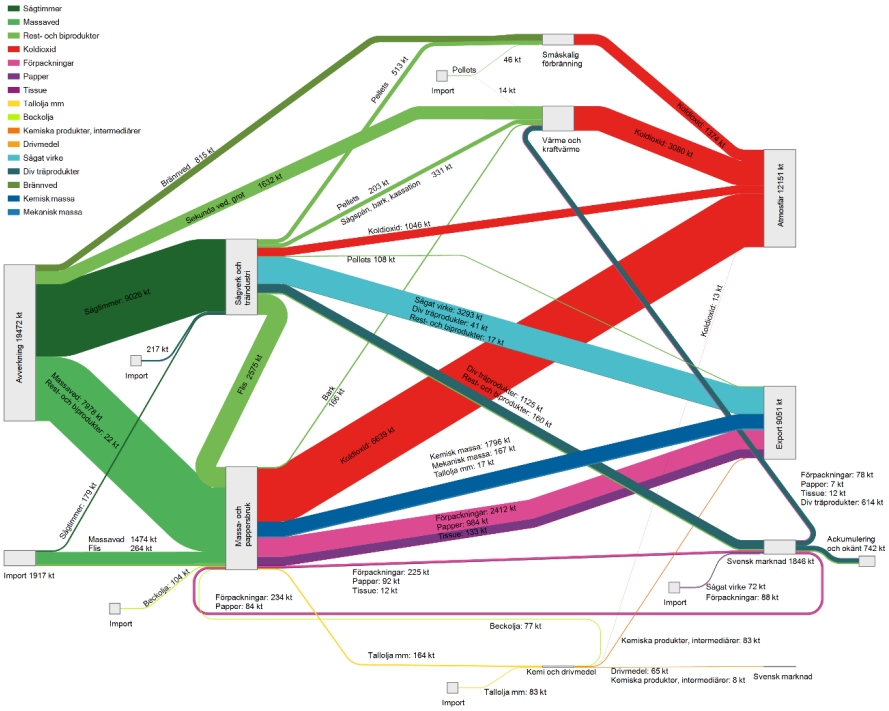


Kartläggning av biogena kolflöden i de skogsbaserade värdekedjorna i Sverige

Stefan Svensson, Erik Furusjö, Olivia Cintas Sanchez, Jonas Zetterholm, Karin Pettersson, Sylvia Larsson, Peter Funk, Jimmy Johansson

RISE Rapport :P116313

Med stöd från
VINNOVA Sveriges innovationsmyndighet
Energimyndigheten
FORMAS
Strategiska innovations-program

Initierat av:
Skogsindustriema
IKEM
TEKO SVERIGES TEXTIL- & MODEFÖRETAG
BioInnovation

Kartläggning av biogena kolflöden i de skogsbaserade värdekedjorna i Sverige

Stefan Svensson, Erik Furusjö, Olivia Cintas Sanchez, Jonas Zetterholm, Karin Pettersson, Sylvia Larsson, Peter Funk, Jimmy Johansson

Key words: forest, wood, bioeconomy, pulp, paper, saw, carbon flows, carbon efficiency

Nyckelord: skog, trä, bioekonomi, massa, papper, såg, kolflöden, koleffektivitet

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport :P116313

BioInnovation är ett strategiskt innovationsprogram grundat av Skogsindustrierna, IKEM och TEKO. Programmet finansieras av Vinnova, Energimyndigheten och Formas samt de intressenter från näringsliv, akademi, institut och offentlig sektor som deltar. Målet är att öka förädlingsvärdet och konkurrenskraften i den svenska biobaserade sektorn genom att skapa bästa möjliga förutsättningar för att ta fram nya biobaserade material, produkter och tjänster. http://www.bioinnovation.se/

© RISE Research Institutes of Sweden

Abstract

Mapping of biogenic carbon flows in the forest-based value chains in Sweden

This study provides an overall picture of carbon flows in the forest-based value chains in Sweden in 2020. The focus is on the biomass *content of renewable carbon atoms*, not its *energy content*. Data comes from public statistics, trade associations and individual companies.

In total, just over 19 Mt of carbon was extracted from the Swedish forests, divided into about 8 Mt in pulpwood, 9 Mt in sawlogs and 2.4 Mt in fuelwood and residual products. In addition, the equivalent of just over 1.9 Mt of carbon was imported. Of the forest-based raw materials, about 10% goes to the energy sector while 90% goes to forest industries, i.e. sawmills and pulp and paper mills.

In the pulp and paper industry, just under half of the incoming carbon ends up in products, of which 34% is in pulp that is exported. The rest is found in packaging, paper and tissue, of which less than 10% is used in Sweden. About half of the carbon contained in the raw material for sawmills and the wood industry ends up in various wood-based products. Of this, approximately 75% are exported. Just under 30% of the saw timber's carbon ends up in by-products that go to the production of paper pulp and just over 10% is sold as fuel.

Today, the amount of fuels and chemicals produced from forest-based raw materials is small in relation to other products, corresponding to about 160 kt of carbon divided into approximately equal parts of fuel and chemical products.

In total, carbon dioxide containing 12 Mt of carbon is formed by burning forest-based raw materials, of which 5% comes from energy recovery of forest-based products. Combustion emissions directly in the forest industries, linked to the energy needs of the processes, account for 7.7 Mt of carbon. For sawmills and the wood industry, the proportion of the raw material that is burned into carbon dioxide is 11%, while for the pulp and paper industry it is 52%.

The utilization of forest raw materials today takes place according to a cascading use principle of economic efficiency. Primarily, sawlogs are produced and then pulpwood. These activities in turn generate by-products that constitute raw materials for bioenergy, as well as bio-based materials and chemicals. Despite these principles, it is clear that from a perspective where renewable carbon atoms are in focus, there is a great potential for increased resource utilization.

There is a clear potential to use the carbon in the bio-based raw materials more efficiently, provided that the energy supply of industry and society can be managed without the energy from combustion. The pulp and paper mills' combustion of the parts of the wood raw material that do not become pulp gives flue gases that contain 35% of all carbon contained in the raw materials for the entire forest industry. In order for these carbon atoms to be included to a greater extent in new products, pulp and paper mills

© RISE Research Institutes of Sweden

must be able to handle energy supply and chemical recycling without this combustion. Even within sawmills, there can be great potential to release residual products that are currently incinerated, so that they can be used.

In order for bark, sawdust, lignin and branches and tops to be used for purposes other than energy supply, commercialization of processes that convert these into new products is required. There are several options for promising technologies that are relatively well developed but need to be demonstrated on a large scale. There are also many technologies that can offer new opportunities but where the technology maturity is lower and the path to market longer.

© RISE Research Institutes of Sweden

Sammanfattning

Denna studie ger en övergripande bild av kolflöden i de skogsbaserade värdekedjorna i Sverige 2020. Fokus är alltså på biomassans *innehåll av förnybara kolatomer*, inte dess *energiinnehåll*. Data kommer från offentlig statistik, branschorganisationer och enskilda företag.

Totalt togs drygt 19 Mt kol ut ur de svenska skogarna fördelat på ca 8 Mt i massaved, 9 Mt i sågtimmer samt 2,4 Mt i brännved och restprodukter. Därutöver importerades motsvarande drygt 1,9 Mt kol. Av de skogsbaserade råvarorna går ungefär 10% till energisektorn medan 90% går till skogsindustrier, d.v.s. sågverk respektive massa- och pappersbruk.

I massa- och pappersindustrin hamnar knappt hälften av det inkommande kolet i produkter, varav 34% finns i massa som går på export. Resten är förpackningar, papper och tissue/mjukpapper, varav mindre än 10% används inom Sverige. Av kol som finns i råvaran till sågverk och träindustri hamnar ungefär hälften i olika träbaserade produkter. Av detta exporteras ungefär 75%. Knappt 30% av sågtimrets kol hamnar i biprodukter som går till produktion av pappersmassa och drygt 10% säljs som bränsle.

Idag är mängden drivmedel och kemikalier som produceras ut skogsbaserade råvaror liten i förhållande till andra produkter, motsvarande ca 160 kt kol uppdelat i ungefär lika stora delar drivmedel och kemiska produkter.

Totalt bildas koldioxid innehållande 12 Mt kol genom förbränning av skogsbaserade råvaror, varav 5% kommer från energiåtervinning av skogsbaserade produkter. Förbränningsutsläpp direkt i skogsindustrierna, kopplat till processernas energibehov, står för 7,7 Mt kol. För sågverk och träindustri är andelen av råvaran som förbränns till koldioxid 11% medan den för massa- och pappersindustri är 52%.

Nyttjandet av skogsråvaran sker idag enligt en kaskadprincip för ekonomisk effektivitet; i första hand produceras sågtimmer och sedan massaved. Dessa verksamheter genererar i sin tur biprodukter som utgör råvara för framställning av bioenergi, samt biobaserade material och kemikalier. Trots dessa principer är det tydligt att det från ett perspektiv där förnybara kolatomer är i fokus finns en stor potential till ökat resursutnyttjande.

Det finns en tydlig potential att använda kolet i de biobaserade råvarorna mer effektivt, förutsatt att industrins och samhällets energiförsörjning kan hanteras utan energin från förbränningen. Massa- och pappersbrukens förbränning av de delar av vedråvaran som inte blir massa, ger rökgaser sominehåller 35% av allt kol som finns i råvarorna till hela skogsindustrin. För att dessa kolatomer i större utsträckning ska kunna ingå i nya produkter krävs att massa- och pappersbruken kan hantera energiförsörjning och kemikalieåtervinning utan denna förbränning. Även inom sågverk kan det finnas stor potential att frigöra restprodukter som idag förbränns, så att de kan användas.

För att bark, sågspån, lignin samt grenar och toppar ska kunna användas för andra ändamål än energiförsörjning krävs en kommersialisering av processer som omvandlar dessa till nya produkter. Här finns ett flertal alternativ på lovande tekniker som är relativt välutvecklade men behöver demonstreras i stor skala. Det finns även många tekniker som kan erbjuda nya möjligheter men där teknikmognaden är lägre och vägen till marknaden längre.

© RISE Research Institutes of Sweden

Innehåll

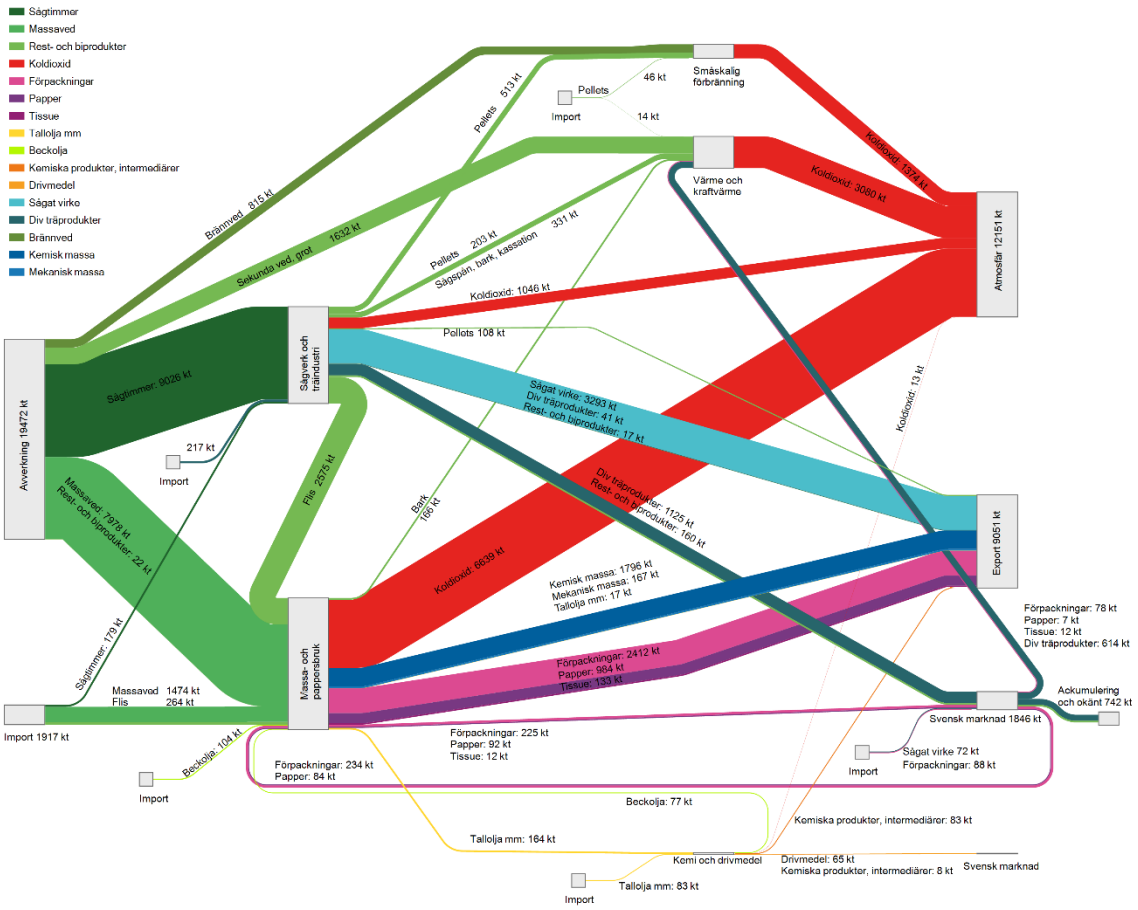
Abstract **2**
Sammanfattning **4**
Innehåll **5**
1 Helhetsbild över kolflöden i de skogsbaserade värdekedjorna **6**
2 Massa- och pappersindustri **9**
2.1 Metodik, datakällor och antaganden 9
2.2 Kolflöden 10
2.3 Diskussion och utvecklingsmöjligheter 12
3 Sågverk och träindustri **14**
3.1 Metodik, datakällor och antaganden 14
3.2 Kolflöden 14
3.3 Diskussion och utvecklingsmöjligheter 16
4 El- och värmesektorn **17**
4.1 Metodik, datakällor och antaganden 17
4.2 Kolflöden 17
4.3 Diskussion och utvecklingsmöjligheter 19
5 Bioraffinaderier och nya produkter **20**
5.1 Metodik, datakällor och antaganden 20
5.2 Kolflöden 20
5.3 Diskussion och utvecklingsmöjligheter 21
6 Sammanfattande diskussion och utvecklingsmöjligheter **23**
7 Referenser **25**
Bilaga 1. Data för massa- och pappersindustri **27**
Bilaga 2 Data för sågverk och träindustrisektorn **35**
Bilaga 3. Data för el- och värmesektorn **41**
Bilaga 4. Data för bioraffinaderier och nya produkter **43**
Bilaga 5. Produktion av el- och nyttig värme i systemet **44**

© RISE Research Institutes of Sweden

1 Helhetsbild över kolflöden i de skogsbaserade värdekedjorna

Figur 1 visar en övergripande bild av kolflöden i de skogsbaserade värdekedjorna i Sverige 2020. Data som använts i denna studie kommer från ett flertal källor med tyngdpunkt på offentlig statistik och statistik från branschorganisationer, vilket beskrivs i mer detalj nedan. Kontakter med enskilda företag har använts för att verifiera och komplettera data. Notera att *alla* angivna kolflöden nedan i denna rapport avser *årsflödet* för detta år., som var det senaste för vilken komplett statistik fanns tillgänglig.

I denna rapport används flitigt begreppet *koleffektivitet*. Med detta begrepp avses den andel av råvarans kolatomer som återfinns i produkter från en industriell process, t.ex. för ett massabruk kolinnehållet i den producerade massan dividerat med massavedens kolinnehåll (kompletterat med andra mindre råvaror). Det betyder inte att det inte finns någon nytta associerad med övriga kolatomer, t.ex. de som återfinns i rökgaser från sodapannor och barkpannor och som bidragit till massabrukets energiförsörjning. Men det kan noteras att fokus i det fallet är på biomassans *energiinnehåll* medan fokus för begreppet koleffektivitet är dess *innehåll av förnybara kolatomer*.



Figur 1. Övergripande bild av kolflöden i de skogsbaserade värdekedjorna i Sverige 2020. Alla flöden anges i tusental ton per år kol

© RISE Research Institutes of Sweden

Den övergripande bilden i Figur 1 visar att de stora kolflödena i skogsråvaror går till sågverk respektive massa- och pappersbruk. I båda dessa kategorier hamnar ungefär hälften av de inkommande kolatomerna i primära produkter (sågat virke respektive massa eller papper). Från sågverken finns betydande biproduktflöden till både massa- och pappersbruk samt energisektorn. I massabruken används de mesta som inte hamnar i primärprodukter för energiförsörjning och kolet återfinns i koldioxid i rökgaser. Energisektorn får även en del av sina bränslen direkt från skogen.

Totalt sett innehåller de skogsbaserade värdekedjornas råvaror (inklusive import) 21 Mt kol. Importerade råvaror står för ungefär 10% av råvaruförsörjningen. Av dessa 21 Mt kol går 2,4 Mt kol, eller drygt 10% till energisektorn medan 18,7 Mt går till skogsindustrier vilka producerar primära produkter (massa, papper, förpackningar, trävaror) innehållande 10,7 Mt kol. Exporterade produkter utgör hela 85% och innehåller 9,3 Mt kol medan inhemskt använda produkter innehåller 1,4 Mt kol.

Totalt togs knappt 20 Mt kol ut ur de svenska skogarna fördelat på ca 8 Mt i massaved, 9 Mt i sågtimmer, 0,8 Mt i brännved och 1,2 Mt grenar och toppar. Cirka 4 Mt kol i form av grenar och toppar från avverkning lämnades kvar i skogen. Därutöver importerade skogsbaserade råvaror motsvarande drygt 1,9 Mt kol, vara ca 90% är massaved eller flis som går till massabruken.

Av de ca 9 Mt kol som finns i råvaran till sågverk och träindustri hamnar ungefär hälften, 4,5 Mt kol, i sågat virke och olika träbaserade produkter. Av dess exporteras ungefär 75%. Knappt 30% av sågtimrets kol hamnar i biprodukter som går till produktion av pappersmassa medan drygt 10% exporteras bränsle, till största delen sågspån som eldas, och till största delen efter pelletering, i kraftvärmeverk och småskalig förbränning. Förbränning av restprodukter för att klara sågverkens egen energiförsörjning gör att drygt 10% av kolet i inkommande råvara blir koldioxid i rökgaser (motsvarande 3,9 Mt koldioxid). Det finns även en betydande kolförlust genom nedbrytning av rest- och biprodukter under lagring.

Massa- och pappersindustrins råvaror innehåller totalt ca 13 Mt kol, varav ca 8 Mt kol återfinns i massaved från inhemsk avverkning, ca 1,8 Mt kommer från importerad massaved/flis och ca 2,6 Mt kommer från sågverkens biprodukter (flis). Knappt hälften av det inkommande kolet (5,8 Mt) hamnar i produkter, varav 34% (2,0 Mt kol) finns i massa som går på export. Resten (66%, ca 3,9 Mt kol) är förpackningar, papper och tissue/mjukpapper, varav mindre än 10% används inom Sverige. Massaindustrin säljer mindre mängder biprodukter till energisektorn och bioraffinaderisektorn. Eldning av rest och biprodukter i massa- och pappersbruk för industrins egen energiförsörjning gör att hälften av kolet i råvarorna blir koldioxid i rökgaser från förbränning (6,6 Mt kol, motsvarande 24 Mt koldioxid).

Energisektorn, definierad som produktion av el och uppvärmning, använder bränslen som är rest- och biprodukter från skogsbruk och skogsindustri motsvarande 3,5 Mt kol. Av detta kommer ungefär två tredjedelar direkt från skogen (brännved samt grenar och toppar) medan resten till största delen är sågspån. Därutöver energiåtervinns skogsbaserade produkter innehållande ungefär 700 kt kol, till största delen träprodukter, i kraftvärmesektorn. Småskalig förbränning av skogsbaserade bränslen är ungefär 30% av den totala förbränningen i energisektorn. Totalt sett bildas koldioxid (16 Mt) innehållande 4,5 Mt kol i energisektorn, varav ungefär 15% kommer från energiåtervunna produkter.

© RISE Research Institutes of Sweden

Idag är mängden drivmedel och kemikalier som produceras ut skogsbaserade råvaror liten i förhållande till andra produkter, motsvarande ca 160 kt kol uppdelat i ungefär lika stora delar drivmedel och kemiska produkter.

Totalt bildas koldioxid innehållande 11,4 Mt kol genom förbränning av skogsbaserade råvaror, dvs exklusive energiåtervinning av skogsbaserade produkter. Förbränningen syftar till produktion av el och värme direkt för den skogsindustriella produktionen eller för samhället. Av de 19 Mt kol som återfinns i råvaror till skogsindustrier återfinns 7,8 Mt kol (drygt 40%) i koldioxid som bildas vid förbränning som till allra största del sker för processernas energiförsörjning. För sågverk och träindustri är andelen av råvaran som förbränns till koldioxid 11% medan den för massa- och pappersindustri är 52%.

Figur 1 och beskrivningen i detta kapitel ger en övergripande och aggregerad bild av skogsvärdekedjornas kolflöden. I de fyra följande kapitlen redovisas kolflöden för år 2020 i de olika delarna av värdekedjan i större detalj.

© RISE Research Institutes of Sweden

2 Massa- och pappersindustri

2.1 Metodik, datakällor och antaganden

De huvudsakliga datakällorna som används för att definiera kolflödena presenteras nedan. För en detaljerad förklaring av antaganden och referenser för de olika flödena, se bilaga 1.

Data relaterade till vedflödet till massa- och pappersindustrin är hämtade från Biometria (2022). Massaved från den svenska skogen och importerat, delas upp i tre olika sortiment. Sågverksflis från både svenska och utländska sågverk används också som råvara inom massa- och pappersindustrin.

Uppgifter om produktion och handel med olika typer av massa är hämtade från Skogsindustriernas statistik (2022a). Massaproduktionen är uppdelad i två typer: (i) mekanisk massatillverkning, omfattande både mekaniska och halvkemiska processer. och (ii) kemisk massatillverkning, omfattande sulfat, sulfit och dissolvingmassa-processer.

I den mekaniska massaprocessen genereras, förutom massa, även slam och bark. Ett massautbyte på 95 % antas och resten av kolet (5 %) finns i slammet. Huvuddelen av slammet hanteras via förbränning och ungefär 10 % av kolet i slammet antas gå till vatten som COD/TOC (baserat på kommunikation med massa- och pappersindustrin).

Volymen bark bestäms av andelen bark i massaved enligt Christiansen (2014). Bark antas vara delvis förbränt internt i barkpannor och resten säljs till el- och värmesektorn (se avsnitt 4). Dessa flöden är osäkra på grund av bristen på data, men de har uppskattats under antagande att det för avsalumassabruken är mer sannolikt att överskott av bark, ur ett energibehovsperspektiv, föreligger.

I den kemiska massaprocessen genereras förutom massa, slam och bark flera ytterligare biprodukter. Utbyten för biprodukterna, såsom råtallolja, metanol, terpentin och svartlut har samlats in från Staffas (2015). Bark och slam uppskattas på liknande sätt som för den mekaniska massaprocessen.

Både mekanisk och kemisk massa kan säljas som avsalumassa eller vidareförädlas till olika pappersprodukter såsom förpackningar, grafiskt papper, mjukpapper och annat. Data om pappersproduktion, export, konsumtion samt återvinningsbarhet är hämtade från Skogsindustrierna (2022a). Pappersprodukter som inte återvinns antas skickas till el- och värmesektorn för förbränning. Kolhalten för de olika pappersprodukterna är hämtade från Wernet et al. (2016)

Med intern energi avses biobaserad energi som krävs för både massa- och pappersproduktion, vilket även omfattar överskottsvärme och/eller elproduktion som säljs till elnätet eller fjärrvärmen (se bilaga 5). Observera att fossila bränslen och el som används inom massa- och pappersindustrin inte ingår då de inte är relevanta för biogena utsläpp. Den totala biobaserade energianvändningen är hämtad från Skogsindustriernas miljödatabas (Skogsindustrierna, 2022b) och den består endast av bark i mekaniska massabruk. I kemiska massabruk utgörs den biobaserade energianvändningen av bark, svartlut, metanol, talloljebeck, samt sågspån och grot. Den interna användningen av

© RISE Research Institutes of Sweden

talloljebeck ges av (Berglin & Schenck, 2022) och användningen av sågspån och grot har uppskattats utifrån en energibalans och tillgången på grot.

I syfte att verifiera kolflödena presenterade under avsnitt 2.2 har dialoger förts med SCA, Metsä Board, Rottneros, Holmen, Södra, Billerud och Stora Enso. I dialogerna har tillsänt material bestående preliminära sankeydiagram använts som underlag. Presenterat material under dialogerna är som i avsnitt 2.2 summan av hela Sveriges kolflöden i denna värdekedja. Samtliga intressenter bekräftar, ur deras perspektiv, att flödena överensstämmer med den bild de har, dvs de ”hittar igen sin verksamhet” i sankeydiagrammet.

I flertalet av dialogerna påpekades att slamgenerering och hantering borde ingå i totalbilden, inte minst då det är potentiell källa för värdeskapande och inte som fallet är idag, ett problem som måste hanteras genom förbränning, sluttäckning av deponier etc. Den goda synpunkten och önskade kompletteringen är gjord.

Dessutom framkom i ett par fall att kolflödet till recipient (COD/TOC) borde finnas med. Detta trots att flödet är mycket litet. Just att flödet *ä r* litet kan ju i flera sammanhang vara viktigt att kunna visa. Även denna komplettering är gjord baserat på nämnda dialoger.

2.2 Kolflöden

De biogena kolflödena för produktion av massa och pappersprodukter visas i Figur 2 och Tabell 1. Detaljerade data för varje flöde avseende kol, volym/vikt och energienheter samt antaganden och motsvarande källor finns i bilaga 1.

Den övergripande bilden är att ungefär 88% av massaveden går till kemisk massatillverkning med resterande 12% till mekanisk massatillverkning. I mekanisk massatillverkning är hamnar en stor del (ca 90%) av råvarans kol i massan medan det för kemiska massabruk är mindre än 40%. Restprodukterna i kemisk massatillverkning eldas till största del upp för processens energiförsörjning och kolatomerna blir koldioxid som släpps till atmosfären i rökgaser. En tredjedel av massan säljs på exportmarknaden medan resten blir pappersprodukter inrikes. En stor del av dessa exporteras; totalt sett går 92% av massa- och pappersindustrins produktion till export. En mycket liten del av biprodukterna, främst råtallolja, säljs vidare för bioraffinering, som beskrivs nedan.

Den totala mängden massa som svensk industri producerade 2020 var cirka 12 Mt, vilket motsvarade cirka 12,6 Mt kol i råvaran från vilken 85 % kom från avverkad biomassa från svensk skog, antingen direkt (64 %) eller via sågverk (20,5 %).

Mekaniska massabruk använde råvara med 1,6 Mt kol (mindre än 12 % av det totala kolet) för att producera 3 Mt massa med 1,4 Mt kol (88 % av kolet i ingående ved till mekaniska massabruk återfinns i massan). Resten av kolet återfinns i bark (7 %) och i slam (5 %).

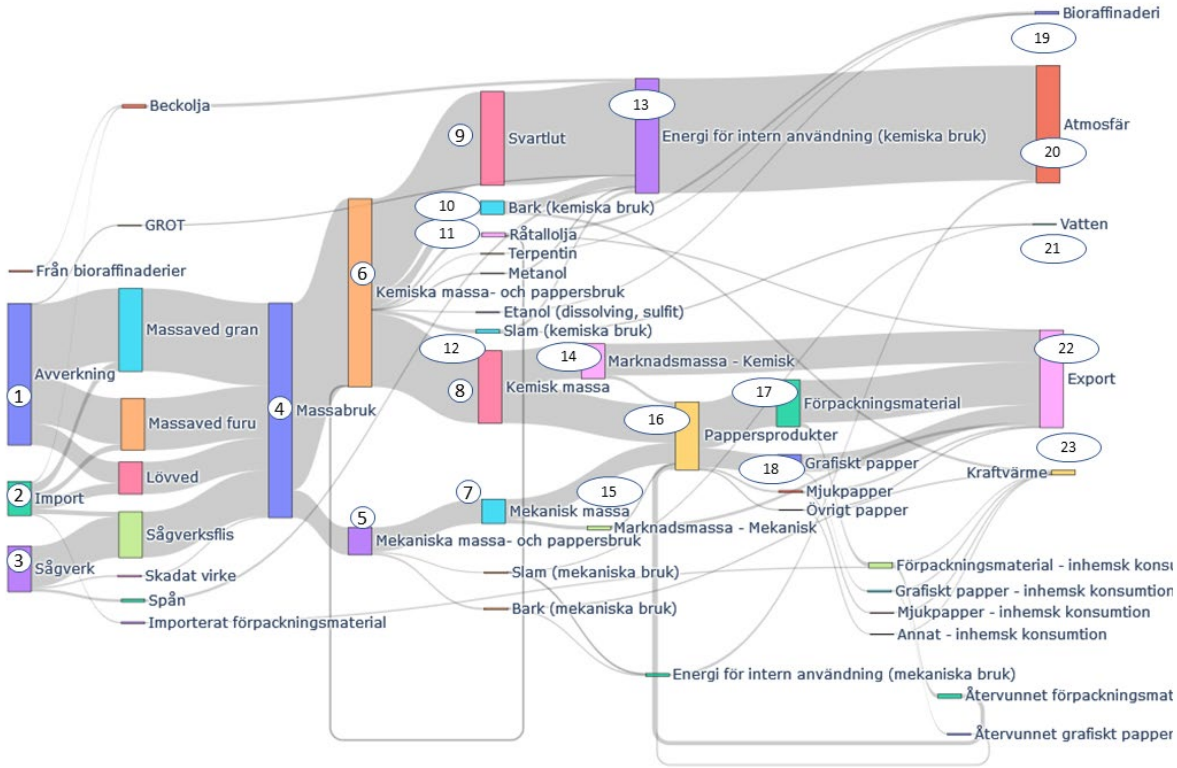
Kemiska massabruk använde råvara med 11 Mt kol (88 % av det totala kolet) för att producera 9 Mt massa. Av det totala kolet i råvaran för kemisk massaproduktion hamnade 38 % i kemisk massa, 48 % i svartlut, 7 % i bark, 2 % i slam, 2 % i råtallolja och resten i metanol och terpentin.

© RISE Research Institutes of Sweden

Det mesta av biprodukterna vid kemisk massaproduktion, det vill säga svartlut, metanol och bark används för intern energi. Internt producerad råtallolja skickas till bioraffinaderier (se avsnitt 5 nedan), som i sin tur skickar tillbaka becktallolja för användning som energi tillsammans med importerad becktallolja. Dessutom används mindre volymer sågspån från sågverk och avverkningsrester från skogen internt. Totalt motsvarar biobaserad intern energi 57,1 TWh och 6,4 Mt kol.

Av den totala pappersproduktionen på 9,6 Mt (motsvarande 3,8 Mt kol) finns endast 1 Mt pappersprodukter (420 kt kol) kvar på den svenska marknaden. Detta inkluderar även importerade förpackningar. Merparten av den producerade avsalumassan exporteras; 4 Mt kemisk massa med 1,8 Mt kol, 0,3 Mt mekanisk massa med 168 kt kol och 8,6 Mt pappersprodukter med 3,5 Mt kol.

Totalt återfinns, grovt räknat, 5,5 Mt kol (44 % av det totala kolet som kommer in i massa- och pappersbruken) i exporterade produkter; 6,6 Mt kol (53 %) är associerad med intern energigenerering där kolet används och släpps ut i atmosfären som CO2 från massafabrikernas skorstenar (endast 1 % i mekaniska massafabriker). Därutöver används 260 kt kol (2 %) och 160 kt kol (1 %) inom el- och värmesektorerna respektive bioraffinaderi. 30 kt kol (0,2%) går till recipient.



Figur 2. Biogena kolflöden för produktion av massa och pappersprodukter år 2020

© RISE Research Institutes of Sweden

Tabell 1. Biogena kolflöden för produktion av massa och pappersprodukter år 2020

#	Material	Flöde kt kol, 2020
1	Avverkning i Sverige för massa- och pappersbruk	8000
2	Import	1929
3	Sågverk	2582
	TOTALT KOL I VÄRDEKEDJAN[1]	**12588**
4	Massabruk[2]	12139
5	Mekaniska massa- och pappersbruk	1560
6	Kemiska massa- och pappersbruk	10940
7	Mekanisk massa	1377
8	Kemisk massa	4112
9	Svartlut	5290
10	Bark (kemiska bruk)	751
11	Råtallolja	228
12	Slam (kemiska bruk)	216
13	Energi för intern användning (kemiska bruk)	6478
14	Marknadsmassa - Kemisk	1983
15	Marknadsmassa - Mekanisk	210
16	Pappersprodukter	3801
17	Förpackningsmaterial	2628
18	Grafiskt papper	1071
19	Bioraffinaderi	162
20	Atmosfär	6639
21	Vatten	29
22	Export	5509
23	Kraftvärme	256

2.3 Diskussion och utvecklingsmöjligheter

Baserat på erhållet resultat från datainsamlingen och från de ovan nämnda dialogerna är det tydligt att en stor potential för ökad koleffektivitet finns i värdekedjan då i princip hälften av intaget biogent kol i slutändan, genom förbränning, går ut i atmosfären som CO2.

Oavsett process är strävan att så mycket som möjligt av kolet ska bindas i fibrerna genom ökat utbyte. Möjligheterna till gigantiska utbytesförbättringar med de kemiska processerna (sulfat och sulfit) med fokus på blekta pappersprodukter och dissolvingmassa är begränsade även om ökat utbyte med någon eller några procentenheter är inom räckhåll. För produktion av oblekta produkter med kemiska processer är möjligheterna större genom att minska den kemiska insatsen och öka det mekaniska, eldrivna, inslaget i fiberfriläggningen.

[1] Inklusive flöden från avverkningar i Sverige, import, sågverk och bioraffinaderier.
[2] Observera att det inte tar hänsyn till flöden som används direkt för intern energi (d.v.s. spån, GROT och beckolja)

© RISE Research Institutes of Sweden

Som framgår av figur 2 ovan är förhållandet kemisk/mekanisk massatillverkning ungefär 10:1. En förändring av det förhållandet, genom kommande investeringar, skulle förbättra koleffektiviteten avsevärt, dvs en ökad andel av TMP och CTMP.

Kolet i svartluten genererad från dagens etablerade processer är väsentligt för den interna energiförsörjningen. Ett uttag av lignin för vidareförädling till nya produkter förutsätter att kemikalieåtervinningen löses samt att energiförsörjningen säkerställs på andra sätt än genom dagens etablerade förbränning i sodapannorna. När det gäller massabruk utan integrerad pappersproduktion råder idag ett generellt energiöverskott där ett uttag av lignin skulle förbättra såväl energibalansen som koleffektiviteten. Teknik för ligninuttag finns, tex Lignoboost och ligninbaserad materialutveckling sker på olika håll där goda idéer och innovationer befinner sig på olika stadier beträffande uppskalning och kommersialisering.

Genererad barkfraktion från dagens processer har också en koleffektiviseringspotential då bark innehåller en rad kemiska komponenter som rätt använda kan omvandlas till högvärdiga produkter. Idéerna är många och goda på detta område.

Slammet från kemiska och mekaniska massabruk betraktas idag i huvudsak som ett problem som framför allt löses genom förbränning med tveksamt energivärde eller för sluttäckning av deponier. Drivkraften att göra något bättre med slammet är stor och av gemensamt intresse för hela massa- och pappersindustrin. Exempel på kommersiellt nyttjande av slam finns redan tex för produktion av odlingssubstrat och flera forsknings- och utvecklingsprojekt pågår, bland annat fokuserade på den ”sockerfraktion” som återfinns i fiberslam.

Ett fokusområde som ofta lyfts i dialogerna med industrin, och som löpande är i fokus i det interna utvecklingsarbetet, är att minska fiberinnehållet, ekvivalent med kolbehovet, med bibehållen funktion i slutprodukten; t.ex. fler kvadratmetrar produkt med bibehållet fiber-/kolnyttjande alternativt samma antal kvadratmetrar med minskat fiber-/kolbehov. Detta område kan ha stor potential att öka nyttan av skogliga råvaror i samhället. Ur ett kolbalansperspektiv ändrar detta dock inte nödvändigtvis bilden som givits ovan, eftersom funktionen hos produkten inte påverkar denna. Bilden över dagens förhållande rörande hur mycket kol som tas in i värdekedjan och hur mycket som går ut i form av koldioxid behöver inte påverkas.

CCS (carbon capture and storage) och CCU (carbon capture and utilization) och de tekniker som tagits fram för detta ändamål eller är under utveckling har en väsentlig potential att nyttjas i massa- och pappersindustrin för att minska utsläppen av CO_2. Detta är ett område som noga följs från industrin. Det finns exempelvis teknik för att elektrokemiskt omvandla rökgasernas koldioxid till metanol eller kolvätebaserade bränslen. Om denna teknik används kan produkten ersätta motsvarande fossila produkt och därmed bidra till klimatomställningen. Om koldioxiden lagras ger den upphov till negativa emissioner och bortför koldioxid från atmosfären.

© RISE Research Institutes of Sweden

3 Sågverk och träindustri

Kartläggning av kolflöden inom sektorn för sågverk och träindustri inkluderar sågverk samt trämekanisk industri i form av produktion av ex spånskivor. Kartläggningen omfattar även nedströms användning av produkterna för dessa.

3.1 Metodik, datakällor och antaganden

Följande är en sammanställning av de primära datakällor som använts för att definiera flöden inom sågverkssektorn, för mer detaljerad information hänvisas till bilaga 2.

Biometria (2022) har använts som primär datakälla för flöden av rundved från avverkning och import till sågverken. Biometria har även använts som källa för flödet av råflis från sågverken till papper-massa industrin.

För att definiera produktionen av sågat timmer och export av detta har statistik från Skogsindustrierna (2022) använts. Statistik från Svenskt Trä (2022) har också använts för att definiera den inhemska användningen i form av kortlivade produkter, ex. emballage och formträ, samt mer långlivade produkter, ex. möbler och hus.

Specifik industridata har använts för att komplettera information kring produktionen och användningen av råvaror för tillverkning av spånskivor, samt produktionen av strömaterial för djurhållning.

Generella utbytesfaktorer har använts för att definiera mängden biprodukter som finns tillgängliga från sågverken, såsom bark och spån, samt den interna användningen av dessa för intern värmeproduktion. Generella faktorer har också använts för att definiera diverse förluster, såsom kassation och förorenad bark.

För aktuell värdekedja har dialoger genomförts med representanter från Derome och Södra. Preliminära resultat för flödet av biogent kol i sågverkssektorn har använts som underlag. I dialogerna framkom att ansatta andelar för intern förbränning av bark respektive spån och flis sannolikt skulle förskjutas till en högre andel bark. Dessutom framkom att det även förkommer en del export av spån och torrflis. Båda synpunkterna har införlivats i slutgiltig balans. Det noterades även att det är mycket höga osäkerheter i värden för substansförluster från lagring av biprodukter, där lagringstid har stor inverkan på förlusten, och beroende på affärsmodell så kan lagring ske antingen hos sågverket, eller hos användaren av ex. spån, eller båda.

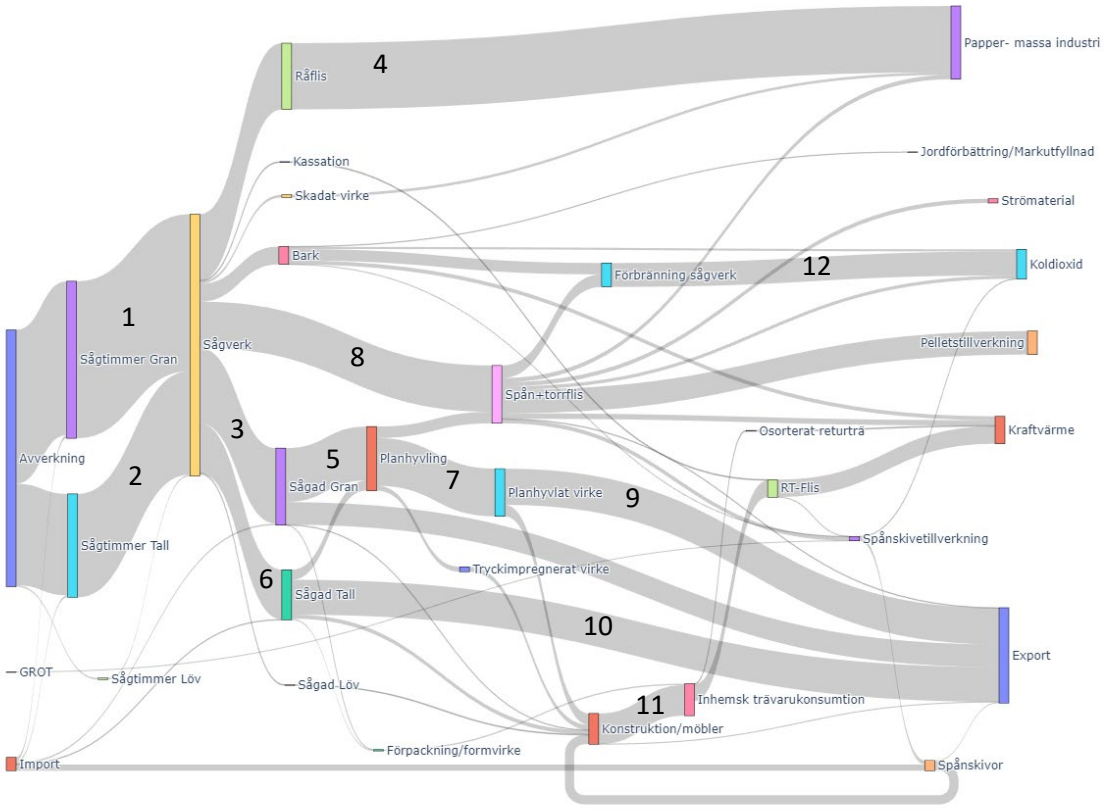
3.2 Kolflöden

Sektorn för sågverk och träindustri kännetecknas av en hög andel användning av inhemska råvaror, där endast 2% av timret kommer från import. Dessutom har sektorn en hög andel export över hela värdekedjan, som visas i Figur 3 och Tabell 2, där 3,4 Mt kol exporteras, vilket kan jämföras med den inhemska användningen (inklusive energiändamål) på 12,1 Mt kol, inklusive användning inom papper-massaindustrin, och 9,5 Mt kol exklusive papper-massaindustrin. Samtidigt släpps 1,1 Mton kol i form av koldioxid ut i atmosfären till följd av förbränning för att täcka värmebehov, där 18% av utsläppet till atmosfären härrör från lagringsförluster. När det gäller lagringsförluster förloras ungefär 7% av allt spån och 12% av all bark till följd av biologisk nedbrytning, vilket motsvarar en total förlust på 1,8 TWh. Dessa förluster är omgärdade av en relativt

© RISE Research Institutes of Sweden

stor osäkerhet, där ex. sågverkens affärsmodeller har en stor inverkan på tiden tills biprodukterna omsätts där kortare ledtider resulterar i lägre förluster.

Av det timmer som används inom sågverken hamnar 42% (3,9 Mt kol) i sågade produkter (såsom sågad tall, sågad gran, sågat löv och planhyvlat virke enligt Figur 3). Till detta tillkommer den inhemska produktionen av spånskivor som motsvarar 0,14 Mt kol. Spånskivor är den enda produkten som har en signifikant import, vilket är 1,5 gånger större än den inhemska produktionen under 2020. Den årliga ackumuleringen av trävaror i den inhemska marknaden är 0,5 Mt kol, denna siffra kan däremot dölja andra osäkerheter kring export av trävaror, samt varor som går till förbränning, men ej har klassats som förbränning av returträ.



Figur 3. Kolflöde för värdekedjan sågverk och träindustri

Tabell 2. Kolflöde för värdekedjan sågverk och träindustri

#	Från	Till	Flöde kt kol, 2020
1	Sågtimmer Gran	Sågverk	5517
2	Sågtimmer Tall	Sågverk	3636
3	Sågverk	Sågad Gran	2651
4	Råflis	Papper- massa industri	2330
5	Sågad Gran	Planhyvling	1895
6	Sågverk	Sågad Tall	1747
7	Planhyvling	Planhyvlat virke	1677
8	Sågverk	Spån+torrflis	1629
9	Planhyvlat virke	Export	1274
10	Sågad Tall	Export	1226
11	Konstruktion/möbler	Inhemsk trävarukonsumtion	1076
12	Förbränning sågverk	Koldioxid	842

© RISE Research Institutes of Sweden

Av den primära råvaran som används inom sågverken hamnar 29% i sågad gran (2,65 Mt kol) och 19% i sågad tall (1,75 Mt kol). Därutöver bildas biprodukter med en signifikant andel av råvarans kol: 25% i råflis (2,33 Mt kol), 18% i spån och torrflis (1,63 Mt kol), 7% i bark (0,63 Mt kol) och 1% klassas som skadat virke (sågad lövved och kassation motsvarar mindre än 1%). Till spån och torrflis tillkommer ytterligare 20% från planhyvling (0,4 Mt kol).

En majoritet av de biprodukter som bildas vid sågverken används inom andra industrier, och endast 20% (0,9 Mt kol) används för att täcka det interna värmebehovet. All råflis används som råvara för papper-massaproduktion. Dessutom används 26% av biprodukterna för värmeproduktion inom kraftvärme och papper-massaindustri och 18% används för pelletsproduktion.

Sågverkssektorn kännetecknas också av stora skillnader mellan hur individuella anläggningar använder sina biprodukter, beroende på affärsmodell och den lokala efterfrågan på biprodukter. Det kan därför finnas signifikanta skillnader mellan flöden för olika sågverk och hur dess biprodukter fördelar sig på olika användningsområden.

3.3 Diskussion och utvecklingsmöjligheter

Det finns potential för att öka koleffektiviteten genom att korta ledtiderna för lagring av biprodukter där en förlust av kol uppstår på grund av biologisk nedbrytning, som uppskattas till 7% för spån och 12% för bark (totalt 0,19 Mt kol). Denna förlust innebär att kol läcker ut i atmosfären utan att det har bidragit till någon funktion som ex intern värmeproduktion. Beroende på affärsmodeller kan lagring ske antingen hos sågverk, hos användare av biprodukter, eller hos båda. Det bör noteras att en del av lagringsförlusterna är en följd av säsongsvis lagring, som sker för att möta högre efterfrågan från exempelvis kraftvärmeverk under vintern. Denna lagring kan vara nödvändig för vissa sågverk för att säkerställa avsättning av biprodukterna, och i vissa fall kan det vara utmanande att korta ledtider på grund av ojämn efterfrågan under året.

En annan potential för att öka koleffektiviteten är att öka användningen av RT-flis vid tillverkning av spånskivor. Genom att öka mängden RT-flis som används kan antalet användningar av kol innan det förbränns öka. Detta bidrar till att kol stannar bundet längre tid i produkterna innan det återgår till atmosfären.

Dessutom finns det potential att öka mängden tillgängliga biprodukter på marknaden genom att öka verkningsgraden i de pannor som används för intern energiförsörjning på sågverken eller genom att använda andra värmekällor. Här kan värmeintegration med nya processer för omvandling av dessa biprodukter vara viktigt. Ett exempel är den pyrolysanläggning som PyroCell byggt vid Kastets sågverk. Denna använder sågspån som råvara och ger förutom att producera pyrolysolja för drivmedelsproduktion även restvärme som används i sågverket.

I intervjuerna med sågverksföretag framkom att det sannolikt går att öka utbytet över sågverken, med en större andel som hamnar i sågade trävaror. Detta följer från att sågverken generellt har högre utbyte under lågkonjunkturer jämfört med högkonjunkturer.

© RISE Research Institutes of Sweden

4 El- och värmesektorn

El- och värmesektorn består av två delar; storskalig kraftvärme och värmeproduktion samt småskalig förbränning.

4.1 Metodik, datakällor och antaganden

Data för storskalig kraftvärme och värmeproduktion kommer huvudsakligen från Energiföretagen (2020). Energiföretagen samlar in, bearbetar och presenterar årligen data gällande energitillförsel för el- och värmeproduktion. Energiföretagens medlemmar står för drygt 98% av fjärrvärmeleveranserna i Sverige.

Både oförädlade (bark, GROT, spån och stamvedsflis) och förädlade bränslen (pellets, briketter och pulver, men visas tillsammans som pellets, tallbeckolja, papper) samt RT-flis används för storskalig kraftvärme och värmeproduktion. Vid t ex rivningar hamnar en del returträ i avfall, det finns dock ingen statistik som visar hur mycket det är (Khodayari, 2022). Vi har därför bara indikerat att detta flöde finns genom att ansätta ett värde (osorterat returträ, se figur 4).

Det som i statistiken från Energiföretagen kallas stamvedsflis har här benämnts som sekunda ved. Detta flöde utgörs främst av skadad ved, klena träd (sk gallringsrester), men även av mindre volymer som inte sågverk kan ta emot (Khodayari, 2022).

För småskalig förbränning används huvudsakligen brännved och pellets. Brännvedsanvändningen bygger på statistik från Energimyndigheten (2020). Total användning av pellets (samt import och export) finns sammanställt genom insamling av data från Sveriges pelletsproducenter (Bioenergi, 2021). Användningen av pellets för småskalig förbränning fås genom skillnaden mellan total användning och användningen för storskalig förbränning enligt Energiföretagen (2020). Småskalig förbränning sker i en- och flerfamiljshus, men också i t ex bondgårdsfastigheter. Då det inte finns någon samlad statistik för denna ”sektor”, finns det andra flöden än det som finns med här som inte är inkluderade pga avsaknad av statistik. Detta inkluderar t ex eldning av briketter, pulver, pappersprodukter och träprodukter. Det inkluderar även eldning av t ex flis och annat oförädlat bränsle som används på bondgårdar (IRENA, 2019).

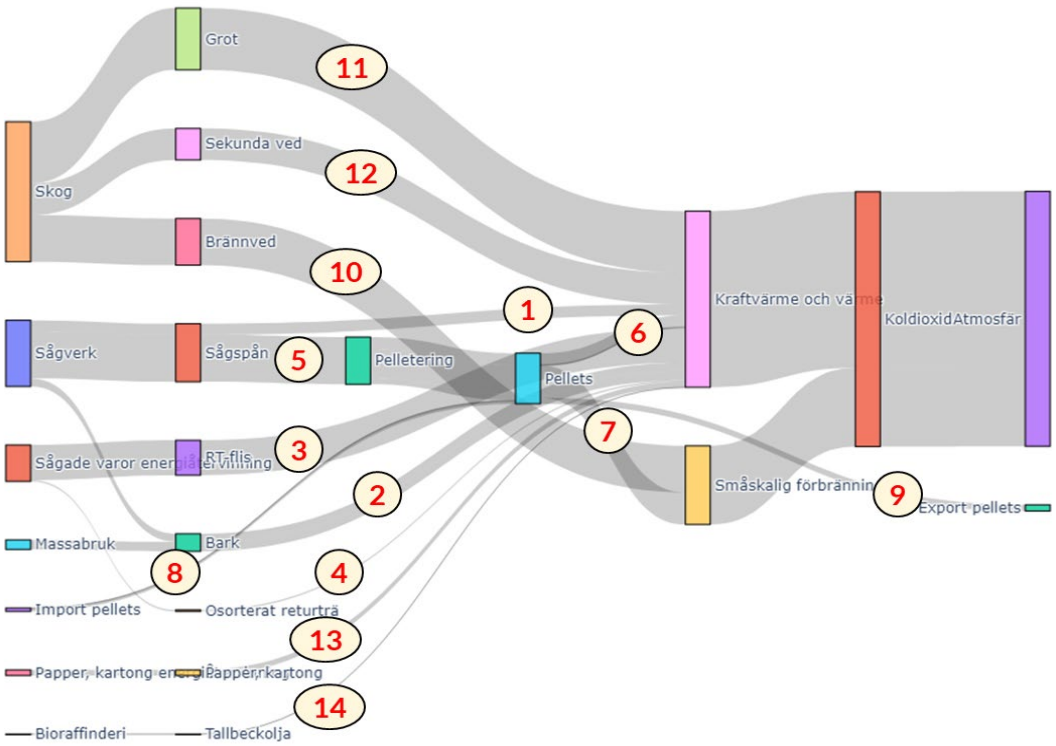
Inom ramen för denna del har företagsdialoger med Energiföretagen, Svebio samt Växjö Energi förts. Till Energiföretagen (Khodayari, 2022) fanns en hel del frågor om statistiken och kompletterande information som behövdes. I samtliga dialoger presenterades preliminära resultat och möjligheter för ökad kolleffektivitet diskuterades.

4.2 Kolflöden

Figur 4 och Tabell 3 visar skogsbaserade kolflöden i el och värmesektorn för 2020 (övriga bränsle, såsom avfall av annat ursprung inkluderas därför inte). I bilaga 3 finns ytterligare data för alla flöden presenterade tillsammans med källor, antaganden och kommentarer. Den övergripande bilden är att majoriteten av bränslet kommer direkt från skogen (brännved, grot eller sekunda ved) men även industrirestprodukter (sågspån och bark) samt energiåtervunna produkter trä utgör betydande delar. Kolflöden i storskalig förbränning (kraftvärem och värme) är ungefär dubbelt så stora som de i småskalig. Endast en mycket liten del pellets går till export.

© RISE Research Institutes of Sweden

Totala kolflödet till storskalig kraftvärme- och värmeproduktion är ungefär 3100 kton/år, motsvarande 29,5 TWh/år, och till småskalig förbränning ungefär 1400 kton/år, motsvarande 13,3 TWh/år. Värdet för storskalig kraftvärme- och värmeproduktion är relativt säkert, då det till mycket stor del bygger på inrapporterad statistik (kompletterat med några antaganden för att all användning ska inkluderas). För småskalig förbränning är som diskuterats all användning inte inkluderad då det saknas statistik. Men förbränning av brännved och pellets bör utgöra den absoluta majoriteten av den småskaliga förbränning med ursprung i skogen som sker i Sverige.



Figur 4. Kolflöden i el- och värmesektorn 2020

Tabell 3. Kolflöden i el- och värmesektorn 2020

#	Material	Flöde kt kol, 2020
1	Sågspån för direktanvändning som bränsle i kraftvärme och värme	189
2	Bark till kraftvärme och värme	307
3	Sorterat returträ, sk RT-flis, till förbränning i kraftvärme och värme	610
4	Osorterat returträ till förbränning i kraftvärme och värme	25
5	Sågspån för tillverkning av pellets	825
6	Pellets till kraftvärme och värme	217
7	Pellets till småskalig förbränning	559
8	Import av pellets	14
9	Pellets för export	108
10	Brännvedtill småskalig förbränning	815
11	Grot till kraftvärme och värme	1081
12	Sekunda ved till kraftvärme och värme	551
13	Papper och kartong till kraftvärme och värme	99
14	Tallbeckolja till kraftvärme och värme	0,2

© RISE Research Institutes of Sweden

4.3 Diskussion och utvecklingsmöjligheter

Det finns flera sätt att uppnå högre koleffektivitet inom el- och värmesektorn. Koleffektiviteten kan ökas både mer direkt (genom CCS eller CCU). Vid CCU kan nya produkter bildas ur koldioxidströmmen. Vid CCS bildas inte nya produkter som når en marknad men genom en permanent lagring nyttiggörs kolet genom att bortföras från atmosfären (negativa utsläpp), vilket i detta sammanhang definieras som att bidra till koleffektivitet (effekten kan konceptuellt jämföras med att producera t.ex. ett biogent drivmedel som ersätter ett fossilt och därmed minskar nettotillförseln av kol till atmosfären).

Även indirekt kan effektiviteten ökas genom att öka verkningsgraden i produktionen av el- och värme. Genom att göra det krävs mindre skogsråvara för att producera samma mängd energiprodukter, vilket betyder att råvara kan frigöras för andra ändamål och bidra till högre koleffektivitet i systemet.

För småskalig förbränning är det primärt utbyte av pannor för ökad verkningsgrad som kan bidra till högre koleffektivitet i systemet. Men för storskalig kraftvärme och värmeproduktion finns flera vägar till ökad kolleffektivitet. Utifrån traditionella kraftvärmeverk, där kolet avgår som koldioxid genom skrotstenen, är implementering av avskiljning och lagring av den biogena koldioxiden (bio-CCS) för negativa utsläpp eller avskiljning och användning av den biogena koldioxid (bio-CCU) för substitution av fossil/a koldioxid/produkter de huvudsakliga vägarna för att signifikant öka koleffektiviteten. Men detta kan givetvis kombineras med åtgärder som effektivare pannor och turbiner.

Vid nyinvesteringar finns en möjlig övergång från traditionella kraftvärmeverk och värmeverk till bioraffinaderier/kombinat som producerar exempelvis drivmedel eller kemikalier, tillsammans med el och värme. Här finns i allmänhet möjligheter att på ett mer energieffektivt sätt öka kolutnyttjandet, antingen genom att lagra den koldioxid som i flera fall avskiljs som en del i processen eller att genom att tillsätta el/vätgas se till att mer av kolet återfinns i produkten.

© RISE Research Institutes of Sweden

5 Bioraffinaderier och nya produkter

Sektorns som benämns ” Bioraffinaderier och nya produkter” i denna rapport omfattar produktion av annat än skogsindustrins traditionella högvolymprodukter, dvs fiberbaserade produkter (massa, papper, kartong, tissue etc) och produkter baserade på sågat trä (konstruktionsvirke mm). En del av dessa produkter, t.ex. etanol från sulfitlut, har producerats under lång tid. Totalt sett är detta en sektor som har små volymer idag men där en snabb och omfattande utveckling förväntas, driven av den pågående samhällsomställningen.

5.1 Metodik, datakällor och antaganden

Denna sektor har idag bara ett fåtal aktiva företag med betydande produktion, varför data direkt från dessa företag i många fall kunnat användas. De största processerna är omvandling av råtallolja till olika produkter.

Övergripande data kommer från vissa årsredovisningar/miljöredovisningar samt kommunikation med ett urval av viktiga företag (Kraton, SunPine, Domsjö, SEKAB). Fördelningen inhemsk/importerad tallolja baseras på indikativ information från företagen. Fördelningen av produkter från talloljedestillation är anläggningsspecifik och till viss del företagshemlig. Produktmixen samt hur mycket av olika produkter som används inrikes respektive går på export baseras på ungefärliga data från företagen samt antaganden utifrån mer generell processkunskap (Weidner, 2016).

För biodrivmedel har Energimyndighetens statistik (Energimyndigheten, 2021), med data över råvaror och deras ursprungsland, använts för att bedöma hur mycket talloljefettsyror som går till HVO-produktion i Sverige. För användning av beckolja i kraftvärme, som är mycket liten, har statistik från Energiföretagen använts (se kapitel 0, El- och värmesektorn ovan).

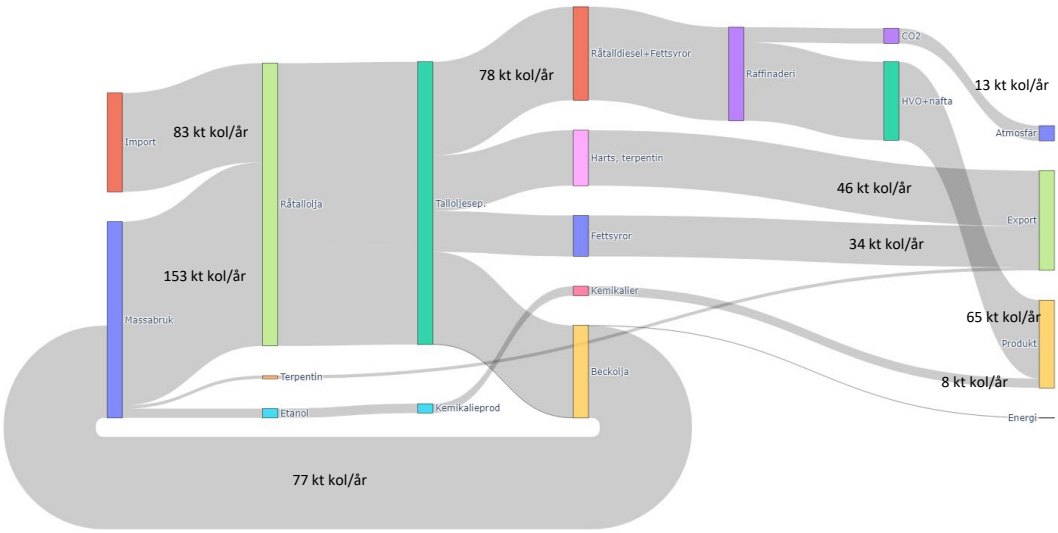
5.2 Kolflöden

Kolflöden inom sektorn illustreras i Figur 5 nedan och detaljerade data finns i Bilaga 4. Som noterats ovan domineras sektorn idag totalt av omvandlingen av tallolja från massabruken till olika produkter och intermediärer. Det finns även en betydande import av tallolja, framförallt från USA.

Den totala mängden tallolja som processas i de två anläggningarna som finns i Sverige (Kraton, Söderhamn och SunPine, Piteå) var ca 300 kt 2020, motsvarande ca 240 kt kol. Grovt sett blir en tredjedel av denna beckolja som går till massabruken som bränsle, framförallt för mesaugnar (se ovan), en tredjedel (fettsyror, vissa hartser) blir råvara för drivmedelsproduktion (hos Preem, Göteborg) och en tredjedel blir hartser och fettsyror som till allra största del går till utrikes kemiindustri.

Det finns även produktion av mindre mängder etanol (Aditya Birla Domsjö) som vidareförädlas till kemiska produkter (SEKAB), samt terpentin vid flera massabruk, som till allra största del går på export.

© RISE Research Institutes of Sweden



Figur 5. Kolflöden för sektorn bioraffinaderier och nya produkter 2020

5.3 Diskussion och utvecklingsmöjligheter

Inom området sker redan en snabb utveckling både inom tallolja och andra områden. Sen 2020 har SunPine ökat sin kapacitet för separation av råtallolja med 50%. Det ökade råvarubehovet möts främst med importerade volymer. I närområdet sker även utveckling i Finland där Fintoil byggt en ny anläggning för separation av 200 kt/år råtallolja, som startade 2022.

St1 och SCA startade 2021 ett gemensamt bolag för att producera och sälja biodrivmedel. SCA kommer att leverera tallolja till en ny produktionsanläggning vid St1:s raffinaderi i Göteborg med en kapacitet för 200 kt/år flytande biodrivmedel, som planeras att tas i drift i andra kvartalet 2023 (St1, 2021).

På produktsidan för talloljebaserade processer sker hos vissa aktörer en rörelse mot produkter som binder kol längre än energiprodukter och därmed kan ha en högre klimatnytta. Det görs t ex försök med beckolja som s.k. ”bitumen extender” i asfalt och tjärpapp. I dagsläget finns det god lönsamhet att sälja fettsyror till kemiindustrin. Hög efterfrågan till biodrivmedel har drivit upp priser generellt.

Även utanför talloljesektorn har det sen 2020 tagits några produktionsanläggningar för nya produkter i drift. Södra har vid massabruket i Mönsterås byggt en anläggning för separation av ca 5 kt/år metanol som bildas som en biprodukt vid massaproduktion. Metanolen säljs under namnet Liquid Forest™.

Genom det samägda bolaget PyroCell har Setra och Preem satsat på drivmedelsproduktion från sågspån. PyroCell har byggt en pyrolysanläggning vid Kastets sågverk utanför Gävle, där sågspån omvandlas till ca 25 kt/år bioolja, som sedan uppgraderas till biodrivmedel vid Preems raffinaderi i Lysekil. Denna produktionskedja är den första i sitt slag i världen.

Det finns en stark drivkraft till fortsatt utveckling inom området genom en ökad efterfrågan på hållbara drivmedel, kemikalier och material. Hela denna utveckling är

© RISE Research Institutes of Sweden

omöjlig att diskutera i detta sammanhang. Nedan ges exempel på processer, råvaror och produkter som har stor potential

Det är framför allt bi- och restprodukter från skogsbruk och skogsindustri som är lovande råvaror för nya produkter. Exempel är sågspån, bark och svartlut/lignin om dessa kan användas i mindre utsträckning än idag för energiändamål inom skogsindustrin. För produktion av el och värme används idag mer än 40 TWh/år svartlut, ca 10 TWh/år sågspån/torrflis samt ca 8 TWh/år bark (som redovisas i flöden i kapitel 2 och 3 ovan). Det finns även mycket stor potential till en mer omfattande användning av grenar och toppar, genom ett större uttag från skogen (se kapitel 1) även om potentialen begränsas av nödvändiga miljömässiga hänsyn. Den hållbara potentialen för ökat uttag av grenar och toppar har skattats till ca 20 TWh/år (Börjesson, 2021; de Jong, 2017).

Det finns en mängd tekniker under kommersiell utveckling som kan användas för att omvandla dessa råvaror till drivmedel och kemikalier. De viktigaste kan kategoriseras som hörande till någon av fermentering, förgasning och förvätskning. Inom fermentering produceras cellulosabaserat socker som sedan biokemiskt omvandlas till etanol eller andra produkter. Förgasning är en termokemisk process där fast eller flytande biomassa omvandlas till intermediären syntesgas, som sedan kan omvandlas katalytiskt till en stor variation av produkter. Förvätskning bygger på att fast biomassa omvandlas till en flytande intermediär som sedan kan uppgraderas i raffinaderibaserade processer (oftast någon typ av vätebehandling) till drivmedel.

Andra produkter som kan se en stark tillväxt är cellulosabaserade textilfibrer och ligninbaserade kemikalier, (t.ex. hartser). Inom dessa områden sker redan idag kommersiell produktion. Även karboniserade produkter, såsom kolfibrer och material för elektronik, sker en snabb utveckling men de efterfrågade volymerna är troligen mindre än för drivmedel och baskemikalier.

© RISE Research Institutes of Sweden

6 Sammanfattande diskussion och utvecklingsmöjligheter

Nyttjandet av skogsråvaran sker idag i stort enligt en kaskadprincip för att uppnå en maximal resurseffektivitet; i första hand produceras timmer för tillverkning av sågade trävaror och massaved för pappers- och massaindustrin. Dessa verksamheter genererar i sin tur biprodukter som utgör råvara för framställning av bioenergi, samt biobaserade material och kemikalier. Trots dessa principer är det tydligt från den kartläggning som utförts i denna studie att det från ett perspektiv där förnybara kolatomer är i fokus finns en stor potential till ökat resursutnyttjande.

Från de kolflöden som kartlagts är det tydligt att en stor del av de skogsbaserade bioråvarorna används för energiändamål, direkt eller indirekt, vilket innebär att ungefär hälften av kolatomerna blir koldioxid snarare än kolinnehållande produkter. Totalt bildas av skogsråvaror 11 Mt kol i koldioxid genom förbränning (om energiåtervinning av produkter exkluderas). Detta är ungefär hälften av de 21 Mt kol som återfinns i de skogsbaserade råvarorna som används totalt sett. Av de 18,7 Mt kol i råvaror till skogsindustrier återfinns knappt 40% i koldioxid som bildas vid förbränning för energiändamål, till allra största del interna. För sågverk och träindustri är andelen av råvaran som förbränns till koldioxid ca 10% medan den för massa- och pappersindustri är 50%.

Dessa siffror visar på en tydlig potential att använda kolet i de biobaserade råvarorna på ett mer effektivt sätt, förutsatt att både industrins och samhällets energiförsörjning (el och värme) kan hanteras utan energin från förbränningen. Här finns ett flertal olika möjliga vägar inom energieffektivisering och alternativa energikällor. Elektrifiering är av flera möjligheter att minska förbränningen inom skogsindustriella processer, vilket är viktigt för att frigöra restprodukter som råvaror i nya processer. Det är också viktigt att betona möjligheter med bättre utnyttjande av överskottsvärme och processintegration. Många av de alternativa omvandlingsprocesserna för de delar av skogsråvaran som idag förbränns, såsom produktion av kemikalier och drivmedel, ger även upphov till överskottsvärme som delvis kan ersätta värmen från förbränningen. Detta gäller framför allt termokemiska omvandlingsprocesser såsom pyrolys och förgasning.

Den största förlusten av kol sker i massa- och pappersbrukens förbränning av de delar av vedråvaran som inte blir massa. Totalt sett förloras över 6 Mt kol i dessa skorstenar, vilket är nästan en tredjedel av allt kol som finns i råvarorna till hela skogsindustrin. För att möjliggöra att dessa kolatomer i större utsträckning än idag kan ingå i kolinnehållande produkter krävs teknik som gör att massa- och pappersbruken kan hantera energiförsörjning och kemikalieåtervinning utan denna förbränning. Det pågår mycket utveckling inom detta område, som bland annat kräver kommersialisering av nya tekniker för att omvandla svartlutens lignin till nya produkter.

Även inom sågverk kan det finnas stor potential att frigöra restprodukter som idag förbränns, så att de kan användas i processer som ger nya kolinnehållande produkter. Som påpekats ovan kan restvärme från sådana processer vara viktiga för att klara sågverkens energiförsörjning. Eftersom endast värme vid relativt låg temperatur krävs finns stora möjligheter till detta.

© RISE Research Institutes of Sweden

För att bark, sågspån samt grenar och toppar ska kunna användas för andra ändamål än energiförsörjning krävs en kommersialisering av processer som omvandlar dessa till nya produkter. Här finns ett flertal alternativ på lovande tekniker som är relativt välutvecklade men behöver demonstreras i stor skala. Det finns även många tekniker som kan erbjuda nya möjligheter men där teknikmognaden är lägre och vägen till marknaden längre.

En alternativ metod för att nyttiggöra det kol som bildar koldioxid är att fånga in koldioxiden. Denna kan sedan antingen lagras permanent för att ge negativa utsläpp (så kallad CCS, *carbon capture and storage*) eller uppgraderas till produkter med tillsatts av elektrisk energi (så kallad ”power-to-X” eller CCU, *carbon capture and utlization*). De samlade koldioxidutsläppen från skogsbaserade värdekedjor är över 40 Mt biogen koldioxid[3] (motsvarande 11,6 Mt kol, se Figur 1).

[3] För att sätta detta i perspektiv kan siffran jämföras med Vägvalsutredningens (SOU 2020:4) långsiktiga mål om motsvarande 10,7 Mt negativa utsläpp genom s.k. kompletterande åtgärder, vilket inkluderar CCS.

© RISE Research Institutes of Sweden

7 Referenser

Berglin, N., Schenck, A. (2022). Biofuels In Lime Kilns. Operating experience in the Nordic pulp and paper industry. Energiforsk, Report 2022:847. https://energiforsk.se/media/30995/biofuels-in-lime-kilns-energiforskrapport-2022-847.pdf

Bioenergi (2021) Pellets i Sverige 2021. Bioenergi nr 2-2021.

Biometria (2022). Skogsindustrins virkesförbrukning 2017-2021. Available at: https://www.biometria.se/media/fh3hn443/skogsindustrins-virkesfoerbrukning-2017-2021.pdf

Börjesson, P. (2021). Potential för ökad tillförsel av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi – en uppdatering. Lunds universitet. Avdelningen för miljö- och energisystem.

Christiansen, L. (2014). Skogsstatistisk årsbok 2014. Skogsstyrelsen, Skogsstyrelsen. Available at: https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/statistik/historisk-statistik/skogsstatistisk-arsbok-2010-2014/skogsstatistisk-arsbok-2014.pdf

de Jong, J. et al. (2017). Realizing the energy potential of forest biomass in Sweden – How much is environmentally sustainable? Forest Ecology and Management 2017;383:3–16.

Energiföretagen (2020) Tillförd energi till fjärrvärme och kraftvärme: Tillförd energi till fjärrvärme och kraftvärme - äldre statistik - Energiföretagen Sverige (energiforetagen.se).

Energimyndigheten (2020) Produktion, import och export av oförädlade trädbränslen: Produktion av sönderdelade oförädlade trädbränslen fördelade på bränslekategori och råvarans ursprung, GWh, 2013-. PxWeb (energimyndigheten.se).

Energimyndigheten (2021) Drivmedel 2020. Redovisning av rapporterade uppgifter enligt drivmedelslagen, hållbarhetslagen och reduktionsplikten, ER 2021:29

Weidner, E. et al. (2016) Analysis of the European crude tall oil industry – environmental impact, socio-economic value & downstream potential, Fraunhofer Umsicht

Wernet, G., Bauer, C. och Steubing, B. (2016) The Ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. Int J Life Cycle Assess 21.

IRENA (2019) Bioenergy from boreal forests: Swedish approach to sustainable wood use, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Khodayari (2022) Samtal med Raziyeh Khodayari, Energiföretagen, 20221121.

Skogsindustrierna (2022a, November). Statistics. https://www.forestindustries.se/forest-industry/statistics/

Skogsindustrierna (2022b, December). Skogsindustriernas miljödatabas. https://miljodatabas.skogsindustrierna.org/simdb/Web/main/reportselect.aspx?l1=report

© RISE Research Institutes of Sweden

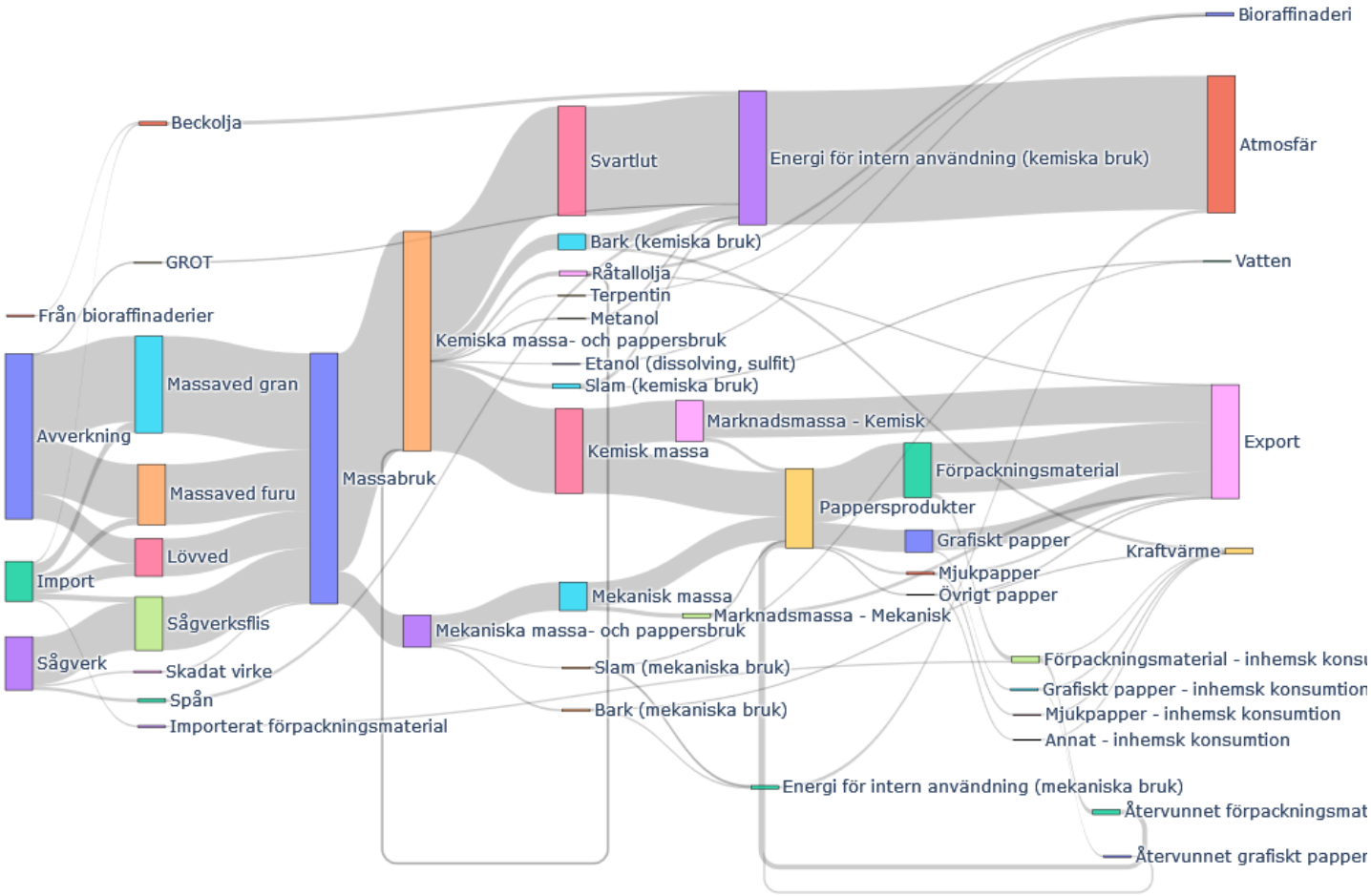
Staffas, L., Sidvall, A., & Munthe, J. (2015). Råvaruströmmar från skogen-tillgång och samband. IVL Svenska Miljöinstitutet.

St1 (2021) Pressmeddelande

Wiegandt (2015) Konditionering av sågspån vid produktion av bränslepellets. Tillgänglig på: (diva-portal.se)

© RISE Research Institutes of Sweden

Bilaga 1. Data för massa- och pappersindustri



© RISE Research Institutes of Sweden

Från	Till	Kolflöde (kt kol)	Energi (TWh)	Spec. flöde	Enhet (million)	Källa	Assumptions & comments
Avverkning	Massaved furu	2605	28.4	10.5	mfub	Biometria (2022) (mfub)	Share of pine/spruce from felling = total share of pine/spruce. Additional 12% bark for energy and carbon flows; wood density: 0.46 tDM /m3fub wood (weighted for the different tree species); carbon content: 0.49 tC/tDM wood; bark density 0.335 tDM /m3 bark; LHV wood: 5.4 MWh/tDM LHV (50% moisture) bark: 2.4 MWh/ton (1.602 MWh/m3) Source: Christiansen (2014)
Avverkning	Massaved gran	4156	45.3	16.8	mfub	Biometria (2022) (mfub)	Share of pine/spruce from felling = total share of pine/spruce
Avverkning	Lövved	1218	13.3	4.9	mfub	Biometria (2022) (mfub)	
Avverkning	GROT	22	0.2	0.0	tDM		Total GROT from forest - GROT used in CHP. LHV Grot: 2.6 MWh/t (45% moisture) Source: See CHP, LHV dry= 5.3 MWh/tDM (recalculated)
Import	Massaved furu	333	3.6	1.3	mfub	Biometria (2022) (mfub)	Share of pine/spruce from felling = total share of pine/spruce
Import	Massaved gran	532	5.8	2.1	mfub	Biometria (2022) (mfub)	Share of pine/spruce from felling = total share of pine/spruce
Import	Lövved	608	6.6	2.5	mfub	Biometria (2022) (mfub)	
Import	Sågverksflis	264	2.5	1.2	mfub	Biometria (2022) (mfub)	Assuming 9.4 MWh/tC (see Sawmill)
Import	Beckolja	104	1.4	0.1	TWh	Berglin & Schenck (2022) TWh	2.4 TWh total internal use in Berglin & Schenck (2022) - delivered by Swedish biorefinery in tonnes. Tall oil pitch: LHV (dry basis): 38 MJ / Kg dry, and Carbon content: 79.6 % (see Biorefinery)
Import	Importerat förpackningsmaterial	88	0.9	0.2	t paper	Skogsindustrierna (2022a) t	8% total paper production comes from imported paper, which is assumed to be packaging. Packaging: LHV: 4.4 MWh / tpaper (see CHP), and Carbon content: 0.45 tC/t packaging Source: Wernet et al. (2016)
Sågverk	Sågverksflis	2330	21.9	10.3	mfub	Biometria (2022) (mfub)	Assuming 9.4 MWh/tC (see Sawmill)
Sågverk	Skadat virke	94	1.0	0.4	mfub	see Sawmill section	
Sågverk	Spån	159	1.4	0.7	m3	Berglin & Schenck (2022) TWh	Demand (0.73 TWh) in the lime kilns in Berglin & Schenck (2022) + additional 0.65 TWh in boilers to close the balance. Assuming 8.7 MWh/tC (see Sawmill)
Från bioraffinaderier	Beckolja	77	1.0	0.1	Tonne DM	see Biorefinery section	tall oil pitch: LHV (dry basis): 38MJ / Kg dry, and Carbon content: 79.6 % (see Biorefinery)
Massaved furu	Massabruk	2938	32.0	11.9	mfub		Feeling + import.
Massaved gran	Massabruk	4688	51.1	18.9	mfub		Feeling + import.

© RISE Research Institutes of Sweden

Från	Till	Kolflöde (kt kol)	Energi (TWh)	Spec. flöde	Enhet (million)	Källa	Assumptions & comments
Lövved	Massabruk	1826	19.9	7.4	mfub		Feeling + import.
Sågverksflis	Massabruk	2593	22.6	11.5	mfub		Sawmill+ import. wood density: 0.46 tDM /m3fub wood (weighted for the different species); carbon content: 0.49 tC/tDM wood; LHV wood: 5.4 MWh/tDM LHV (50% moisture) Source: Christiansen (2014)
Skadat virke	Massabruk	94	1.0	0.4	mfub		Sawmill+ import
GROT	Energi för intern användning (kemiska bruk)	22	0.2	0.0	TS		
Massabruk	Mekaniska massa- och pappersbruk	1560	12.4	6.4	mfub	Expert communication	51% carbon content in mechanical pulp dry basis
Massabruk	Kemiska massa- och pappersbruk	10579	114.3	43.6	mfub		Total wood in pulpmill – wood in “mechanical pulp&paper”
Beckolja	Energi för intern användning (kemiska bruk)	104	1.4	0.1	TWh	Berglin & Schenck (2022) TWh	
Spån	Energi för intern användning (kemiska bruk)	159	1.4	0.7	m3		Same as sawdust from sawmills
Mekaniska massa- och pappersbruk	Mekanisk massa	1377	15.7	3.0	Tonne AD	Skogsindustrierna (2022a) ADt	Yield for debarked wood to pulp is assumed to be 95%. LHV: 5.27 MWh / tonne AD mechanical pulp. Source: Staffas et al (2015)
Mekaniska massa- och pappersbruk	Bark (mekaniska bruk)	111	1.1	0.7	m3		Share of wood entering mechanical pulp&paper applied to total bark in wood in pulpmills.
Mekaniska massa- och pappersbruk	Slam (mekaniska bruk)	72		0.0	0	Communication industry	5% of the carbon in debarked wood ends up in the sludge (yield debarked wood to pulp is assumed 95%)
Kemiska massa- och pappersbruk	Kemisk massa	4112	43.5	9.1	Tonne AD	Skogsindustrierna (2022a) ADt	Carbon content of chemical pulp is given by the carbon balance over paper products. LHV: 4.8 MWh / tonne AD chemicall pulp. Source: Staffas et al, 2015
Kemiska massa- och pappersbruk	Bark (kemiska bruk)	751	7.3	4.6	m3		
Kemiska massa- och pappersbruk	Metanol	31	0.5	0.1	Tonne DM	Staffas et al. (2015). Methanol yield	Methanol: LHV (dry basis): 19.8 MJ / Kg dry, and Carbon content: 38 % (see Biorefinery)

© RISE Research Institutes of Sweden

Från	Till	Kolflöde (kt kol)	Energi (TWh)	Spec. flöde	Enhet (million)	Källa	Assumptions & comments
Kemiska massa- och pappersbruk	Svartlut	5290	46.9	14.1	Tonne DM	Staffas et al. (2015) BL yield	the carbon content is equal to carbon in debarked wood entering chemical pulp mills - carbon in pulp and in byproducts. LHV: 3.32 MWh / tonne mechanical pulp. Source: Staffas et al (2015)
Kemiska massa- och pappersbruk	Råtallolja	228	3.1	0.3	Tonne DM	Staffas et al. (2015) yield	LHV (dry basis): 38,2 MJ / Kg dry, and Carbon content: 78,6 % (Anthonykutty et al 2015)
Kemiska massa- och pappersbruk	Terpentin	1	0.0	0.0	Tonne DM	Staffas et al. (2015) yield	Terpentine: LHV (dry basis): 38 MJ / Kg dry, and Carbon content: 79 % (see Biorefinery)
Kemiska massa- och pappersbruk	Etanol (dissolving, sulfit)	7	0.1	0.0	Tonne DM		Estimated tDM: Amount of ethanol (12 000 ton / year -> 200 000 ton pulp in Domsjö/year); yield= 12/200= 0.06 t ethanol / t dissolving pulp. Ethanol: LHV (dry basis): 26.7 MJ / Kg dry, and Carbon content: 52 % (see Biorefinery)
Kemiska massa- och pappersbruk	Slam (kemiska bruk)	216		0.0	0		Assuming that the carbon in chemical pulp is 95% and the rest 5% is in the sludge
Mekanisk massa	Pappersprodukter	1167	13.4	2.5	Tonne AD	Skogsindustrierna (2022a) ADt	Total "Pulp mechanical" - mechanical market pulp
Mekanisk massa	Marknadsmassa - Mekanisk	210	2.3	0.4	Tonne AD	Skogsindustrierna (2022a) ADt	LHV: 5.27 MWh / tonne mechanical pulp. Source: Staffas et al, 2015
Kemisk massa	Pappersprodukter	2128	22.5	4.7	Tonne AD		Total "Pulp chemical" - chemical market pulp
Kemisk massa	Marknadsmassa - Kemisk	1983	21.0	4.4	Tonne AD	Skogsindustrierna (2022a) ADt	LHV: 4.8 MWh / tonne chemicall pulp. Source: Staffas et al, 2015
Marknadsmassa - Mekanisk	Export	167	1.8	0.3	Tonne AD	Skogsindustrierna (2022a) ADt	LHV: 5.27 MWh / tonne mechanical pulp. Source: Staffas et al, 2015
Marknadsmassa - Mekanisk	Pappersprodukter	43	0.5	0.1	Tonne AD		total mechanical market pulp-exported mechanical market pulp
Marknadsmassa - Kemisk	Export	1796	19.0	4.0	Tonne AD	Skogsindustrierna (2022a) ADt	LHV: 4.8 MWh / tonne chemical pulp. Source: Staffas et al, 2015
Marknadsmassa - Kemisk	Pappersprodukter	187	2.0	0.4	Tonne AD		Total chemical market pulp - exported chemical market pulp

© RISE Research Institutes of Sweden

Från	Till	Kolflöde (kt kol)	Energi (TWh)	Spec. flöde	Enhet (million)	Källa	Assumptions & comments
Pappersprodukter	Grafiskt papper	1071	12.7	2.9	t paper	Skogsindustrierna (2022a) tpaper	graphical paper: LHV: 4.4 MWh / t paper (see CHP), and Carbon content: 0.388 tC/t dry paper, moisture content 4%, Source: Wernet et al. (2016)
Pappersprodukter	Mjukpapper	124	1.6	0.4	t paper	Skogsindustrierna (2022a)	soft paper: LHV : 4.4 MWh / t paper (see CHP), and Carbon content: 0.362 tC/t dry paper, moisture content 4%, Source: Wernet et al. (2016)
Pappersprodukter	Förpackningsmaterial	2628	26.8	6.1	t paper	Skogsindustrierna (2022a) tpaper	packaging: LHV : 4.4 MWh/ tpaper, and Carbon content: 0.45 tC/t dry paper, moisture content 4%, Source: Wernet et al. (2016)
Pappersprodukter	Övrigt papper	21	0.2	0.1	t paper	Skogsindustrierna (2022a) tpaper	Other paper: LHV : 4.4 MWh / t paper (see CHP), and Carbon content: 0.4 tC/t dry paper, moisture content 4%, Source: Wernet et al. (2016)
Grafiskt papper	Export	983	11.6	2.6	t paper	Skogsindustrierna (2022a)	
Grafiskt papper	Grafiskt papper - inhemsk konsumtion	92	1.0	0.2	t paper		Graphical paper (from "Paper production") - Export
Mjukpapper	Export	114	1.4	0.3	t paper	Skogsindustrierna (2022a) tpaper	
Mjukpapper	Mjukpapper - inhemsk konsumtion	11	0.1	0.0	t paper		Soft paper (from "Paper production") - Export
Förpackningsmaterial	Export	2412	24.6	5.6	t paper	Skogsindustrierna (2022a) tpaper	
Förpackningsmaterial	Förpackningsmaterial - inhemsk konsumtiom	225	2.1	0.5	t paper		packaging (from "Paper production")- Export
Importerat förpackningsmaterial	Förpackningsmaterial - inhemsk konsumtiom	88	0.9	0.2	t paper	Skogsindustrierna (2022a) tpaper	
Övrigt papper	Export	19	0.2	0.0	t paper	Skogsindustrierna (2022a) tpaper	
Övrigt papper	Annat - inhemsk konsumtion	2	0.0	0.0	t paper		Other (from "Paper production")- Export
Grafiskt papper - inhemsk konsumtion	Återvunnet grafiskt papper	84	0.9	0.2	t paper	Skogsindustrierna (2022a) tpaper	

© RISE Research Institutes of Sweden

Från	Till	Kolflöde (kt kol)	Energi (TWh)	Spec. flöde	Enhet (million)	Källa	Assumptions & comments
Grafiskt papper - inhemsk konsumtion	Kraftvärme	7	0.1	0.0	t paper		domestic use-recycled
Mjukpapper - inhemsk konsumtion	Återvunnet mjukpapper	0	0.0	0.0	t paper	Skogsindustrierna (2022a) tpaper	
Mjukpapper - inhemsk konsumtion	Kraftvärme	11	0.1	0.0	t paper		domestic use-recycled
Förpackningsmaterial - inhemsk konsumtiom	Återvunnet förpackningsmaterial	234	2.3	0.5	t paper	Skogsindustrierna (2022a) tpaper	
Förpackningsmaterial - inhemsk konsumtiom	Kraftvärme	78	0.8	0.2	t paper		domestic use-recycled
Annat - inhemsk konsumtion	Återvunnet övrigt papper	0	0.0	0.0	t paper	Skogsindustrierna (2022a) tpaper	
Annat - inhemsk konsumtion	Kraftvärme	2	0.0	0.0	t paper		domestic use-recycled
Återvunnet importerat papper	Pappersprodukter	0	0.0	0.0	0		
Återvunnet grafiskt papper	Pappersprodukter	84	0.9	0.2	t paper		input to paper products
Återvunnet mjukpapper	Pappersprodukter	0	0.0	0.0	t paper		input to paper products
Återvunnet förpackningsmaterial	Pappersprodukter	234	2.3	0.5	t paper		input to paper products
Återvunnet övrigt papper	Pappersprodukter	0	0.0	0.0	t paper		input to paper products
Bark (mekaniska bruk)	Energi för intern användning (mekaniska bruk)	96	0.9	0.6	m3	see Electricity and Heat	Assumption: Market pulp mills are more likely to have a surplus of bark, and the allocation between mechanical and chemical is done by using the share of mechanical (or chemical) market pulp

© RISE Research Institutes of Sweden

Från	Till	Kolflöde (kt kol)	Energi (TWh)	Spec. flöde	Enhet (million)	Källa	Assumptions & comments
Bark (mekaniska bruk)	Kraftvärme	15	0.1	0.1	m3	see Electricity and Heat	Assumption: Market pulp mills are more likely to have a surplus of bark, and the allocation between mechanical and chemical is done by using the share of mechanical (or chemical) market pulp
Bark (kemiska bruk)	Energi för intern användning (kemiska bruk)	600	5.9	3.7	m3	see Electricity and Heat	Assumption: Market pulp mills are more likely to have a surplus of bark, and the allocation between mechanical and chemical is done by using the share of mechanical (or chemical) market pulp
Bark (kemiska bruk)	Kraftvärme	151	1.4	0.9	m3	see Electricity and Heat	Assumption: Market pulp mills are more likely to have a surplus of bark, and the allocation between mechanical and chemical is done by using the share of mechanical (or chemical) market pulp
Svartlut	Energi för intern användning (kemiska bruk)	5290	46.9	14.1	Tonne DM		all production for internal energy use
Metanol	Energi för intern användning (kemiska bruk)	31	0.5	0.1	Tonne DM		all production for internal energy use
Råtallolja	Bioraffinaderi	153	2.1	0.2	Tonne DM	see Biorefinery section	tall oil pitch: LHV (dry basis): 38MJ / Kg dry, and Carbon content: 79.6 % (see Biorefinery)
Råtallolja	Kemiska massa- och pappersbruk	58	0.8	0.1	Tonne DM		assuming 0.02 t tall oil pitch / t hardwood used in chemical pulp
Råtallolja	Export	17	0.2	0.0	Tonne DM		total production - internal use - to biorefinery
Terpentin	Bioraffinaderi	1	0.0	0.0	Tonne DM		all production from sulphate pulping goes to biorefinery
Etanol (dissolving, sulfit)	Bioraffinaderi	7	0.1	0.0	Tonne DM		all production from sulphite pulping goes to biorefinery
Slam (mekaniska bruk)	Energi för intern användning (mekaniska bruk)	65				Communication industry	90% of the carbon in sludge is assumed to be combusted to get rid of it
Slam (mekaniska bruk)	Vatten	7				Communication industry	10% of carbon in sludge is assumed to go to water as TOC
Slam (kemiska bruk)	Energi för intern användning (kemiska bruk)	195				Communication industry	90% of the carbon in sludge is assumed to be combusted to get rid of it

© RISE Research Institutes of Sweden

Från	Till	Kolflöde (kt kol)	Energi (TWh)	Spec. flöde	Enhet (million)	Källa	Assumptions & comments
Slam (kemiska bruk)	Vatten	22				Communication industry	10% of carbon in sludge is assumed to go to water as TOC
Energi för intern användning (mekaniska bruk)	Atmosfär	161	0.9	0.6	m3		sum of all internal energy (Mechanical)
Energi för intern användning (kemiska bruk)	Atmosfär	6478	57.1				sum of all internal energy (Chemical)

© RISE Research Institutes of Sweden

Bilaga 2 Data för sågverk och träindustrisektorn

Från	Till	Kol-flöde (kt C)	Energi (TWh)	Volym	Volyms-enhet	Källa	Antagande	Kommentar
Avverkning	Sågtimmer Gran	5409	48.8	22.4	milj m3fub	Biometria (2022) (m3fub)	10.3% bark	
Avverkning	Sågtimmer Tall	3564	32.2	14.7	milj m3fub	Biometria (2022)	10.3% bark	
Avverkning	Sågtimmer Löv	52	0.5	0.2	milj m3fub	Biometria (2022)	16.8% bark	
Bark	Förbränning sågverk	401	3.9	2.4	milj m3fub	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219316032#fig1	54% bark i panna	
Bark	Kraftvärme	136	1.3	0.8	milj m3fub		Allt som inte används i intern förbränning eller som jordförbättring/markutfyllnad	
Bark	Koldioxid	75	0.7	0.5	milj m3fub	Industrispecifik data	12% förlust	
Bark	Jordförbättring /Markutfyllnad	13	0.1	0.1	milj m3fub		1% av all bark	
Bark	Spånskivetillverkning	4	0.04			Industrispecifik data		
Förbränning sågverk	Koldioxid	842						Massbalans
Förpackning/formvirke	Inhemsk trävarukonsumtion	49	0.5	0.2	milj m3			Allt används inhemskt
GROT	Spånskivetillverkning	2	0.02			Industrispecifik data		
Import	Spånskivor	217		1.0	milj m3	FOA, Forestry Production and Trade (m3), https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO		
Import	Sågtimmer Gran	108	1.0	0.4	milj m3fub	Biometria (2022) (m3fub) total import	Samma andel import av Gran och tall som avverkning	
Import	Sågtimmer Tall	71	0.6	0.3	milj m3fub	Biometria (2022) (m3fub) total import	Samma andel import av Gran och tall som avverkning	
Import	Sågad Gran	56	0.6	0.2	milj m3sv	Skogsindustrierna (2022(Trävarukonsumtion i Sverige (m3)	Samma andel import tall/grad	total import 0.3 milj m3 "trävaror"

© RISE Research Institutes of Sweden

Från	Till	Kol-flöde (kt C)	Energi (TWh)	Volym	Volyms-enhet	Källa	Antagande	Kommentar
							som inhemsk konsumtion	
Import	Sågad Tall	16	0.2	0.1	milj m3sv	Skogsindustrierna Trävarukonsumtion i Sverige (m3)	Samma andel import tall/grad som inhemsk konsumtion	total import 0.3 milj m3 "trävaror"
Inhemsk trävarukonsumtion	RT-Flis	589	5.8					Massbalans, RT-flis till kraftvärme och Spånskivetillverkning
Inhemsk trävarukonsumtion	Osorterat returträ	25	0.3				Antagande, se El och värmesektorn	
Kassation	RT-Flis	27	0.3	0.1	milj m3		Skadad produktion flisas på plats och klassas om RT-flis	
Konstruktion/ möbler	Inhemsk trävarukonsumtion	1076	10.6	2.9	milj m3			Massbalans
Konstruktion/ möbler	Export	4	0.0	0.0		Svenskt trä https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/	2% export	Källa säger <3% export
Osorterat returträ	Kraftvärme	25	0.3				Antagande, se El och värmesektorn	
Planhyvlat virke	Export	1274	12.6	5.3	miljoner m3sv	Skogsindustrierna (m3), Skogsindustrierna, https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/statistik/svenska/2021/sagade-travaror.pdf		
Planhyvlat virke	Konstruktion/ möbler	404	4.0	1.7	miljoner m3sv		Allt som inte exporteras används i kontruktion+möbler	
Planhyvling	Planhyvlat virke	1677	16.6	7.0			80% utbyte	
Planhyvling	Spån+torrflis	404	3.7	1.8				massbalans

© RISE Research Institutes of Sweden

Från	Till	Kol-flöde (kt C)	Energi (TWh)	Volym	Volyms-enhet	Källa	Antagande	Kommentar
Planhyvling	Tryckimpregnerat virke	173	1.7	0.7	miljoner m3sv	Svenskt trä https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/		
RT-Flis	Kraftvärme	610	6.0			Energiföretagen, se El och värmesektorn		
RT-Flis	Spånskivetillverkning	6	0.06			Industrispecifik data		
Råflis	Papper- massa industri	2330	22.8	10.3	milj m3fub	Biometria (m3fub)		
Skadat virke	Papper- massa industri	93	1.0	0.4	milj m3fub		Allt skadat virke antas omklassas till massaved	
Spån+torrflis	Pelletstillverkning	825	7.5	3.7	milj m3	Svebio, Pelletskartan 2021		
Spån+torrflis	Förbränning sågverk	441	4.0	2.0	milj m3	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219316032#fig1	46% spån i panna	
Spån+torrflis	Kraftvärme	189	1.9	0.8	milj m3	Energiföretagen	Korrigerat	Se El- och värmesektorn
Spån+torrflis	Papper- massa industri	152	1.4	0.7	milj m3			Se Papper-massaindustri
Spån+torrflis	Strömaterial	147	1.3	0.7	milj m3		Kommunikation med producent för hästhållning+50% för att täcka annan användning inom jordbruk	
Spån+torrflis	Spånskivetillverkning	143	1.3	0.6	milj m3		Massbalans, för att matcha produktion av spånskivor	
Spån+torrflis	Koldioxid	118	1.1	0.5				Massbalans
Spån+torrflis	Export	17	0.2			Kommunikation med industri		
Spånskivetillverkning	Spånskivor	143	1.4	0.6	milj m3	FOA, Forestry Production and Trade (m3), https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO, industrispecifik data		
Spånskivetillverkning	Koldioxid	12						Massbalans
Spånskivor	Konstruktion/ möbler	323	2.8	1.4	milj m3			Allt ej export går till konstruktion/möbler

© RISE Research Institutes of Sweden

Från	Till	Kol-flöde (kt C)	Energi (TWh)	Volym	Volyms-enhet	Källa	Antagande	Kommentar
Spånskivor	Export	37	0.3	0.2	milj m3	FOA, Forestry Production and Trade (m3), https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO		
Sågad Gran	Planhyvling	1895	18.8	7.9	miljoner m3sv		20% av pruduktion av sågad gran går till planhyvling	
Sågad Gran	Export	793	7.8	3.3	miljoner m3	Skogsindustrierna (m3), Skogsindustrierna, https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/statistik/svenska/2021/sagade-travaror.pdf		
Sågad Gran	Konstruktion/ möbler	15	0.1	0.1		Svenskt trä https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/		
Sågad Gran	Förpackning/formvirke	5	0.0	0.0		Svenskt trä https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/		
Sågad Löv	Konstruktion/ möbler	25	0.2	0.1			All pruduktion används i konstruktion och möbler	
Sågad Tall	Export	1226	12.1	5.1	miljoner m3sv	Skogsindustrierna (m3), Skogsindustrierna, https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/statistik/svenska/2021/sagade-travaror.pdf		
Sågad Tall	Planhyvling	353	3.5	1.5	miljoner m3sv		70% av produktion av sågad tall+mängd för tryckimpregnerat går till planhyvling	

© RISE Research Institutes of Sweden

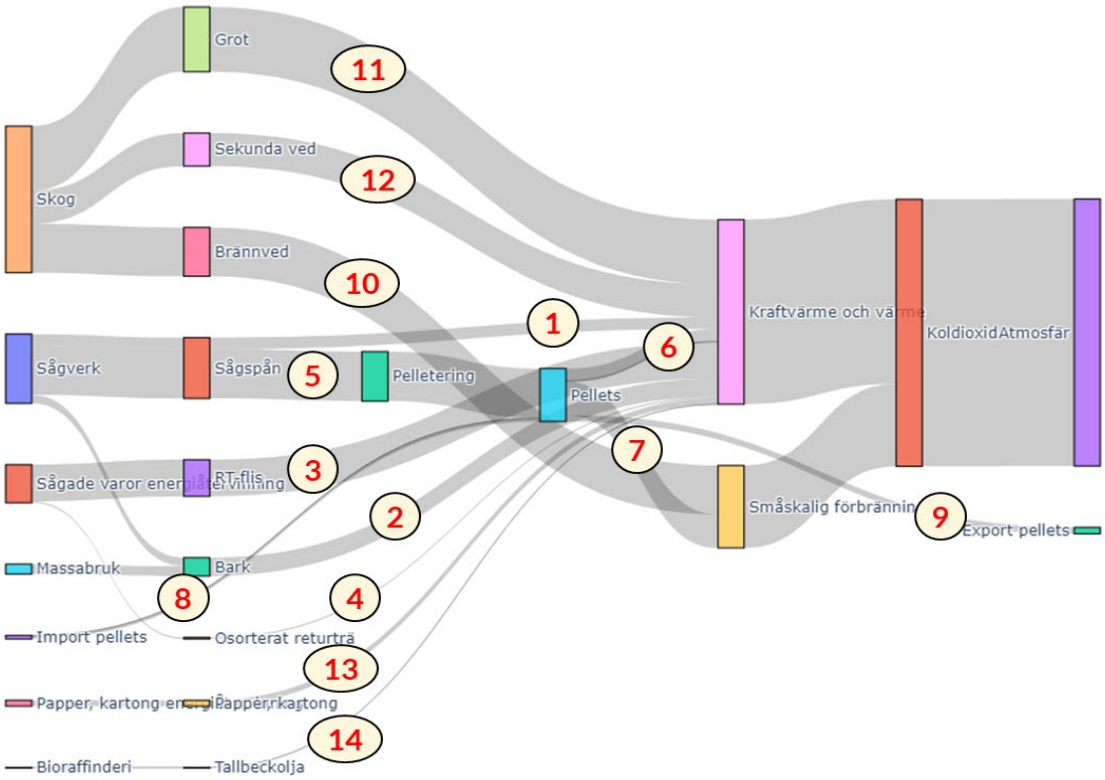
Från	Till	Kol-flöde (kt C)	Energi (TWh)	Volym	Volyms-enhet	Källa	Antagande	Kommentar
Sågad Tall	Konstruktion/ möbler	140	1.4	0.6		Svenskt trä https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/		
Sågad Tall	Förpackning/formvirke	44	0.4	0.2		Svenskt trä https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/		
Sågtimmer Gran	Sågverk	5517	49.8	22.8	milj m3fub			Massbalans
Sågtimmer Löv	Sågverk	52	0.5	0.2	milj m3fub			Massbalans
Sågtimmer Tall	Sågverk	3636	32.8	15.0	milj m3fub			Massbalans
Sågverk	Sågad Gran	2651	26.2	11.0	milj m3sv	Skogsindustrierna (m3), https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/statistik/svenska/2021/sagade-travaror.pdf		
Sågverk	Råflis	2330	20.2	10.3	milj m3s?	Biometria (m3fub)	All råflis går till papper-massa industrin	
Sågverk	Sågad Tall	1747	17.3	7.3	milj m3sv	Skogsindustrierna (m3), https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/statistik/svenska/2021/sagade-travaror.pdf		
Sågverk	Spån+torrflis	1629	14.8	7.2	milj m3fub			
Sågverk	Bark	626	6.1	3.8	milj m3 fub			Massbalans
Sågverk	Skadat virke	93	1.0	0.4	milj m3fub		1% av timmer antas vara skadat så det	

© RISE Research Institutes of Sweden

Från	Till	Kol-flöde (kt C)	Energi (TWh)	Volym	Volyms-enhet	Källa	Antagande	Kommentar
							omklassas till massaved	
Sågverk	Kassation	27	0.3	0.1	milj m3		0.3% av produktionen skadas	
Sågverk	Sågad Löv	25	0.2	0.1		Skogsindustrierna (m3), https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/statistik/svenska/2021/sagade-travaror.pdf		
Tryckimpregnerat virke	Konstruktion/ möbler	173	1.7	0.7	miljoner m3sv		Allt tryckimpregnerat virke antas gå till konstruktion	

© RISE Research Institutes of Sweden

Bilaga 3. Data för el- och värmesektorn



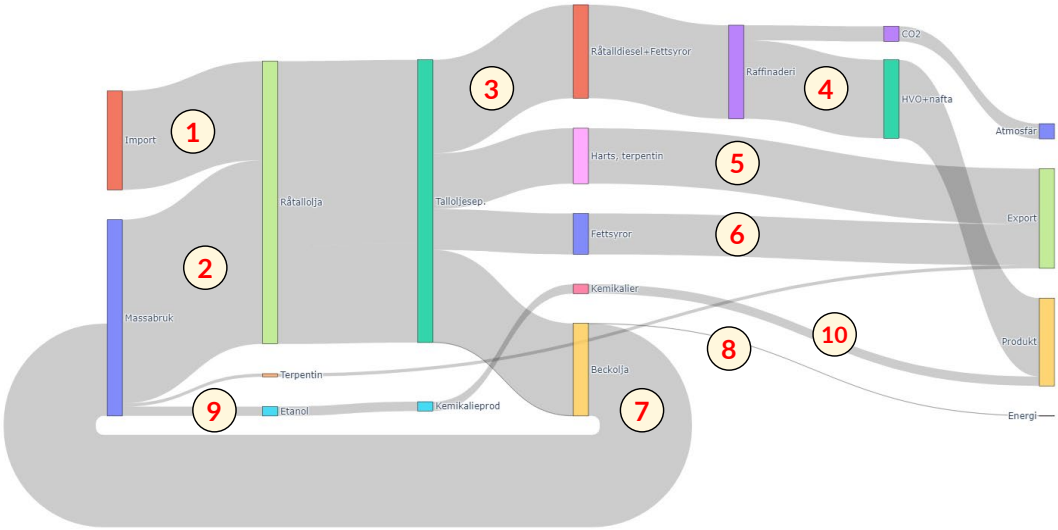
	Material	Flöde C kt/år	Energi TWh/år	Källor	Antaganden och kommentar
1	Sågspån för direktanvändning som bränsle i kraftvärme och värme	189	1,9	Energiföretagen (2020)	Korrigerat för att täcka all kraftvärme och värme.
2	Bark till kraftvärme och värme	307	2,9	Energiföretagen (2020)	Korrigerat för att täcka all kraftvärme och värme.
3	Sorterat returträ, sk RT-flis, till förbränning i kraftvärme och värme	610	6,0	Energiföretagen (2020)	Korrigerat för att täcka all kraftvärme och värme.
4	Osorterat returträ till förbränning i kraftvärme och värme	25	0,3	Khodayari (2022)	Vid t ex rivningar hamnar en del returträ i avfall, det finns dock ingen statistik som visar hur mycket det är. Vi har därför bara indikerat att detta flöde finns genom att ansätta ett värde. Totalt användes knappt 19 TWh avfall för förbränning 2020.
5	Sågspån för tillverkning av pellets	825	8,1	Wiegandt (2015)	Konstant mängd torrsubstans (inkl kol) genom pelletstillverkningen. Här ingår också spån för tillverkning av briketter och pulver.

© RISE Research Institutes of Sweden

	Material	Flöde C kt/år	Energi TWh/år	Källor	Antaganden och kommentar
6	Pellets till kraftvärme och värme	217	2,2	Energiföretagen (2020)	Detta flöde innehåller också användningen av briketter och pulver (knappt 25% av flödet). Sk övrigt förädlat antas vara en blandning av pellets, briketter och pulver i proportion till rapporterad användning. Korrigerat för att täcka all kraftvärme och värme.
7	Pellets till småskalig förbränning	559	5,6	Bioenergi (2021)	Antas som skillnaden mellan total pelletsanvändning (7,3 TWh) och användningen av pellets i kraftvärme och värme (1,7 TWh)
8	Import av pellets	14	0,1	Bioenergi (2021)	
9	Pellets för export	108	1,1	Bioenergi (2021)	Skillnad mellan produktion och import gentemot användning
10	Brännvedtill småskalig förbränning	815	7,7	Energi-myndigheten (2020)	
11	Grot till kraftvärme och värme	1081	9,8	Energiföretagen (2020)	Till grotflödet från statistiken läggs en del av flödet övrigt oförädlat, vilket antas vara en blandning av grot och stamvedsflis (ej bark och spån) enligt dialog med Energiföretagen. Korrigerat för att täcka all kraftvärme och värme.
12	Sekunda ved till kraftvärme och värme	551	5,2	Energiföretagen (2020)	Avser sk stamvedsflis som utgörs främst av skadad ved, men även av mindre volymer som inte sågverk kan ta emot och klena träd (gallringsrester). Till flödet av stamvedsflis från statistiken läggs en del av det av flödet övrigt oförädlat, vilket antas vara en blandning av grot och stamvedsflis (ej bark och spån) enligt dialog med Energiföretagen. Korrigerat för att täcka all kraftvärme och värme.
13	Papper och kartong till kraftvärme och värme	99	1,2	Från massa- och pappersindustrin	
14	Tallbeckolja till kraftvärme och värme	0,2	0,04	Energiföretagen (2020)	Liten användning, dock något större 2021 (155 GWh jämfört med 40 GWh 2020)

© RISE Research Institutes of Sweden

Bilaga 4. Data för bioraffinaderier och nya produkter



#	Material	Flöde C kt/år	Energi TWh/år	Flöde kt/år	Källor	Antaganden, kommentarer
1	Importerad råtallolja	83	1,1	105	Kraton, SunPine, egna antaganden	
2	Råtallolja från svenska massabruk	153	2,1	195	Kraton, SunPine, egna antaganden	
3	Fettsyror mm till HVO-produktion	78	1,0	101	Preem, Energimyndigheten	Andel inhemsk användning av fettsyror baserad på drivmedelsstatistik från Energimyndigheten
4	HVO-diesel från tallolja	65	0,9	76	Jafri et al. Front Energy Res. 2022;10:797529.	Utbyte 87% HVO + 3% nafta på energibas
5	Harts mm till export	46	0,6	58	Kraton, SunPine, egna antaganden	I princip allt på export, ungefärligt utbyte
6	Fettsyror till export	34	0,5	44	Kraton, egna antaganden	Den del som inte blir HVO i Sverige exporteras
7	Beckolja till massabruk som bränsle	77	1,0	97	Kraton, SunPine, egna antaganden	Beckolja gick i princip enbart till svenska massabruk, ungefärligt utbyte
8	Beckolja till kraftvärme som bränsle	0,2	0,003	0,3	Energiföretagen	Bränslestatistik, mycket liten förbrukning
9	Etanol från jäsning sulfitavlut	8	0,1	15	Aditya Birla Domsjö	
10	Kemikalier från etanol	8	[A]	[A]	SEKAB	I princip 100% koleffektivitet till produkter

[A] Okänd produktmix, därför inget energi eller massflöde

© RISE Research Institutes of Sweden

Bilaga 5. Produktion av el- och nyttig värme i systemet

Tabellen nedan presenterar el- och värmeproduktion i systemet och för det relaterad bränsleanvändning. Totalt används ungefär 110 TWh bränsle med ursprung i skogen för el- och värmeproduktion. Totala mängden genererad el, från kraftvärmesektorn och massa- och pappersindustrin, är ungefär 10 TWh. Nyttig värme i form av fjärrvärme (som delvis kommer från massa- och pappersbruk), värme för uppvärmning av en- och flerfamiljshus samt processvärme till massa- och pappersbruk och sågverk uppgår sammantaget till drygt 80 TWh.

	Energi, TWh
El- och värmesektorn	
Bränslen med ursprung i skogen som används till storskalig kraftvärme och värme	29
Elproduktion	3
Fjärrvärmeproduktion	19
Skogsråvara och produkter som används till småskalig förbränning	13
Uppskattad genererarad värme för intern användning	8
Massa- och pappersindustrin	
Bränslen med ursprung i skogen som används för el- och värmeproduktion	57
(Användning av fossila bränslen)	2,2
Uppskattad genererad värme för intern användning	46
(Inköpt värmeenergi)	0,2
Såld värmeenergi	2
(Inköpt el)	13
Egenproducerad el	7
(Såld el)	1
Sågverk och träindustri	
Bränslen med ursprung i skogen som används för värmeproduktion	9
Uppskattad genererad värme för intern användning	6
Totalt	
Total bränsleanvändning med ursprung i skogen som används för el- och värmeproduktion	109
Totalt producerad el	10
Totalt producerad nyttig värme	82

© RISE Research Institutes of Sweden

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.

RISE Research Institutes of Sweden AB Box 857, 501 15 BORÅS Telefon: 010-516 50 00 E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se	RISE Rapport :P116313

© RISE Research Institutes of Sweden