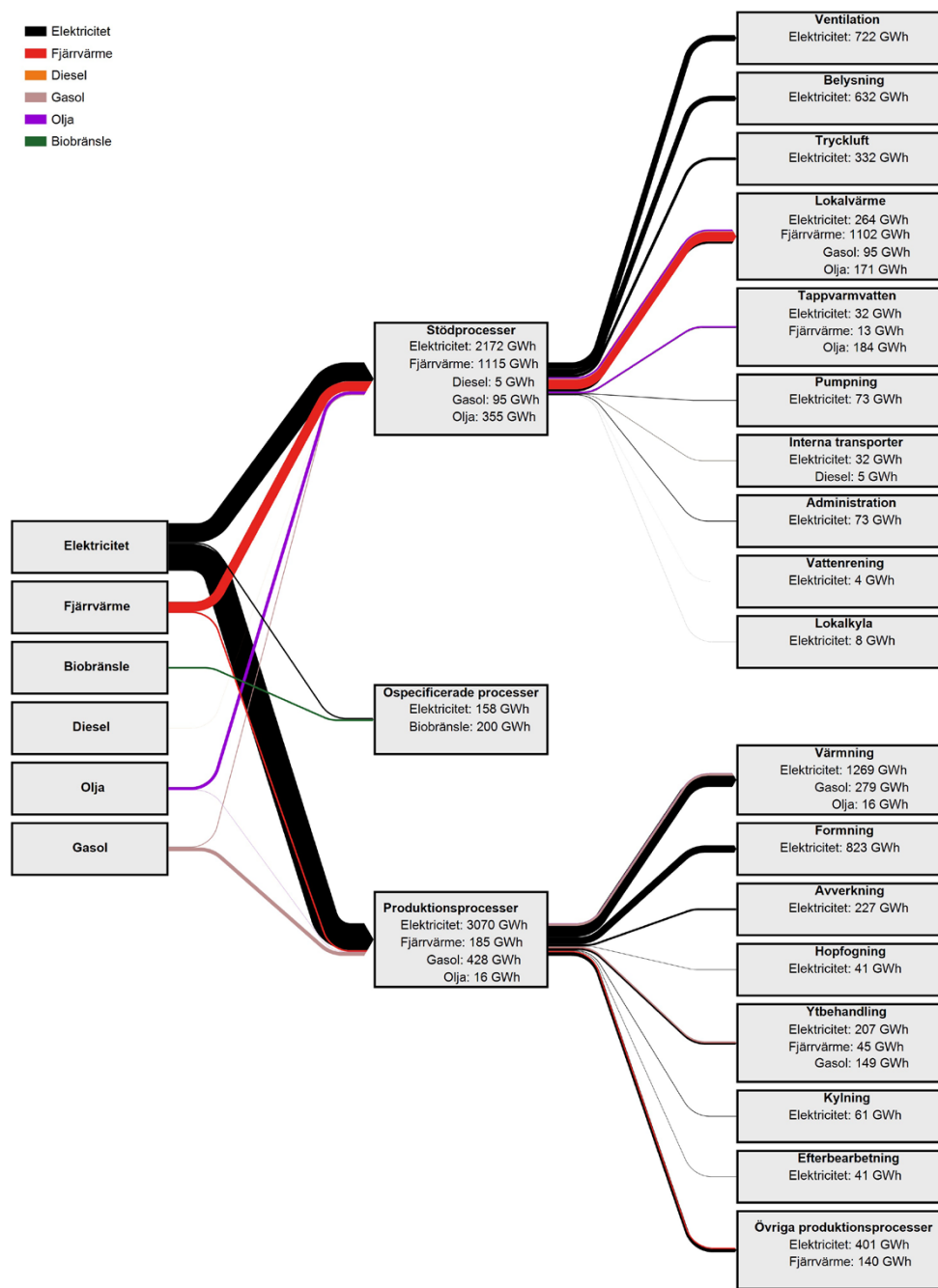
| Indelning av produktionsprocesser för verkstadsindustrin |            |              |             |            |                   |                 |               |                             |  |
|--|------------|--------------|-------------|------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------------------------|--|
| Nivå 3   | Värmning   | Formning     | Borttagning | Hopfogning | Ytbehandling      | Efterbehandling | Kylning       | Övriga produktionsprocesser |  |
| Nivå 4   | Förångare  | Bockning     | Svarvning   | Svetsning  | Blästring         | Paketering      | Kylmaskin     |                             |  |
|  | Ugn        | Formning     | Fräsning    | Montering  | Kemisk behandling | Slutbesiktning  | Annan kylning |                             |  |
|  | Förvärmare | Valsning     | Borning     | Blandning  | Målning           |                 |               |                             |  |
|  | Panna      | Plåtformning | Rensning    |            |                   | Tvättning       |               |                             |  |
|  |            | Pressning    | Stansning   |            |                   | Beläggning      |               |                             |  |
|  |            | Smide        |             |            |                   |                 |               |                             |  |
|  |            | Böjning      |             |            |                   |                 |               |                             |  |
|  |            | Tråddragning |             |            |                   |                 |               |                             |  |
|  |            | Extrudering  |             |            |                   |                 |               |                             |  |
| (strängsprutning)  |            |              |             |            |                   |                 |               |                             |  |

Med hjälp av energikartlägningsrapporterna fördelades företagens energianvändning baserat på den framtagna taxonomin. Den procentuella fördelningen av total slutenergianvändning i stödprocesser och produktionsprocesser blev, för de studerade fallen, enligt Tabell 18.

**Tabell 18: Procentuell fördelning av energianvändning för de studerade verkstadsindustrierna baserat på den framtagna taxonomin.**

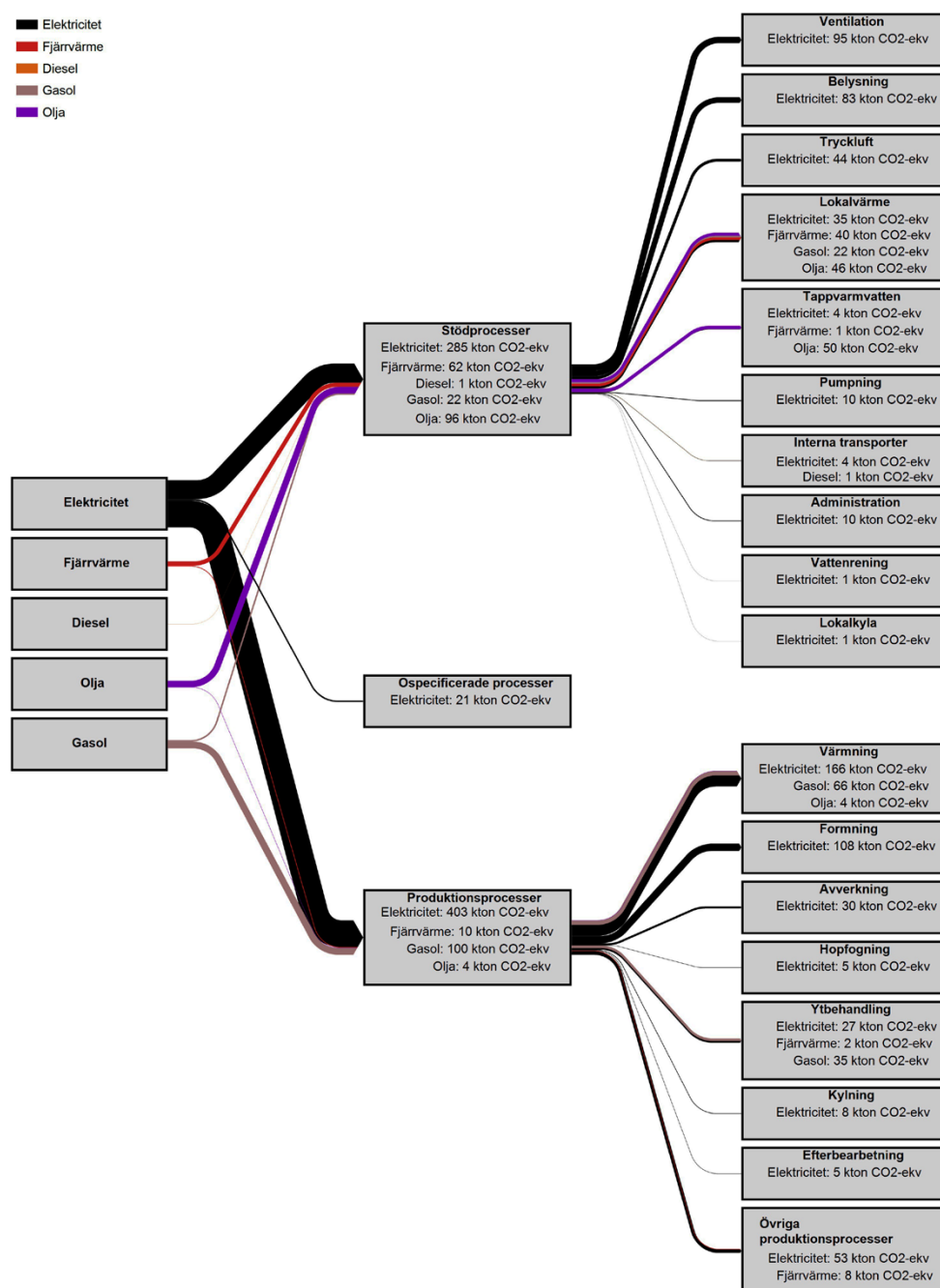
| <b>Produktionsprocesser</b> | <b>Andel av energianvändning [%]</b> |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Värmning                    | 23                                   |
| Formning                    | 11                                   |
| Ytbehandling                | 6                                    |
| Borttagning                 | 3                                    |
| Hopfogning                  | 1                                    |
| Kylning                     | 1                                    |
| Efterbehandling             | 1                                    |
| Övriga produktionsprocesser | 6                                    |
| <b>Stödprocesser</b>        | <b>Andel av energianvändning [%]</b> |
| Lokalkomfort                | 18                                   |
| Ventilation                 | 10                                   |
| Belysning                   | 8                                    |
| Tryckluft                   | 4                                    |
| Tappvarmvatten              | 4                                    |
| Pumpning                    | 1                                    |
| Interna transporter         | 1                                    |
| Kontor                      | 1                                    |
| Vattenrening                | < 1                                  |
| Lokalkylning                | < 1                                  |
| Övrigt                      | 2                                    |

Utifrån fördelningen av energianvändningen gjordes en uppskalning av total energianvändning för hela svenska verkstadsindustrin. Totalt använder svenska verkstadsindustrin 7,8 TWh/år, varav 5,4 TWh elektricitet, 0,9 TWh fossilbränsle, 0,2 TWh biobränsle och 1,1 TWh övriga bränslen (Energiläget, 2020). Baserat på energifördelningen (Tabell 17) beräknas den nationella årliga energianvändningen per process (Figur 12). Stödprocesserna står för cirka 48 % av den totala energianvändningen inom branschen. Produktionsprocesserna står för cirka 47 % av den totala energianvändningen. Resterande energianvändning utgörs av ospecificerade processer. Lokalvärme (1632 GWh) och värmning (1564 GWh) är de två enskilda processer som står för den största energianvändningen.



Figur 12: Slutenergianvändning inom verkstadsindustrin aggregerad för varje process baserat på total energianvändning för svensk verkstadsindustri.

Figur 13 visar de nationella årliga växthusgasutsläppen för verkstadsindustrin baserat på energianvändningen i Figur 12. Emissionsfaktorn för bibränsle antas vara 0 kg CO<sub>2-ekv</sub>/MWh. Verkstadsindustrins totala energirelaterade växthusgasutsläpp beräknas till 1004 kton CO<sub>2-ekv</sub>. Lokalvärme (143 kton CO<sub>2-ekv</sub>) och värmning (236 kton CO<sub>2-ekv</sub>) är de enskilda processer som bidrar till de största växthusgasutsläppen.



Figur 13: Indirekta utsläpp av växthusgaser per process i verkstadsindustrin (reviderad från Kanchiralla m.fl., 2020).

## 5.5.2 Energinyckeltal

Baserat på fallstudier tillfrågades aktörer inom verkstadsindustrin om vilka energirelaterade nyckeltal som generellt används i det operativa energihushållningsarbetet (Tabell 19).

**Tabell 19: Energinyckeltal inom det operativa energihushållningsarbetet vid fem fallstudier inom verkstadsindustrin.**

| Företag   | Produkter                                    | Energinyckeltal  |
|-----------|--|--|
| Företag A | Värmepumpar, radiatorer och spisar           | Energianvändning/omsättning [MWh/MSEK]<br>Belysningseffekt per golvarea [W/m <sup>2</sup> ]<br>Lokalkomfort [kWh/m <sup>2</sup> ], år  |
| Företag B | Aluminiumkomponenter                         | Elanvändning per produktionstimme [kWh/h]  |
| Företag C | Kablar, elektronik och elektronikkomponenter | Elanvändning per produktionstimme [kWh/h]  |
| Företag D | Plåtark och plåtprodukter                    | Elanvändning per produktionstimme [kWh/h]  |
| Företag E | Anläggningsmaskiner                          | Tomgångsel [ $\text{kWh}_{\text{tomgång}}/\text{kWh}_{\text{produktion}}$ ]<br>Total energianvändning [MWh/år]<br>Total energianvändning per energibärare [MWh <sub>el, värme, etc.</sub> ]<br>Energikostnader per energibärare [MSEK/år]<br>Toppeffekt varje månad [kW]<br>Total energibesparing från energieffektiviseringsåtgärder [MWh]<br>CO <sub>2</sub> -utsläpp per total energianvändning [kg/MWh]<br>Total energianvändning per produktionstimme [kWh/h]<br>Total energianvändning per anställd [kWh/produktionstimmar]<br>Återvunnen energi per total energianvändning [MWh/MWh]<br>Andel tomgångsel av total elanvändning [kWh/kWh]<br>Energianvändning för produktion av tryckluft [kWh/Nm <sup>3</sup> ] |

I Nyckeltal relaterade till elanvändning är vanligt (Tabell 19), vilket är förväntat eftersom andelen elektricitet är betydande i verkstadsindustrin (cirka 70 % av total energianvändning) (SEA, 2019). Vidare är också nyckeltal baserat på andelen produktionstimmar vanligt förekommande, något som kan skilja sig mellan verkstadsindustrier. Det är en faktor som är viktig att ta hänsyn till vid exempelvis benchmarking, eftersom antalet timmar produktionen är i gång skiljer sig åt mellan företag.

Ett nyckeltal som också används för målsättning i ett studerat företag är andel tomgångsel av total elanvändning, och som visats vara nyttigt för ett effektivt arbete med energieffektivisering. Genom att arbeta kontinuerligt med att minska tomgångskörning av verksamheten vid olika anläggningar har det aktuella företaget kraftigt minskat elanvändningen. En viktig del i framgången har bland annat varit engagemang från en chefsposition. Detta energinyckeltal är ett förslag som kan användas i andra, liknande företag.

Vidare kan en förbättringspotential i vilka nyckeltal som används noteras i detaljeringsgraden av energinyckeltal. Eftersom verkstadsindustrier inte alltid har en hög energianvändning kan en detaljeringsgrad på nyckeltal som

följs upp kontinuerligt vara på en mindre detaljerad nivå, till exempel hela anläggningen eller företaget. Vid förbättringsarbeten av energieffektiviteten däremot, där tillfälligt fokus ligger på en process som identifierats ha betydande förbättringspotential, bör detaljnivån av nyckeltal istället vara på processnivå, exempelvis tryckluft.

Följande generella energinyckeltal för verkstadsindustrin identifierades genom en litteraturstudie på organisationsnivå (reviderat från Kanchiralla m.fl., 2020):

- Total energianvändning (MWh/år)
- Total energianvändning per energibärare ( $\text{MWh}_{\text{energibärare}}$ )
- Energikostnad per energibärare (MSEK)
- Toppeffekt per månad (kW)
- Elanvändning under toptimmar (kWh)
- Totala energibesparingar från effektiviseringsåtgärder (MWh/år)
- Växthusgasutsläpp per energianvändning (kg/MWh)
- Total energianvändning per producerat ton (kWh/ton)
- Total energianvändning per producerad enhet (kWh/st)
- Total energianvändning per omsatt krona (kWh/SEK)
- Total energianvändning per produktionstimme (kWh/h)
- Total energianvändning per anställd (kWh/anställd)
- Återvunnen energi per total energianvändning (kWh/kWh)
- Andel total energianvändning vid tomgång per total energianvändning (kWh/kWh).

Tabell 20 visar energinyckeltal för stödprocesser inom verkstadsindustrin.

**Tabell 20: Exempel på energinyckeltal att använda för stödprocesser inom verkstadsindustrin (reviderad från Kanchiralla m.fl., 2020).**

| Stödprocess    | Energinyckeltal  |
|----------------|--|
| Generellt      | Energianvändning under toppeffektstimmar (kWh)<br>Total energibesparing från effektiviseringsåtgärder (MWh/år)<br>Total energianvändning per energibärare ( $MWh_{\text{energibärare}}$ )<br>Växthusgasutsläpp per energianvändning (kg/MWh)<br>Total energianvändning (MWh) |
| Lokalkomfort   | Total energianvändning per kvadratmeter ( $kWh/A_{\text{temp}} m^2$ )<br>Elanvändning per kvadratmeter ( $kWh_{\text{el}}/A_{\text{temp}} m^2$ )<br>Fossil bränsleanvändning (kWh)<br>Toppeffekt per månad (kW)<br>Värmefaktor (COP) för värmepumpar                         |
| Tappvarmvatten | Total energianvändning per produktionstimmar (kWh/h)<br>Total energianvändning per anställd (kWh/anställd)<br>Fossil bränsleanvändning (kWh)<br>Toppeffekt per månad (kW)  |
| Belysning      | Energianvändning per golvarea ( $MWh/m^2$ )<br>Total energianvändning per produktionstimme (kWh/h)<br>Installerad effekt per golvarea ( $W/m^2$ )  |
| Ventilation    | Installerad effekt per luftflöde ( $kW/m^3/s$ )<br>Energianvändning per byggnadsvolym ( $MWh/m^3$ )<br>Energianvändning per tempererad golvarea ( $kWh/m^2$ )  |
| Tryckluft      | Energianvändning för produktion av tryckluft ( $kWh/Nm^3$ )<br>Läckage per genomsnittlig drifttid av total drifttid ( $(m^3/h) \cdot h/h$ )  |

Tabell 21 visar energinyckeltal för produktionsprocesser inom verkstadsindustrin.

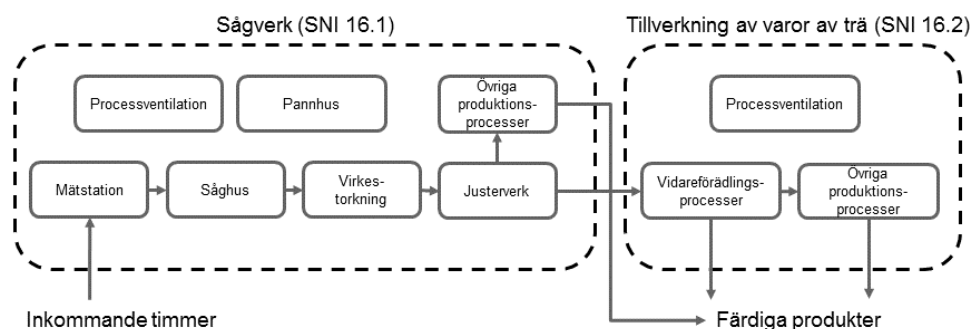
**Tabell 21: Exempel på energinyckeltal att använda för produktionsprocesser inom verkstadsindustrin (reviderad från Kanchiralla m.fl., 2020).**

| Produktionsprocess                      | Energinyckeltal   |
|---|---|
| Generellt för alla produktionsprocesser | Växthusgasutsläpp per energianvändning (kg/MWh)<br>Fossil bränsleanvändning (kWh)<br>Total energianvändning per energibärare ( $MWh_{\text{energibärare}}$ )<br>Total energibesparing från effektiviseringsåtgärder (MWh/år)<br>Total energianvändning per produktionstimmar (kWh/h)<br>Energianvändning under toppeffektstimmar (kWh)<br>Toppeffekt per månad (kW)<br>Andel tomgångsel av total elanvändning [ $kWh/kWh$ ] |
| Värmning                                | Omvandlingseffektivitet värmepanna (%)<br>Värmeförluster (kWh)<br>Energianvändning per ton material ( $kWh/ton$ )   |
| Formning                                | Energianvändning per tvärsnittsarea, material ( $kWh/m^2$ )<br>Energianvändning per volym, material ( $kWh/m^3$ )   |
| Ytbehandling                            | Energianvändning per total yta ( $kWh/m^2$ )<br>Energianvändning per deponerat bearbetat material ( $kWh/kg$ )  |
| Borttagning                             | Energianvändning per borttaget material ( $kWh/kg$ )<br>Energianvändning per kapad tvärsnittsarea, material ( $kWh/m^2$ )<br>Energianvändning per volym material borttaget ( $kWh/m^3$ )  |

## 5.6 Trävaruindustrin

### 5.6.1 Kategorisering av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp

För trävaruindustrin användes en kategorisering av slutenergianvändande processer som tidigare utvecklats av Olsson m.fl. (2011). Eftersom den tidigare kategoriseringen enbart omfattade sågverk (SNI 16.1) vidareutvecklades den i Carbonstruct till att inkludera företag som tillverkar produkter av trä (SNI 16.2). Den reviderade kategoriseringen (Figur 14) baserades på dataunderlaget, det vill säga de studerade energikartlägningsrapporterna. Därmed utgick den från energikartläggarnas kompetens och hur praktiskt möjligt det var att allokeras slutenergianvändning på processnivå. Dessutom validerades den reviderade kategoriseringen med en processingenjör och en produktionsledare vid ett av de största, sett till produktionskapacitet, svenska sågverken.



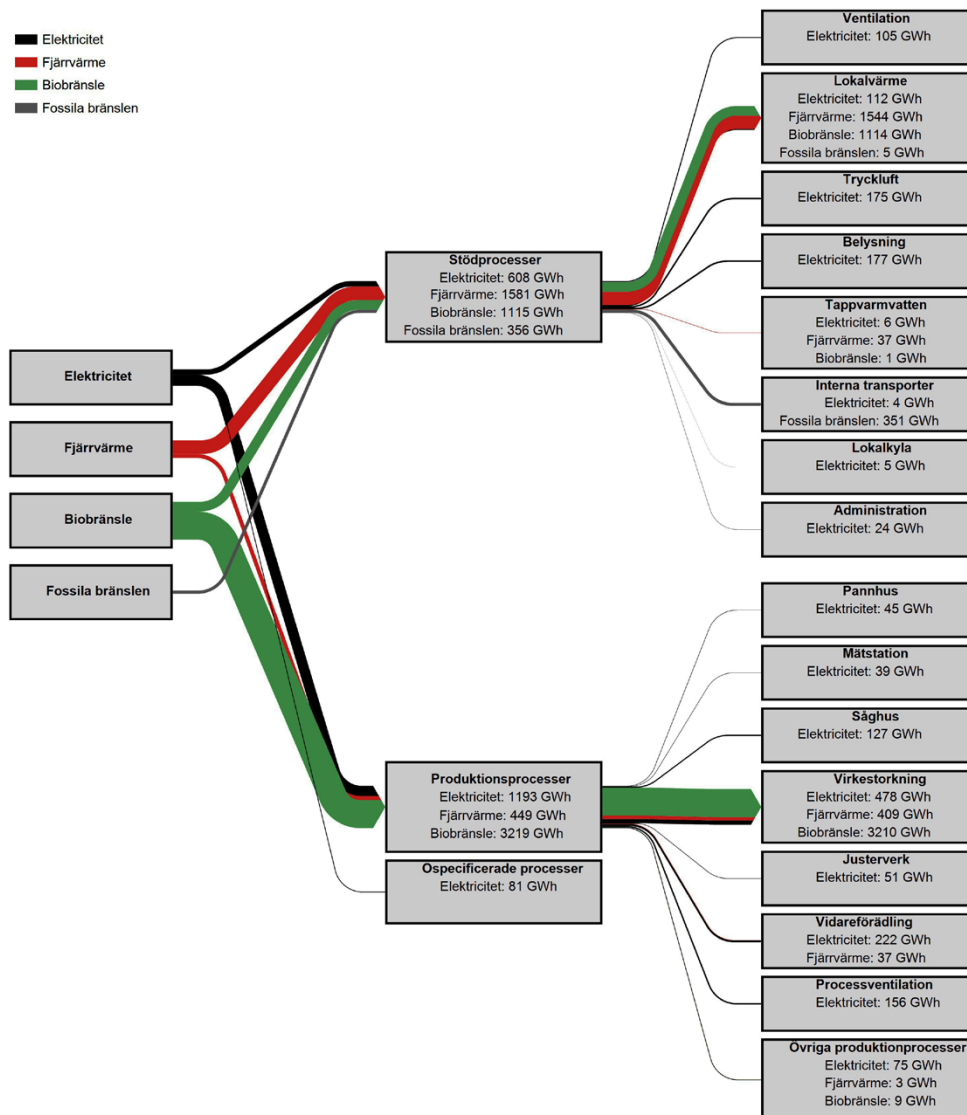
Figur 14: Utvecklad kategorisering av produktionsprocesser inom trävaruindustrin (reviderad från Johnsson m.fl., 2019).

Kategoriseringen av produktionsprocesser inkluderar kategorin pannhus, vilket inte innefattar bränslet som används för förbränning utan kompletterande kringutrustning, exempelvis bränslehantering, bränsletork och reningsutrustning.

Bränslet till förbränning allokeras istället till den slutprocess där värmen används, exempelvis virkestorkning eller lokalkomfort. I och med detta systemperspektiv är pannans verkningsgrad inkluderat i bränsleanvändningen – det vill säga om en högre verkningsgrad i pannan uppnås medför det högre effektivitet i energianvändningen i slutprocessen.

Över 80 % av den estimerade slutenergianvändningen i trävaruindustrins produktionsprocesser (SNI 16) sker i virkestorkningen (Figur 15). En stor del av detta består av bibränslen som är en biprodukt från sågverkens sönderdelningsprocesser. Användningen av bibränslen i produktionsprocesserna sker nästan uteslutande i virkestorkningen (>99 %). Detsamma gäller för fjärrvärmeanvändning (91 %). För användningen av elektricitet i produktionsprocesserna är virkestorkning även här, den produktionsprocess med störst användning, runt 40 %, men vidareförädling (19 %), processventilation (12 %) och såghus (11 %) står också för betydande andelar (Figur 15).





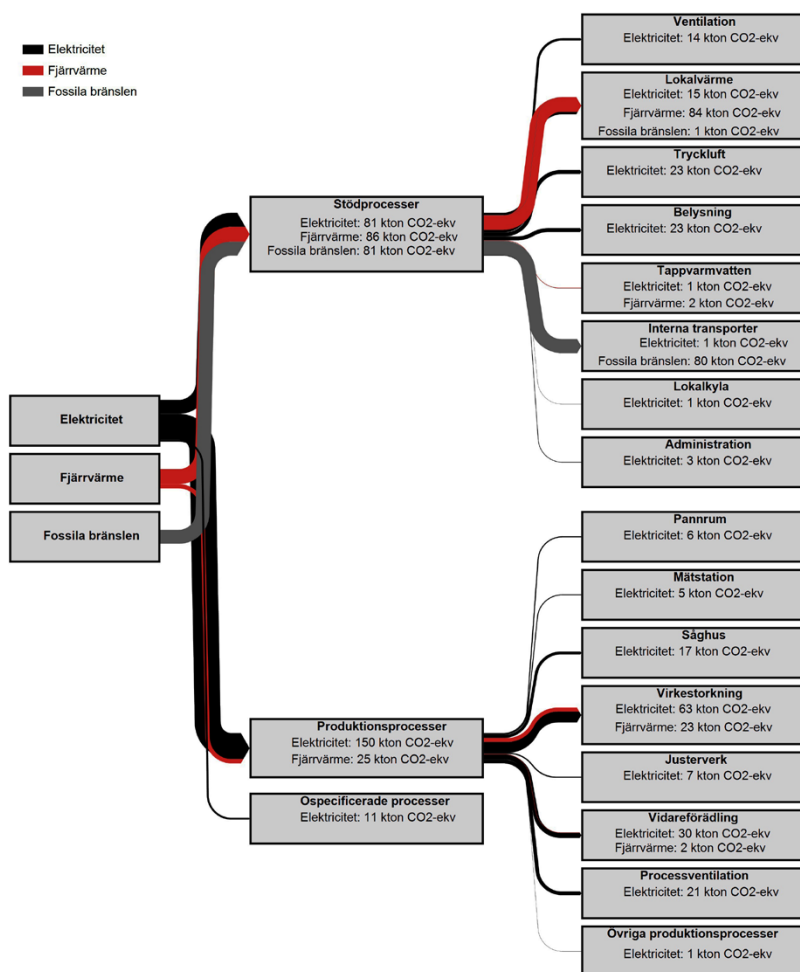
Figur 15: Estimerad slutlig energianvändning för svenska trävaruindustrin enligt den framtagna taxonomin (reviderad från Johnsson m.fl., 2019).

En förhållandevis stor del av fjärrvärmeanvändningen, cirka 400 GWh, används inom virkestorkning enligt den genomförda estimeringen. Medan det tekniskt är möjligt att använda fjärrvärme för att värma luft till virkestorkning är det i dagsläget i Sverige få sågverk som använder sig av fjärrvärme för detta ändamål, eftersom det ofta är får låg framledningstemperatur i fjärrvärmenätet. Eftersom metoden för estimering av den nationella slutenergianvändningen på processnivå är baserad på fallstudiemetodik är det troligt slutanvändningen för fjärrvärme i virkestorkning är överskattad. Å andra sidan kan det estimerade värdet för fjärrvärmeanvändning indikera en ännu ej utnyttjad potential för byte av energibärare från biobränsle till fjärrvärme. På så sätt kan ytterligare mängder biobränsle frigöras för användning inom andra sektorer, exempelvis till kraftvärmeverk – idag finns nämligen normalt

inte turbiner för omvandling till el på sågverk (Andersson m.fl., 2011). Genom att ansluta sågverk till existerande fjärrvärmenät öppnas dessutom möjligheter att sälja överskottsvärme för andra ändamål utanför tillverknings- och stödprocesserna. I dag ligger sågverk dock geografiskt långt från närmsta fjärrvärmenät.

Lokalkomfort står för en majoritet av slutenergianvändningen bland stödprocesser, ungefär 74 %. Av energibärarna är lokalkomfort dominerande för biobränsleanvändningen (>99 %) och för fjärrvärmeanvändningen (97 %). Användningen av fossila bränslen sker dock till stor del i interna transporter (99 %) och framför allt i dieselförbrukning i truckar. För att minska användningen av fossila bränslen i trävaruindustrin bör insatser i huvudsak göras för interna transporter. Den största elanvändningen inom stödprocesser återfinns i belysning (26 %), tryckluft (25 %) samt lokalkomfort (16 %).

Baserat på den slutliga energianvändningen för de fyra olika energibärarna fördelat på processnivå gjordes en estimering av den nationella mängden växthusgasutsläpp för varje process i kategoriseringen (Figur 15). Fossila bränslen antogs vara dieselanvändning av truckar (för interna transporter).



Figur 16: Växthusgasutsläpp för trävaruindustrin, nationellt (reviderad från Johnsson m.fl., 2019).

Lokalkomfort, som har den största delen fjärrvärmeanvändning, är den process som ger mest växthusgasutsläpp. Även virkestorkning, på grund av den stora elanvändningen, och interna transporter, som utgörs av dieselanvändning i truckar, är processer som bidrar till stora växthusgasutsläpp. Dessa tre processer utgör tillsammans cirka 60 % av de totala växthusgasutsläppen för trävaruindustrin. Om biobränsle, som i dessa beräkningar hade emissionsfaktorn noll, istället hanteras som en begränsad resurs<sup>11</sup> blir utfallet av växthusgasutsläpp dels högre (1 602 tusen ton CO<sub>2</sub>-ekv), dels betydligt mer kopplade till virkestorkningen (som då står för 60 % av branschens totala utsläpp).

### 5.6.2 Energinyckeltal

Vanliga energirelaterade nyckeltal i sågverk är energieffektiviteten för hela anläggningen uttryckt i energianvändning per volym gods (kWh/m<sup>3</sup> sågat gods). I Tabell 22 visas utfallet av nyckeltalen för energianvändningen per volymenhet för hela sågverk respektive enskilda processer baserat på tre fallstudier.

**Tabell 22: Energirelaterade nyckeltal för produktionsprocesserna baserat på tre studerade sågverk uttryckt som medelvärde samt intervallet mellan högsta och lägsta värde (reviderad från Johnsson m.fl., 2019).**

| Process                       | SEC <sub>electricitet</sub><br>[kWh/m <sup>3</sup> sågat gods] |              | SEC <sub>värme/bränsle</sub><br>[kWh/m <sup>3</sup> sågat gods] |                |
|-------------------------------|--|--------------|---|----------------|
|                               | genomsnitt   | intervall    | genomsnitt  | intervall      |
| Mätstation                    | 5  | 4-5          |   |                |
| Såghus                        | 10   | 2-20         |   |                |
| Virkestorkning                | 43   | 30-57        | 242   | 214-282        |
| Justerverk                    | 4  | 2-5          |   |                |
| Övriga produktionsprocesser   | 6  | 2-8          | 2   | 2              |
| Processventilation            | 2  | 2            |   |                |
| Pannhus                       | 6  | 3-8          |   |                |
| <b>Totalt, hela sågverket</b> | <b>71</b>  | <b>56-82</b> | <b>243</b>  | <b>214-282</b> |

Som framgår av fördelningen av energianvändningen i produktionsprocesser (Figur 15) visar Tabell 22 att virkestorkning har störst värde för specifik el- och värmeanvändning. Såghus är den näst betydande processen sett till specifik elanvändning. I nyckeltalen som presenteras baseras mängden sågat gods på sågverkens totalt producerade volym, det vill säga inte den volym som faktiskt bearbetas i varje process. Valet av slutproducerad volym beror på datatillgänglighet. Om data rörande processat material för varje process görs tillgänglig reflekterar det bättre processernas faktiska energieffektivitet, då även gods som exempelvis kasseras i ett senare steg också inkluderas i nyckeltalet.

Energirelaterade nyckeltal som idag endast delvis eller inte alls följs upp, men som potentiellt kan förbättra energiarbetet vid sågverken samt uppföljningen av sågverkens energieffektivitet presenteras i Tabell 23. De förklarande

<sup>11</sup> I detta fall antas marginalanvändaren behöva använda olja då tillgången på biobränsle är begränsad.

indikatorerna är exempel på indikatorer som kan påverka nyckeltalen. De är alltså inte helt uttömmande utan fler behöver definieras. Det kan dessutom finnas olika unika förklarande indikatorer för varje sågverk, och de kan därför behövas definieras inom sågverket. Se ytterligare diskussion kring en modell för detta i Andersson m.fl. (2021).

**Tabell 23: Förbättringsförslag till energirelaterade nyckeltal för energiledning samt för uppföljning av energieffektivitet (reviderad från Johnsson m.fl., 2019).**

| Systemgräns    | Energirelaterat nyckeltal   | Förklarande indikatorer  |
|----------------|---|--|
| Sågverk        | SEC <sub>elektricitet</sub> [kWh/m <sup>3</sup> sågat gods]                   | <sup>12</sup> Tillgänglighet [h/h]                             |
|                | SEC <sub>värme</sub> [kWh <sub>värme</sub> /m <sup>3</sup> sågat gods]        |  |
| Såghus         | SEC <sub>elektricitet/värme</sub> [kWh/m <sup>3</sup> sågat gods]             | <sup>13</sup> Distans mellan stockar [m]                       |
|                | Energianvändning per sågad stock [kWh/st]                                     | <sup>14</sup> Matningshastighet [m/min]                        |
|                | Energianvändning per <sup>15</sup> sågad area [kWh/m <sup>2</sup> ]           | <sup>16</sup> Stocktemperatur [°C]<br><sup>17</sup> Utbyte [%] |
| Virkestorkning | Termisk torkeffektivitet [kWh/m <sup>3</sup> <sub>torkat virke</sub> ]        | <sup>18</sup> Fuktkvot, trä [%]                                |
|                | Elektrisk effektivitet [kWh/ m <sup>3</sup> <sub>torkat virke</sub> ]         | <sup>19</sup> Målfuktkvot, trä [%]                             |
|                | Termisk effektivitet per avdunstad mängd vatten [kWh/kg <sub>vatten</sub> ]   | <sup>20</sup> Mängd inlastat trä i ugn [m <sup>3</sup> ]       |
|                | Elektrisk effektivitet per avdunstad mängd vatten [kWh/kg <sub>vatten</sub> ] | <sup>21</sup> Fördelning kärn- och splintved                   |
|                | SEC <sub>energi</sub> [kWh/m <sup>3</sup> <sub>slutprodukt</sub> ]            |  |

För ett av de studerade sågverken fanns information om antalet processade stockar, vilket möjliggjorde att beräkna energianvändning per sågad stock för såghuset till 0,8 kWh/stock, samt för hela sågverket till 8,2 kWh/stock. Tabell 23 visar också potentiella förklarande indikatorer som kan påverka utfallet av de föreslagna nyckeltalen. Till exempel är både fuktkvoten i det virke som ska torkas, liksom målfuktkvoten, vilken beror på typ av slutprodukt, viktiga förklarande indikatorer för energianvändningen i torkugnarna.

<sup>12</sup> Beskriver hur stor del av den totala drifttiden som sågverkets processer är tillgängliga för produktion. Produktionsstopp har negativ inverkan på denna indikator.

<sup>13</sup> En kortare distans mellan stockarna resulterar i minskad tomgång.

<sup>14</sup> En högre matningshastighet av stockarna resulterar i att fler stockar bearbetas och att större volymer av sågat gods genereras.

<sup>15</sup> Sågverken mäter toppdiametern på ett antal av de stockar som levereras till anläggningen. Sedan används en modell där stockarna antas ha en avsmalning på 8 mm per meter. Genom denna metod går det uppskatta den sågade arean.

<sup>16</sup> Lägre temperatur i virket innebär att mer mekanisk energi krävs för att sönderdela stocken. Varje stock kräver alltså mer kWh, vilket resulterar i att den sågade arean kräver mer elenergi.

<sup>17</sup> Utbytet relaterar till hur stor del av det totala virket som tas till vara på. Utnyttjas en större andel av den sågade arean med samma eller snarlik mängd tillförd energi erhålls en högre energieffektivitet.

<sup>18</sup> Fuktkvoten är kvoten mellan vattnets vikt i det fuktiga materialet och mängden torrt material i kg. En högre fuktkvot innebär ofta att träet behöver torkas under längre tid för att målfuktkvoten ska erhållas.

<sup>19</sup> Målfuktkvoten beskriver den önskade medelfuktkvoten för ett virkesparti. Ju lägre målfuktkvot, desto längre tid tar virkestorkningen.

<sup>20</sup> Genom att maximera mängden fuktigt virke i virkestorken ökar mängden avdunstat vatten per körning av torken.

<sup>21</sup> Fördelningen mellan kärn- och splintved är avgörande för fukthalten i virket. Fukthalten i splintveden är betydligt högre än i kärnveden (Taylor m.fl., 2002). Ju högre andel kärnved, desto mindre torkning kräver virket.

De presenterade indikatorerna (Tabell 22) är inte heltäckande utan syftar främst som exempel.

Utöver nyckeltalen (Tabell 23) kan även distinktioner mellan typ av slutprodukt (produktbaserade nyckeltal) och typ av träslag som bearbetas vara viktiga att ta hänsyn till. Typ av inköpt timmer och slutprodukter är data som finns tillgängligt för sågverken idag.

## 5.7 Aluminiumindustrin

### 5.7.1 Kategorisering av slutenergianvändning och växthusgasutsläpp

För aluminiumindustrin användes en kategorisering av slutenergianvändande processer som baserades på de produktionsprocesser som observerades vid besök hos de studerade företagen samt dataunderlaget från företagen, dvs. energikartläggningsrapporter samt intervjusvar. Kategoriseringen av stödprocesserna utgick från den taxonomi som åskådliggörs i Tabell 1. Ytterligare stödprocesser lades till denna taxonomi baserat på de studerade företagens intervjusvar samt deras energikartläggningsrapporter. Utöver dessa stödprocesser inkluderades även oljerening<sup>22</sup>, processkyla<sup>23</sup>, rökgasrening samt processventilation. Kategoriseringen validerades av samtliga företag inom den svenska aluminiumindustrin samt två aluminiumgjuterier<sup>24</sup>.

För produktionsprocesserna togs en kategorisering fram för var och en av de huvudsakliga delarna i aluminiumindustrins värdekedja dvs. primärproduktion, valsning, extrudering, gjutning samt sekundärproduktion (Figur 17-21). Bauxitutvinning, raffinering av aluminiumoxid och anodtillverkning exkluderades ur kategoriseringen då dessa verksamheter inte är en del av den svenska aluminiumindustrin. Omrörning förekommer i samtliga delar av värdekedjan, huvudsakligen i hållugnar. I de studerade företagen sker omrörningen vanligtvis genom magnetisk omrörning.

Figur 17 presenterar den framtagna kategoriseringen av produktionsprocesser relaterade till primärproduktion av aluminium. Inför elektrolysen förbereds anoderna genom att de förvärms bland annat för att ta bort fukt. Olika mekaniska processer används för att montera och demontera anoderna. Efter elektrolysen transporteras det smälta aluminiumet till en hållugn. Utöver värme tillförs även legeringsämnen till hållugnen. Denna tillförsel kallas ofta chargering. Legeringsämnena tillförs med truckar. I det efterföljande gjutningssteget gjuts det smälta aluminiumet till göt som sedan bearbetas och paketeras. Den gjuteriprocess som beskrivs här för primärproduktionen ser liknande ut även i andra delar av aluminiumindustrin. Från hållugnen och bearbetningen av göten sker en återvinning av aluminium.

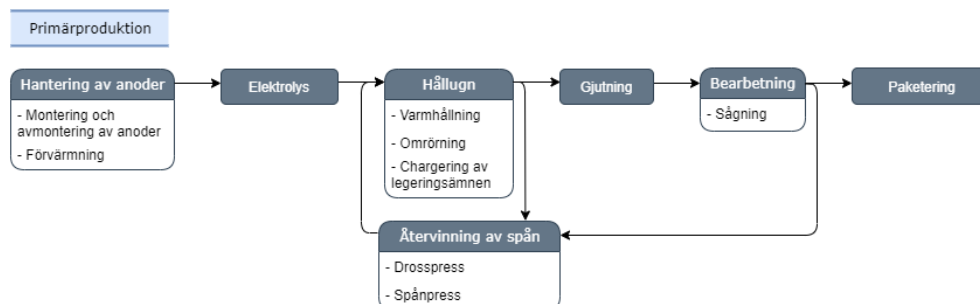
---

<sup>22</sup> Oljerening förknippas förfrämfallt med valsverk där olja används för att underlätta valsningsprocesserna. Den använda oljan måste renas innan den kan återanvändas i processerna.

<sup>23</sup> Kyla som krävs för att maskiner inte ska överhettas.

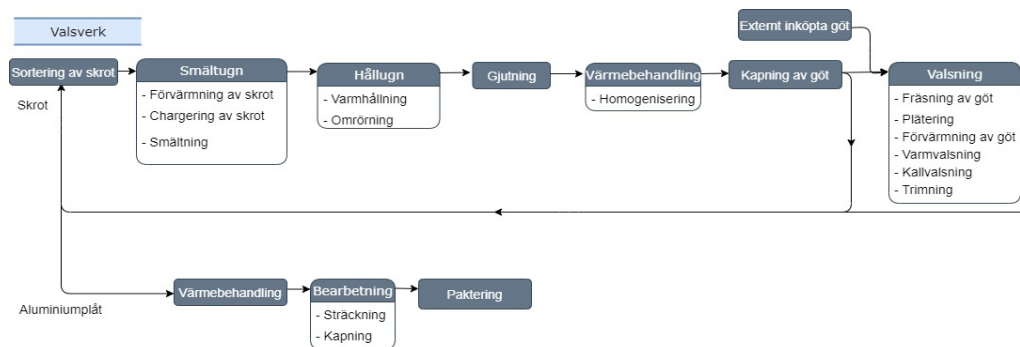
<sup>24</sup> Aluminiumindustrin tillhör SNI 24.4 medan aluminiumgjuterier tillhör SNI 24.5. Författarna anser dock att aluminiumgjuteriernas verksamhet är så sammankopplade med aluminiumindustrin att de bör inkluderas i aluminiumindustrins slutenergikategorisering.

I drosspressen, pressas aluminium ur den slagg som avlägsnas från hållugnen. I spånpressen, pressas aluminiumspånen som uppstår då göten sågas upp i bitar.



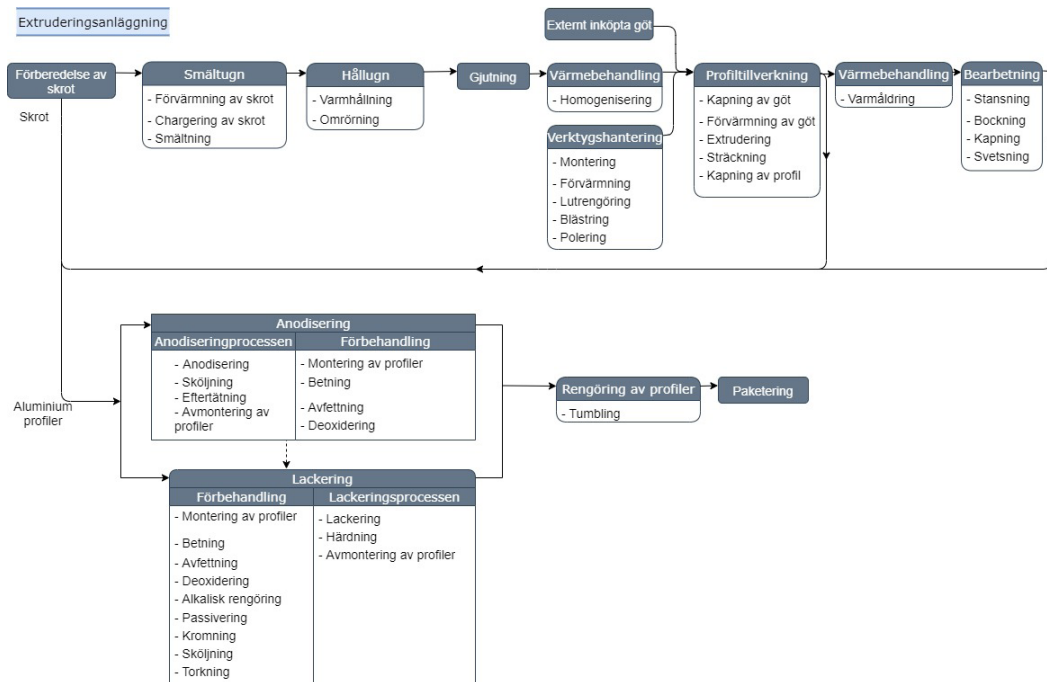
Figur 17: Utvecklad kategorisering av produktionsprocesser relaterade till primärproduktionen av aluminium (Haraldsson et al., 2021).

Figur 18 presenterar den framtagna kategoriseringen av produktionsprocesser relaterade till valsning inom aluminiumindustrin. Valsverket tillverkar egna göt genom att smälta aluminiumskrot och sedan låta smältan genomgå en gjutningsprocess likt den som beskrevs i föregående stycke. Utöver de egentillverkade göten köps även göt från andra aktörer. Efter gjutningen värmebehandlas göten genom homogenisering. Syftet med värmebehandlingen är att uppnå önskade förändringar i mikrostruktur och mekaniska egenskaper. Värmebehandlingen sker i en värmebehandlingsugn. Efter att aluminiumet valsats trimmas ojämna kanter bort innan den värmebehandlas, bearbetas genom sträckning och kapning och till sist paketeras.



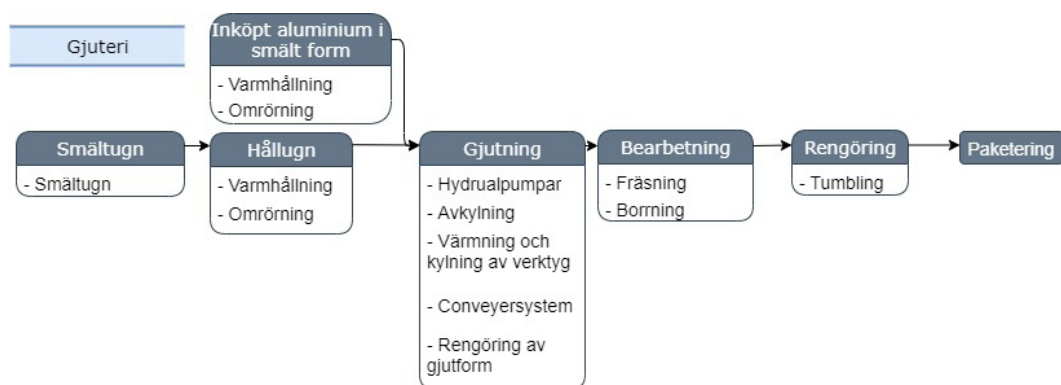
Figur 18: Utvecklad kategorisering av produktionsprocesser relaterade till valsning inom aluminiumindustrin (Haraldsson et al., 2021).

Figur 19 presenterar den framtagna kategoriseringen av produktionsprocesser relaterade till extrudering av aluminiumprofiler. Likt valsverket använder sig extruderingsanläggningarna av en blandning mellan egentillverkade och externt inköpta göt. Inför extruderingen kapas göten till rätt längd och förvärms. Efter extruderingen kyls aluminiumprofilerna med luft eller vatten beroende på legeringen i metallen. Sedan värmebehandlas profilerna och bearbetas genom till exempel kapning eller svetsning. De verktyg som används under extruderingen behöver förberedas genom förvärmning och montering. Efter användning rengörs, blåstras och poleras verktygen. Profilerna kan sedan antingen anodiseras eller lackeras. Emellertid kan lackerade profiler ibland anodiseras före lackering, vilket indikeras av den streckade pilen från anodisering till lackering i figuren. Det finns flera olika förbehandlingsprocesser som kan användas före lackering. Vilka förbehandlingsprocesser som väljs beror på vad kunden efterfrågar. Inför anodiseringen betas profilerna för att metallens porer ska öppnas. Detta leder till att profilernas yta oxiderar snabbare. Anodiseringen är en exoterm process som behöver kylas för att profilerna ska uppnå bra kvalitet. Efter anodiseringen är metallen gropig. För att täta dessa gropar genomgår metallen eftertätning där profilen sänks ner i varmt vatten.



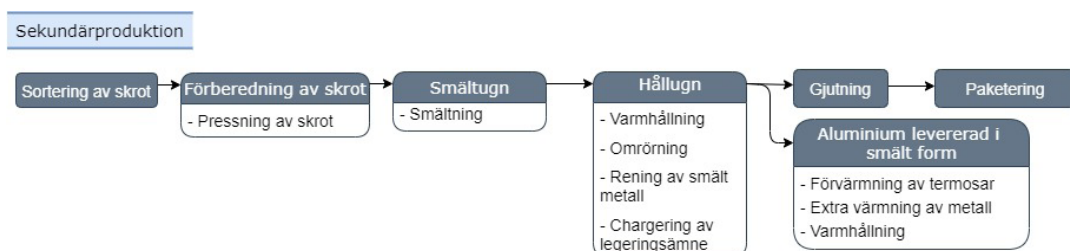
Figur 19: Utvecklad kategorisering av produktionsprocesser relaterade till extrudering av aluminiumprofiler (Haraldsson et al., 2021).

Figur 20 presenterar den utvecklade kategoriseringen av produktionsprocesser relaterade till aluminiumgjuterier. Det finns två olika former av gjutning, formgjutning och pressgjutning. Carbonstruct har valt att fokusera på pressgjutning då cirka 80 % av de gjutna produkterna i Sverige kommer från denna typ av gjutning. Gjuterierna smälter göt i smältugnar samtidigt som aluminium i smält form köps in från externa leverantörer. Det inköpta smälta aluminiumet levereras i termosar som värms med gasol. Att slippa smälta aluminium i smältugnar leder till stora energibesparingar för gjuterierna. Hydraulmotorerna som flyttar formborden står för en stor del av energianvändningen i gjutningsprocessen hos pressgjuterier. Pressgjutaren där den gjutna produkten tillverkas kyls med kylkompressorer. Efter gjutprocessen bearbetas och rengörs de gjutna produkterna innan de paketeras.



Figur 20: Utvecklad kategorisering av produktionsprocesser relaterade till aluminiumgjuterier (Haraldsson et al., 2021).

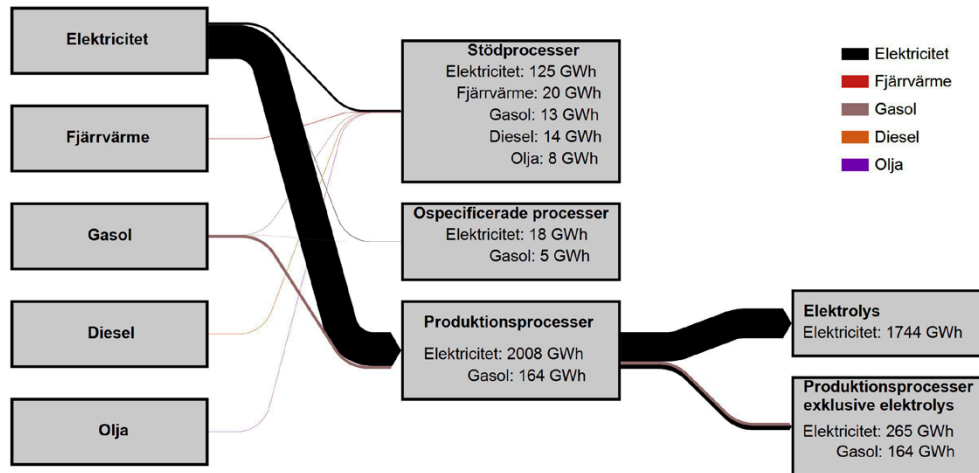
I figur 21 presenteras den framtagna kategoriseringen av produktionsprocesser relaterade till sekundärproduktion av aluminium. Sekundärproduktionen inleds med att skrot sorteras efter legering. Innan det sorterade skrotet smälts pressas det samman med aluminiumspån för att minska ytan och därmed minska oxideringen i smältningen. I hållugnen chargerats (tillsätts) legeringsämnen samt renas den smälta metallen genom att klor och kväve blåses in. Det smälta aluminiumet gjuts sedan till tackor eller lastas i termosar som levereras till andra företag inom aluminiumindustrin.



Figur 21: Utvecklad kategorisering av produktionsprocesser relaterade till sekundärproduktionen av aluminium (Haraldsson et al., 2021).

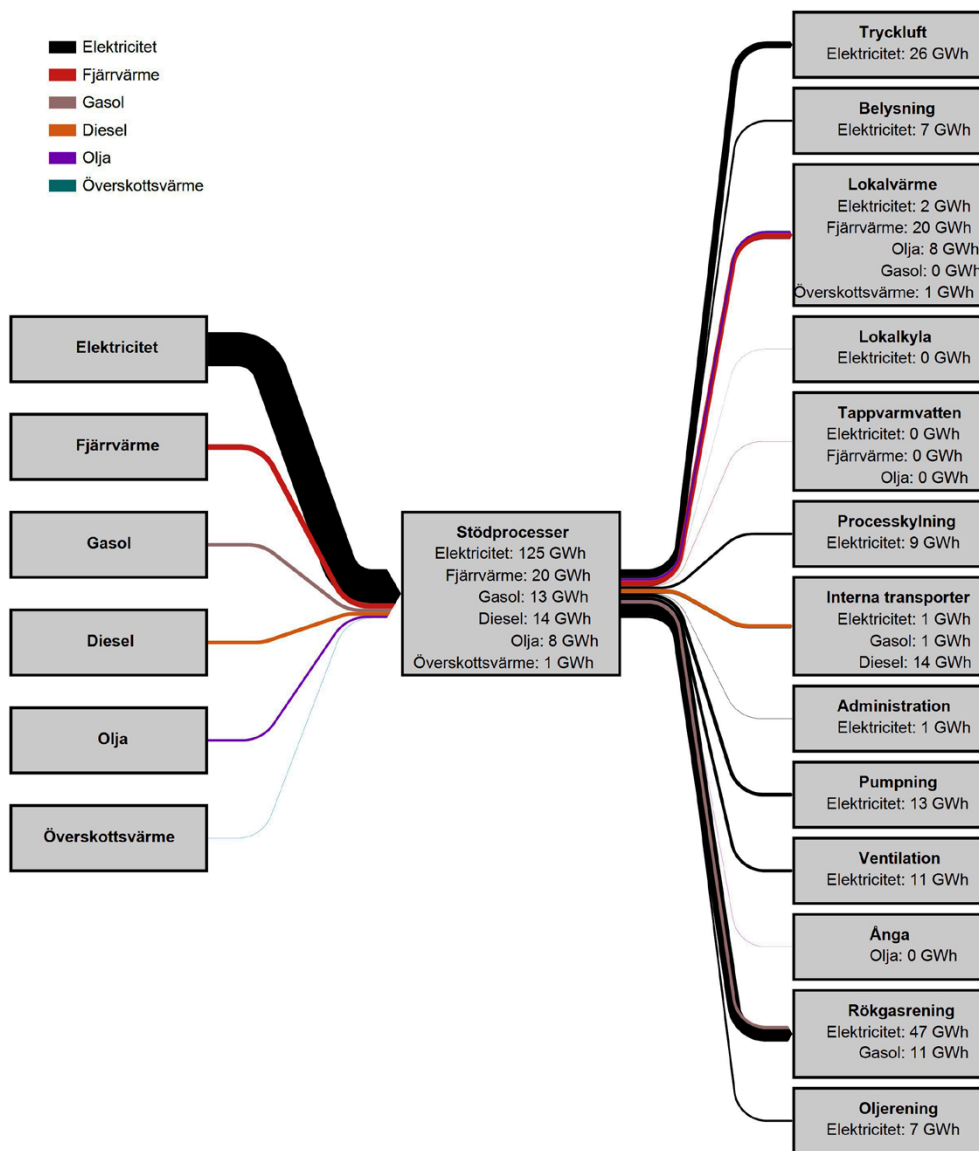


Den uppskattade slutenergianvändningen på processnivå för hela den svenska aluminiumindustrin och två aluminiumgjuterier åskådliggörs i Figur 22. Elektrolysprozesserna inom primärproduktionen står för cirka 73 % av den totala energianvändningen och 81 % av elanvändningen inom den svenska aluminiumindustrin och två aluminiumgjuterier.



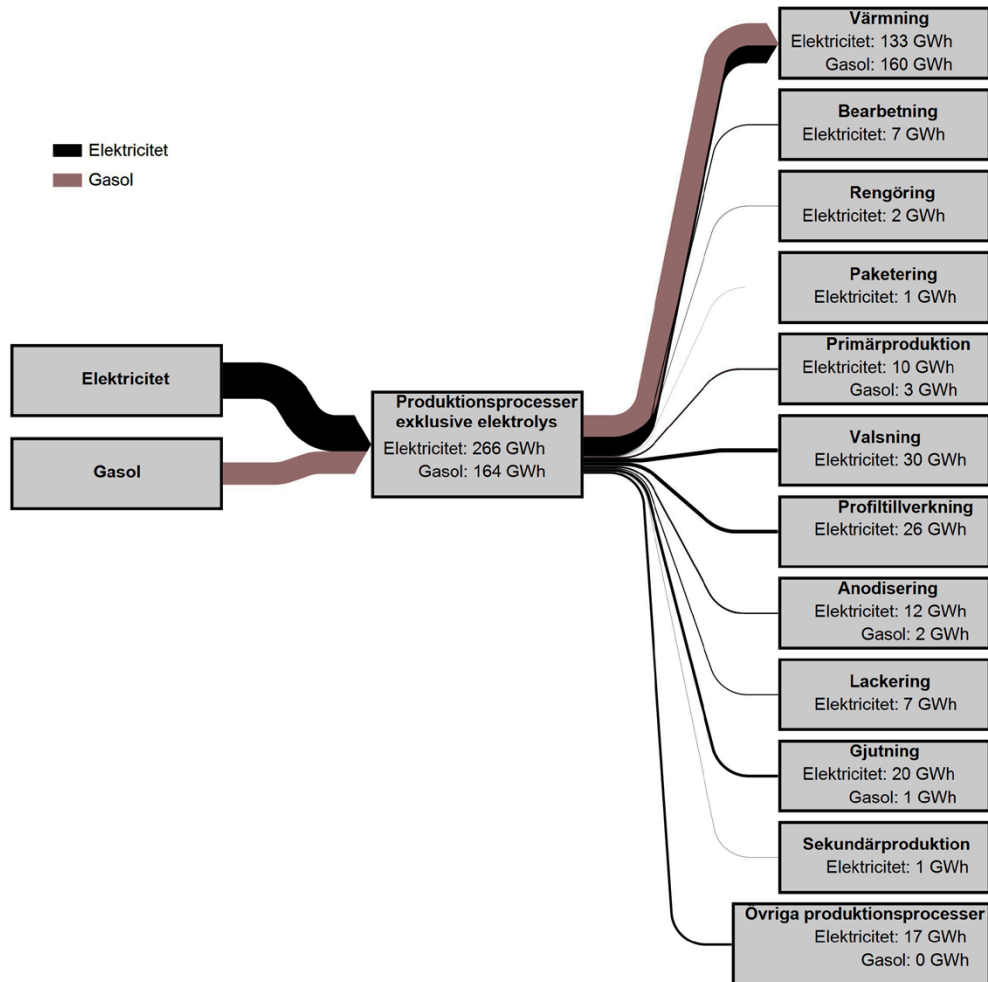
Figur 22: Estimerad slutlig energianvändning för aluminiumindustrin och två aluminiumgjuterier (Haraldsson et al., 2021).

Figur 23 visar energianvändningen hos stödprocesserna inom aluminiumindustrin och två aluminiumgjuterier. Lokalvärme, tryckluft och rökgasrening är de processer som står för den största energianvändningen bland stödprocesserna. För fjärrvärmeanvändningen går 100 % till lokalvärme.

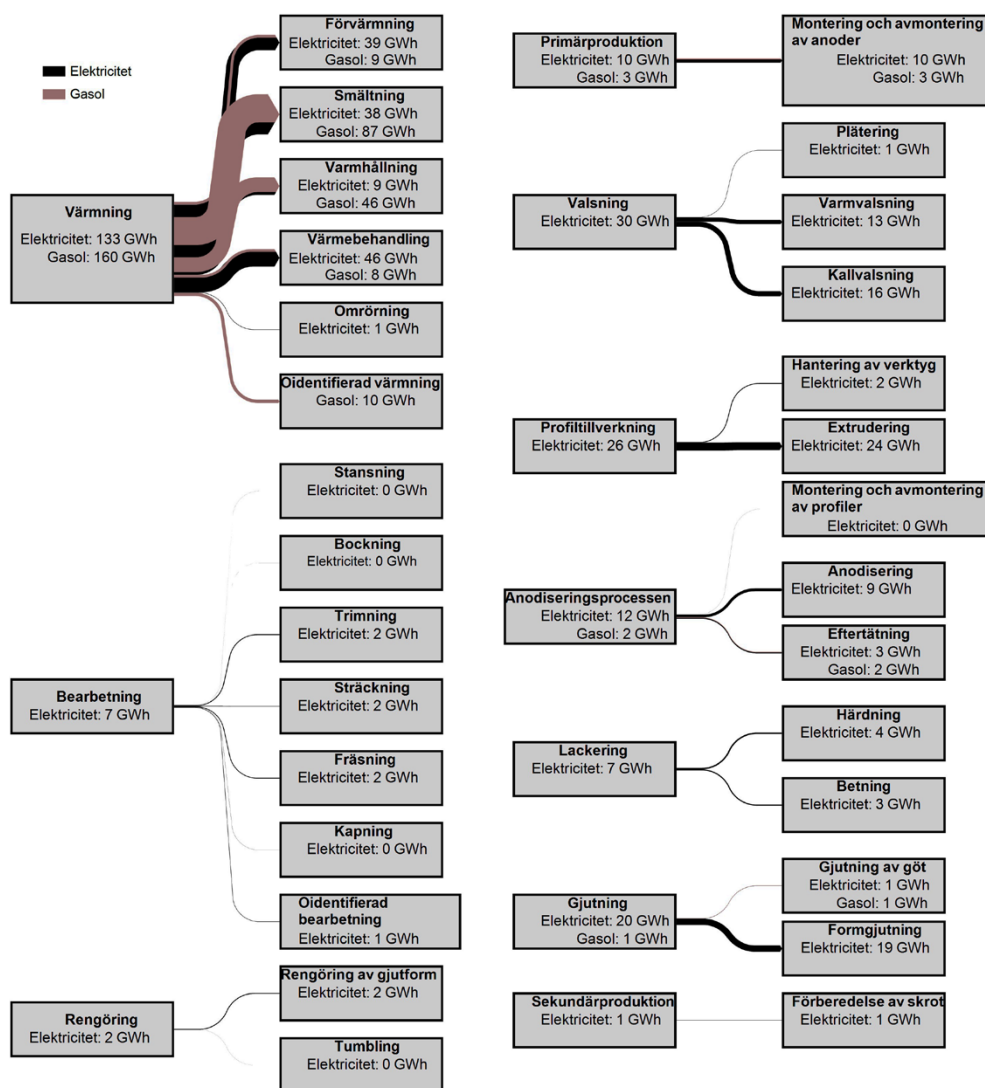


Figur 23: Estimerad slutlig energianvändning för varje stödprocess enligt den framtagna kategoriseringen i aluminiumindustrin och två aluminiumgjuterier. Processer med en energianvändning under 500 MWh per år redovisas med en energianvändning på 0 GWh per år. Dessa processer är lokalvärme gasol: 320 MWh per år, lokalkyla el: 170 MWh per år, tappvarmvatten el: 90 MWh per år, tappvarmvatten fjärrvärme: 410 MWh per år, tappvarmvatten olja: 10 MWh per år, ånga olja: 410 MWh per år (Haraldsson et al., 2021).

Figur 24 visar energianvändningen för produktionsprocesserna på en enhetsprocessnivå, exklusive elektrolysen. Figur 25 visar energianvändningen på enhetsoperationsnivå. Elektrolysisprocessen från primärproduktionen av aluminium har exkluderats från dessa figurer på grund av att dess energianvändning är så stor i förhållande till de andra processerna. Processer relaterade till värmning står för cirka 78 % av fossilbränsleanvändningen, samt 6 % av den totala elanvändningen. Dessa processer är förvärmning, smältning, varmhållning och värmebehandling.



Figur 24: Estimerad slutlig energianvändning för produktionsprocesserna på enhetsprocessnivå i aluminiumindustrin och två aluminiumgjuterier. Figuren exkluderar energianvändningen för elektrolysen. Användningen av gasol bland övriga produktionsprocesser är 20 MWh per år, vilket gör att den redovisas som 0 GWh per år i figuren (Haraldsson et al., 2021).

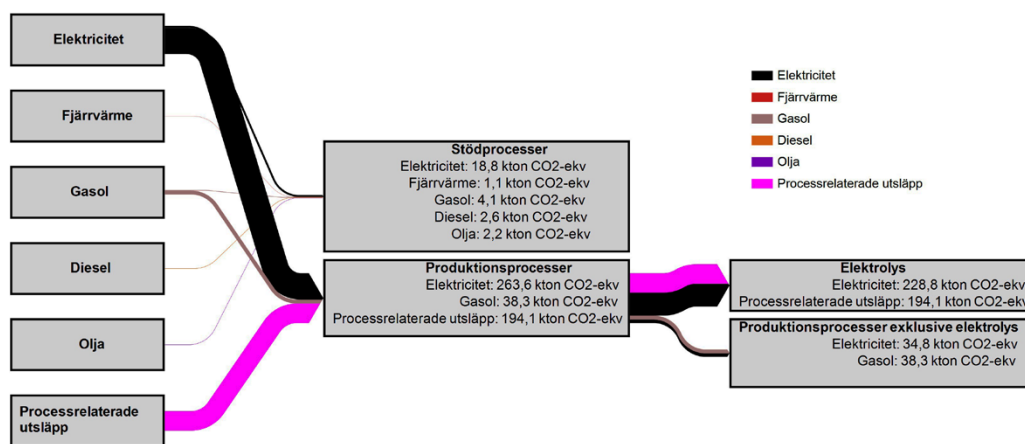


Figur 25: Estimerad slutlig energianvändning för varje enhetsoperation enligt den framtagna kategoriseringen för aluminiumindustrin och två aluminiumgjutier. Processer med en energianvändning under 500 MWh per år redovisas med en energianvändning på 0 GWh per år. Dessa processer är stansning el: 60 MWh per år, bockning el: 30 MWh per år, kapning el: 240 MWh per år, tumbling el: 80 MWh per år, montering och avmontering av profiler el: 90 MWh per år (Haraldsson et al., 2021).

Det finns 38 aluminiumgjutier i Sverige. Endast två av dessa inkluderades i denna studie. Den totala energianvändningen och växthusgasutsläppen hade förmodligen varit annorlunda om flera gjutier hade inkluderats. De processer som hade påverkats mest om flera gjutier hade inkluderats är gjutning, värmning och vidarebearbetning. Anledningen är att dessa tre processer har den största energianvändningen hos aluminiumgjutier.

Data från SCB indikerar att företag under SNI-koden 24.53 (Gjutning av lättmetall) har en total energianvändning på 132 GWh/år. Den totala energianvändningen hos de två gjuterierna som inkluderades var 70 GWh/år. Med stor sannolikhet arbetar flera av företagen som går under SNI 24.53 med

andra lättmetaller än aluminium, vilket gör att det är svårt att avgöra hur stor del av företagens produktionsvolym som utgörs av aluminiumprodukter. Utöver energianvändningen gjordes även en uppskattning för växthusgasutsläppen för aluminiumindustrin och två aluminiumgjutier uppdelat på energibärare och på processnivå (Figur 26). Uppskattningen tar i beaktning både egengenererade utsläpp samt utsläpp som härrör från köpt energi. De egengenererade utsläppen kategoriseras som processrelaterade utsläpp. De processrelaterade utsläpp som identifierats kommer uteslutande från primärproduktionen av aluminium. Utsläppen uppstår på grund av att anoderna som används under elektrolysen är gjorda av fossilt kol. Vid elektrolysen förbrukas dessa anoder och bildar perfluorklorid (PFC) och koldioxid.

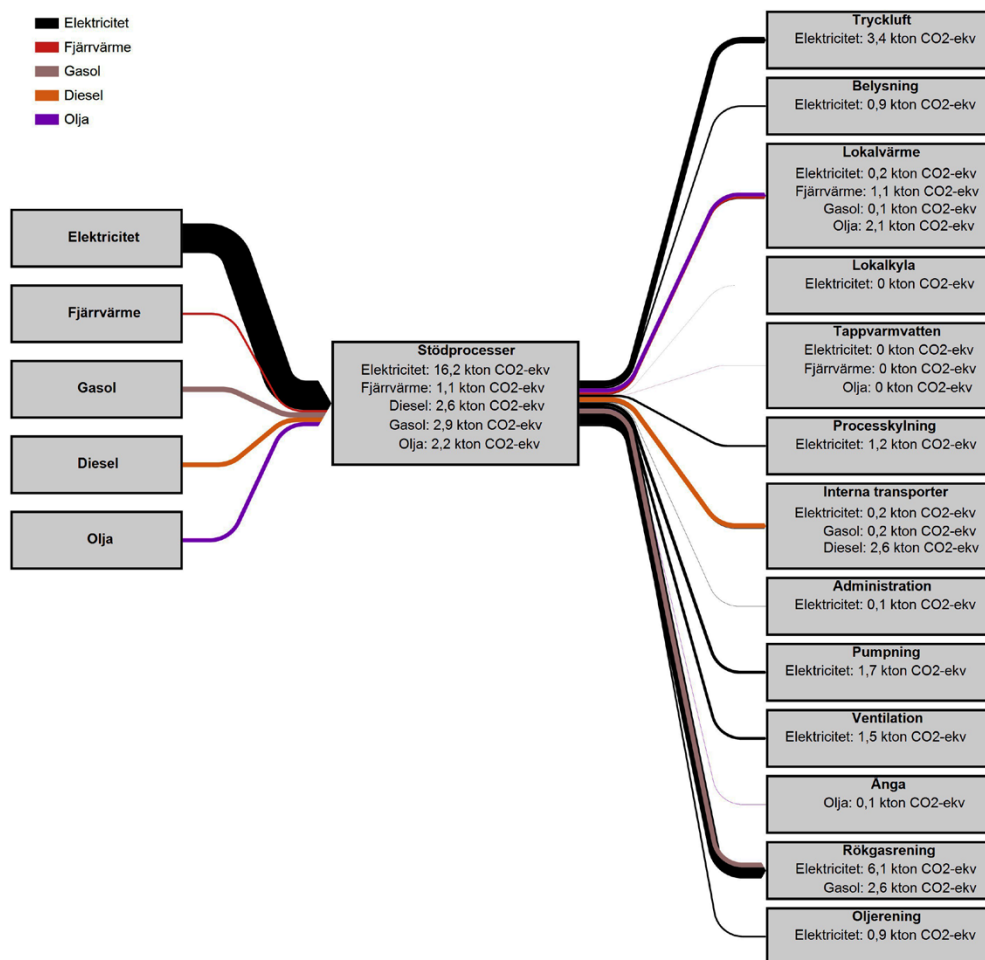


Figur 26: Växthusgasutsläpp uppdelat på stöd- och produktionsprocesser för aluminiumindustrin och två aluminiumgjutier (Haraldsson et al., 2021).

Noterbart är den stora mängden processrelaterade växthusgasutsläpp från elektrolysisprocessen i primärproduktionen av aluminium. Värdena för de processrelaterade utsläppen hämtades från det svenska utsläppsregistret (Naturvårdsverket, 2020b). Värdena i utsläppsregistret har beräknats enligt EU-kommissionens förordning nr 601/2012, och innehåller både processrelaterade utsläpp samt utsläpp relaterade till förbränning av fossila bränslen inom primärproduktionsföretagets anläggning (Europeiska Kommissionen, 2012). För att få fram ett isolerat värde som endast inkluderar utsläppen relaterat till elektrolysen, subtraherades utsläppen kopplade till förbränningen av fossila bränslen (uppskattade från den primära aluminiumproducentens energikartläggningsrapport) från siffrorna som hämtades från utsläppsregistret.

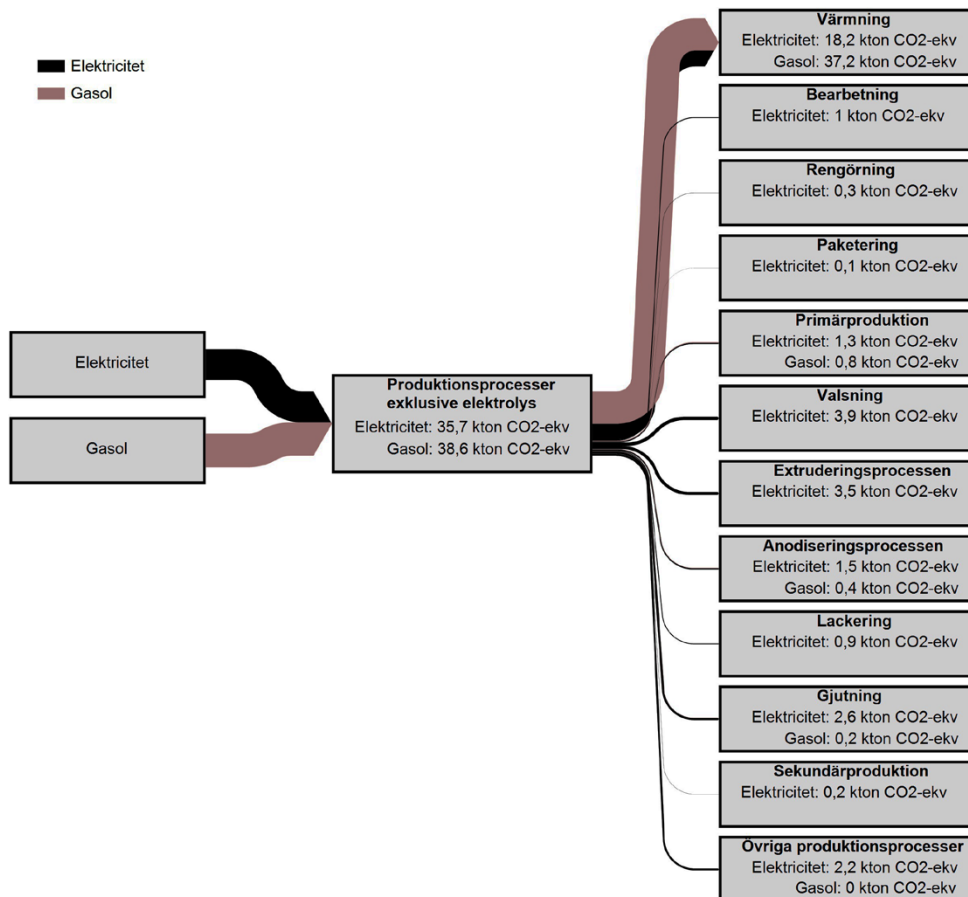
På grund av den stora mängd elektricitet och gasol som används i primärproduktionen av aluminium samt de stora processrelaterade utsläppen från anoderna i elektrolysen blir växthusgasutsläppen för primärproduktionen signifikant större än för de andra processer inom aluminiumindustrin. Produktionsprocesserna inom primärproduktionen för aluminium står för cirka 423 kton CO<sub>2</sub>-ekv, medan produktionsprocesserna från övriga delar av aluminiumindustrin tillsammans står för cirka 73 kton CO<sub>2</sub>-ekv.

Växthusgasutsläppen för stödprocesserna visas i Figur 27. Ett av de studerade företagen använder cirka 1 GWh överskottsvärme från en av sina stödprocesser som inte är med i figuren.



Figur 27: Växthusgasutsläpp för varje enskild stödprocess för aluminiumindustrin och två aluminiumgiuterier. Stödprocesser med växthusgasutsläpp mindre än 100 ton per år redovisas som 0 kton i figuren. Dessa processer är lokalkyla el: 20 ton CO<sub>2</sub>-ekv per år, tapparmvatten el: 10 ton CO<sub>2</sub>-ekv per år, tapparmvatten fjärrvärme: 20 ton CO<sub>2</sub>-ekv per år, tapparmvatten olja: 10 ton CO<sub>2</sub>-ekv per år (Haraldsson et al., 2021).

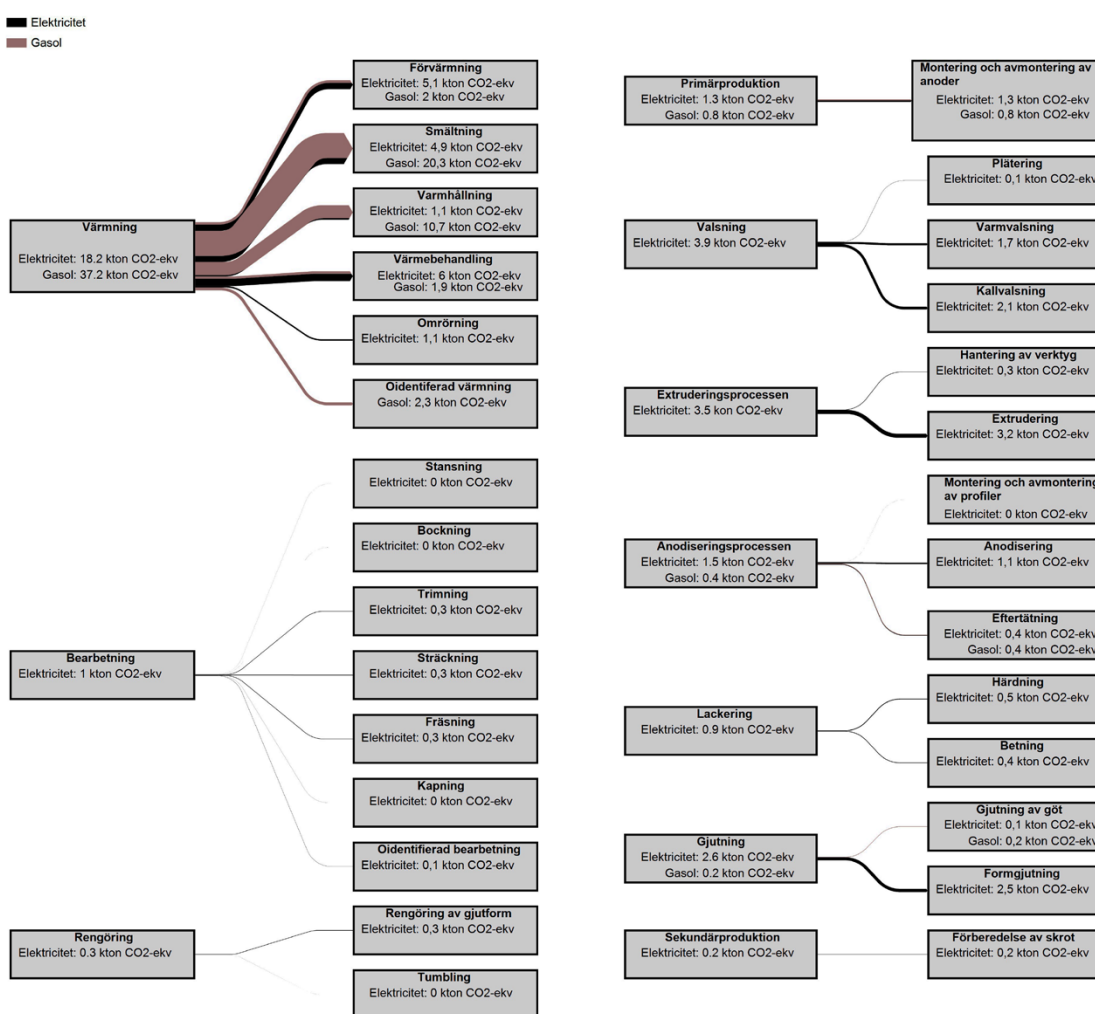
Figur 28 visar växthusgasutsläppen för produktionsprocesserna på en övergripande enhetsprocessnivå, exklusive elektrolysen. Figur 29 visar växthusgasutsläppen på en enhetsoperationsnivå.



Figur 28: Växthusgasutsläpp för produktionsprocesserna på enhetsprocessnivå i aluminiumindustrin och två aluminiumgjuterier. Gasolanvändningen för övriga produktionsprocesser är 10 ton CO<sub>2-ekv</sub> per år och redovisas därför som 0 kton CO<sub>2-ekv</sub> i figuren (Haraldsson et al., 2021).



Posten ”Övriga produktionsprocesser” utgörs av värden som definierats som övriga produktionsprocesser i företagens energikartläggningsrapporter, processer där det varit oklart hur energin ska allokeras samt processer som ansågs vara specifika för enskilda företag, det vill säga processer som med stor sannolikhet inte existerar i andra företag med liknande produktion. Posterna oidentifierad värmning och oidentifierad bearbetning utgörs av energianvändning som går att koppla till enhetsprocesserna värmning och bearbetning men där det inte går att avgöra i vilken enhetsoperation energin används. Då elektrolysen exkluderas genererar produktionsprocesserna från aluminiumindustrin och två aluminiumgjutier 73 kton CO<sub>2</sub>-ekv. Av detta står processer relaterade till värmning för 56 kton CO<sub>2</sub>-ekv (76 %).



Figur 29: Växthusgasutsläpp för varje enhetsoperation i aluminiumindustrin och två aluminiumgjutier. Stödprocesser med växthusgasutsläpp mindre än 100 ton per år redovisas som 0 kton i figuren. Dessa processer är stansning el: 10 ton CO<sub>2</sub>-ekv per år, bockning el: 10 ton CO<sub>2</sub>-ekv per år, kapning el: 30 ton CO<sub>2</sub>-ekv per år, tumbling el: 10 ton CO<sub>2</sub>-ekv per år, montering och avmontering av profiler el: 10 ton CO<sub>2</sub>-ekv per år (Haraldsson et al., 2021).



### 5.7.2 Energinyckeltal

Det vanligaste förekommande energinyckeltalet bland de studerade företagen var MWh/ton produkt. Detta nyckeltal användes på olika nivåer inom företagen. Vissa företag följde endast den totala energianvändningen, medan andra försökte använda detta nyckeltal för att följa energianvändningen på process-, maskin- eller byggnadsnivå. En av respondenterna menade att deras företag hade potentialen att följa upp energianvändningen på avdelningsnivå, men att de ännu inte hade kommit tillräckligt långt i sitt energiarbete för att kunna genomföra detta i praktiken. Samma respondent menade även att det är nödvändigt att först följa upp energianvändningen på avdelningsnivå innan det är möjligt att följa upp den på process eller komponentnivå.

De flesta av företagen följer upp nyckeltalet MWh/ton produkt månadsvis. Ett företag övervakar dock energianvändningen (i MWh/ton produkt) för en av sina processer dagligen, eftersom detta ger information om driftsförhållandena för processen. Ytterligare ett av de studerade företagen nämnde i sina intervju svar att de också använder energianvändningen (i MWh/ton produkt) som en indikator på hur bra driftförhållandena och funktionen är på vissa av processerna.

Tabell 24 visar de nyckeltal för energianvändning och växthusgasutsläpp som lyftes fram av respondenterna inom den svenska aluminiumindustrin samt ett aluminiumgjuteri. En svarande menade att det är viktigt att hitta ett tydligt sätt att visualisera energianvändningen samt att hitta nyckeltal som är lätta för anställda att förstå. Vidare, påstod samma svarande att nyckeltalet kWh/SEK omsättning inte är ett tillräckligt skarpt nyckeltal. En annan svarande menade att energinyckeltal alltid bör innehålla volymen av producerade produkter eftersom detta har en stor inverkan på energianvändningen. Ett av de studerade företagen förklarade att utnyttjandegraden för vissa av deras maskiner är viktig när det gäller att minska energianvändningen som krävs för att producera ett ton produkt. Detta beror på att dessa maskiner har en stor baslast, vilket innebär att en högre produktionsvolym (genom en högre utnyttjandegrad) skulle resultera i ett förbättrat nyckeltalsvärde.

**Tabell 24: De nyckeltal för energianvändning och växthusgasutsläpp som lyftes fram av de representanter som intervjuades inom den svenska aluminiumindustrin och ett aluminiumgjuteri (Haraldsson et al., 2021).**

| Process                                 | Energirelaterat nyckeltal                                | Förklarande indikatorer  |
|---|--|--|
| Alla                                    | MWh/ton produkt  | Mängd tryckluft [Nm <sup>3</sup> ]<br>Mängd tryckluftsläckage [Nm <sup>3</sup> ]<br>Materialutbyte [%]<br>Utnyttjandegrad [%]<br>Strömutbyte <sup>25</sup> [%]<br>Typ av legering <sup>26</sup>  |
| Anodisering och lackering <sup>27</sup> | MWh/m <sup>2</sup> behandlad metall                      |  |
| Alla <sup>28</sup>                      | kWh/SEK omsättning                                       |  |
| Alla <sup>28</sup>                      | MWh/arbetstid  |  |
| Alla <sup>28</sup>                      | Ton CO <sub>2</sub> -ekv/ton product                     | Energianvändning<br>Typ av energibärare<br>Antal anodeffekter per elektrolyscell och dag <sup>29</sup><br>Genomsnittlig längd av anodeffekt [minuter per anodeffekt] <sup>29</sup><br>Förbrukning av kolanoder [kg anod/ton aluminium] |
| Anodisering och lackering <sup>30</sup> | Ton CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> behandlad metall |  |
| Alla <sup>28</sup>                      | Ton CO <sub>2</sub> -ekv/SEK omsättning                  |  |

Ett av de studerade företagen använde nyckeltalet ton CO<sub>2</sub>-ekv/ton produkt på tre olika nivåer: (1) endast processrelaterade utsläpp, (2) endast energirelaterade utsläpp, samt (3) både process- och energirelaterade utsläpp. Ett annat av de studerade företagen studerade sina växthusgasutsläpp både på produkt- och processnivå. Ett av de studerade företagen hade inget nyckeltal alls för växthusgasutsläpp. De beräknade dock sina totala årliga växthusgasutsläpp. Företaget har planerat att börja beräkna de växthusgasutsläpp som uppstår utanför anläggningen i förhållande till sin verksamhet och kommer att sätta upp specifika mål för dessa växthusgasutsläpp.

Svaren från de intervjuade representanterna indikerade att företagen inom aluminiumindustrin applicerar nyckeltal för energi och växthusgasutsläpp på

<sup>25</sup> Denna förklarande indikator är endast relevant för primärproduktionen av aluminium. En viss mängd aluminium produceras för varje ampere som tillförs elektrolyscellen. En del av detta förloras på grund av reaktioner som sker under elektrolysen. Strömutbytet är ett mått på hur mycket producerat aluminium som går att erhålla ur en elektrolyscell.

<sup>26</sup> Vilken typ av legering som används har inverkan på hur lätt det är att extrudera metallen till olika profiler, vilket även påverkar energianvändningen relaterad till extruderingsprocessen.

<sup>27</sup> Förutom MWh/ton produkt.

<sup>28</sup> Detta nyckeltal användes endast av ett företag i en viss specifik del av deras produktion. Nyckeltalet kan dock vara applicerbart på flera företag och i flera olika processer.

<sup>29</sup> Då koncentrationen av aluminiumoxid blir låg i elektrolyscellen, uppstår den så kallade anodeffekten. Anodeffekten leder till utsläpp av PFC gaserna CF<sub>4</sub> och C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>. Antalet och längden på anodeffekterna har därför inverkan på hur stora de processrelaterade växthusgasutsläppen blir.

<sup>30</sup> Förutom CO<sub>2</sub>-ekv/ton produkt.

olika nivåer. Det mest fördelaktiga vore om företagen allokerade sin energi-användning och växthusgasutsläpp på process- eller maskinnivå då detta skulle underlätta benchmarking mellan företag, samt identifikation av potentiella åtgärder för att öka energieffektiviteten samt minska växthusgasutsläppen i enskilda företag. Ett annat fördelaktigt angreppssätt, som redan appliceras av vissa av företagen, är att använda nyckeltal på produktnivå. Parametrar utanför företagets verksamheter såsom material från underleverantörer samt krav från kunder kan påverka energianvändningen och växthusgasutsläppen från produktionen av en produkt. Genom att formulera nyckeltal på produktnivå samt identifiera parametrar som påverkar nyckeltalen underlättas processen att identifiera åtgärder som kan öka energieffektiviteten och minska växthusgasutsläppen inom ett företag. Åtgärderna kan både vara av sådan karaktär att de kan utföra dem på egen hand eller av sådan typ att de utförs tillsammans med kunder och underleverantörer.

## 5.8 Kemiindustrin

Kemiindustrin utgörs av anläggningar tillhörande näringsgrensindelningarna SNI20 (Tillverkning av kemikalier och kemiska produkter), SNI21 (Tillverkning av farmaceutiska basprodukter) samt SNI22 (Tillverkning av gummi- och plastvaror). I Carbonstruct har fokus legat på anläggningar tillhörande SNI20, då denna näringsgren står för cirka 80 % av branschens totala energianvändning (SCB, 2015). De flesta baskemikalier som tillverkas i Sverige har endast en tillverkare. Varje enskild baskemikalie har en specifik kedja av processer. På grund av den höga graden av heterogenitet i den svenska kemiindustrin har det varit svårt att ta fram en kategorisering av slutenergianvändande processer som är applicerbar för ett större antal anläggningar. Att ta fram anläggnings- eller produktspecifika processkategoriseringar skulle leda till ett stort antal kategoriseringar.

Ett tjugotal företag har tillfrågats ifall de vill delta i studien genom att dela energidata eller ställa upp på intervju. Endast två av de tillfrågade företagen var positiva till att delta i studien. De andra företagen avböjde medverkan med motiveringen att de antingen inte ville dela med sig av energidata eller att de inte hade tid på grund av Covid-19 pandemin. Flera företag gav ingen återkoppling alls.

Under intervjuerna fick företagen beskriva följande:

- Företagets produktion
- Företagets energieffektiviseringsarbete
- Nyckeltal för energi och växthusgasutsläpp
- Huvudsakliga energibärare

Ett av de intervjuade företagen är ett stort företag. Företaget använder två energinyckeltal, MWh per ton produkt samt MWh per intjänad monetär enhet. Energianvändningen mäts på anläggningsnivå och följs upp varje månad.

Vidare har anläggningarnas operatörer möjlighet att följa energianvändningen online i styrsystemet. På grund av produktionens karaktär medför driftstopp stora ekonomiska förluster. Detta gör att företaget endast kan implementera välbeprövade energieffektiviseringsåtgärder för produktionsprocesserna. Företaget arbetar aktivt med att konvertera de processer som drivs med fossila bränslen till att i stället drivas av el eller biobränslen. Dock är det svårt att hitta lösningar som går att använda i stor skala. Värmning av ugnar och pannor står för den största användningen av bränsle. Kompressorer och extrudermotorer står för den största användningen av el. Det andra intervjuade företaget är ett medelstort företag. Detta företag använder energinyckeltalet kWh/m<sup>2</sup>. Detta följs upp månadsvis. Den största delen av företagets energianvändning går till produktion av processånga. Respondenterna på företaget tycker att det hade varit intressant att jämföra sin energianvändning och växthusgasutsläpp med andra liknande anläggningar. Samtidigt medgav respondenterna att det finns få liknande anläggningar i Europa att jämföra sig med.

Företagsintervjuerna kompletterades med intervjuer av bransch-kunniga personer. Dessa personer är inte anställda på något kemiföretag. Dessa personer svarade på frågor relaterat till hur kemibranschen arbetar generellt kring energieffektivisering samt kring möjligheterna till att ta fram en kategorisering av slutenergianvändande processer. Samtliga av de bransch-kunniga som intervjuades ansåg att det är svårt att utveckla en sådan kategorisering. Kategoriseringarna skulle bli för anläggningsspecifika. En av de intervjuade har mångårig erfarenhet av arbete med certifiering av energiledningssystem inom kemibranschen. Denna respondent menar att kemibranschen generellt uppvisar stor mognadsgrad i sitt energiarbete, i synnerhet de stora kemiföretagen. Flera företag har flera år mellan driftstopp. Implementering av energieffektiviseringsåtgärder relaterade till produktionsprocesser sparas till dessa driftstopp. Nyckeltalet MWh per ton produkt är det mest använda energinyckeltalet. Ett annat vanligt förekommande nyckeltal inom branschen är drifttillgänglighet av produktionsutrustning. Respondenten upplevde att Programmet för energieffektivisering i energiintensiv industri (PFE) var ett lyft för energiprestandan in kemibranschen. De flesta stora kemiföretagen deltog. Flera företag gjorde en genomgång av sina pumpar under PFE. Vidare tycker respondenten att det finns få energieffektiviseringsåtgärder av karaktären "långt hängande frukt" hos de stora kemiföretagen i dagsläget. Kemibranschen försöker fasa ut andelen fossila bränslen och använda sig av mer biobränslen i högre utsträckning. Det gäller både fossila bränslen som används som bränsle och råvara i produktionen. Försvårande faktorer i detta arbete är att det är stora mängder fossila bränslen som behöver ersättas och att det i vissa processer är svårt att komma upp i tillräckligt höga temperaturer med biobränslen.

## 6 Implikationer för styrmedel

Forskningsprojektet Carbonstruct har haft som mål att bidra till ökad kunskap rörande slutenergianvändning och nedströms växthusgasutsläpp i svensk industri genom en förbättrad detaljnivå av energianvändningsdata, växthusgasutsläpp och förbättrade energirelaterade nyckeltal. I dagsläget sker den återkommande sammanställningen av energianvändningsdata nationellt på en aggregerad nivå, det vill säga avseende tillförd energi för varje enskild bransch via SCB. I Carbonstruct har harmoniserade kategoriseringar av energianvändande processer (taxonomier) föreslagits för sju industribranscher. De föreslagna kategoriseringarna har för varje bransch prövats mot reella energianvändningsdata och genom en bottom-up-metod skalats upp till nationell nivå. På så vis har den nationella energianvändningen för enskilda industriella processer erhållits.

Resultaten från Carbonstruct innebär flera möjligheter till förbättring av befintliga styrmedel inom energisystemområdet samt implikationer för design av framtida styrmedel för ökad energieffektivitet i svensk industri.

### 6.1 Implikationer för befintliga styrmedel inom energisystemområdet

I detta kapitel förs en diskussion kring de styrmedel inom energisystemområdet som resultaten från Carbonstruct bedöms ha störst relevans för. Därför är inte alla styrmedel inom energisystemområdet inkluderade, men resultatet kan ha relevans för ytterligare styrmedel utöver de som diskuteras.

#### 6.1.1 Miljöbalken

I Miljöbalken återfinns principen om hushållning med energi. Det betyder till exempel att verksamhetsutövare ska ha kunskap om sin energianvändning och vad som kan göras för att effektivisera energianvändningen (Miljösamverkan Sverige, 2015). Vidare ställs i Miljöbalken krav på att bästa möjliga teknik (BAT) ska användas. Av Europeiska Kommissionen sammanställs för olika branscher vägledande dokument för användning av BAT, så kallade BAT-referensdokument (under tidigare IPCC benämnt ”BREF (Best REference documents)”). Dessa dokument är vägledande och stödjande i svenska myndigheters utövning av bland annat energitillsyn.

BAT-referensdokumenten har dock, vad gäller referensvärden och tekniker för energieffektivitet, visat sig ha begränsad nytta för dels tillsynsmyndigheter, dels verksamhetsutövare. Av svenska massa- och pappersindustrin bedöms energinyckeltalen från BAT-referensdokumentet ha litet värde för det egna arbetet med energiledning och energieffektivisering (Andersson and Thollander, 2019). Vidare poängteras i själva BAT-referensdokumentet för massa- och pappersindustrin att nyckeltalen för energieffektivitet behöver förbättras till nästa revision av dokumentet (European Commission, 2015).

Vidare saknas BAT-referensdokument för sågverk och företag som tillverkar produkter av trä, den fjärde största industribranschen i Sverige sett till energianvändning. Det finns en del information att hämta för sågverk och liknande företag i dels det generella BAT-referensdokumentet för energieffektivitet (European Commission, 2009), dels dokumentet för produktion av träbase-rade skivor (European Commission, 2016). Detta täcker dock inte alla produktionsprocesser inom trävaruindustrin.

För att tillsynsmyndigheter ska kunna utöva effektiv tillsynsverksamhet och för att säkerställa att verksamhetsaktörer praktiserar en god hushållning med energi behövs energirelaterade nyckeltal tas fram, eftersom det är det som möjliggör att avgöra hur företagen ligger till i förhållande till liknande företag.

I Carbonstruct har utgångspunkten varit att möjliggöra benchmarking på processnivå, det vill säga att jämföra energieffektiviteten för enskilda processer inom varje bransch. Denna form av benchmarking kan för industribranscher med differentierade produkter vara mer rättvisande än benchmarking på en mer aggregerad nivå (Worrell & Price, 2006). Om nyckeltal finns tillgängliga på processnivå finns bättre möjligheter att följa upp t.ex. kravet på att energihushållning följs. Vidare kan förslag på förbättringsområden lättare ges om det blir tydligare i vilka processer energieffektiviteten är dålig.

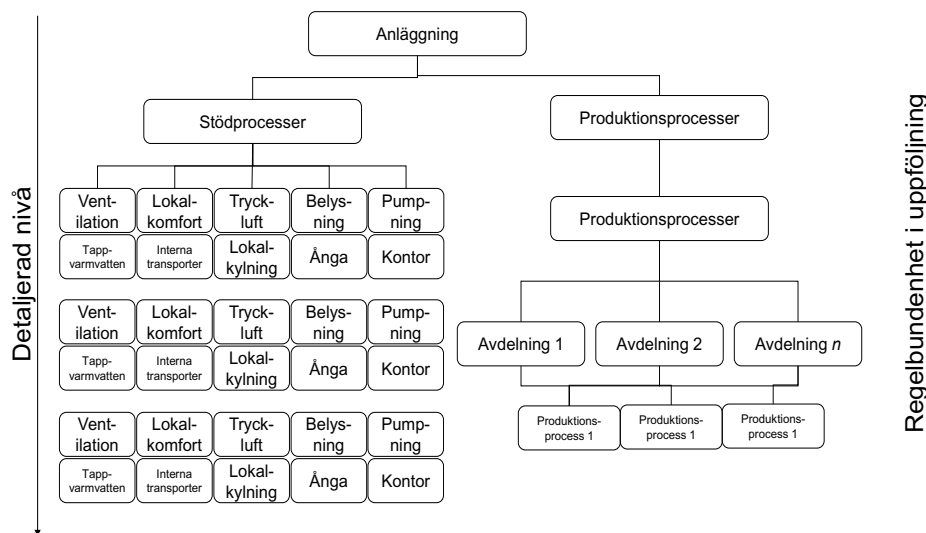
Resultat från Carbonstruct visar att en möjlig framtida utveckling av arbetet med miljötillsyn och miljöprövning utifrån miljöbalken kan vara att be företag med viss regelbundenhet, till exempel vid ny tillståndsprövning, rapportera in data för sitt företag utifrån den i Carbonstruct föreslagna uppdelningen av slutenergianvändning. En viktig sak i ett sådant förfarande är att säkerställa att data som kan vara av känslig konfidentiell natur för ett enskilt företag, bör hanteras med största varsamhet.

### **6.1.2 Lagen om energikartläggning för stora företag**

EU:s energieffektiviseringsdirektiv (2012/27/EU) ställer krav på medlemsstater att säkerställa att stora företag (icke-små och medelstora företag) genomför en oberoende energikartläggning av ackrediterade experter vart fjärde år. I Sverige infördes därför lagen om energikartläggning för stora företag (EKL) som syftar till att främja förbättrad energieffektivitet i stora företag.

I företagens inrapportering fördelas energianvändningen på de tre kategorierna *process*, *byggnad*, och *transporter*. I de studerade branscherna i Carbonstruct, där många företag inom exempelvis massa- och pappersindustrin, kemiindustrin samt järn- och stålindustrin lyder under EKL innebär det att stora energimängder allokeras i respektive kategori. Eftersom energianvändningen i inrapporteringen för ramen av EKL är på en så pass aggregerad nivå innebär det att det utifrån denna data är svårt att göra en ingående analys av energieffektiviteten inom svensk industri genom exempelvis benchmarking.

Resultat från Carbonstruct visar att många industriföretag redan idag fördelar sin energianvändning mer detaljerat, åtminstone inom de energiintensiva branscherna. Därför finns det möjlighet till en mer detaljerad nivå av inrapportering inom ramen för EKL. Ett perspektiv på uppföljning av energieffektivitet är att resultat från kartläggningar som inrapporteras med ett visst intervall, bör kunna göras på en mer detaljerad nivå än i dagsläget, förslagsvis på processnivå. Vad gäller krav på den kontinuerliga uppföljning av den egna energieffektiviteten som regleras genom miljöbalken (energitillsyn), kan krav på detaljeringsgrad av nyckeltal vara på en mindre detaljerad nivå. Vilken detaljerad nivå som är lämplig för inrapportering av energianvändningsdata respektive för kontinuerlig egen uppföljning av energieffektivitet kan skilja sig mellan branscher (Figur 30).



Figur 30: Modell för grad av detaljerad nivå för uppdelning av energianvändning och frekvensen av uppföljning av energinyckeltal (reviderad från Arfwidsson and Andersson, 2016).

Paramonova (2016) och Thollander m.fl. (2015) har tidigare förespråkade en harmoniserad taxonomi av industrins energianvändande processer för att möjliggöra att insamling av energidata sker enhetligt vilket skulle förbättra möjligheterna att jämföra energieffektivitet och förbättra styrmedelsutvärdering av energikartlägningsprogram. Andersson (2020) menar att värdet av att slutenergianvändningsdata är tillgängliga måste vägas mot insatsen som krävs för att erhålla dem, det vill säga, för mindre företag som inte har en större energianvändning i produktionsprocesser kan det vara tillräckligt med energianvändningsdata fördelat på kategorierna ”stödprocesser” och ”produktionsprocesser”. För energiintensiva företag, däremot, skulle önskvärt energianvändningen vara fördelad på enskilda produktionsprocesser för att kunna vara mer relevant i exempelvis jämförelser av energieffektivitet och utvärdering av styrmedel.

### 6.1.3 Energisteget

Energisteget var en utlysning för industriföretag att söka investeringsstöd för energieffektiviserande åtgärder med syfte att bidra till de nationella energi- och klimatmålen (SEA, 2018). Programmet pågick 2018-2020. Beviljandet av stöd baserades bland annat på "...åtgärder som vid varje prövningstillfälle ger högst energibesparing per stödkrona" (SEA, 2018).

Resultaten i Carbonstruct har stor potentiell nytta för Energisteget och liknande styrmedel. Eftersom harmoniserad nationell slutenergianvändning på processnivå inte finns kan ett program som Energisteget endast jämföra inskickade ansökningar om åtgärder mot varandra, men de kan inte sättas i relation till möjliga energieffektiviseringsmöjligheter i andra liknande tillverkningsprocesser eller i industrin som helhet. För att på ett adekvat sätt kunna nå Sveriges energi och klimatmål samt kunna utveckla och designa styrmedel med största möjliga kostnads, energi- och klimatnytta, behövs dels kunskap om vilka som är de största energianvändande processerna, och hur dess energianvändning förändras över tid, på både kort och lång sikt,, dels vilka processer som har störst energieffektiviseringspotential.

I studien av trävaruindustrin framkom det att stor energieffektiviseringspotential fanns inom processventilation<sup>31</sup>, en process som riskerar att förbises om kunskap saknas om dess potential och effektiviseringsåtgärder. Till exempel finns inte processventilation och BAT utförligt beskrivet i BAT-referensdokumenten. Efter tryckluft och belysning var processventilation den process hos de studerade trävaruindustriföretagen som hade störst besparingspotential för el (Johnsson m.fl., 2019).

Med en standardiserad uppdelning av energianvändning på processnivå – för produktionsprocesserna anpassad för varje industribransch – fås en större insikt om vilka energianvändande processer som har störst energianvändning i varje bransch. Om den informationen kompletteras med relevanta nyckeltal – också anpassade branschvis – finns möjlighet att erhålla bättre kunskap om var den största energieffektiviseringspotentialen återfinns. Detta kan ge följande nyttor för styrmedel likt Energisteget: (1) Myndigheten bakom utlysningen (i det här fallet Energimyndigheten) kan få en ännu bättre grund för beslut om vilka energieffektiviseringsåtgärder som framför allt bör beviljas stöd, både på en övergripande strategisk nivå och i enskilda ansökningar. (2) Industriföretagen själva får bättre kunskap om vilka av sina energianvändande processer som har störst energibesparingspotential om information i form av relevanta energinyckeltal och åtgärder för varje process finns. (3) Möjlighet till ex-ante-utvärderingar av vad stöd till energieffektivisering i enskilda processer leder till för energibesparingar nationellt samt kostnadseffektiviteten för dessa potentiella energieffektiviseringsåtgärder, vilket underlättar vid prioriteringen av fördelning av ekonomiskt stöd. Exempelvis kan jämförelser mellan vad stöd i effektivisering av virkestorkning i sågverk leder till för besparing jämföras med stöd i effektivisering av processventilation.

---

<sup>31</sup> Ofta som punktventilation för att transportera damm, sågspån och dyliskt.



### *Energikartläggningscheckar (EKC) och energikartläggningsstödet (EKS)*

Det svenska energikartläggningsstödet initierades år 2010 som ett resultat av EUs energitjänstedirekt. Programmet pågick under två programperioder, 2010 till år 2014 och år 2015 till år 2020. Initialt tilläts både små- och medelstora såväl som stora företag att delta men efter att lagen om energikartläggning (EKL) kom till, så tilläts bara små- och medelstora företag i programmet.

Ett antal vetenskapliga artiklar har studerat energikartläggningsstödet, till exempel ex-ante utvärdering av kartläggningsstödet, (Thollander & Dotzauer, 2010) och ex-post-utvärdering av stödet (Paramonova och Thollander, 2016).

I inrapporteringen av energikartläggningar från EKC och EKS användes enhetsprocessuppdelningen avseende stödprocesserna som Söderström (1996) initialt tog fram, det vill säga en mer detaljerad uppdelning av slutenergianvändningen än den som finns tillgänglig via dagens nationella datainsamling via SCB men på en mindre aggregerad nivå än vad som föreslås och arbetas fram i den här rapporten. Tack vare denna mer detaljerade uppdelning av slutenergianvändningsdata från företagen, kunde utvärderingarna genomföras på ett mer detaljerat sätt och en delmängd av resultaten från de i föreliggande rapport ingående branscherna, kunde göras väsentligt mer detaljerad tack vare denna mer högupplösta datan.

### *EENet Energieffektiviseringsnätverk*

År 2015 lanserades Sveriges första nationella energinätverksprogram för små- och medelstora företag. En ex-ante-utvärdering av EENet (Carlén m.fl. 2016) visade på att effekterna av programmet i form av effektiviserade kWh per insatt statlig krona kunde bibehållas men antalet deltagande företag kunde ökas, genom att kravet på deltagande sänktes från 2 GWh/år till 1 GWh/år i årlig energianvändning. Denna ex-ante-utvärdering möjliggjordes tack vare den mer högupplösta datan från energikartläggningsprogrammet.

## 6.2 Implikationer för design av framtida styrmedel inom energisystemområdet

Framtidens styrmedel för förbättrad energieffektivitet och minskad negativ klimatpåverkan innebär förändringar jämfört med nuvarande policymix där bland annat ökad digitalisering (mer om detta i nästa underrubrik) kommer in, ökad grad av anpassning mot specifika aktörer och processer, samt en större grad av samverkan mellan industri, offentlig sektor och akademien, för att utveckla framtidens mer miljöanpassade produktionsprocesser och -tekniker.

Som tidigare nämnts möjliggör mer detaljerade taxonomier avseende slutenergianvändning och växthusgasutsläpp, oanade möjligheter att med större säkerhet, designa kostnadseffektiva styrmedel. En reservation i detta är emellertid att datahantering som går djupare in i företagens egna produktionsprocesser måste hanteras med stor varsamhet för att inte enskilda företags konkurrenskraft och kärnkompetens på något sätt äventyras, till exempel att konkurrenter med hjälp av sådan data erhålls otillbörlig kunskap.

Data som samlas in med hjälp av mer detaljerade taxonomier för olika branscher, ger en mer detaljerad uppdelning över tid och möjliggör för ansvarig myndighet och ansvarigt departement att anpassa nya styrmedel mot branscher och specifika processer med störst potential för minskade växthusgasutsläpp till lägst insatt statlig krona. Vidare kan sådan data möjliggöra att olika riktade styrmedelsinsatser kan jämföras ex-ante avseende effekt och kostnads- (bidrags-)effektivitet.

Ett resultat från Carbonstruct är att styrmedel som inkluderar energikartläggningar inte verkar vara särskilt effektiva för att hitta åtgärder inom produktionsprocesserna. Detta resultat, om än rudimentärt, kan dock bara detekteras när data samlas in mer högupplöst. Den generella slutsatsen från detta är att ju mer energiintensivt ett företag är och ju mer energi som företaget använder i sina respektive produktionsprocesser, desto viktigare blir det att använda sig av en branschspecifik uppdelning av energianvändning, samt att energikartläggning som styrmedel, sannolikt behöver kompletteras med mer anpassade styrmedel. Sådana riktade styrmedel kan både vara det tidigare nämnda Energisteget eller liknande stöd där företag kunde söka en form av investeringsstöd och det tidigare PFE, där företag fick skatteåterbäring och i sin tur åtog sig att regelbundet genomföra energikartläggning och implementera ett certifierat energiledningssystem. Utvärdering av PFE visade dels på att en stor del av de rapporterade energieffektiviseringsåtgärderna var relaterade till företagets eget energiledningsarbete (Paramonova m.fl., 2015) samt att merparten av åtgärderna inte var kopplade till rena teknikåtgärder utan krävde en viss eller stor kunskap om företagets interna produktionsprocesser och energisystem för att kunna implementeras (Paramonova & Thollander, 2014). Forskning från norsk industri ger ytterligare evidens för att den interna kunskapsnivån i företag spelar en stor roll för hur företag lyckas med det interna energieffektiviseringsarbetet (Solnordal m.fl., 2019).

Ett sätt att främja ökad grad av effektivisering och minskning av koldioxidutsläppen kan vara att initiera branschspecifika nätverk. Ett sådant

initiativ genomfördes med framgång i Dalarna. Projektet benämndes Branschspecifik EnergiEffektivisering (BEE). Flera andra branschspecifika såväl som mer generella nätverksinitiativ i Sverige förekommer och har förekommit, bland annat inom aluminiumindustrin, järn- och stålindustrin, PFEs eget nätverk, och trävaruindustrin (Ivner m.fl., 2014).

Vad gäller SMF så har de två primära styrmedlen, energikartläggningsprogrammen (EKC och EKS) samt energieffektiviserings-nätverksprogrammet (EENet), spelat en viktig roll. I energikartläggningsprogrammen har en mer detaljerad nivå på slutenergianvändningsdata använts, något som visat sig vara användbart. Fortsatta energikartläggningsstöd och energinätverksprogram i Sverige för SMF förordades därför även dessa använda sig av samma typ av inrapportering som för EKC och EKS gällande SMF.

## 6.3 Digitala verktyg

På grund av den pågående digitaliseringen så har intresset för digitala verktyg ökat på flera håll i samhället, så även hos industrier. Digitala verktyg kan vara ett hjälpmedel för industrin då det gäller att kontrollera och styra energianvändningen, exempelvis via energinyckeltal.

Digitala verktyg behandlar och hanterar information. Typiska digitala verktyg är datorer, mobiltelefoner, surfplattor, appar och webbtjänster, inklusive deras mjukvaror där hantering och behandling av data sker. En typ av digitala verktyg som är intressanta för industrin är olika former av informationssystem. Ett informationssystem är ett system som används för att samla in, lagra, bearbeta och distribuera information.

Informationssystem kan ofta visualisera och analysera data även i realtid. Detta kan ge detaljerad och högupplöst information om energianvändningen i olika delar av det industriella energisystemet. Informationssystemet har därmed möjlighet att bidra till att täcka det tidigare nämnda kunskapsgapet om hur energin slutligen används. Informationssystemet är ett hjälpmedel, eller ett beslutsstöd, för till exempel en operatör, vid planering av produktion och underhåll, samt för övervakning och analys av energianvändning.

Med ett informationssystem så finns möjligheten att mäta och analysera energianvändningen på process- och maskinnivå. Detta ger en förbättrad kunskap om energisystemet jämfört med att endast mäta företagets totala energianvändning eller energianvändningen på avdelningsnivå. Dessutom, i stället för att samla in informationen exempelvis månadsvis, så kan insamlingen ske med mycket kortare tidsintervaller.

Med hjälp av högupplöst energidata så underlättas arbetet med energinyckeltal på flera olika sätt. Det kan exempelvis bli enklare att:

- Mäta och analysera energinyckeltal på process- och maskinnivå.
- Skapa nya energinyckeltal för komplexare produktionsprocesser genom ökad kunskap från insamlade energidata.

- Identifiera lämpliga energieffektiviseringsåtgärder.
- Följa upp resultatet av energieffektiviseringsåtgärder både på lång och kort sikt. Hur förändrades energianvändningen på företaget efter att energieffektiviseringsåtgärden introducerades?
- Allokera växthusgasutsläpp på process- och maskinnivå.
- Via mer specifika energinyckeltal bidra till förbättrade benchmarkingmöjligheter mellan företag även då det gäller produktionsprocesser.
- Mäta och analysera utnyttjandegraden för olika maskiner, eftersom detta hos vissa företag kan ha en inverkan på energieffektiviseringen.

Sammanfattningsvis kan sägas att digitala verktyg såsom informationssystem avsevärt kan underlätta energiarbetet på företaget. Dessutom kan dessa informationssystem bli en komponent i olika styrmedel, förslagsvis de som relaterar till energikartläggningsstödet för små och medelstora företag samt lagen om energikartläggning för stora företag. Energikartläggningen kan bli mer detaljerad och göras oftare om data samlas in och analyseras mer eller mindre kontinuerligt och automatisk.

## 7 Slutsats och diskussion

### 7.1 Taxonomi, utveckling av tidigare taxonomier

Inom svensk industri finns sedan tidigare taxonomier utvecklade för de huvudsakliga industriella energianvändande processer. Eftersom enhetsprocessbegreppet (Söderström m.fl., 1994) visats vara praktiskt svårt att använda för produktionsprocesser finns behov av enhetliga och standardiserade taxonomier branschvis. I Carbonstruct har fokus varit på att utveckla standardiserade kategoriseringar för produktionsprocesser i de största industrigrenarna, sett till energianvändning, i Sverige.

Taxonomierna har validerats med representanter ifrån de olika industrigrenarna. Utifrån de framtagna taxonomierna förordas ett fortsatt framtida arbete för att ytterligare validera de föreslagna taxonomierna med verksamhetsaktörer inom industrin, samt med berörda myndigheter och branschorgan.

Inom vissa branscher är arbetet med att ta fram en taxonomi långt gånget, exempelvis trävaruindustrin, medan det för andra branscher kvarstår ytterligare arbete innan en standardiserad kategorisering av processer kan vara på plats, exempelvis kemisk industri. Med det sagt så visar forskningsmetodiken, som huvudsakligen använt sig av energikartläggningsrapporter som redan genomförts före Carbonstructs början, att det finns behov av nya energikartläggningar eller motsvarande som har som primärt syfte att också ta fram sådan data. Detta var själva essensen i ett tidigare projekt vid Energimyndigheten benämnt STIND år 2008-2009 men som aldrig sedan genomfördes. Med andra ord, energikartläggningar som inte syftat till att kategorisera enligt en viss standardiserad mall, gör att det finns behov av ytterligare krav på mer detaljerad rapportering av slutenergianvändningen vid en energikartläggning. Taxonomier passar inte alltid alla typer av verksamheter, därför behövs kontinuerlig dialog mellan verksamhetsaktörer, tillsynsmyndigheter och andra aktörer för vidareutveckling av taxonomier samt hantering av företagsspecifika data.

Det övergripande syftet med en taxonomi över en branschs stöd- och produktionsprocesser är att få till stånd en harmoniserad insamling av slutenergianvändning enligt nivå 3 (Figur 1). Möjligheten till bör utforskas inom ramen för befintliga styrmedel, men också via inkludering i design av framtida styrmedel. Vidare möjliggör detta att vidare utveckla de energinyckeltal som generellt finns idag för benchmarking, det vill säga SEC på anläggningsnivå (exempelvis i BAT-referensdokument) eller branschnivå (exempelvis ODYSSEE-MURE, 2017) till att beräknas för enskilda slutenergianvändande processer (kapitel 5.2). En sådan benchmarking är utöver nyttan för styrmedel också av värde för tillverkande industri för att kunna identifiera var den största potentialen för energieffektivisering finns.

Utöver energinyckeltal för styrmedel underlättar en taxonomi för industrier att också utveckla egna energinyckeltal inom ramen för exempelvis ett energiledningssystem (ISO 50001). Innan relevanta nyckeltal för företagen kan implementeras krävs en uppdelning av energianvändningen på en mer

detaljerad nivå än vad som generellt görs idag. För nyckeltalsimplementering inom ett energiledningssystem bör, utöver de energinyckeltal som kan användas för benchmarking, även så kallade förklarande nyckeltal definieras. Medan konventionella energinyckeltal (såsom SEC) visar på ett utfall av energieffektiviteten används förklarande nyckeltal för att utreda orsaker till skillnader i energieffektivitet. Ett förklarande nyckeltal kan exempelvis vara produktionsmix eller produktionstimmar. Relevansen och förekomsten av förklarande nyckeltal beror i sin tur på energiintensiteten av en bransch. Ytterligare diskussion kring förklarande nyckeltal och dess relevans för ett effektivt industriellt energiledningsarbete görs av Andersson m.fl. (2021).

## 7.2 Beräkningar av växthusgasutsläpp/ emissionsfaktorer

Fram till tidigt 2000-tal valdes tillvägagångssättet för beräkningar av växthusgasutsläpp utifrån om utsläppsberäkningarna fokuserade på dåtid eller framtid. Senare enades dock forskningen om att metodvalet inte kan baseras på tidsperspektivet utan bör baseras på sammanhanget (Curran m.fl., 2005; Ekvall m.fl., 2005). Om syftet är att beräkna växthusgasutsläppen från till exempel en bransch, process eller nation används av tradition ofta av ett tillskrivningsperspektiv bokföringsperspektiv (eng. attributional approach) (Curran m.fl., 2005). Är syftet att beräkna hur växthusgasutsläppen påverkas av förändringar<sup>32</sup> i ett system bör ett konsekvensperspektiv (eng. consequential approach) användas. Inom LCA-forskningen finns det meningsskiljaktigheter kring vilken metod som är mest lämplig för olika syften. Över lag finns dock samsyn kring att utsläppsberäkningar från förändringar i energisystemet ska baseras på ett konsekvensperspektiv (Brander, 2019; Brander m.fl., 2019; Nordenstam m.fl., 2018; Weidema m.fl., 2018, 2019).

### 7.2.1 Perspektiv på nordisk elmix och marginalel

Vid allokering av växthusgasutsläpp på processnivå har en bokföringsmetod använts inom Carbonstruct. Eftersom Sverige tillhör elbörsen Nord Pool där el importeras och exporteras till länder i Europa används emissionsfaktorn för nordisk elmix istället för svensk elmix. På årsbasis har Sverige nettoimporterat från Norge och nettoexporterat med andra länder på elbörsen (Finland, Danmark, Tyskland, Polen och Litauen). På månadsbasis är det dock inte ovanligt med nettoimport från även Finland, Danmark och Tyskland (Nordpool, 2021). Det går att argumentera för att använda emissionsfaktorn för svensk elmix då Sverige är en nettoexportör av el, Carbonstruct har dock valt att utgå från nordisk elmix för att ta beakta den el som Sverige importerar. Det är svårt att avgöra hur stor plats utsläppen

---

<sup>32</sup> Uttrycket förändringar avser åtgärder som påverkar kapaciteteten och/eller behovet av energi. Exempel på förändringar är utbyggnation av vindkraft eller implementering av energieffektiviseringsåtgärder inom industrin.

från den importerade elen ska få. De verkliga växthusgasutsläppen för den el som används inom de studerade branscherna kan vara något lägre än det som presenteras i kapitel 4.3-4.7 på grund av användandet av emissionsfaktorn för nordisk elmix.

## 7.3 Branscherna har studerats på olika sätt

En primär orsak till att data på mer detaljerad nivå ej förekommer i den tillgängliga offentliga datan som finns i Sverige, är bristen på en enhetlig kategorisering av slutenergianvändning för olika industrigrenar och att viss data kan ha behov av att vara sekretessbelagd.

Detta har varit en stor utmaning i projektet Carbonstruct och följaktligen så har olika ansatser anammats för respektive studerad industrigren. För vissa branscher fanns redan tillgänglig data från tidigare genomförda energikartläggningar medan det för andra branscher behövde bedrivas mer riktade insatser mot företag för att kunna få ta del av data, samt erhålla ny kunskap kring primära nyckeltal som används, samt validering av framtagen taxonomi etc. I respektive ingående forskningsarbete så redovisas de olika ansatserna som använts för respektive bransch.

## 7.4 Primära slutsatser

Ett viktigt nästa steg för att lyckas med energiomställningen (Agenda 2030) är att få till stånd sammanställning av energianvändning på tillräckligt detaljerad nivå, åtminstone nivå 3, dvs. olika stödprocesser, produktionsprocesser som en kategori men gärna nivå 4 dvs. också uppdelat på olika produktionsprocesser, det vill säga en databas med harmoniserad data över energianvändning på processnivå. En slutsats är således att uppdelningen i olika produktionsprocesser bör vara branschspecifik.

För att proaktivt kunna arbeta för att uppnå minskad negativ miljöpåverkan från svensk industri behövs kännedom om vart den huvudsakliga energianvändningen och de huvudsakliga växthusgasutsläppen i verksamheterna återfinns. Projektet Carbonstruct har varit ett steg i den riktningen men mycket arbete kvarstår fortfarande.

En viktig slutsats från projektet är att många företag även från de mest energiintensiva branscherna i Sverige inte följer upp energianvändningen mer än på anläggningsnivå. Forskning kring framgångsrik energiledning i företag visar på vikten av att kunna båda mäta men även kostnadsmässigt fördela energikostnaderna på avdelningsnivå och ännu mer detaljerat, för att organisationen på sikt ska kunna lyckas effektivisera energianvändningen (Schulze m.fl., 2015).

Projektet har även påvisat behovet men även svårigheterna med att bedriva benchmarking av tillgängliga energinyckeltal. Svårigheterna ligger i att många företag är helt unika i sitt slag, både nationellt såväl som

internationellt, både avseende produktion och produkter. Detta gör att benchmarking mellan sådana anläggningar är svår eller omöjlig. Den typ av benchmarking som då återstår är longitudinell, det vill säga att slutenergi-användning följs upp över tid av en och samma industri (även kallad intern benchmarking).

En annan viktig slutsats är att nuvarande styrmedel ej till fullo adresserar de utmaningar som företagen står inför, avseende energieffektivisering och minskning av växthusgasutsläppen. Energikartläggning som idag är lagstadgad för stora företag i Sverige och EU, visar sig framför allt föreslå förbättringar i de så kallade stödprocesserna. För vissa branscher är energianvändningen i dessa stödprocesser bara ett fåtal procent av den totala energianvändningen, vilket visar på behovet av nya mer riktade styrmedel som t.ex. innovationsstöd för specifika processer, en reviderad variant av PFE.

Slutligen, en viktig slutsats är att tillgängligheten på data på mer detaljerad nivå är svårtillgänglig och idag väldigt tidskrävande att ta fram vilket har gjort att olika ansatser har använts för de olika studerade industrigrenarna. I många fall har väsentlig tid använts bara till att studera och analysera en enskild energikartläggning och i många fall har den tillgängliga datan från dessa rapporter i slutändan sedan ej kunnat nyttjas på grund av bristande datakvalitet och felaktigheter.

## 7.5 Framtida forskning

De framtagna taxonomierna för respektive industrigren förordas bli ytterligare validerade av berörd aktör som ämnar att sätta taxonomin. Det kan röra sig om en enskild koncern såväl som en tillsynsmyndighet där taxonomin behöver anpassas för att vara användbar och till nytta för ändamålet. Vidare, liksom de mer detaljerade angivelserna av SEC i kapitlet om trävaruindustrin, föreslås detta utvecklas vidare även för andra branscher.

Fortsatt forskning kring energidatahantering och uppföljning på såväl företags, koncern och myndighetsnivå förordas också. Även hantering av energidata på internationell nivå är viktig att studera, dels för att dra lärdom av hur andra länder hanterar detta, dels för att sprida den kunskap vi besitter i Sverige till andra länder.

Digitaliseringen av svensk industriproduktion går framåt och att studera dess kopplingar till energidatahantering, hinder mot energidatahantering och digitalisering såväl som möjligheterna med detta, är viktiga områden att beforska framgent. Inom ramen för sådan framtida forskning så behöver ett kritiskt angreppssätt anläggas eftersom en svårighet som framkommit är att data finns och är tillgänglig på företagsnivå men att den datan ej nyttjas, till exempel för energidatauppföljning med hjälp av relevanta energinyckeltal.

Ytterligare en viktig sak att fortsätta forskning kring är utsläppen av biogena utsläpp. Dessa utsläpp har ej studerats i detalj i denna studie men förordas att studeras i framtida forskning för att få en bättre bild av hur utsläppen totalt, biogena såväl som fossila är fördelade.



## 8 Kommunikation och informations-spridning

Forskningsprojektet Carbonstruct har bedrivits från januari 2018 till juni 2021. Projektgruppen har under hela eller delar av projekttiden bestått av följande personer:

- Magnus Wallén (tidigare Karlsson)
- Patrik Thollander
- Maria Andersson
- Curt Björk
- Elias Andersson
- Simon Johnsson
- Joakim Haraldsson
- Akvile Lawrence
- Maria Johansson
- Noor Jalo
- Fayas Malik Kanchiralla
- Ylva Clausén Wingårdh

Resultat från forskningsprojektet har inom ramen för avdelningens grundutbildningsverksamhet disseminerats på diverse olika undervisningsmoment i olika kurser. Inom ramen för forskarutbildning och projektet har två doktorsavhandlingar försvarats:

- *Andersson, E. (2020). Enabling industrial energy benchmarking: Process-level energy end-use, key performance indicators, and efficiency potential. (Doctoral dissertation). Linköping: Linköping University Electronic Press.*
- *Lawrence, A. (2019). Energy Management for Improved Energy Efficiency in the Pulp and Paper Industry: Success Factors for Strengthening Drivers and Overcoming Barriers. (Doctoral dissertation). Linköping: Linköping University Electronic Press*

Projektresultat och relaterade publikationer har spridits via publicerade journalartiklar. Artiklarna kan ses på Carbonstructs hemsida <https://liu.se/forskning/carbonstruct>.

- *Andersson, E., Karlsson, M., Thollander, P., Paramonova, S., 2018. Energy end-use and efficiency potentials among Swedish industrial small and medium-sized enterprises – A dataset analysis from the national energy audit program. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 93, 165–177.*

- *Andersson, E., Thollander, P., 2019. Key performance indicators for energy management in the Swedish pulp and paper industry. Energy Strategy Reviews, 24, 229-235.*
- *Johnsson, S., Andersson, E., Thollander, P., Karlsson, M., 2019. A study of the energy end-use and greenhouse gas emissions in Swedish wood industry. Energy, 187, 115919.*
- *Lawrence, A., Nehler, T., Andersson, E., Karlsson, M., 2019. Drivers, barriers and success factors for energy management in the Swedish pulp and paper industry. Journal of Cleaner Production, Vol. 223, s. 67-82.*
- *Lawrence, A., Thollander P., Andrei, M. Karlsson, M., 2019. Specific Energy Consumption/Use (SEC) in Energy Management for Improving Energy Efficiency in Industry: Meaning, Usage and Differences. Energies, 12, 247*
- *Kanchiralla, M.F., Jalo, N., Johnsson, S., Thollander, P., Andersson, M., 2020. Energy End-Use Categorization and Performance Indicators for Energy Management in the Engineering Industry. Energies, 13, 369.*
- *Andersson, E., Dernegård, H., Wallén, M., Thollander, P., 2021. Decarbonization of industry: Implementation of energy performance indicators for successful energy management practices in kraft pulp mills. Energy Reports, 7, 1808-1817.*
- *Johnsson, S. and Johansson, M.T. Energy transition to a fossil-free iron and steel industry in Sweden by 2045 – impact analysis on energy use and global greenhouse gas emissions using a novel taxonomy. (Ej inskickad)*
- *F. M. Kanchiralla, N. Jalo, P. Thollander, S. Johnsson, M. Andersson, "Energy use categorization with performance indicators in the food industry and a conceptual energy planning framework for industries". (Under granskning.)*
- *Haraldsson, J., Johnsson, S., Thollander, P., Wallén, M. Taxonomy, saving potentials and key performance indicators for energy end-use and greenhouse gas emissions in the aluminium industry and aluminium casting foundries. Energies 14 (12) 1-26.*

Projektet och dess resultat har spridits på diverse digitala forum såsom via:  
projektets hemsida

- visitkort med projektets namn (istället för att använda sig av sitt vanliga visitkort)
- en roll-up om projektet som primärt visats upp för besökare vid avdelning energisystem, LiU
- en poster om projektets resultat
- Researchgates projekthemsida
- Dagens industris hemsida

Muntligt har projektets resultat kommunicerats:

- nationellt på diverse föredrag, bland annat på det nationella energimanagementnätverket där många svenska storföretag ingår och på den nationella forskningsdagen som Naturvårdsverket anordnar
- internationellt på diverse föredrag, bland annat på en expertworkshop anordnad av DG Energy i Bryssel samt föredrag på Energiministeriet i Moskva på ett Regeringsuppdrag inom ramen för Sveriges bilaterala avtal med Ryssland

Vidare har en film om projektet gjorts som bland annat går att se på Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=PUfIRvtiz8>

## 9 Tackord

Vi vill börja med att framföra vårt tack till Naturvårdsverket för forskningsfinansieringen som gjorde detta projekt möjligt att genomföra. Vi vill även passa på att tacka vår forskningssekreterare vid Naturvårdsverket, Karin Hansen vars stöd under projektets gång varit ovärderlig.

Vi vill även framföra vårt tack till övriga personer vid Naturvårdsverket och i synnerhet de tjänstemän som har agerat som granskare av slutrapporten, Dag Henning, Olof Åkesson, Katarina Wärmark, Sven Bomark och Matthis Kaby. Stort tack också till professor Simon Harvey på Chalmers som agerat extern granskare av slutrapporten. Era bidrag har varit mycket värdefulla. Avseende rapportens innehåll är författarna emellertid ensamt ansvariga för detta, dvs. ev. otydligheter, felaktigheter etc. ligger helt på författarnas ansvar, ej granskarnas.

Stort tack också till Martina Berg och Glenn Widerström på Energimyndigheten samt Neda Farahbakhshazad, Johannes Morfeldt och Roman Hackl som deltagit i projektets referensgrupp.

Vi vill även framföra vårt stora tack till alla företag och företagsrepresentanter, myndighetsrepresentanter och representanter från andra organisationer som ställt upp på intervjuer och deltagit i workshops samt svarat på enkäter. Vi hoppas att resultaten för just ditt företag, bransch och myndighet kan komma till nytta i det framtida omställningsarbetet.

## 10 Källförteckning

- Andersson, E., 2020. Enabling industrial energy benchmarking: Process-level energy end-use, key performance indicators, and efficiency potential. Linköping University. Laddas ned här: <http://liu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1459500&cdswid=-9850> (2021-05-10)
- Andersson, E., Dernegård, H., Wallén, M., Thollander, P., 2021. Decarbonization of industry: Implementation of energy performance indicators for successful energy management practices in kraft pulp mills. *Energy Reports* 7. Laddas ned här: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721001785> (2021-05-10)
- Andersson, E., Thollander, P., 2019. Key performance indicators for energy management in the Swedish pulp and paper industry. *Energy Strateg.* Rev. 24. doi:10.1016/j.esr.2019.03.004
- Arfwidsson, O., Andersson, E., 2016. Benchmarking av industriella små och medelstora företags energiprestanda: Presentation av en metod för beräkning av energieffektiviseringsindex. Linköping University. Laddas ned här: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A937420&cdswid=9958> (2021-05-11)
- Brander, M., 2019. Attributional and consequential methods are both necessary for managing responsibility – Reply to Weidema et al. (2019). *Journal of Cleaner Production* 228, 8-9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.307>.
- Brander, M., Burritt, R.L., Christ, K.L., 2019. Coupling attributional and consequential life cycle assessment: A matter of social responsibility. *Journal of Cleaner Production* 215, 514-521. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.066>.
- Borg, O., Franck, P.-Å., Nyström, I., Åsblad, A., Thollander, P., Wagman, N., 2009. *Energistatistik för industrin, Etapp 2*. Göteborg.
- Burtraw, D., Palmer, K., 2008. Interaction between the EU ETS and the Nordic Electricity Market: Setting the Scene. Laddas ned här: <https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b750b/1445515652150/B1737.pdf> (2021-05-11)
- Carlén, A., Rosenqvist, M., Paramonova, S., Thollander, P., Municio, S., 2016. Energy efficiency networks for small and medium sized enterprises-bosting the energy efficiency potential by joining forces. In *ECEEE Industry Summer Study*, Berlin, 12-14th of September.
- Curran, M.A., Mann, M., Norris, G., 2005. The international workshop on electricity data for life cycle inventories. *Journal of Cleaner Production* 13(8), 853-862. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2002.03.001>.

- Directorate B – Growth and Innovation, Circular Economy and Industrial Leadership Unit, European IPPC Bureau. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Ferrous Metals Processing Industry. 2019. [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/FMP\\_D1\\_web.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/FMP_D1_web.pdf)
- Dotzauer, E., 2010. Greenhouse gas emissions from power generation and consumption in a nordic perspective. *Energy Policy* 38, 701–704. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.066>
- Ekvall, T., Tillman, A.M., Molander, S., 2005. Normative ethics and methodology for life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 13(13-14), 1225-1234. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.05.010>.
- Energieffektiviseringsutredningen, 2008. Vägen till ett energieffektivare Sverige. SOU 2008:110. Stockholm.
- Energimyndigheten, 2020. Energiläget 2020. Eskilstuna.
- Energimyndigheten, 2017. Energy in Sweden, facts and figures. Eskilstuna.
- Engström, R., Gode, J., Axelsson, U., 2009. Vägledning till metodval vid beräkning av påverkan från förändrad energianvändning på de svenska miljömålen.
- European Commission, 2016. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Wood-based Panels. doi:10.2791/21807
- European Commission, 2015. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. doi:10.2791/370629
- European Commission, 2009. Reference document on best available techniques for energy efficiency, European Commission.
- European Investment Bank, 2020. EIB Project Carbon Footprint Methodologies. Luxembourg.
- Harvey, S., Börjesson, P., Janssen, M., Lundgren, J. Long-term sustainability assessment of fossil-free fuel production concepts. 2018. The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels. [https://research.chalmers.se/publication/505081/file/505081\\_Fulltext.pdf](https://research.chalmers.se/publication/505081/file/505081_Fulltext.pdf)
- Henning, D., Trygg L., 2008. Reduction of electricity use in Swedish industry and its impact on national power supply and European CO2 emissions. *Energy Policy* 36 (2008) 2330–2350. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.08.033>
- IEA, 2020. World Energy Outlook 2020. Paris.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Johnsson, S., Andersson, E., Thollander, P., Karlsson, M., 2019. Energy savings and greenhouse gas mitigation potential in the Swedish wood industry. *Energy* 187. doi:10.1016/j.energy.2019.115919

Kanchiralla, F.M., Jalo, N., Johnsson, S., Thollander, P., Andersson, M., 2020. Energy End-Use Categorization and Performance Indicators for Energy Management in the Engineering Industry. *Energies* 13, 1–24. <https://doi.org/10.3390/en13020369>

Kanchiralla, F.M., Jalo, N., Thollander, P., Johnsson, S., Andersson, M., Energy use categorization with performance indicators in the food industry and a conceptual energy planning framework for industries. (Under granskning.)

Europeiska Kommissionen, 2012. Kommissionens förordning (EU) nr 601/2012 av den 21 juni 2012 om övervakning och rapportering av växthusgasutsläpp i enlighet med Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG.

Morfeldt, J., Silveira, S., 2014. Capturing energy efficiency in European iron and steel production—comparing specific energy consumption and Malmquist productivity index. *Energy Effic.* 7, 955–972. doi:10.1007/s12053-014-9264-8

Morfeldt, J., Silveira, S., Hirsch, T., Lindqvist, S., Nordqvist, A., Pettersson, J., Pettersson, M., 2015. Improving energy and climate indicators for the steel industry - The case of Sweden. *J. Clean. Prod.* 107, 581–592. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.031>

Naturvårdsverket, 2020a. Emissionsfaktorer och värmevärden 2020. Svenska Miljöinformationsdata.

Naturvårdsverket, 2020b. Sök i utsläppsregistret. <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/> (Hämtad: 2021-05-26)

Nehler, T., Rasmussen, J., 2016. How do firms consider non-energy benefits? Empirical findings on energy-efficiency investments in Swedish industry. *J. Clean. Prod.* 113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.070>

Nordenstam, L., Djuric Ilic, D., Ödlund, L., 2018. Corporate greenhouse gas inventories, guarantees of origin and combined heat and power production - Analysis of impacts on total carbon dioxide emissions. *Journal of Cleaner Production* 186, 203-214. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.034>.

Nord pool. 2021. Exchange. <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data/Power-system-data/Exchange1/ALL/Hourly1/?view=table> (Hämtad 2021-05-26)

Näringsdepartementet, 2001. Effektivare energianvändning. Ds 2001:60. Stockholm.

Odyssee-Mure, 2017. Project overview [WWW Document]. URL <http://www.odyssee-mure.eu/project.html> (accessed 1.25.17).

Olkkonen, V., Syri, S., 2016. Spatial and temporal variations of marginal electricity generation: The case of the Finnish, Nordic, and European energy systems up to 2030. *J. Clean. Prod.* 126, 515–525. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.112>

- Olsson, M., Lycken, A., Nordman, R., 2011. Dokumentation till sågverksmodellen inom projekt EESI – EnergiEffektivisering i SågverksIndustrin.
- Paramonova, S., Thollander, P., 2016. Ex-post impact and process evaluation of the Swedish energy audit policy programme for small and medium-sized enterprises. *Journal of Cleaner Production* 135: 932-949.
- Paramonova, S., 2016. Re-viewing industrial energy-efficiency improvement using a widened system boundary. Linköping University. Laddas ned här: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1049255/FULLTEXT01.pdf> (2021-05-11)
- Rohdin P, Thollander P, Solding P. 2007. Barriers to and drivers for energy efficiency in the Swedish foundry industry. *Energy Policy* 35 (1), 672-677. Elsevier.
- Schulze, M., Nehler, H., Ottosson, M., Thollander, P., 2016. Energy management in industry – a systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. *Journal of Cleaner Production* 112(5): 3692–3708. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.060>
- Swedish Energy Agency, 2019. Energy in Sweden, Fact and Figures, 2019. Eskilstuna: Sweden.
- Swedish Energy Agency, 2018. Investeringsstöd inom Energisteget [WWW Document]. URL <https://www.energimyndigheten.se/utlysningar/investeringsstod-inom-energisteget/> (accessed 2.18.20).
- SFS 2011:1200. Lag om elcertifikat.
- Sommarin, P., Svensson, A., Thollander, P., 2014. A method for bottom-up energy end-use data collection – results and experience from a benchmarking method in the Swedish foundry industry. In proceedings of ECEEE Industry Summer Study, Arnhem, 2-5th of June.
- Söderström, M., 1996. Industrial electricity use characterized by unit processes. A tool for analysis and forecasting. In: Proc. UIE XIII Congress on Electricity Applications, Birmingham.
- Söderström, M., Carlsson, P., Hall, O., 1994. Enhetsprocesser - Ett sätt att strukturera industrins energianvändning.
- Thollander P., Ottosson M., 2010. Energy management practices in Swedish energy-intensive industries. *Journal of Cleaner Production* 18(12): 1125-1133. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.04.011>
- Thollander, P., Ottosson, M., 2012. Drivkrafter för industrins energianvändning - En litteraturstudie. På uppdrag av Energimyndigheten, Eskilstuna.



- Thollander, P., Paramonova, S., Cornelis, E., Kimura, O., Trianni, A., Karlsson, M., Cagno, E., Morales, I., Jimenez Navarro, J.P., 2015. International study on energy end-use data among industrial SMEs (small and medium-sized enterprises) and energy end-use efficiency improvement opportunities. *J. Clean. Prod.* 104, 282–296. doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.073
- Thollander, P., Rohdin, P., Karlsson, M., Rosenqvist, J., Söderström, M., 2012. A standardized energy audit tool for improved energy efficiency in industrial SMEs, in: *ECEEE Industry Summer Study*. p. 11.
- Thollander P., Rohdin P., Moshfegh B., Karlsson, M., Soderstrom, M., Trygg, L., 2013. Energy in Swedish industry 2020 –current status, policy instruments, and policy implications. *Journal of Cleaner Production* 51: 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.021>
- Trygg L., Karlsson B., 2005. Industrial DSM in a deregulated European electricity market – a case study of 11 plants in Sweden. *Energy Policy* 33(11):1445–59. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.01.002>
- Weidema, B.P., Pizzol, M., Schmidt, J., Thoma, G., 2018. Attributional or consequential Life Cycle Assessment: A matter of social responsibility. *Journal of Cleaner Production* 174, 305-314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.340>.
- Weidema, B.P., Pizzol, M., Schmidt, J., Thoma, G., 2019. Social responsibility is always consequential — Rebuttal to Brander, Burritt and Christ (2019): Coupling attributional and consequential life cycle assessment: A matter of social responsibility. *Journal of Cleaner Production* 223, 12-13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.136>.
- World Resource Institute, 2005. *Guidelines for Quantifying GHG Reductions from Grid-Connected Electricity Projects* 100.
- Worrell, E., Price, L., 2006. An Integrated Benchmarking and Energy Savings Tool for the Iron and Steel Industry. *Int. J. Green Energy* 3, 117–126. doi:10.1080/01971520500543962
- Yin, R.K., 2015. *Fallstudiemetodik*. Sage Publications.

# Energinyckeltal och växthusgasutsläpp baserade på industrins energianvändande processer

RAPPORT 6900

NATURVÅRDSVERKET  
ISBN 978-91-620-6972-8  
ISSN 0282-7298

Rapporten uttrycker nödvändigtvis inte Naturvårdsverkets ställningstagande. Författaren svarar själv för innehållet och anges vid referens till rapporten.

## Slutrapport

PATRIK THOLLANDER, MAGNUS WALLÉN, CURT BJÖRK, SIMON JOHNSON,  
JOAKIM HARALDSSON, ELIAS ANDERSSON, MARIA ANDERSSON,  
MARIA JOHANSSON NOOR JALO, FAYAS MALIK KANCHIRALLA

Rapporten presenterar ny kunskap om energieffektivisering inom svensk industri. Forskarna har tagit fram bättre uppskattningar av energieffektivitet för att identifiera i vilka energianvändande processer som den största potentialen för energieffektivisering och minskning av växthusgasutsläpp finns. De branscher som studerats står för 90 procent av den svenska industrins energianvändning. Det är massa- och pappers-, järn- och stål-, kemi-, livsmedels-, verkstad- samt aluminium- och trävaruindustrin.

Projektet har genererat processträd och etablerat energinyckeltal för hur slutenergianvändningen är fördelad på olika energibärare och slutenergiprocesser. Forskarna har också allokerat växthusgasutsläpp på dessa olika processer.

Projektet har finansierats med medel från Naturvårdsverkets miljöforskningsanslag vilket syftar till att finansiera forskning till stöd för Naturvårdsverkets och Havs- och vattenmyndighetens kunskapsbehov.

