



UPPSALA
UNIVERSITET



UPTEC W 20023

Examensarbete 30 hp
Juli 2020

Biogent kol i träbaserade produkter från svensk skogsindustri och kolets inbindningstid

En analys av potentialen att öka inbindningstiden
i det årliga tillskottet av produkter

Linnea Rosendal

REFERAT

Biogent kol i träbaserade produkter från svensk skogsindustri och kolets inbindningstid – En analys av potentialen att öka inbindningstiden i det årliga tillskottet av produkter

Linnea Rosendal

Nivåerna av växthusgaser i atmosfären har ökat drastiskt de senaste århundradet, till följd av mänsklig aktivitet. Det krävs en stor omställning för oss människor om klimatförändringarna ska motverkas och för att konsekvenserna för planeten inte ska bli allt för stora. Koldioxid är en av de viktigaste växthusgaserna och skogen är en viktig del i balansen av koldioxid i atmosfären genom att växter och träd binder in koldioxid och lagrar biogent kol i biomassan. Rundvirke kan användas för att producera en mängd olika produkter med olika användningsområden och varierande livslängd och det finns både globala och nationella mål som stödjer ett arbete för en minskad klimatpåverkan med skogens resurser som verktyg. Syftet med examensarbetet var att analysera inbindningen av biogent kol i det årliga tillskottet av träbaserade produkter från svensk skogsindustri, för att sedan undersöka potentialen att öka tiden för inbindning av det biogena kolet. FN:s klimatpanel (IPCC) har tagit fram en generell metod för att beräkna lagringen av kol i skördade träprodukter och beräkningarna bygger på tre produktkategorier, vilka är sågade trävaror, spånskivor och papper och kartong. Detta examensarbete har utvidgat FN:s klimatrapporering genom att studera totalt sexton produktkategorier. Flödet av biogent kol studerades genom en materialflödesanalys, som bygger på massbalans mellan ”inputs” och ”outputs” i ett system. Systemet studerades från det att råvara förbrukas till dess att produkterna går som avfall och förbränns. Statistik över råvaruförbrukning inom sågverksindustrin och massaindustrin, samt produktionsmängd av fibermassa och träbaserade produkter användes i analysen. En stor volym biomassa går dessutom direkt till förbränning och ger bioenergi. Resultatet visade att sågade trävaror från sågverksindustrin har längst medellivslängd och binder även in störst mängd biogent kol. Biobränslen har kortast medellivslängd, och koldioxid frigörs till atmosfären på mycket kortast tid. Enligt detta examensarbete innehåller träbaserade produkter från Sverige 29,0 miljoner ton koldioxid årligen. Tre strategier att förlänga inbindningstiden av biogent kol studerades, vilka är förlängd livslängd för produkter, kaskadanvändning och Bio-Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS). Att förlänga livslängden för produkter innebär att återvinning av exempelvis cellulosabaserade textilier införs. Kaskadanvändning innebär att skogsindustrin primärt ska producera långlivade produkter och undvika att biomassa direkt går till förbränning. BECCS bygger på att träden binder in kol i sin biomassa och när en träbaserad produkt förbränns pressas frigjord koldioxid ned i marken och lagras. BECCS bedöms vara den strategi som är mest avancerad.

Nyckelord: träbaserade produkter, biogent kol, kolinnehåll, klimatförändringar, skogsindustri, sågade trävaror, massa- och pappersindustrin, bioenergi

Institutionen för energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet. Box 7032. SE-750 07 Uppsala, Sweden.

ABSTRACT

Biogenic carbon in wood-based products from the Swedish forest industry and the storage time of carbon – An analysis of the potential to increase the storage time of biogenic carbon in the annual addition of products

Linnea Rosendal

The levels of greenhouse gases have increased drastically over the past hundred years as a result of human activity. Major actions are needed to counter climate change, if the consequences are not to be too great. Carbon dioxide is one of the most important greenhouse gases and the forest is an important part of the balance of carbon dioxide in the atmosphere, by the fact that plants and trees bind carbon dioxide and store biogenic carbon in the biomass. Roundwood can be used to produce a variety of products with different applications and varying life spans and there are both global and national goals that support a work to reduce climate change with forest resources as tools. The aim of the thesis was to analyse the storage of biogenic carbon in the annual addition of wood-based products from the Swedish forest industry, and then to investigate the potential to increase the time of storage. The UN Climate Panel (IPCC) has developed a general method for calculating the storage of carbon in harvested wood products and the calculations is based on three product categories, which are sawn wood, wood-based panels and paper and paperboard. This thesis has expanded the UN climate reporting by studying a total of sixteen product categories. The flow of carbon was studied using a material flow analysis, which is based on the mass balance of inputs and outputs in a system. The system was studied from the raw material being consumed until the products are defined as waste and incinerated. The calculations were based on statistics on raw material consumption in the sawmill industry and the pulp and paper industry, as well as production volume of fibre pulp and wood-based products. A large volume of biomass also goes directly to incineration and provides bioenergy. The binding time of biogenic carbon was analysed to explore the potential of increasing the binding time, using different strategies. Sawn timber products from the sawmill industry have the longest average life span and also bind the highest amount of biogenic carbon. Biofuels have the shortest average life span, which means that carbon dioxide is released into the atmosphere rapidly. A total of 29.0 million tonnes of carbon dioxide are stored in wood-based products annually, according to this study. Three strategies to extend the storage time of biogenic carbon were studied in this study, which were extended life span of the products, cascading wood use and so called BECCS. To extend product life means introducing recycling of, for example, cellulose-based textiles. Cascading wood use means that the forest industry primarily produce long-lived products and avoid biomass going directly to incineration. BECCS is based on the fact that trees bind carbon dioxide in their biomass and when wood-based product is incinerated, the carbon dioxide is stored in the ground. BECCS is considered to be the most advanced strategy, of the three.

Keyword: wood-based products, biogenic carbon, carbon content, climate change, forest industry, sawn timber, pulp and paper industry, bioenergy

Department of Energy and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences, Box 7032, SE-750 07 Uppsala, Sweden

ISSN 1401-5765

FÖRORD

Detta examensarbete motsvarar 30 högskolepoäng och är den sista delen av min utbildning på Uppsala universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet för att bli civilingenjör i miljö- och vattenteknik. Min handledare var Torun Hammar, forskare vid Institutionen för energi och teknik; Lantbrukets teknik och system vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Min ämnesgranskare var Per-Anders Hansson, professor vid Institutionen för energi och teknik; Lantbrukets teknik och system vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Monica Mårtensson var examinator för examensarbetet.

Jag vill tacka min handledare Torun Hammar för ett stort engagemang och stöd, samt många trevliga möten. Jag vill även tacka alla studenter som på något sätt hjälpt mig på vägen mot min examen.

Slutligen vill jag även tacka mig själv. Jag är mycket stolt över att jag tagit mig igenom denna utmanande utbildning. Nu står dörren för mitt framtida yrkesliv vidöppen.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Biogent kol i träbaserade produkter från svensk skogsindustri och kolets inbindningstid – En analys av potentialen att öka inbindningstiden i det årliga tillskottet av produkter

Linnea Rosendal

Genom växthuseffekten värms planeten upp. Växthusgaserna i atmosfären absorberar solstrålningen och ju högre koncentrationen av gaser är desto varmare blir det. Till följd av mänsklig aktivitet har koncentrationen av växthusgaser ökat drastiskt de senaste 150 åren och klimatet börjar förändras. För att undvika extrema väderförhållanden och höjda havsvattennivåer är arbetet att minska utsläppen av växthusgaser till atmosfären viktigare än någonsin. En mycket viktig växthusgas är koldioxid och balansen av koldioxid i atmosfären beror mycket på växter och träd, som genom fotosyntesen binder in koldioxid och lagrar som kol när de växer. Kol finns i alla levande varelser och är ett mycket viktigt grundämne. Att fånga upp koldioxid och lagra i träbaserade produkter kan minska koldioxidhalten i atmosfären, om produkterna har ett långt liv och alltså binder in kolet under lång tid.

Det kol som binds in i levande växter kallas biogent kol och det är stor skillnad på biogent kol och fossilt kol, när det kommer till exempelvis bränslen. Fossila bränslen skapas under miljontals år och när de förbränns ökar koldioxidhalten i atmosfären, till skillnad från biobränslen när det biogena kolet kan gå i cykler, mellan atmosfären och växter eller träd. För klimatet spelar det alltså stor roll om kolet kommer från biobränslen eller fossila bränslen.

Exempel på produkter som lagrar biogent kol är tidningspapper, mjukpapper, förpackningsmaterial, sågade trävaror och tallolja. Alla dessa produkter produceras av svensk skogsindustri. För att kunna avgöra hur klimatet påverkas av sådana varor har FN:s klimatpanel tagit fram en generell metod för att beräkna mängden kol som lagras i bland annat skördade träprodukter och de har valt ut tre produktkategorier. I denna studie studerades mängden biogent kol i totalt sexton olika produktkategorier, vilket är en stor utvidgning från de tre produktkategorier som FN definierat. Statistik hämtades från officiella databaser, som sammanställs av bland annat Skogsstyrelsen. Den metod som används för att studera mängden biogent kol i de träbaserade produkterna kallas materialflödesanalys. Kolflödet analyserades då från råvara, till att råvaran delas upp till sågverksindustrin, massa- och pappersindustrin och biobränslen och tills att de träbaserade produkterna som industrierna producerar går som avfall och förbränns. Materialflödesanalysen gjorde det möjligt att identifiera hur kolet delas upp mellan produkter från råvaran och eventuella materialförluster kunde identifieras.

Tiden för inbindning av biogent kol analyserades för att hitta strategier som kan förlänga denna tid. Inbindningstiden för det biogena kolet beror dels på livslängden för varje enskild produkt, men också på om materialet som produkterna består av återvinns och genererar nya produkter. För pappersprodukterna i denna studie användes återvinningen som en faktor för att bestämma livslängden för en pappersfiber som genomgår flera cykler av pappersprodukter. Övriga produktkategorier antogs inte genomgå någon form av återvinning. Resultatet visade att sågade trävaror, som exempelvis träfasad och balkar,

har längst livslängd. Det binds dessutom in mest biogent kol i sådana varor, eftersom den årliga produktionsmängden är störst och för att materialförluster mellan råvara och produkter är mindre än för massa- och pappersindustrin. Alla träbaserade produkter i denna studie beräknades binda in 29,0 miljoner ton CO₂-ekvivalenter, jämfört med 6,7 miljoner ton CO₂-ekvivalenter, som baseras på produktkategorierna från FN:s klimatpanel.

Det var tre olika strategier för förlängd inbindningstid av biogent kol som studerades. Livslängden för produkterna kan förlängas genom att återvinning och återanvändning införs för sågade trävaror och textilier. Hand i hand med detta går "Cascading wood use" eller kaskadanvändning, som innebär att skogsindustrin primärt ska producera långlivade produkter som går i cykler, och undvika att råvaror går direkt till förbränning. Den tredje strategin skiljer sig mycket från de andra, då det är en teknik som baseras på att träd och andra växter samlar in koldioxid i biomassan genom fotosyntesen och när de träbaserade produkterna förbränns kan den koldioxid som frigörs i processen fångas upp och lagras i marken. Denna metod kallas "Bio-Energy with Carbon Capture and Storage" och förkortas till BECCS eller Bio-CCS. Tekniken är relativt ny och det finns en testanläggning i Stockholm som utforskar möjligheten att fånga upp koldioxid från ett kraftvärmeverk. Nettopåverkan på klimatet är negativ vid tillämpning av BECCS, medan nettopåverkan vid kaskadanvändning är noll. BECCS anses vara den mest avancerade strategin, av de som studerades i denna studie.

ORDLISTA

Biogent kol	Kol som kommer från växter och som går i cykler.
Brännved	Klassisk ved som småhus använder för uppvärmning via vedpanna eller kamin.
Cellulosa	En av beståndsdelarna i trä, som bland annat används för papperstillverkning.
Dissolvingmassa	Cellulosabaserad textilmassa från massaindustrin.
Furu	Avverkad tall.
GROT	Grenar och toppar.
Kaskadanvändning	På engelska ”cascading wood use”. En strategi att förlänga inbindningstiden av biogent kol.
Koldioxidlagring från biomassa	På engelska Bio-Energy with Carbon Capture and Storage, förkortas BECCS/Bio-CCS. En strategi att förlänga inbindningstiden av biogent kol.
Kolförråd	Mängden lagrat kol.
Kraftvärmeverk	Producerar fjärrvärme och el, vid förbränning av bland annat GROT eller avfall.
Kutterspån	En biprodukt inom sågverksindustrin. Används för bioenergi.
Lignin	En av beståndsdelarna i trä, som inte används vid papperstillverkning.
Rundvirke	Avverkade träd, utan grenar och topp. Kan ses som råvaran i produktion av träbaserade produkter.
Råflis	Sönderdelat rundvirke som används vid massatillverkning. ”Rå” innebär fuktig.
Råvaruförbrukning	Förbrukning av rundvirke.
Skogsbränslen	Skogsrester såsom GROT, som direkt förbränns och ger bioenergi.
Skogsstyrelsen	En statlig förvaltningsmyndighet, inom skog och skogsbruk.
Skogsindustrierna	En branschorganisation för pappers-, massa- och trämekanisk industri i Sverige.
Svartlut	En restprodukt vid massatillverkning, efter att massafibrerna kokats i kokvätska. Innehåller bland annat lignin.
Sågspån	En biprodukt inom sågverksindustrin. Används för bioenergi.
Värmeverk/fjärrvärmeverk	Producerar fjärrvärme, vid förbränning av bland annat GROT eller avfall.

m³ fub = kubikmeter fast mått under bark

m³ f = kubikmeter fast mått (inklusive bark)

m³ s = kubikmeter stjälp mått

m³ sv = kubikmeter sågad vara

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING	9
1.1 SYFTE.....	9
1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR	10
1.3 AVGRÄNSNINGAR	10
2 BAKGRUND	10
2.1 SVENSK SKOGSNÄRING IDAG	10
2.1.1 Sågverk	12
2.1.2 Massa- och pappersbruk	12
2.1.3 Kraftvärmeverk, värmeverk och uppvärmning av småhus.....	13
2.1.4 Marknaden för svenska träbaserade varor	13
2.2 GLOBALA OCH NATIONELLA MÅL	14
2.3 IPCC:S BERÄKNING AV KOLFÖRRÅD	16
2.4 MATERIALFLÖDESANALYS	18
3 METOD	19
3.1 MATERIALFLÖDESANALYS OCH DATAINSAMLING	19
3.1.1 Sågverk	21
3.1.2 Massa- och pappersbruk	25
3.1.3 Direkt till bioenergi	30
3.2 STRATEGIER FÖR ATT FÖRLÄNGA INBINDNINGSTIDEN	33
3.2.1 Förlängd produktlivslängd – Kaskadanvändning.....	33
3.2.2 Bio-Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS).....	34
3.3 ANVÄNDNING AV IPCC:S METODIK	35
3.3.1 IPCC:s produktkategorier	35
4 RESULTAT.....	36
4.1 KOLINNEHÅLL.....	36
4.1.1 Sammanställning av biogent kolinnehåll.....	38
4.2 KOLETS INBINDNINGSTID	40
4.3 IPCC:S PRODUKTKATEGORIER	42
4.3 FÖRLÄNGD INBINDNINGSTID.....	43
4.3.1 Förlänga livslängd produkter.....	43
4.3.2 Bio-Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS).....	45
5 DISKUSSION	47
5.1 VAL AV METOD - MATERIALFLÖDESANALYS.....	48
5.2 STRATEGIER FÖR ATT FÖRLÄNGA INBINDNINGSTIDEN	48

5.3 OSÄKERHETER OCH FELKÄLLOR	50
5.4 FÖRSLAG PÅ FRAMTIDA STUDIER	51
6 SLUTSATSER	51
7 REFERENSER	53
APPENDIX A	59

1 INLEDNING

Under miljontals år har jordens klimat varierat. I vilken mån jordytan värms upp beror på solstrålning som tränger in i atmosfären och halten växthusgaser. Efter att jordytan nåtts av solstrålning avger den värmestrålning, merparten av denna strålning absorberas av växthusgaserna. Strålningen som gaserna absorberat blir återutsänd åt olika riktningar. Detta medför att jordytan blir varmare än om den enbart träffats av solstrålning. De viktigaste växthusgaserna är koldioxid (CO₂) och vattenånga (H₂O). En stor faktor för påverkan på klimatet är användningen av fossila bränslen, som ökat till följd av industrialiseringen. Växthuseffekten har förstärkts genom att halten växthusgaser i atmosfären ökat, vilket har medfört att den globala medeltemperaturen ökat med ungefär en och en halv grad sedan förindustriell tid. Klimatkonventionen har till följd av detta definierat en gräns för temperaturhöjningen på två grader, eftersom konsekvenserna för livet på jorden bedöms bli allt för drastiska om denna gräns överskrids. Människan påverkar även klimatet genom det sätt åkrar, skog och annan mark brukas. (Bernes 2016).

Förbränning av fossila bränslen medför att koldioxidhalten i atmosfären ökar, eftersom koldioxiden togs upp av växter och annan biomassa för miljontals år sedan. Förbränning av biobränslen ger däremot utsläpp av *biogen koldioxid*, vilket innebär att det är koldioxid som går i en naturlig cykel så länge markanvändningen inte förändras. Koldioxidutsläpp från hållbart producerade biobränslen kan på lång sikt därför betraktas som koldioxidneutralt då koldioxiden som släpps ut vid förbränning sedan binds in i ny biomassa. Ju längre tid det biogena kolet är inbundet desto bättre är det dessutom för klimatet, eftersom förbränningen av biomassa inte får överskrida takten kolet binds in. För klimatet har det alltså stor betydelse om koldioxiden kommer från hållbart producerade biobränslen eller från fossila bränslen (Naturvårdsverket 2020a).

Produktion av *träbaserade produkter* bidrar till att skogsägare underhåller skogen så att biomassan kan fortsätta växa, vilket innebär att koldioxid kan fortsätta bindas in från atmosfären. Skogen har fått en allt viktigare roll för att motverka klimatförändringarna och träbaserade produkter kan då användas för att ersätta andra produkter som ger större klimatpåverkan (Purkus et al. 2018). Användningen av träbaserade produkter förväntas öka i framtiden, till exempel inom förpackningar, textilier och biobränslen i en strävan att bromsa klimatförändringarna (Ranacher et al. 2017).

1.1 SYFTE

Syftet med examensarbetet är att analysera inbindningen av biogent kol i det årliga tillskottet av träbaserade produkter från svensk skogsindustri. Tiden då kolet finns inbundet i olika produkter ska undersökas och metoder för att förlänga denna tid, i syfte att öka produkternas klimatnytta i framtiden. Detta är i enlighet med Sveriges klimatmål om inga nettoutsläpp av växthusgaser till 2045, där en åtgärd för att förlänga tiden för inbindning av kol är *Bio-Energy with Carbon Capture and Storage*, som förkortas BECCS eller Bio-CCS.

FN:s klimatpanel, *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), har tagit fram en generell metod som beräknar klimatpåverkan hos bland annat skogsmark och träbaserade produkter. Denna studie är tänkt att ge en mer detaljerad bild över de träbaserade

produkternas livscykel och klimatpåverkan, för att jämföra med metodiken framtagen av IPCC.

1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR

För att uppnå syftet kommer följande frågeställningar besvaras:

- Hur stor är mängden biogent kol i det årliga tillskottet av träbaserade produkter?
- Hur lång är inbindningstiden för det biogena kolet i olika träbaserade produkter?
- Hur kan inbindningstiden förlängas?

Samtliga frågeställningar gäller enbart svenska träbaserade produkter.

1.3 AVGRÄNSNINGAR

De träslag som används i beräkningar för enhetsomvandlingar är medelvärden av parametrar för gran och tall, eftersom det är de träslag som är vanligast inom skogsbruket i Sverige. Det analyserade systemet startar vid förbrukning av skogsråvara och slutar när produkterna frigjort allt kol till atmosfären, oavsett vart produkten konsumeras. Det är enbart förbränning som behandlingsmetod av avfall som studeras, om produkterna inte återvinns. Datan som användes är mest aktuell, alltså statistik enbart från de senaste åren.

2 BAKGRUND

I detta avsnitt ges en översikt över relevant bakgrundsteori för denna studie. Det som gör att skogsindustrin är aktuell och hur skogsindustrin i Sverige ser ut idag. De globala och nationella mål och planer som ska göra att växthusgasutsläppen minskar, med skogsråvaror som verktyg, samt nutida metoder som används för att uppskatta klimatpåverkan och den beräkningsmetod som ingår i denna studie.

2.1 SVENSK SKOGSNÄRING IDAG

I skogsindustrin ingår de företag som förädlar skogen till biobaserade produkter. Skogsnäringen har idag stor betydelse för Sveriges ekonomi och välfärd, vilket beror på att en stor del av de skogsråvaror som används inom skogsindustrin är inhemska och mängder av träbaserade produkter går på export (Skogsindustrierna u.å a). År 2018 fanns det 28,0 miljoner hektar skogsmark i Sverige, varav 23,6 miljoner hektar var produktiv skogsmark och det motsvarar 58 procent av Sveriges totala landareal (SLU 2019). I Sverige finns även stor potential för att öka användandet av skogsråvaror, eftersom markarealen till stor del består av skog och för att tillväxten av skog idag är större än uttaget av biomassa från skogen. Tillväxten av skogsbiomassan har ökat sedan 1920-talet, vilket har medfört att avverkningen kan öka utan att virkesförrådet inte minskar (Naturvårdsverket 2019a). Skogsråvaran kallas rundvirke, se Figur 1.



Figur 1 Skogsråvaran som används inom skogsindustrin, i form av rundvirke av barrträd. Foto: Linnea Rosendal

Större delen av Sverige ligger i den boreala regionen, vilket innebär gran och tall svarar för större delen av det totala virkesförrådet, vilket är ungefär 40 procent tall och 40 procent gran (SLU 2019). Skogsbruket genererar skogsråvaror till sågverk, massa- och pappersbruk, kraftvärmeverk, värmeverk och brännved till småhus för uppvärmning, se Figur 2.



Figur 2 Flödesschema över svensk skogsindustri.

Förutom att skogsbruket genererar råvaror till skogsindustrin, som sedan producerar träbaserade produkter, kan skogsbruket ge negativa effekter på den biologiska mångfalden. Den biologiska mångfalden är exempelvis mindre i produktionsskogar jämfört med naturskogar och mängden rödlistade arter i Sverige ökar därefter. I produktionsskogar står träden även tätare, vilket minskar ljusinsläpp, och det drabbar vissa typer av växter (Sundberg et al. 2015). Naturskogar har en större andel lövträd, i

jämförelse med produktionsskogar som till stor del enbart består av träslagen gran och tall. Naturskogar har dessutom träd av varierande ålder, vilket även ökar den biologiska mångfalden (Naturvårdsverket 2019b).

2.1.1 Sågverk

Råvaran i sågverk kallas sågtimmer. Efter att sågtimmer transporterats till sågverket och sorterats, barkas det. Vid barkningen blir bark en biprodukt, och då timret sågas och hyvlas blir det spill i form av sågspån, flis och kutterspån, som används för produktion av skivor, papper och kartong eller för biobränsle. Sedan torkas och lagras virket innan det lastas vidare ut till konsumenter (Svenskt trä 2017a).

Det pågår även ett arbete för att införa cirkulär ekonomi för sågade trävaror inom byggbranschen, där byggmaterial och byggavfall ska återanvändas eller återvinnas, för att inte förlora värde. Bortsett från gruvsektorn genererar byggbranschen störst andel avfall i Sverige, vilket gör att införandet av en mer cirkulär ekonomi inom denna sektor kan ha stor betydelse (Ejlertsson et al. 2018). En stor andel av de material som används inom byggbranschen är träbaserade, och byggmaterial som virke har potential att cirkulera många varv innan det är helt oanvändbart och måste förbrännas. En ökning i användningen av trä som byggmaterial skulle dessutom kunna minska användningen av icke-förnybara material som betong och stål (Svenskt trä u.å. a).

2.1.2 Massa- och pappersbruk

Den råvara som används kallas massaved, vilket är färska vedfibrer direkt från skogen, och en viss andel är dessutom returfibrer (SkogsSverige 2020). Massan kan framställas på flera sätt, på kemisk väg och mekanisk väg, där kemisk massa kan framställas i både sulfatmassabruk och sulfitmassabruk. Barken på massaveden avlägsnas och går till förbränning för att ge energi och massaveden och flis från sågverken förbereds för massaproduktion. Vid produktion av massa genom kokning uppstår en restprodukt kallad svartlut (vid sulfatmassa) eller brunlut (vid sulfitmassa). Luten tas till vara och kan ge flera användbara biprodukter. Den del av luten som inte kan återvinnas förbränns istället och ger energi. När fibermassan är helt fri från lut behandlas och förbereds den för produktion av kartong, papper och textilmassa (Södra 2018). Vid framställning av fibermassa på mekanisk väg sönderdelas fibrerna mekaniskt, istället för att kokas, och det krävs inget återvinningssystem för kemikalier, vilket gör processen enklare (SkogsSverige 2017).

Olika träslag har olika egenskaper. Gran och tall har mycket långa fibrer som gör att de lämpar sig för kartong, som är ett tjockare material än papper. Fiber från lövträd är kortare och används istället vid produktion av finpapper (SkogsSverige 2020). Finpapper är exempelvis brevpapper, sedelpapper, arkivpapper och papper för högkvalitativt tryck. Produktion av finpapper sker ofta i mindre skala och är dyrare än andra papperssorter (Skogen u.å b). Intresset för produktion av cellulosebaserade textilfibrer har dessutom

ökat, och då används framförallt träslaget björk. Marknaden för cellulosabaserade textilier är som störst i Asien, där både konsumtion och produktion av textilier är störst i världen. Produktionen är även på frammarsch i Sverige (Södra 2019).

Förutom produkterna textil, papper och kartong kan även terpentin och tallolja fås som biprodukter under produktion av massa från barrved. Talloljan kan ersätta fossila bränslen genom att det används som biobränslen (Stora Enso u.å a). År 2018 var 10 procent av råvaran för biodrivmedlet HVO råttallolja (Energimyndigheten 2019). Sulfatterpentin kan delas upp i beståndsdelar och användas i exempelvis parfym, smakämnen eller tvättmedel (Stora Enso u.å b). Enligt Staffas et al (2015) produceras även metanolkondensat som biprodukt vid pappers- och kartongproduktion, men då ingen mer detaljerad information finns om detta ämne eller dess egenskaper kommer det betraktas som ”övriga kemikalier” i denna rapport.

När det kommer till produkter som produceras av massa- och pappersbruk är insamlingen och återvinningen av avfall i Sverige hög. Återvinning av förpackningar och tidningar tillhör producentansvaret, vilket innebär att producenten ansvarar för att samla in och återvinna avfallet. Avfallet bibehåller ett marknadsvärde och blir till returpapper som används vid framställning av nytt tidningspapper, toalett- eller hushållspapper. När papprets kvalitet har försämrats så mycket att det inte längre kan användas för att producera nytt papper förbränns det och ger istället energi (Skogsindustrierna u.å. b).

2.1.3 Kraftvärmeverk, värmeverk och uppvärmning av småhus

Restprodukter från avverkning, eller rundvirke som inte har tillräckligt hög kvalitet för att gå som sågtimmer eller massaved blir istället till bioenergi. Biprodukter från skogsindustrin utnyttjas även till energi internt i en massa- och pappersindustrin. Skogsrester, som grenar och toppar (GROT), är den vanligaste biomassan i kraftvärmeverk och värmeverk. Kraftvärmeverk producerar el och fjärrvärme (Energiföretagen 2019), medan värmeverk eller fjärrvärmeverk enbart producerar fjärrvärme (Energiföretagen 2020). Brännved är virke från rötter, kvistar och trädstammar anpassade för eldstäder i småhus och är en vanlig energiresurs i sådana hus (Skogen u.å c).

2.1.4 Marknaden för svenska träbaserade varor

Skogsindustrierna (2020) har sammanställt läget för den svenska skogsindustrin 2019, och de skriver bland annat om att Kina är den viktigaste marknaden för fibermassa från svenska massabruk och att exportvolymen till Kina mer än fördubblades från år 2018. Den ökade exportvolymen kan bero på att restriktionerna kring import av returpapper i Kina har ökat efterfrågan på färska massafibrer. De nämner även att det finns en risk att coronaviruset håller tillbaka tillväxten inom svenskt skogsbruk på kort sikt och att utvecklingen för skogsindustrin överlag var svag år 2019. Exporten till Europa minskade också på grund av en minskning i användandet av papper i allmänhet och tidningspapper i synnerlighet. Granar är utsatta för angrepp av granbarkborre, vilket resulterade i att utbudet av granråvara ökade och det medförde fallande priser. De fallande priserna på

granråvara ledde även till att sågverk ökade sin produktion. Trots minskad export till Europa ser sågverksindustrin och massaindustrin en positiv prisutveckling i framtiden.

2.2 GLOBALA OCH NATIONELLA MÅL

I arbetet mot att bromsa klimatförändringarna krävs det att samhället ställer om på alla nivåer och inom alla sektorer. FN och EU har infört särskilda mål och strategier för att minska klimatpåverkan och införa hållbar utveckling på samhällsnivå. Som en förlängning av dessa mål har Sverige även ett klimatpolitiskt ramverk. FN har utformat 17 globala hållbarhetsmål vars syfte är att extrem fattigdom avskaffas, att minska ojämlikheter och orättvisor i världen, att främja fred och rättvisa och att lösa klimatkrisen. Nyttjandet av skogen för att minska klimatpåverkan och att sträva mot en hållbar utveckling berörs både direkt och indirekt av flera av hållbarhetsmålen, dessa mål är 7, 12, 13 och 15 (Globala målen u.å.a), se tabell 1.

Tabell 1. De hållbarhetsmål som FN tagit fram, som berör skogsindustrin (Globala målen u.å.a).

FN:s hållbarhetsmål	Beskrivning
Mål 7: Hållbar energi för alla	Säkerställa att alla har tillgång till tillförlitlig, hållbar, modern och ekonomiskt överkomlig energi.
Mål 12: Hållbar konsumtion och produktion	Hushålla med jordens resurser på ett hållbart sätt. Minska det ekologiska fotavtrycket.
Mål 13: Bekämpa klimatförändringarna	Omedelbara åtgärder för att bromsa klimatförändringarna.
Mål 15: Ekosystem och biologisk mångfald	Återställa, skydda och främja ett hållbart nyttjade av landbaserade ekosystem och hållbart bruka skogar.

Skogens resurser kan användas för att ersätta fossila bränslen och på så sätt bidra till att uppnå mål 7. Biobränsle är en av många produkter som skogen kan generera, och detta bränsle är förnybart. I en strävan att öka användandet av förnybara bränslen kan därför biobränslen spela stor roll (Globala målen u.å. b). Ett av delmålen i det tolfte målet rör förvaltning och användning av naturresurser, och att ett effektivt nyttjande av naturresurser ska uppnås till 2030. Detta kan kopplas till skogsförvaltning och produktion av träbaserade varor (Globala målen u.å. c). Skogen har även stor betydelse när det kommer till balansen av koldioxid i atmosfären då alla växter och träd fotosyntetiserar. Ju fler träd som växer i skogen desto mer koldioxid kan bindas in och syre frigöras, vilket bidrar till arbetet för mål 13 (Globala målen u.å. d). Ett av delmålen i det femtonde målet berör direkt skogsbruket, i form av att genomförandet av hållbart brukade skogar ska främjas till år 2020 (Globala målen u.å. e).

EU har lanserat en strategi för hållbar bioekonomi som en del av hållbarhetsarbetet. Syftet med EU:s bioekonomi är att stärka kopplingarna mellan samhälle, ekonomi och miljö.

Bioekonomin täcker alla sektorer och system som är beroende av alla typer av naturresurser, såsom växter, djur, mikroorganismer, organiskt avfall etc. Både marina och landbaserade ekosystem inkluderas i bioekonomin, och de tjänster som dessa ekosystem ger. Även industrisektorer som använder naturresurser och biologiska resurser för att producera mat, foder, bränsle etc. Bioekonomin samspelar på många sätt med målen om att eftersträva en hållbar utveckling globalt, framtagna av FN. En hållbar bioekonomi anses vara helt nödvändig för att uppnå koldioxidneutralitet, i linje med Parisavtalet (European Commission 2018).

Som en del av EU:s handlingsplan för cirkulär bioekonomi har en vägledning om kaskadanvändning (eng. cascading wood use) tagits fram. Kaskadanvändning innebär att resurseffektiviteten för biomassa ökar genom att cirkulär användning införs. Enligt vissa grundprinciper ska kaskadanvändning tillämpas, vilka är *Hållbarhet*, *Resurseffektivitet*, *Cirkularitet i varje ström och i varje steg*, *Nya produkter och nya marknader*, samt *Subsidiaritet*. Grundprincip *Hållbarhet* innebär att träbiomassan ska komma från hållbart brukade skogar. Tillgången på förnybara material kommer öka vid kaskadanvändning, vilket innebär att fossilbaserade produkter potentiellt kan ersättas. Återvinning av träavfall ger minskade växthusgasutsläpp genom att materialet återgår till biomassa och mängden avfall som förbränns minskar. Detta är kaskadanvändning i praktiken. När det inte är lämpligt ur miljösynpunkt eller ekonomiskt lönsamt att använda träbiomassa kan det användas vid elproduktion för att på så sätt minska användningen av icke-förnybara källor som energiresurs (Europeiska unionen 2019).

Grundprincip *Resurseffektivitet* innebär att resurseffektivitet genom inriktning på sådan användning som ger störst ekonomiskt värde ska främjas, och en marknadsbaserad strategi ska prioriteras. För att ge största möjliga vinst i frågan om resurseffektivitet bör därför insatser för att behålla träbaserad biomassa i användningscykeln så länge det är tekniskt möjligt och ekonomiskt lönsamt (Europeiska unionen 2019).

Syftet med grundprincip *Cirkularitet i varje ström och i varje steg* är att behålla alla strömmar av träbaserad biomassa i cirkulation och använda dem på ett resurseffektivt sätt i enlighet med föregående grundprincip (Europeiska unionen 2019).

Grundprincipen *Nya produkter och nya marknader* innebär att användningen av träbiomassa med högre mer värde ska stimuleras genom nya produkter och nya marknader. Att söka nya användningsområden med högt mervärde är en naturlig del av den biomassabaserade verksamheten. Några framgångsfaktorer som detta är beroende av är stora investeringar i forskning och en flexibel och snabbriktig produktion så att man kan utnyttja ny teknik (Europeiska unionen 2019).

Den sista grundprincipen *Subsidiaritet* innebär att avgöra när kaskadanvändning av biomassa kan bli så ekonomiskt som möjligt, då hänsyn tas till både ett nationellt sammanhang och regionala eller lokala förhållanden (Europeiska unionen 2019).

År 2017 antog Sverige ett klimatpolitiskt ramverk, där en klimatlag, ett klimatmål och ett klimatpolitiskt råd ingår. Ramverkets syfte är att en sammanhängande klimatpolitik ska

föras, för att säkerställa att samhället och näringslivet får långsiktiga förutsättningar för den omställning som krävs för att nå Sveriges klimatmål och arbeta för att bromsa klimatförändringarna. 1 januari 2018 trädde klimatlagen i kraft. Lagen innebär att ett ansvar läggs på nuvarande och framtida regeringar att föra en politik för att bromsa klimatförändringar, genom att politiken utgår ifrån klimatmålen och en regelbunden rapportering om utvecklingen krävs. I budgetpropositionen ska varje år en klimatredivisning presenteras, vilket ska underlätta för uppföljning och bedömning av de sammantagna klimateffekterna. Vart fjärde år ska dessutom en klimatpolitisk handlingsplan tas fram. Det klimatpolitiska rådet, som också ingår i ramverket, är ett tvärvetenskapligt expertorgan som ska bistå regeringen med oberoende utvärderingar för den politik som regeringen för (Naturvårdsverket 2019c).

Klimatmålet handlar om att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser år 2045, och därefter ska utsläppen vara negativa. Upptag av koldioxid i skog och mark räknas som en kompletterande åtgärd för att ge negativa nettoutsläpp efter 2045. En annan kompletterande åtgärd är avskiljning och lagring av koldioxid från förbränning av biobränslen, eller Bio-Energy with Carbon Capture and Storage, förkortat till BECCS eller Bio-CCS. (Naturvårdsverket 2019c). Koldioxidlagring från biomassa är en användbar teknik för att minska påverkan på växthuseffekten och tekniken bygger på principen att träd och andra växter samlar in koldioxid i biomassan genom fotosyntesen. När biomassan från växter och träd sedan förbränns, läggs på deponi eller blir till biobränsle kan den koldioxid som frigörs samlas in och pressas ner i marken för lagring (Global CCS Institute 2019).

2.3 IPCC:S BERÄKNING AV KOLFÖRRÅD

För att kunna jämföra hur klimatpåverkan varierar finns vedertagna begrepp och metoder som tillämpas. FN:s klimatpanel (IPCC) har tagit fram en systematisk metod för att beräkna förändringar i kolförrådet i biomassa, dött organiskt material och jordar. Beräkningarna utgår ifrån olika markanvändningssektorer, så kallade kolpooler, vilka är skogsmark, jordbruksmark, åkermark, våtmark, bebyggd mark och övrig mark. För varje markanvändningssektor bestäms förändringarna i kolförråd med hänsyn till bland annat klimatzon, jordart och ekotyp. Skördade träprodukter adderas som en extra kolpool utöver markanvändningssektorerna. IPCC (2019) beskriver att det finns två fundamentalt likvärdiga tillvägagångssätt att beräkna skillnaden i kolförråd; antingen genom nettobalansen av tillförsel eller bortförsel av kol till kolförrådet, vilket är en process-baserad metod, eller genom att studera skillnaden i kolförråd mellan två olika tidpunkter, vilket är en förråds-baserad metod.

Förändringen i lagring av kol omvandlas ofta till utsläpp eller upptag av koldioxid och särskilt när det kommer till träprodukter, som biobränslen. Biobränslen konsumeras direkt, vilket innebär att kolförrådet inte längre existerar och det går inte att beskriva förändringen i kolförråd från år till år. Enligt IPCC kan koldioxidflödena från skördade träprodukter bestämmas genom att kolförrådet mellan olika år inom kolpoolen studeras, för att sedan omvandla det till koldioxidflöden. Ett annat alternativ för beräkning av

koldioxidflöden är att identifiera och kvantifiera det faktiska koldioxidflödet till atmosfären från kolpoolen (IPCC 2019).

Tre produktklasser används vid beräkning, vilka är spånskivor, träbaserade paneler och papper och kartong. Den årliga tillförseln och bortförseln av koldioxid till atmosfären från kolpoolen ”Skördade träprodukter” beräknas sedan enligt ekvation (1):

$$\Delta CO_{2Total}(i) = -\frac{44}{12} \times \sum_{l=1}^n \Delta C_l(i) \quad (1)$$

där i är år, $\Delta CO_{2Total}(i)$ är det totala koldioxidflödet från nettoförändringen i kolförråd i kolpoolen ”Skördade träprodukter” under år i , i enheten miljoner ton CO₂. C är kolförrådet i kolpoolen ”Skördade träprodukter”, i enheten miljoner ton kol. $\Delta C_l(i)$ är förändringar i kolförrådet i en särskild produktklass l , under år i , i enheten miljoner ton kol per år.

IPCC (2019) har bestämt halveringstid och en nedbrytningskonstant för träprodukter, indelat i tre produktkategorier. Kategorierna är ”Sågade trävaror” (eng. sawn wood), ”Spånskivor” (eng. wood-based panels) och ”Papper och kartong” (eng. Paper and paperboard), se Tabell 2. Halveringstiden och nedbrytningskonstanten beror av varandra enligt ekvation (2):

$$k = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \quad (2)$$

där k är nedbrytningskonstanten i enheten år⁻¹ och $t_{1/2}$ är halveringstiden, i enheten år.

Tabell 2. Halveringstider och nedbrytningskonstanter för olika produkter från skogsindustrin, som tagits fram av IPCC (IPCC 2019).

Typ av produkt	Halveringstid, $t_{1/2}$ (år)	Nedbrytningskonstant, k (år ⁻¹)
Sågade trävaror	35	0,020
Spånskivor	25	0,28
Papper och kartong	2	0,347

Enligt IPCC:s metodik sammanställer Naturvårdsverket årligen nettoupptaget och nettoutsläppet av växthusgaser från hela markanvändningsektorn (Land Use, Land-Use Change and forestry - LULUCF). Hänsyn tas till att en vis andel av pappret består av återvunnet papper. Återvinning är inte inkluderat för långlivade produkter, såsom sågade trävaror. Ett innehåll av biogent kol på 50 procent för samtliga produktkategorier, ansätts för den svenska rapporteringen. Produktionsmängden av papper har multiplicerats med en faktor 0,9 för att ta hänsyn till att icke-cellulosabaserade ämnen adderas i materialet. För sågade trävaror har ett viktat medelvärde för densiteten av gran och tall använts. Ett antagande om att inget träbaserat avfall hamnar på deponi gjordes även av Naturvårdsverket (Naturvårdsverket 2019d).

Beräkningar utförda av Naturvårdsverket baseras på tillskottet av kolinlagring i nya produkter och bortförsl av kol i produkter som förbränns årligen. Det innebär att de tagit hänsyn till årligt tillskott av träbaserade produkter och subtraherat detta med årligt avfall av träbaserade produkter, vilket i sin tur är baserat på halveringstider från Tabell 2 (Naturvårdsverket 2019d). De årliga nettoförändringarna i kolförråd beräknas för kolpoolerna levande träd och växter, döda träd och växter samt markkol. År 2018 tog träprodukter upp 6,7 miljoner ton CO₂-ekvivalenter (Naturvårdsverket 2019e).

Det största kolflödet sker i skogsmark och inlagringen av kol i skogsmark har ökat, vilket beror på att tillväxten av levande träd och växter är större än takten de avverkas. De år som avverkningsen varit hög har inlagringen av kol varit hög i träprodukter, vilket också innebär att stora stormar, som Gudrun (2005) och Per (2007), resulterar i större inlagring av kol i träprodukter. Nettoupptaget var knappt 6 miljoner ton CO₂-ekvivalenter 2018, vilket var en minskning med cirka 1 miljon ton CO₂-ekvivalenter från året innan. De markanvändningstyper som resulterar i nettoutsläpp av växthusgaser är framförallt åkermark, våtmark och bebyggd mark (Naturvårdsverket 2019e).

2.4 MATERIALFLÖDESANALYS

Idag finns det många olika metoder för att beskriva omsättningen av material hos företag, städer eller länder. "Material-flow-analysis" eller materialflödesanalys (MFA) är en systematisk bedömning av materialflöden i ett system definierat i tid och rum. Materialets väg från sin källa till dess att det blir avfall, inklusive de mellanliggande stegen, analyseras. Resultatet från analysen kan kontrolleras genom att tillämpa lagen om massans bevarande, då det finns en balans mellan det som lagras i systemet och systemets "outputs" och "inputs". Metoden ger en översikt över ett materials flöde och lagring inom ett system och steg i flödet där material ackumuleras eller bryts ned kan identifieras, antingen för att undvika fortsatt ackumulation eller för att se till att ackumuleringen förtgår för framtida utnyttjande (Brunner & Rechberger 2004).

Enligt Brunner och Rechberger (2004) kan uppbyggnaden och mål av en materialflödesanalys sammanfattas enligt:

1. Avgränsa systemet och dess materialflöden genom väldefinierade villkor.
2. Minska systemets komplexitet i så stor grad som möjligt, utan att några viktiga aspekter går förlorade. En grund för sunt beslutsfattande måste finnas.
3. Utvärdera flöden och lagringar av material med kvantitativa mått, vilket innebär att lagen om massans bevarande tillämpas. Känsligheter och osäkerheter avslöjas.
4. Presentera resultatet av materialflöden på ett tydligt och transparent sätt. Använd resultatet för att hantera resurser, avfall eller miljön.

3 METOD

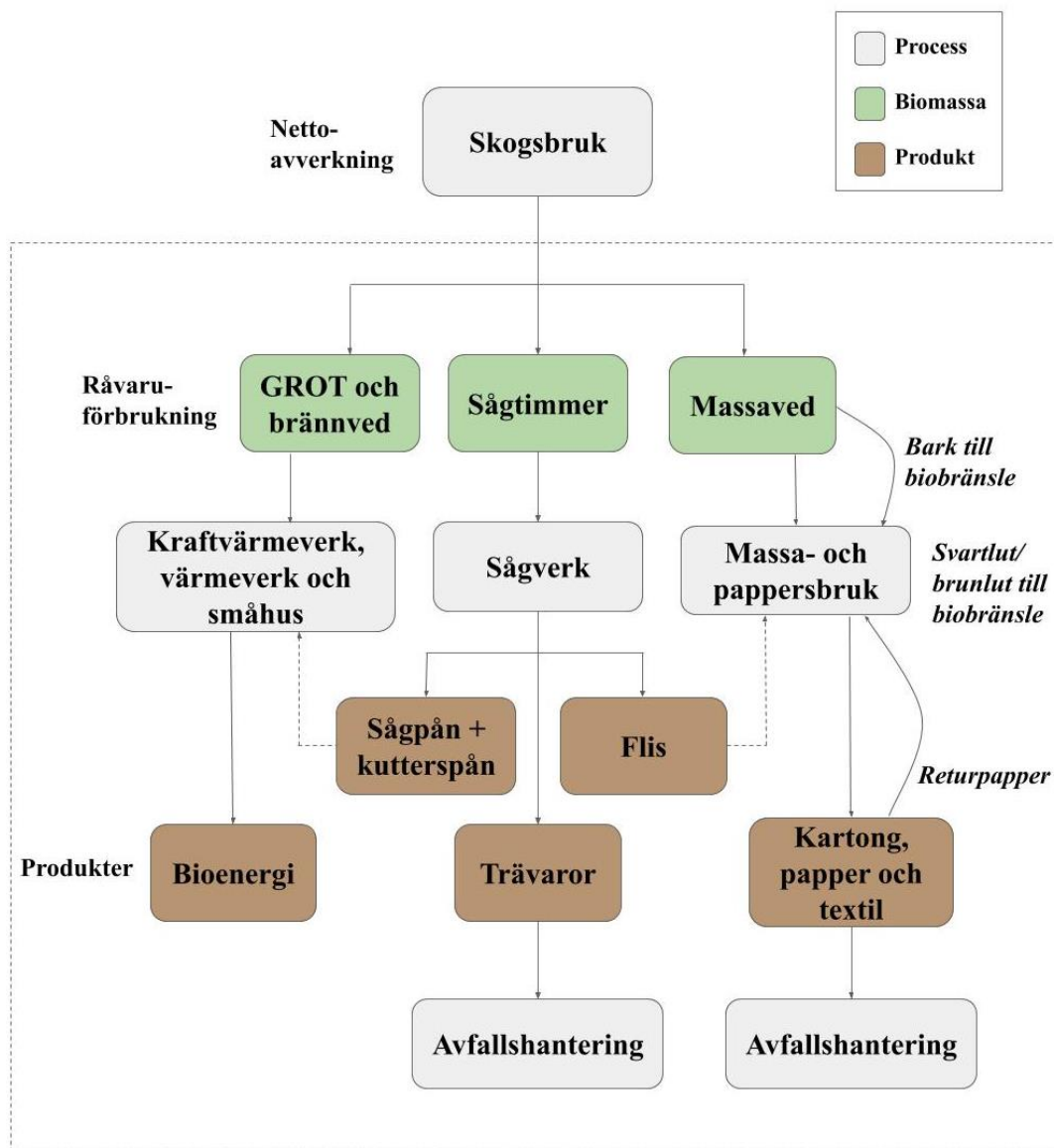
Det årliga tillskottet av träbaserade produkter analyserades genom att processer, biprodukter och produkter inom skogsindustrin kartlades, genom en materialflödesanalys, vilket medgav att systemets komplexitet kunde minskas. Innehållet av biogent kol i träbaserade produkter beräknades för alla steg i skogsbiomassans livscykel för att kunna ställa upp en massbalans.

Data inhämtades i huvudsak från Biometrias sammanställning av Sveriges virkesförbrukning och produktion av skogsprodukter. Biometria har sedan 1985 haft i uppdrag av skogsindustrins branschorganisationer att samla, bearbeta och redovisa statistik över virkesförbrukningen i Sverige. Rapporteringen bygger på frivilligt inlämnade uppgifter, som samlats in från samtliga företag inom skiv- och massaindustrin samt sågverk med en produktion över tusen kubikmeter sågad vara per år (Biometria 2019).

För att kunna jämföra resultatet av denna studie med andra beräkningar för klimatpåverkan omvandlas mängden biogent kol till koldioxid, enligt ekvation (1). Sedan studerades aktuella strategier för att förlänga inbindningstiden för biogent kol, och strategierna jämfördes.

3.1 MATERIALFLÖDESANALYS OCH DATAINSAMLING

För att först få en överblick över hur den avvertrade skogen, så kallat rundvirke, fördelas mellan olika industrier studerades nettoavverkningen. Nettoavverkning är den mängd avvertrade träd som tillvaratas från platsen. Bruttoavverkning beskriver i jämförelse den totala avverkningen inklusive de stamdelar och träd som lämnas på platsen (Skogen u.å a). Notera att nettoavverkningen inte ingår i det studerade systemet, se Figur 3, men tas ändå med i flödesschemat för att illustrera att det är starten för att producera produkter från skogsindustrin.



Figur 3 Flödesschema för biomassan genom kraftvärmeverk och värmeverk, sågverk och massa- och pappersbruk. GROT är grenar och toppar. Systemgränserna illustreras av den streckade rektangeln.

Råvaruförbrukning är den mängd råvara som industrin förbrukar. Där ingår den del av rundvirket som är importerat, vilket innebär att den mängd råvara som förs in i systemet inte är densamma som nettoavverkningen. Råvaruförbrukningen för sågverksindustrin och massa- och pappersbruk år 2018 illustreras i Tabell 3. Råvaruförbrukningen som motsvarar den biomassa som går direkt till förbränning är både skogsrester och restprodukter från massa- och pappersindustrin och detta synliggörs i avsnitt 3.1.3 *Direkt till bioenergi*.

Med statistik från Biometria (2019) ansattes värden för råvaruförbrukningen. Enligt Svenskt trä (u.å. b) har furu densiteten 470 kg/m^3 och gran 440 kg/m^3 , därför användes medelvärdet 455 kg/m^3 . Enligt SLU (1995) har obearbetade träddelar en fukthalt på 50 procent, vilket innebär att torrsubstansfaktorn för rundvirke är 0,50. För att ta fram

kolinnehållet i biomassan som motsvarar råvaruförbrukningen omvandlades volymenheten till en massenhet i torrsubstans, enligt ekvation (3):

$$R_{TS} = R \times TS \times \rho \quad (3)$$

där R_{TS} är råvaruförbrukningen, i enheten miljoner kilogram torrsubstans. R är råvaruförbrukning, i enheten miljoner kubikmeter fast mått under bark. TS är torrsubstansfaktorn och ρ är densitet, i enheten $[\text{kg}/\text{m}^3 \text{ fub}]$, alltså kilogram per kubikmeter fast mått under bark.

Tabell 3. Råvaruförbrukning år 2018 för sågverk och massa- och pappersbruk. TS innebär torrsubstans, alltså torrt virke utan fukt.

Skogsindustri	Råvaruförbrukning, R (milj $\text{m}^3 \text{ fub}^*$)	Råvaruförbrukning, R_{TS} (tusen ton TS)
Sågverk	36,5	8 304
Massa- och pappersbruk	47,3	10 761

* milj $\text{m}^3 \text{ fub}$ = miljoner kubikmeter fast mått under bark

Enligt Wernet et al. (2016), IPCC (2019) och Matthews (1993) är andelen biogent kol cirka 50 procent av torrsubstansen i trä. Denna andel biogent kol användes även för beräkningar av kolinnehåll i produkter, såsom sågade trävaror. Eftersom råvaruförbrukningen enbart består av sågtimmer eller massaved användes andelen biogent kol som finns i trä för att få kolinnehållet i råvaruförbrukningen, enligt ekvation (4):

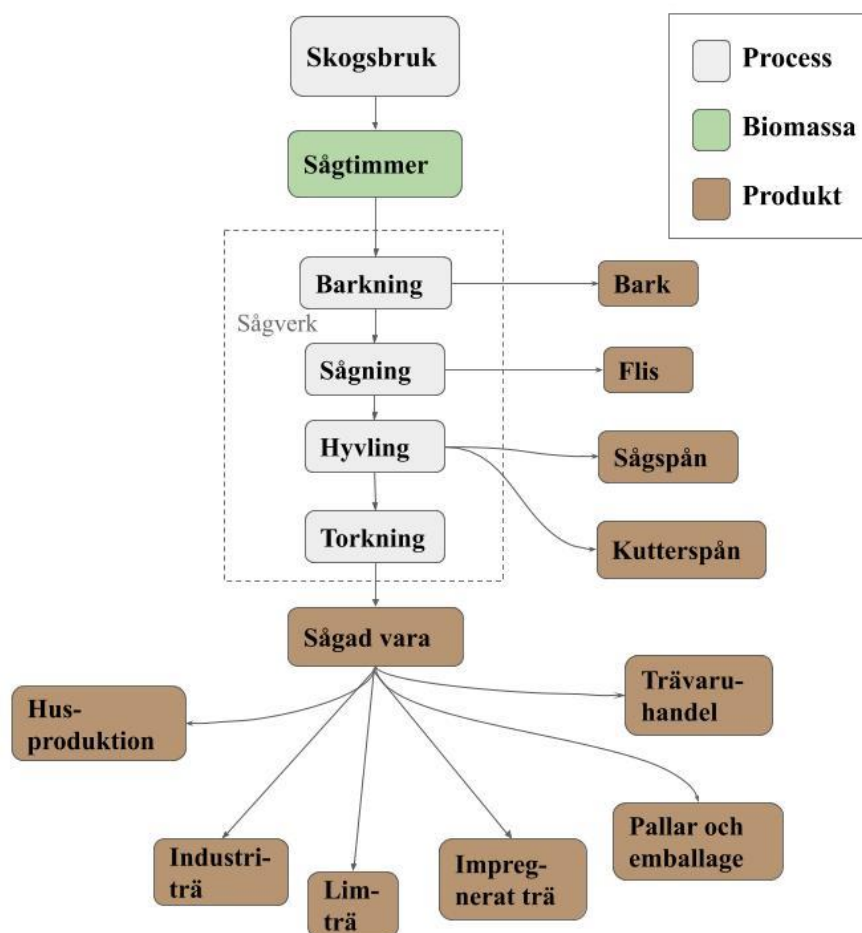
$$BK_{\text{råvaruf}} = R_{TS} \times C_{TS} \quad (4)$$

där $BK_{\text{råvaruf}}$ är biogent kolinnehåll i enheten tusen ton kol. R_{TS} är råvaruförbrukning i enheten tusen ton torrsubstans och C_{TS} är andelen biogent kol av torrsubstansen.

Efter råvaruförbrukningen uppstår olika typer av biprodukter och produkter för respektive industri och därför studerades de hädanefter separat.

3.1.1 Sågverk

För att följa flödet av biomassa för produktion av sågade trävaror studerades sågverksindustrins delprocesser och sammanfattades i ett flödesschema, se Figur 4, baserat på avsnitt 2.1.1 Sågverk.



Figur 4 Flödesschema för biomassan genom ett sågverk.

När de gäller sågverksindustrins produkter och dess användningsområden har Svenskt trä (2017b) gjort en sammanställning för år 2010 med andelen sågade trävaror som går till respektive produktkategori, se Tabell 4. Statistik om den totala produktionsmängden av sågade trävaror hämtades från Biometria (2019). Virke som går till bygg- och trävaruhandel är de träbaserade produkter som används av byggtreprenörer, ROT (reparation, ombyggnad och tillbyggnad), lantbruk, anläggningar och andra konsumenter. Inom detta användningsområde ingår inte limträ, industriträ, impregnerat trä, pallar och emballage. De sågade varor som går till husproduktion används för nyproduktion, i huvudsak i villor. Limträ är ett material som används i konstruktion, i form av limträbalkar (Svenskt trä u.å. d). Industriträ är virke som används till fönster, dörrar, trappor, golv, lister och möbler (Svenskt trä u.å. c). Impregnerat trä används i trädgårdar och anläggningar. Inom produktkategorin pallar och emballage ingår kabeltrummor, pallar, packlådor och specialemballage till industrier (Svenskt trä u.å. c).

För enhetsomvandling från volym till massa användes fysikaliska egenskaper som torrsubstans och densitet, se Appendix A för alla parametrar. För att få mängden torrsubstans multiplicerades mängden i kilogram med den andel av träprodukten som beskriver torrsubstansen, enligt ekvation (5):

$$M_{s\grave{a}g} = M \times \rho \times TS \quad (5)$$

där $M_{s\grave{a}g}$ är produktionsmängden sågande trävaror i torrsubstans, i enheten miljoner kilogram torrsubstans. M är produktionsmängden sågade trävaror, i enheten miljoner kubikmeter sågad vara, ρ är densiteten för barrträ, som ansattes till 455 kg/m^3 sågad vara (Svenskt trä u.å b). Eftersom virket som används för sågade trävaror torkas innan det blir till en färdig produkt är torrsubstansfaktorn inte 0,50 i detta fall. Enligt SkogsSverige (2016a) har träprodukter en fukthalt på 6-18 procent, därför ansattes ett medelvärde på 12 procent.

Tabell 4. De produkter och användningsområden för sågade barrträvaror år 2010 och andelen av den totala volymen och massan sågade varor som går till respektive användningsområde, samt andelen biogent kol i dessa produkter.

Produkter/ användning	Andel (% av sågade trävaror)	Produktionsmängd, M (milj m³ sv*)	Mängd, $M_{s\grave{a}g}$ (tusen ton TS)
Bygg- och trävaruhandel	37	6,8	2740
Huskonstruktion	10	1,8	737
Industriträ	15	2,8	1110
Limträ	4,0	0,7	295
Impregnerat trä	16	3,0	1 180
Pallar och emballage	18	3,3	1 330
Sågade trävaror	100	18,4	7 370

*milj m³ sv = miljoner kubikmeter sågad vara

Det biogena kolinnehållet beräknades då fram enligt ekvation (6):

$$BK_{s\grave{a}g} = M_{s\grave{a}g} \times C_{TS} \quad (6)$$

där $BK_{s\grave{a}g}$ är det biogena kolinnehållet i produkterna, i enheten tusen ton kol. $M_{s\grave{a}g}$ är produktionsmängden av sågade trävaror, i enheten tusen ton torrsubstans. C_{TS} är andelen biogent kol av torrsubstansen, vilket är 50 procent.

För att analysera tiden som kolet är inbundet i sågade trävaror undersöktes huruvida träavfall återvinns eller inte. Enligt SCB:s statistikdatabas materialåtervanns endast 870 ton träavfall år 2016, av drygt 2 miljoner ton träavfall totalt, se Tabell 5. Andelen av trämaterial som återvinns bedömdes därför vara försumbar.

Tabell 5. Avfallshantering av träavfall, år 2016 (SCB 2016).

Typ av avfallshantering	Farligt avfall (ton)	Icke-farligt avfall (ton)
Konventionell materialåtervinning	0	870
Biologisk behandling (rötning/kompostering)	0	20 000
Annan återvinning	0	1 380
Förbränning med energiåtervinning	77 300	1 955 000
Förbränning utan energiåtervinning	40 000	5 550
Totalt	117 300	1 982 800

Då materialåtervinningen anses vara försumbar, togs det inte hänsyn till att produkterna lever i flera cykler, utan de sågade trävarorna går direkt till exempelvis förbränning när de övergått till avfall. I en rapport av Erlandsson & Holm (2015) har livslängden för olika byggmaterial sammanställts. Livslängden för sågade trävaror motsvarar den tid som gått mellan utbyte av träprodukten krävs eller gjorts av annan anledning. Baserat på studien antas olika livslängder för produktkategorierna/användningsområden i Tabell 4, se Tabell 6. Enligt studien är trädörrar i bruk i genomsnitt 50 år och träfönster i 40 år, därför ansattes 45 år för industriträ. Produkterna i bygg- och trävaruhandel, samt husproduktion har en bred variation i funktion och livslängd, därför ansattes en livslängd i underkant på 30 år, baserat på att träfasad av europeiskt barrträ byts i genomsnitt ut var 50:e år med normalt underhåll, medan andra träprodukter för exempelvis köksbyggnation antas ha en betydligt kortare livstid. Impregnerad träfasad har en ungefärlig livslängd på 50 år, därför ansattes denna livslängd för impregnerat trä. Limträbalkar bedöms ha en relativt lång livslängd, och ansattes därför till 50 år.

Det finns flera olika typer av lastpallar. I Europa dominerar användningen av EUR-pallen. Fickler et al. (2017) har gjort en livscykelanalys där de jämför EUR-pallen med en annan pall på marknaden och de analyserar pallanvändningen inom livsmedelsbranschen. Retursystem Byggpall (2017) har gjort en jämförande studie av klimatmässiga och ekonomiska aspekter mellan konkurrerande pallsystem och analyserar specifikt byggbranschens pallanvändning. Enligt Byggpall (2017) har EUR-pallar en livslängd på 5-10 år, medan Fickler et al. (2017) har tagit fram en livslängd av EUR-pallar på drygt 15 månader. Livslängden som Fickler et al. (2017) tagit fram bedömdes vara mer trovärdig, eftersom de redovisat hur de beräknat livslängden, medan Retursystem Byggpall enbart antagit en ungefärlig livslängd. Livslängden för produktkategorin ”Pallar och emballage” ansattes därför till 1,5 år eller 18 månader.

Tabell 6. Livslängden för olika produktkategorier, genererat av sågverksindustrin.

Produkter/användning	Livslängd (år)
Bygg- och trävaruhandel	30 ^a
Huskonstruktion	30 ^a
Industriträ	45 ^a
Limträ	50 ^a
Impregnerat trä	50 ^a
Pall och emballage	1,5 ^b

^a Erlandsson & Holm (2015)

^b Fickler et al. (2017)

Sågverksindustrins biprodukter och dess användningsområde analyserades genom att studera statistik som Biometria (2019) sammanställt (Tabell 7). Biometria menar dock att uppgifterna om sågverksindustrins biprodukter har en viss osäkerhet. Intern användning av spån och bark förekommer ofta och detta mäts ibland inte. Biprodukterna blandas dessutom, vilket gör att det kan vara svårt med uppgifter om volym för varje enskild biprodukt. De har heller inte fört någon enskild statistik specifikt för produktion av träbaserade skivor, eftersom det finns få produktionsanläggningar i Sverige. I kategorin ”träfiberindustri” ingår produktion av massa-och papper samt produktion av spånskivor etc. (Biometria 2019).

De biprodukter som går till träfiberindustrin utvärderades vidare i avsnitt 3.1.2 *Massa- och pappersbruk*, och de biprodukter som går till bränsle utvärderades i avsnittet 3.1.3 *Direkt till bioenergi*. Andelen av biprodukter som går till ”träfiberindustrin” är integrerad i siffran för råvaruförbrukning i massa- och pappersbruken.

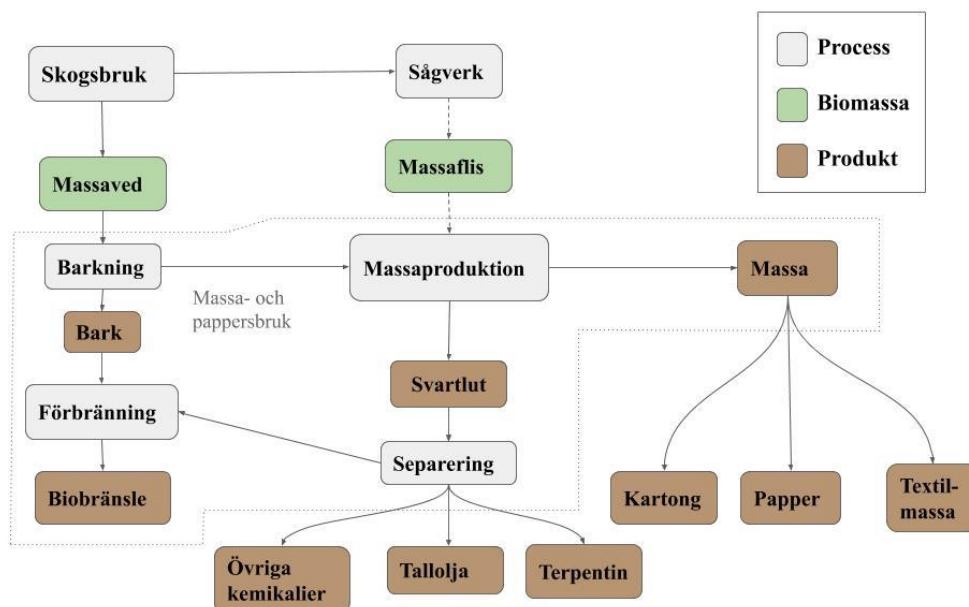
Tabell 7. Sågverksindustrins biprodukter och vad de användes till år 2018 (Biometria 2019). Kategorin ”övrig användning” användes inte för fortsatta beräkningar.

Biprodukt	Mängd (milj m ³ f*)	Användningsområden			
		Träfiber- industri (%)	Bränsle – eget (%)	Bränsle - försålt (%)	Övrig användning (%)
Flis	11 130	90	4	6	0
Sågspån	4 857	16	9	69	9
Kutterspån	879	0	1	75	24
Bark	3 744	0	45	49	6

*miljoner skogskubikmeter i verklig fast volym inklusive bark

3.1.2 Massa- och pappersbruk

För att följa flödet av biomassa för produktion av papper, kartong och textilier studerades massa- och pappersindustrins delprocesser och sammanfattades i ett flödesschema, se Figur 5, baserat på avsnitt 2.1.2 *Massa- och pappersbruk*.



Figur 5 Flödesschema för biomassan i massa- och pappersindustrin.

Av den volym råvara som massa- och pappersindustrin förbrukar produceras en viss mängd mekanisk och kemisk massa, se Tabell 8. Den kemiska massan omfattar både sulfatmassa och sulfitmassa. En del av den kemiska massan blir även till textilmassa, även kallad dissolvingmassa, för textilier. Data för produktion av dissolvingmassa redovisas i Tabell 10.

Kolinnehållet i den mekaniska och kemiska massan beräknades med hjälp av massbalans. Mängden biogent kol i massan är densamma som mängden biogent kol i produkterna som skapas från massan. Ett antagande om att inga förluster sker mellan massa och produkt gjordes.

Tabell 8. Produktionen av massa, inklusive returfibrer, under 2018 (Biometria 2019).

Typ av massa	Produktion massa (tusen ton)
Sulfatmassa	8 241
Sulfitmassa	538
Kemisk massa	8 779
Mekanisk massa	3 070

I Tabell 9 sammanställs mängden papper och kartong som producerades år 2019, enligt Skogsindustrierna (2020). I "Grafiskt papper" ingår tidningspapper och annat tryckpapper. I "Förpackningsmaterial" ingår förpackningspapper, wellpapp och kartong för förpackningar. Andelen biogent kol i "Övrigt papper" är ett medelvärde av andelen biogent kol för de övriga produktkategorierna i Tabell 9.

Tabell 9. Produktion av papper och kartong år 2019 och materialets innehåll av biogent kol. Andelen biogent kol enligt Wernet et al. (2016).

Typ av papper	Produktionsmängd, M_{papp} (tusen ton)	Andel biogent kol, C_{papp}
Grafiskt papper	3 254	0,388
Förpackningsmaterial	5 945	0,450
Mjukpapper	356	0,362
Övrigt papper	61	0,400

Det biogena kolinnehållet beräknades enligt ekvation (7):

$$BK_{papp} = M_{papp} \times C_{papp} \quad (7)$$

där BK_{papp} är det biogena kolinnehållet i papper eller kartong, i enheten tusen ton kol. M_{papp} är produktionsmängden, i enheten tusen ton och C_{papp} är andelen biogent kol.

Återvinningskedjor inom massa- och pappersindustrin studerades för att kunna beräkna produkternas livslängd och för att sammanställa en total livslängd för pappers- och kartongprodukter måste antalet cykler som fibrerna återvinns bestämmas. I ett projekt kallat "Reffibre", som baseras på insamlad data från Confederation of European Papers (CEPI) om återvinning, togs parametrar som definierar återvinning av papper fram. Parametrarna MFA och MNU, betyder "mean fibre age" respektive "mean number of future uses" och innebär medelvärdet av antalet produkter en pappersfiber hittills varit i, respektive medelvärdet av hur många framtida användningar som är kvar. Värdet $MFA + MNU - 1$ beskriver medelvärdet av det totala antalet fiberanvändningar under en pappersfibers livstid (Bousios et al. 2016). Förutom antalet fiberanvändningar eller cykler en pappersfiber genomgår antogs även en livslängd för respektive produkt som en fiber finns i innan den återvinns i en annan produkt, se Tabell 10. Längden på varje enskild cykel antogs vara ungefär ett år. Wellpapp och kartong går som en gemensam kategori, i form av "Förpackningsmaterial", där medelvärdet av MFA och MNU beräknades.

Tabell 10. Parametrar som beskriver antalet cykler papper eller kartong genomgår och livslängden för varje enskild cykel. *MFA* är medellivslängden för en massafiber, *MNU* är medelantalet av framtida användningar och *LC* är livslängden för en enskild cykel.

Typ av produkt	MFA	MNU	MFA+MNU-1	LC (år)
Tidningspapper	1,97	4,92	7,89	1
Wellpapp	3,07	3,11	5,18	1
Kartong	1,87	2,77	3,64	1
Förpackningsmaterial	2,47	2,94	4,41	1
Mjukpapper	1,24	1,0	1,24	1
Övrigt papper	1,88	1,0	1,88	1

Med hjälp av värden i Tabell 10 beräknades den totala livslängden för varje produktkategori, enligt ekvation (8):

$$TL = (MFA + MNU - 1) \times LC \quad (8)$$

Där *TL* är total livslängd för en viss produktkategori, i enheten år. *MFA* är medellivslängden för en massafiber av en viss produktkategori och *MNU* är medelantalet av framtida användningar. *MFA + MNU - 1* beskriver medelvärdet av det totala antalet fiberanvändningar. *LC* är livslängden för varje enskild cykel eller fiberanvändning.

Det förekommer även återvinning internt i massabruken, eftersom brunluten eller svartluten som blir till vid framställning av kemisk massa återvinns genom kemikalieseparation och resterna förbränns och ger intern energi. Den kemiska framställningen av pappersmassa bygger alltså på en kretsloppsprincip (SkogsSverige 2017). Den mängd svartlut och brunlut som direkt går till förbränning redovisas under avsnitt 3.1.3 *Direkt till bioenergi*.

När det kommer till produktion av cellulosabaserade textilier finns det två fabriker som producerar dissolvingmassa, vilka är Södra Cell Mörrum och Domsjö fabriker (Skogsindustrierna u.å. c). Södra Cell producerar 200 tusen ton dissolvingmassa per år vid sin maximala kapacitet (Södra 2019). Domsjö fabrik producerar 230 000 ton cellulosabaserad massa vid sin maximala kapacitet per år, se Tabell 10 (Domsjö 2020). Denna mängd producerad massa är en del av den totala mängden kemisk massa som produceras, vilket visades i Tabell 8. Mängden kol i dissolvingmassan motsvarar andelen kol i viskostatextilier, vilket är 24 procent enligt Wernet et al. (2016). Det gjordes ett antagande om att allt kol som finns i dissolvingmassa bevaras i textilen.

Tabell 10. Mängden producerad dissolvingmassa vid brukens maximala kapacitet, per år.

Dissolvingmassa	Produktionsmängd, M_{tex} (tusen ton)
Massa från Domsjö	230
Massa från södra	200
Total produktion	430

Det biogena kolinnehållet i dissolvingmassa/textilier beräknades enligt ekvation (9):

$$BK_{tex} = M_{tex} \times C_{tex} \quad (9)$$

där BK_{tex} är det biogena kolinnehållet i viskostextilier, i enheten tusen ton kol. M_{tex} är produktionsmängden dissolvingmassa i enheten tusen ton och C_{tex} är andelen biogent kol i viskos.

Det finns ingen utbredd och systematisk återvinning av textilier såsom det finns för papper och kartong, men återvinning av cellulosebaserade textilfibrer är under utveckling och beräknas öka (Naturvårdsverket 2015). Eftersom återvinningen ännu inte är utbredd gjordes en förenkling att mängden textilfibrer som återvinns är noll. Återanvändning av kläder förekommer dock i varierande grad. Då cellulosebaserade textilier blir till avfall efter ett visst antal användningar antas de gå direkt till förbränning.

Ett antagande om att cellulosebaserade textilier som viskos följer samma "levnadstrend" som textilier av exempelvis bomull och polyester gjordes för att approximera livslängden. Enligt Peñaloza et al. (2019) har viskosfibrer en medellivslängd på två år, och detta baserades på att tyger av bomull och polyester har ungefär samma funktion som viskos och en ungefärlig livslängd på två år. Naturskyddsföreningen (2011) hänvisar till en brittisk studie och hävdar att medellivslängden på ett klädesplagg är två år och tre månader. Baserat på nämnda källor ansattes en livslängd på två år för cellulosebaserade textilier.

Staffas et al (2015) har uppskattat hur mycket tallolja, terpentin och metanolkondensat som fås ur svartlut (Tabell 11). Då uppgifter om produkter från brunlut saknas och för att produktionen av sulfitmassa är väldigt liten i förhållande till produktion av sulfatmassa försummas mängden tallolja, terpentin etc. som möjligen utvinns från sulfitmassaproduktion via brunlut.

Då talloljans huvudsakliga användningsområde är biodrivmedel ansattes en livslängd på ett år. Terpentin däremot används som lösnings- eller utspädningsmedel och bedöms därför ha en längre livslängd. Tiden terpentin förvaras bör även tas med i åtanke. En leverantör skriver i produktbeskrivningen att terpentinet står på "hyllan" i två år före användning (Florachem 2018). Beroende på vad terpentinet sedan används till och hur

avfallet hanteras varierar troligen dess totala livslängd stort. Fem år ansattes som en uppskattning av terpentinet livslängd. När det kommer till livslängden för övriga kemikalier, som metanolkondensat, ansattes en livslängd på ett år, eftersom detaljerade egenskaper om kemikaliernas användning är okänd.

Tabell 11. Mängden biprodukter som genereras i massa- och pappersbruk, baserad på produktion av pappersmassa under år 2018.

Biprodukter	Produktionsandel ^a	Produktionsmängd ^b (tusen ton)	Medel- livslängd (år)
Svartlut (sulfatmassa)	1,7 ton/ton sulfatmassa	14 010	-
Tallolja	35 kg/ton sulfatmassa	288	1
Terpentin (sulfitmassa)	4 kg/ton sulfatmassa	33	5
Terpentin (mekanisk massa)	0,18 kg/ton mekanisk massa	0,55	5
Övriga kemikalier (metanolkondensat)	10 kg/ton sulfatmassa	82	1

^a Staffas et al. (2015)

^b Biometria (2019)

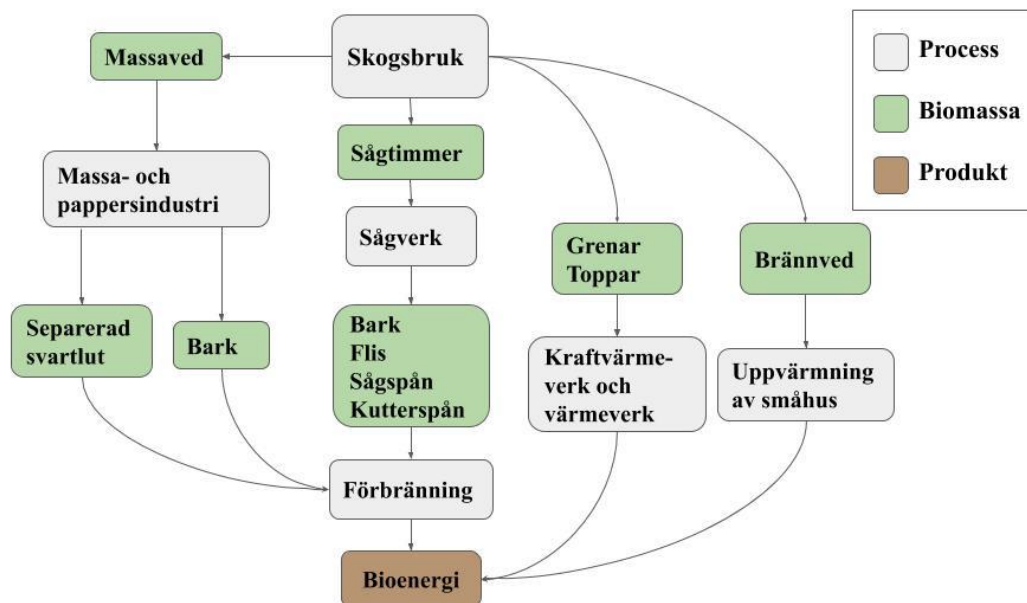
Kolinnehållet för massa- och pappersindustrins biprodukter beräknades genom massbalans. Mängden biogent kol fördelades sedan jämnt över biprodukterna baserat på mängd producerad produkt, se ekvation (10):

$$BK_{biprod} = BK_{råvaruf} - BK_{prod} \quad (10)$$

där BK_{biprod} är det biogena kolinnehållet för biprodukterna, $BK_{råvaruf}$ är det biogena kolinnehållet i råvarorna som först förbrukas och BK_{prod} är det biogena kolinnehållet i produkterna som massa- och pappersindustrin genererar, alltså textil, papper och kartong. Samtliga parametrar har enheten tusen ton kol.

3.1.3 Direkt till bioenergi

I detta avsnitt kartlades den biomassa som direkt går till förbränning. För att få en överblick över de produkter som går direkt till förbränning kartlades de i form av ett flödesschema, se Figur 6, baserat på avsnitt 2.1.3 *Kraftvärmeverk, värmeverk och uppvärmning av småhus*. Den biomassa som används som intern bioenergi i massa- och pappersbruk kunde ses i Figur 5 och Tabell 7, men ingick i beräkningar i detta avsnitt.



Figur 6 Flödesschema där biprodukter från sågverk och massa- och pappersindustrin blir till bioenergi. Brännved och GROT (grenar och toppar) blir till bioenergi i form av värme och el.

Svartluten och brunluten som uppstår vid produktion av sulfatmassa och sulfitmassa används dels som internt bränsle i massa- och pappersindustrin, men kan även separeras och ge andra biprodukter produkter. Detta innebär att en viss andel av luten går direkt till förbränning. Den andel som direkt blir till energi är den mängd lut som blir över när biprodukterna i Tabell 11 utvunnits. Som nämndes i avsnitt 3.1.2 *Massa och pappersbruk* försummas biprodukter från brunluten, eftersom data saknas och mängden producerad sulfitmassa är mycket liten relativt sulfatmassan. Beräkning av andel av luten som direkt går till förbränning baserades därför enbart på svartlut. Enligt data från Tabell 11 beräknades andelen som går till förbränning enligt:

$$\frac{\text{Svartlut [tusen ton]} - \text{Biprodukter [tusen ton]}}{\text{Svartlut [tusen ton]}} = \text{andel till förbränning.}$$

Andelen av svartluten som går till förbränning var 97 procent. Från nettoavverkningen är det drygt 6 miljoner m³ fub som går till kraftvärmeverk och värmeverk i form av brännved (Skogsstyrelsen 2019). Enligt Staffas et al. (2015) lämnas 70 procent av den GROT som genereras kvar på plats vid avverkning och 30 procent går alltså till flisning och förbränning. Den totala mängden GROT som genererades 2017 var 6,3 miljoner m³s¹, vilket innebär att ca 2 miljoner m³s går till förbränning. Enheten m³ fub betyder kubikmeter fast mått under bark och enheten m³s betyder kubikmeter stälpt mått, vilket är den yttre volymen av GROT, flis etc. inklusive luft. Volymen (i enheterna m³ fub och m³s) av biprodukter omvandlades till massa (i enheten tusen ton torrsustans) genom att använda densiteten och torrsustansfaktorn, enligt ekvation (11):

¹ Svante Claesson, Enhetschef, Skogsstyrelsen, personlig kontakt 2020-03-05

$$M_{förb} = M \times \rho \times TS$$

där torrsubstansfaktorn, TS , är 0,50, densiteten, ρ , är 455 kg/m³. $M_{förb}$ är mängden biomassa som direkt går till förbränning, i enheten tusen ton torrsubstans och M är mängden biomassa som direkt går till förbränning i enheten miljoner kubikmeter.

Beräkningen gjordes för samtliga biprodukter, förutom svartlut, se Tabell 12. Mängden svartlut som går till förbränning beräknades direkt om till mängd biogent kol och redovisas därför inte i Tabell 12.

Tabell 12. Den mängd biomassa som går direkt till förbränning.

Typ av biomassa	Biomassa till förbränning, $M_{förb}$ (tusen ton TS)
Bark	845
Råflis	24,8
Kutterspån	14,2
Sågspån	140
GROT	450
Brännved	3 090
Svartlut	-

Andelen biogent kol av torrsubstansen är 50 procent för bark, råflis, kutterspån, sågspån, GROT och brännved. Det biogena kolinnehållet i biomassa som direkt går till förbränning beräknas enligt ekvation (12) med undantag för svartlut:

$$BK_{förbr} = M_{förbr} \times C_{TS} \quad (12)$$

där $BK_{förbr}$ är det biogena kolinnehållet i biomassan som går till förbränning, i enheten tusen ton kol. $M_{förbr}$ är mängden biomassa som direkt går till förbränning, i enheten tusen ton torrsubstans och C_{TS} är andelen biogent kol av torrsubstansen.

Kolinnehållet för svartlut beräknades med hjälp av massbalans och förluster antogs vara minimala. Kolinnehållet för de produkter som massa- och pappersindustrin producerar subtraheras från kolinnehållet i råvaruförbrukningen i massa- och pappersindustrin, se ekvation (13):

$$BK_{lut} = BK_{råvaru} - BK_{prod} \quad (13)$$

där BK_{lut} är det biogena kolinnehållet i svartluten. $BK_{råvaru}$ är det biogena kolinnehållet i massaveden som förbrukas och BK_{prod} är det biogena kolinnehållet i produkterna genererade av massa och pappersindustrin. Samtliga parametrar har enheten tusen ton kol.

3.2 STRATEGIER FÖR ATT FÖRLÄNGA INBINDNINGSTIDEN

För att undersöka huruvida inbindningstiden av biogent kol kan förlängas i de träbaserade produkterna studerades aktuella strategier och tekniker, däribland BECCS och "Cascading wood use". Möjligheten för att tillämpa dessa tillvägagångssätt i Sverige i stor omfattning undersöktes även.

3.2.1 Förlängd produktlivslängd – Kaskadanvändning

En annan strategi för att öka tiden för inbindning av biogent kol är genom att öka livslängden för de produkter som skogsindustrin genererar. Som nämdes i avsnitt 2.2 *Svensk skogsnäring idag* pågår det ett arbete för att införa cirkulär ekonomi inom byggbranschen, där byggmaterial och byggavfall ska återanvändas eller återvinnas (Ejlertsson et al 2018). Livslängden för textil kan potentiellt ökas, då återvinning av fibrer från dissolvingmassa är på framfart (Naturvårdsverket 2015).

På uppdrag av Världsnaturfonden (WWF) har Mondi Group utfört en studie om tillämpningen av kaskadanvändning. Mondi är ett internationellt företag som producerar förpackningar och papper i 30 länder världen över och syftet med studien var att finna vad som eventuellt hindrar eller främjar införandet av strategin. Studien baserades på att biomassa blir till produkter som används minst en gång innan de går till materialåtervinning eller förbränning. Fem europeiska länder studerades, däribland Finland och Tyskland, och även USA. Resultatet av studien visade att inget av länderna i studien hade infört policys eller politik för att införa kaskadanvändning. Det fanns dock lagstiftning som gav stöd till användandet av träbaserade produkter i allmänhet, till exempel strategier för bioekonomi, skogsbruk, avfallshantering och bioenergi. Enligt studien vore det optimalt om EU införde guidning för hur medlemsstater tar sig an strategin, och vid bedömning av möjligheten för införandet av kaskadanvändning måste också landets tillgång till trä beaktas (WWF 2016).

Enligt studien av Mondi, på uppdrag av WWF (2016), beror etableringen av kaskadanvändning generellt på ekonomiska faktorer. Råmaterial av högt värde kommer sannolikt återvinnas åtminstone en gång innan det går till förbränning. För att träbaserat material ska kunna återvinnas flera gånger måste balansen mellan material och energi säkerställas. Då produkter återvinns till nya produkter förloras på sätt och vis energi, alltså kan det vara svårare att införa kaskadanvändning då produkter återvinns i flera cykler.

Baserat på att återanvändning och återvinning av sågade trävaror ska ske i större omfattning görs ett antagande om att sågade trävaror kan öka livslängden med en faktor på 1/3, vilket anses vara en rimlig förlängning av livslängden. Exempelvis om livslängden är 45 år ansätts den istället till 60 år. Livslängden för cellulosebaserade textilier antas även öka med en faktor på 1/3, eftersom återvinning är på väg att införas även där. Pappers- och kartongprodukter antas bibehålla samma livslängd, eftersom återvinning av massafibrer är mycket utbredd i EU idag. Livslängden för biprodukter från massaindustrin, som tallolja och terpentin antas vara konstant, eftersom återvinning troligen är svår att genomföra. Vid tillämpning av kaskadanvändning heller inte biomassa gå direkt till förbränning om andra förutsättningar finns, alltså borde produktkategorierna "Skogsbränslen" och "Intern energi" i denna studie tas bort. I "Intern energi" ingår dock

de biprodukter från sågverksindustrin och massa- och pappersindustrin som går som intern energi i massa- och pappersbruken. Att denna kategori kvarstår antas därför vara rimligt, för att försörja industrin med förnybar energi. GROT och brännved som i nuläget fungerar som skogsbränslen ska alltså inte gå direkt till förbränning, utan kommer användas i långlivade produkter.

3.2.2 Bio-Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS)

För att kunna avgöra om BECCS är en lämplig metod för att öka tiden för inbindning av biogent kol undersöktes skillnader mellan olika tekniker som används idag. Det är framförallt fyra olika sätt som BECCS kan tillämpas på, vid industriprocesser, produktion av biodrivmedel, biogasproduktion och kraftproduktion. Inom dessa processer kan koldioxid utvinnas genom förgasning, fermentering och hydrolys samt förbränning, innan den pressas ned i marken för lagring. BECCS kan alltså tillämpas både på processer som omvandlar energi från en form till en annan och processer som ger upphov till energi från biomassa. När det kommer till integrering av BECCS på industriprocesser är massa- och pappersindustrin den mest lämpade, eftersom industrin resulterar i biologiskt avfall. Det ska även finnas möjligheter att applicera BECCS på cementindustrin, stålindustrin och oljeraffinaderier, men utvecklingen av BECCS begränsas av tillgängligheten av biologiskt avfall (Arasto et al. 2014). Om tekniken planeras utan särskild hänsyn till hållbar utveckling kan dock ekosystem och social jämlikhet påverkas negativt (Cook et al. 2017). En annan mycket viktig aspekt i tillämpningen av denna strategi är möjligheten att lagra koldioxiden i hålrum i berggrunden. Utanför Norges kust finns möjligheter till lagring och gasen ska då transporteras dit via rörledningar och pressas ned i Nordsjön, enligt Hammar och Levihn (2020).

Förbränning av avfall används i mycket stor utsträckning i Sverige, eftersom energin som uppstår används för uppvärmning av bland annat bostäder och fungerar som komplement till väderberoende och icke-reglerbara energikällor som vindkraft och solenergi (Energiföretagen 2019). Enligt Naturvårdsverket (2020b) finns det högt uppställda krav som en anläggning måste uppfylla för att förbränning av avfall ska tillåtas, vilket också innebär att avfall inte får förbrännas i liten skala. Idag finns det 80 anläggningar i Sverige som är så avancerade att de uppfyller kraven för förbränning av avfall.

För att avgöra om BECCS är en tillämplig teknik i Sverige studerades en verksam anläggning. År 2019 installerades en testanläggning i Sverige av Stockholm Exergi, vid biokraftvärmeverket i Värtan, Stockholm. Det är ett steg till att skapa en kolsänka i Stockholm, enligt Stockholm Exergi (2019). Testprogrammet påbörjades hösten 2019 och pågår i åtta månader. Energimyndigheten kan bevilja stöd till anläggningen och då kan anläggningen utökas för att kunna testa tekniken i större omfattning. Stockholm Exergi har genomfört en genomförbarhetsstudie, avseende en BECCS-anläggning placerad vid Värtaverket. Genomförbarhetsstudien syftade till att visa hur anläggningen ska utformas, placeras och integreras för att kunna fungera vid den utsedda platsen. Sett till hela Stockholm och andra bolag finns en potential att fånga upp två miljoner ton koldioxid per år, vilket motsvarar dubbelt så mycket som biltrafiken årligen släpper ut i Stockholm (Stockholm Exergi 2019).

I produktkategorin ”Övriga biobränslen” ingår förbränning av svartlut och bark, som används till intern energi i massa- och pappersbruk. Om BECCS tillämpas på en sådan industri skulle alltså den produktkategorin inte frigöra det biogena kolet. Samma sak gäller om kraftvärmeverk och värmeverk implementerade BECCS. I denna studie representerar produktkategori ”Skogsbränslen” endast biomassa som direkt går till förbränning utan att ha varit en annan produkt innan. Det bör dock tilläggas att samtliga produktkategorier, förutom ”Tallolja”, troligen blir till bioenergi vid slutet av varje livscykel. Den enda produkt som inte kan ingå i ett system med BECCS är biodrivmedel, alltså tallolja. Det gjordes även ett antagande om att majoriteten av koldioxiden fångas upp, 100 procent uppfångning ansattes därför.

3.3 ANVÄNDNING AV IPCC:S METODIK

För att ställa upp ett samband mellan produkternas livslängd och mängden inbundet biogent kol användes en funktion av första ordningen som IPCC (2019) tagit fram. Förändringarna i kolinlagring beräknades enligt ekvation (13):

$$C_l(i+1) = e^{-k} \times C_l(i) + \left[\frac{(1-e^{-k})}{k} \right] \times inflow_l(i) \quad (13)$$

där i är år, $C_l(i)$ är mängden lagrat biogent kol i den skördade träprodukten i produktkategori l , beroende av tiden t , k är en nedbrytningskonstant och $inflow_l(i)$ är inflödet av biogent kol till en viss träprodukt av varuklass l , beroende av tiden t . Genom den bestämda medellivslängden bestämdes nedbrytningskonstanten och sedan halveringstiden, enligt ekvation (2) och (14):

$$ML = \frac{1}{k} \quad (14)$$

ML är medellivslängden i enheten år, k är nedbrytningskonstanten i enheten år⁻¹. Lagringen av biogent kol plottades sedan mot tiden, för respektive produktkategori.

För strategier att förlänga tiden för inbindning av biogent kol förändrades halveringstiden, så att det skulle matcha förändringen som skedde vid införandet av en viss strategi. Vid tillämpning av BECCS ansattes en medellivslängd på 1000 år alla träbaserade produkter, förutom tallolja, för att representera att lagring sker under lång tid. Vid förlängd livslängd på produkter ansattes en ny livslängd enligt avsnitt 3.2.1 *Förlängd produktlivslängd – Cascading wood use*.

3.3.1 IPCC:s produktkategorier

Som en jämförelse med IPCC:s metodik sammanställdes även lagringen av biogent kol i de produktkategorier som IPCC definierat. Halveringstid och initial mängd lagrat biogent kol är från denna studie, och produktkategorierna har sammanställts så att de istället representerar tre kategorier, se Tabell 13.

Tabell 13. Produktkategorierna från denna studie och den sammantagna halveringstiden och produktionsmängden när produktkategorierna indelas enligt kategorier från IPCC.

Produktkategori [IPCC]	Produktkategorier [från denna studie]	Produktionsmängd (tusen ton kol)	Halveringstid (år)
Sågade trävaror	Industriträ, impregnerat trä, limträ	4 671	33,5
Spånskivor	Trävaruhandel, huskonstruktion, pall och emballage	8 674	14,2
Papper och kartong	Tidningspapper, mjukpapper, förpackningsmaterial, övrigt papper	4 091	2,7

Notera att produktkategorierna ”Textilier”, ”Tallolja”, ”Terpentin”, ”Intern energi” och ”Skogsbränslen”. inte passar in i någon produktkategori definierat av IPCC.

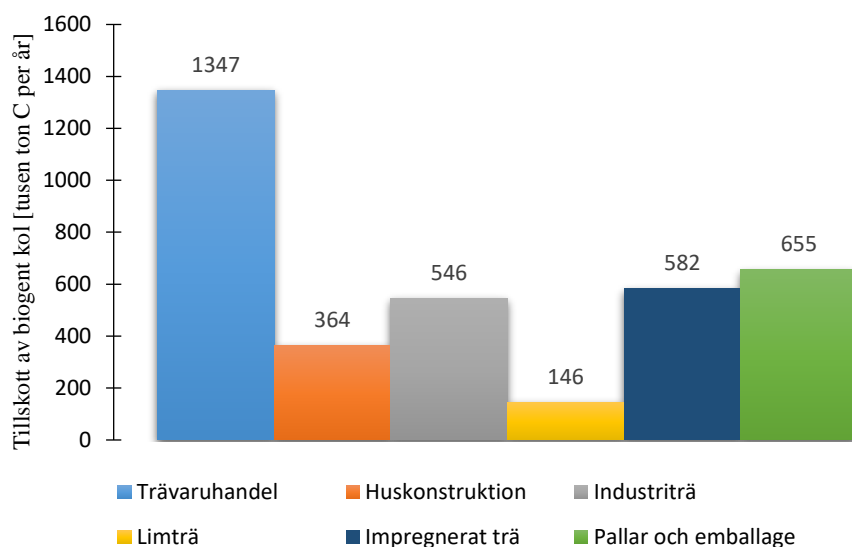
4 RESULTAT

I följande avsnitt visas resultatet till frågeställningarna från avsnitt 1.2 *Frågeställningar*.

4.1 KOLINNEHÅLL

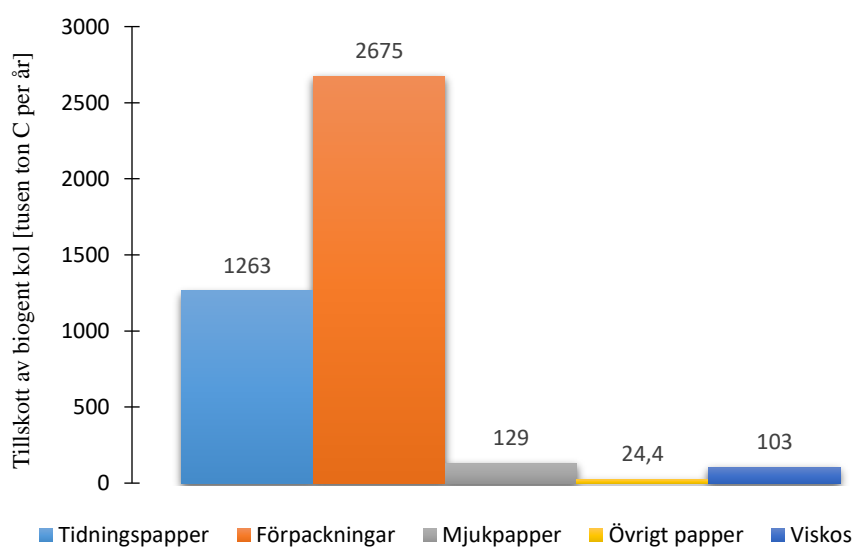
I figur 7-10 redovisas det biogena kolinnehållet i de träbaserade produktkategorier som ingått i denna studie. Kolinnehållet motsvarar den mängd kol som finns inbundet i tillskottet av träbaserade produkter årligen, enligt ekvationerna 6,7 och 9-12.

Alla produktkategorier i Figur 7 har samman andel biogent kol, men olika produktionsmängd. Det är störst produktionsmängd av varor till bygg- och trävaruhandel, enligt Tabell 4, därför lagras också störst mängd biogent kol in där. De andra produktkategorierna är jämnare i produktionsmängd och då även mängden inbundet biogent kol.



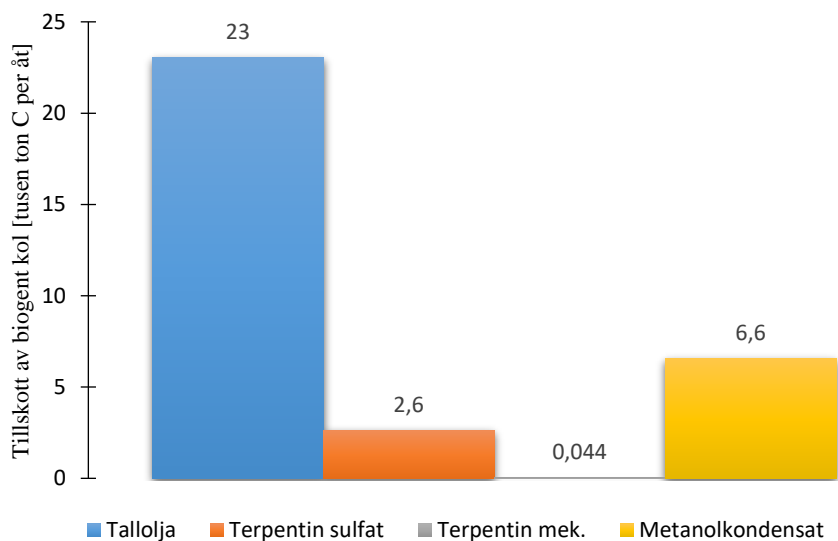
Figur 7 Mängden biogent kol i olika produktkategorier, som produceras årligen av sågverksindustrin.

Produktkategorierna i Figur 8 har olika andel biogent kol och även olika produktionsmängder. Den största mängden biogent kol binds in i förpackningar, där både produktionsmängd och andel biogent kol i materialet var störst.



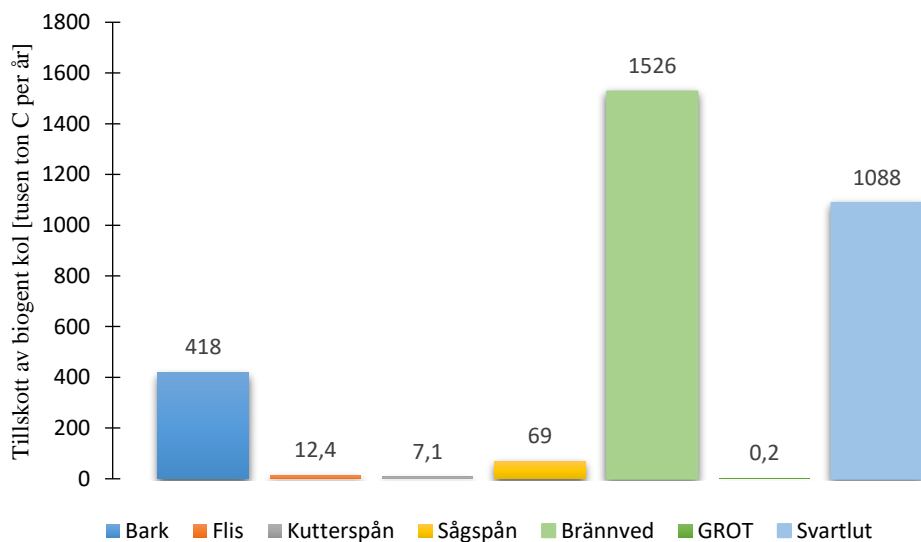
Figur 8 Mängden biogent kol i olika produktkategorier, som produceras årligen av massa- och pappersindustrin.

Av biprodukterna som massa- och pappersindustrin genererar binds den största mängden biogent kol in i tallolja, eftersom produktionsmängden var störst, se Figur 10. Andelen biogent kol bygger på massbalans mellan biprodukterna, vilket innebär att tillskottet av biogent kol inte beror på både andelen biogent kol och produktionsmängd, utan enbart produktionsmängd.



Figur 9 Mängden biogent kol i biprodukter, som produceras årligen i massa- och pappersindustrin.

Av de produkter och biprodukter som går direkt till förbränning är störst mängd kol inlagrat i brännved och svartlut, se Figur 10. Kolinnehållet i svartlut bygger på massbalans och andelen biogent kol i brännved är 50 procent.

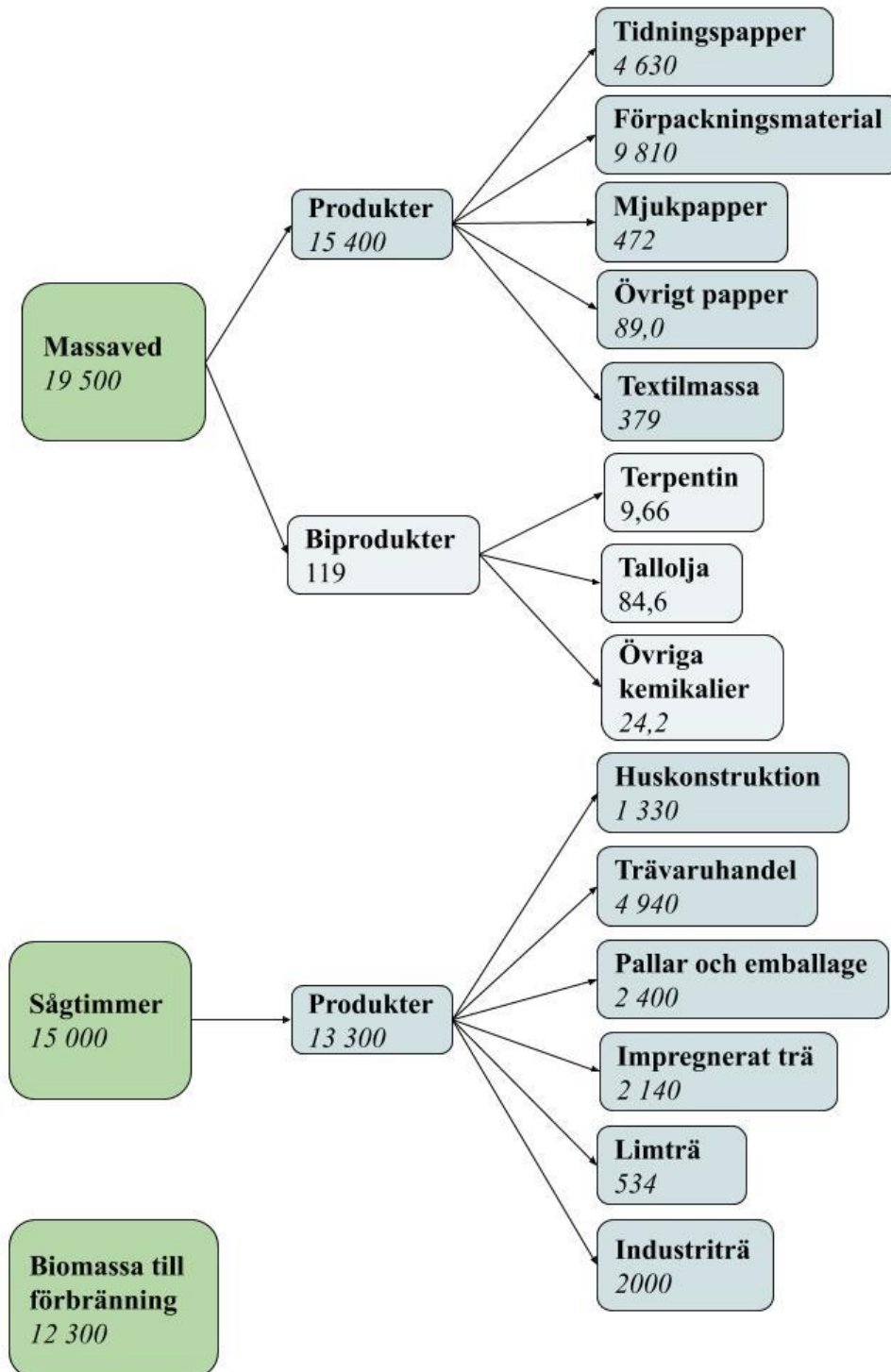


Figur 10 Mängden biogent kol i produkter som direkt går till förbränning.

4.1.1 Sammanställning av biogent kolinnehåll

För att kunna jämföra med klimatpåverkan beräknad enligt IPCC (2019) omvandlas mängden biogent kol till koldioxidekvivalenter (CO₂-ekv) och sammanställs i Figur 11. Den mängd biogent kol som lagras i långlivade träbaserade produkter, alltså inte i produkter som direkt förbränns för bioenergi, motsvarar 29,0 miljoner ton CO₂-

ekvivalenter. I Figur 11 illustreras även eventuella förluster mellan råvara och produkter, där materialförluster för sågverksindustrin är minst.



Figur 11 Produkter och biprodukter från skogsindustrin och innehållet av biogent kol i enheten tusen ton CO₂-ekvivalenter. Den biomassa som går till förbränning avser produkter som direkt förbränns och ger bioenergi.

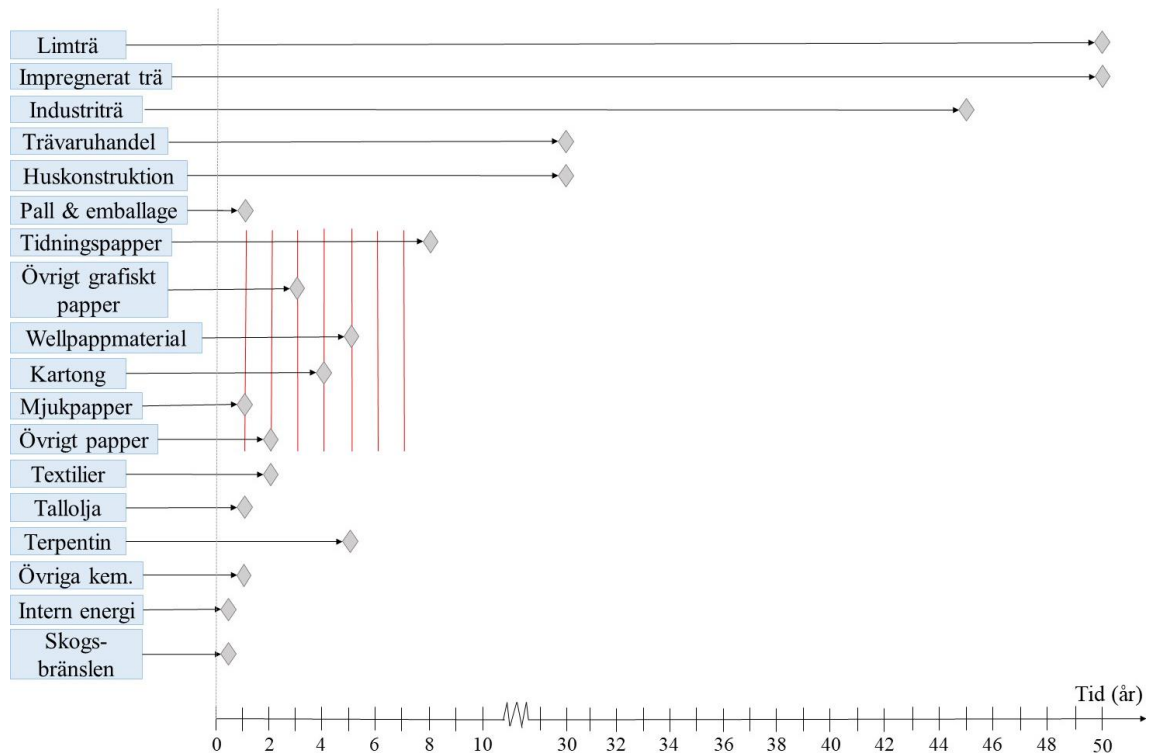
4.2 KOLETS INBINDNINGSTID

Inbindningstiden för det biogena kolet i de träbaserade produkterna sammanställdes i Tabell 14 och illustreras i Figur 12. Produkter genererade av sågverk har längst livslängd och bioenergi har kortast livslängd, vilket innebär att det inlagrade kolet frigörs till atmosfären på kort tid.

Tabell 14. En sammanställning av livslängden av produkter och biprodukter från skogsindustrin.

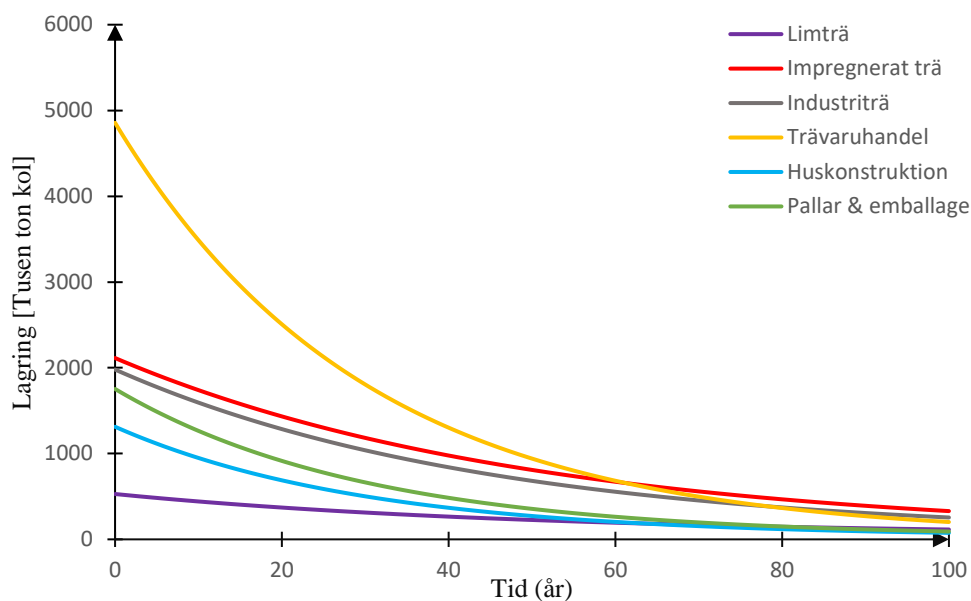
Sågverk	Medellivslängd (år)
Bygg- och trävaruhandel	30
Huskonstruktion	30
Industriträ	45
Limträ	50
Impregnerat trä	50
Pallar och emballage	1,5
Massa- och pappersbruk	
Tidningspapper	7,9
Förpackningsmaterial	4,5
Mjukpapper	1,2
Övrigt papper	1,9
Textilier	2,0
Tallolja	1,0
Terpentin	5,0
Övriga kemikalier	1,0
Direkt till bioenergi	
Skogsbränslen	0,5
Intern energi	0,5

Figur 12 visar skillnaden i inbindningstid för de sexton produktkategorierna. Fibrerna i papper eller kartong återvinns i cykler om ett år, vilket illustreras genom vertikala, röda linjer. Fibrerna i tidningspapper har längst livslängd, vilket innebär att de ingått i flera produkter och gått i återvinningscykler flera gånger.

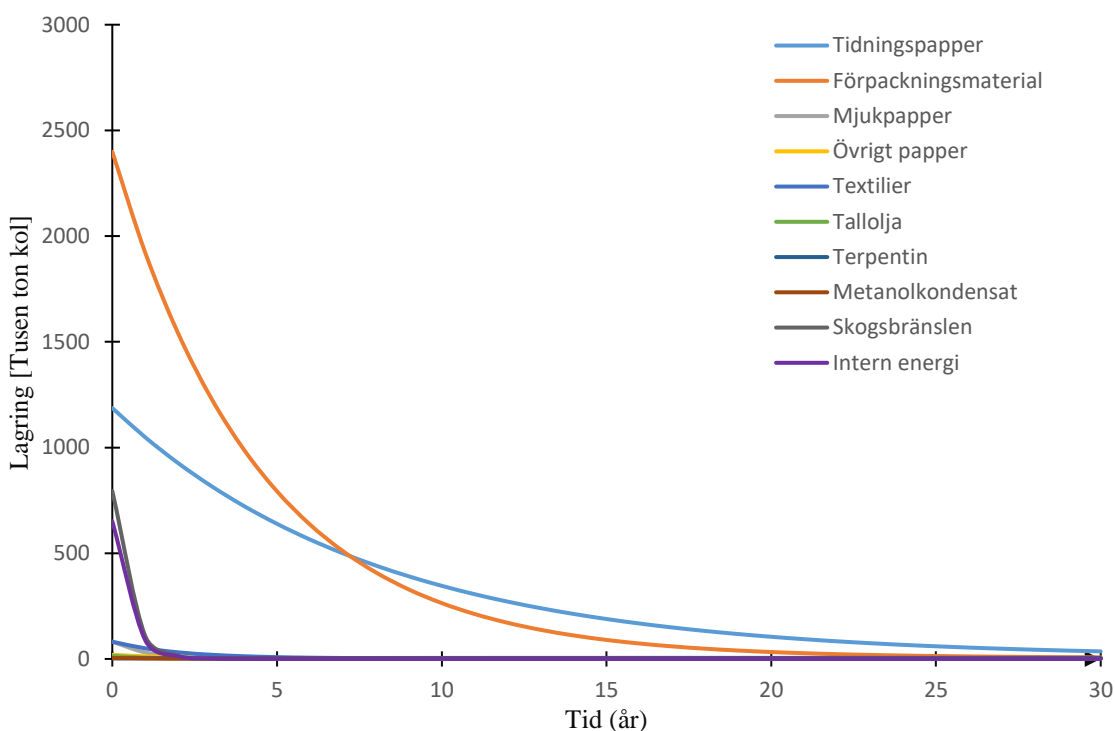


Figur 12 Livslängden för respektive träbaserad produkt. Det biogena kolet som frigörs i form av koldioxid illustreras av en romb. Råvaruförbrukningen startar vid år 0, den grå linjen. De röda, vertikala linjerna representerar längden på pappersprodukternas cykler.

För en sammanställning av både inbindningstid och lagring av biogent kol se Figur 13 och Figur 14. Det inbundna biogena kolet minskar i högst takt i produkter från trävaruhandel. I Produktkategorierna ”Impregnerat trä”, ”Industriträ”, ”Pall och emballage” och ”Huskonstruktion” minskar det biogena kolet och frigörs till atmosfären i ungefär samma takt, se Figur 13. I produkter och biprodukter från massa- och pappersindustrin minskar lagringen av biogent kol betydligt snabbare, se Figur 14. Notera att tidsaxeln är betydligt kortare i Figur 14 jämfört med Figur 13. Notera även att alla produktkategorier inte syns tydligt i grafen i Figur 14, eftersom den initiala produktmängden är mycket liten för dessa produktkategorier.



Figur 13 Hur lagringen av biogent kol minskar med tiden, för respektive produktkategori från sågverksindustrin.

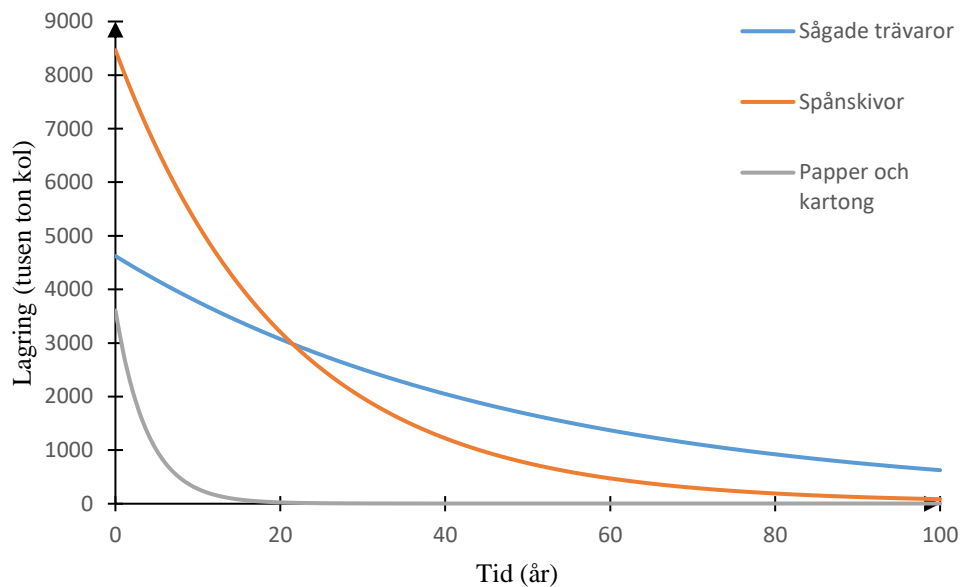


Figur 14 Hur lagringen av biogent kol minskar med tiden, för respektive produktkategori från massa- och pappersindustrin, samt det som direkt blir bioenergi.

4.3 IPCC:S PRODUKTKATEGORIER

Figur 15 visar hur inlagringen av biogent kol minskar, om enbart tre produktkategorier redovisas. Halveringstid och produktionsmängd i Tabell 12, avsnitt 3.3.1 IPCC:s produktkategorier användes. Initialt är det störst mängd biogent kol inlagrat i träskivor, men då livslängden är något kortare än för sågade trävaror frigörs den mängden i högre

takt till atmosfären. Minst mängd biogent kol är lagrat i papper och kartong, och produktionsmängden är även minst i den kategorin.



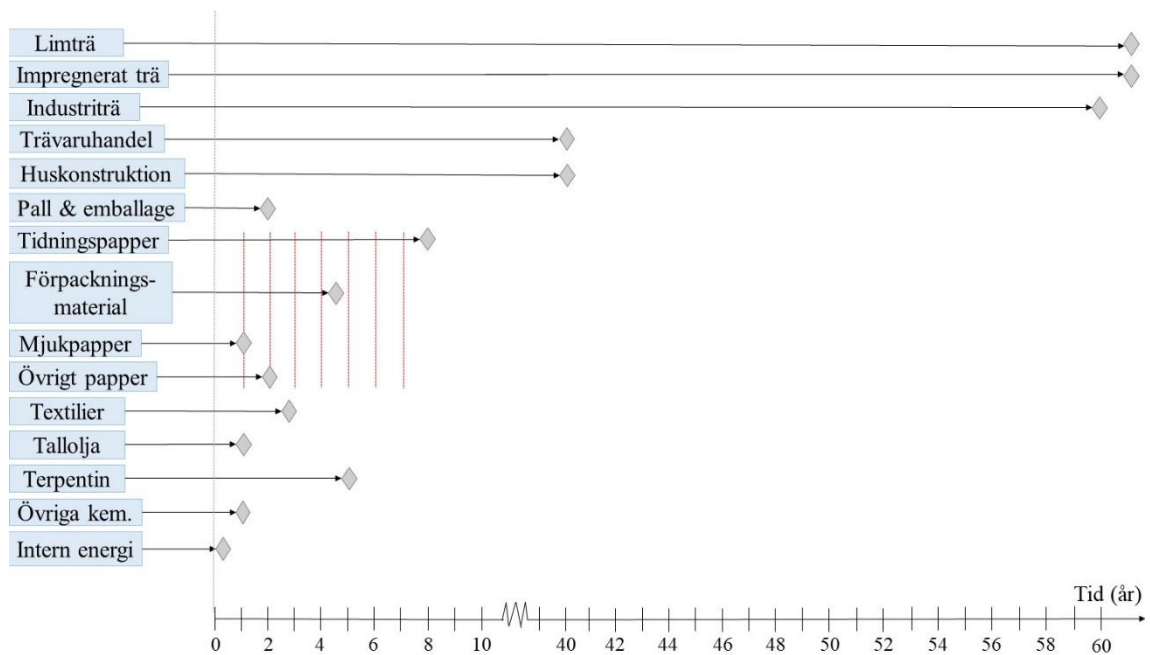
Figur 15 Hur lagringen av biogent kol minskar med tiden, för produktkategorierna definierade av IPCC, sammanställt från de sexton produktkategorierna i denna studie.

4.3 FÖRLÄNGD INBINDNINGSTID

De olika strategierna för ökad inbindningstid av biogent kol redovisas här.

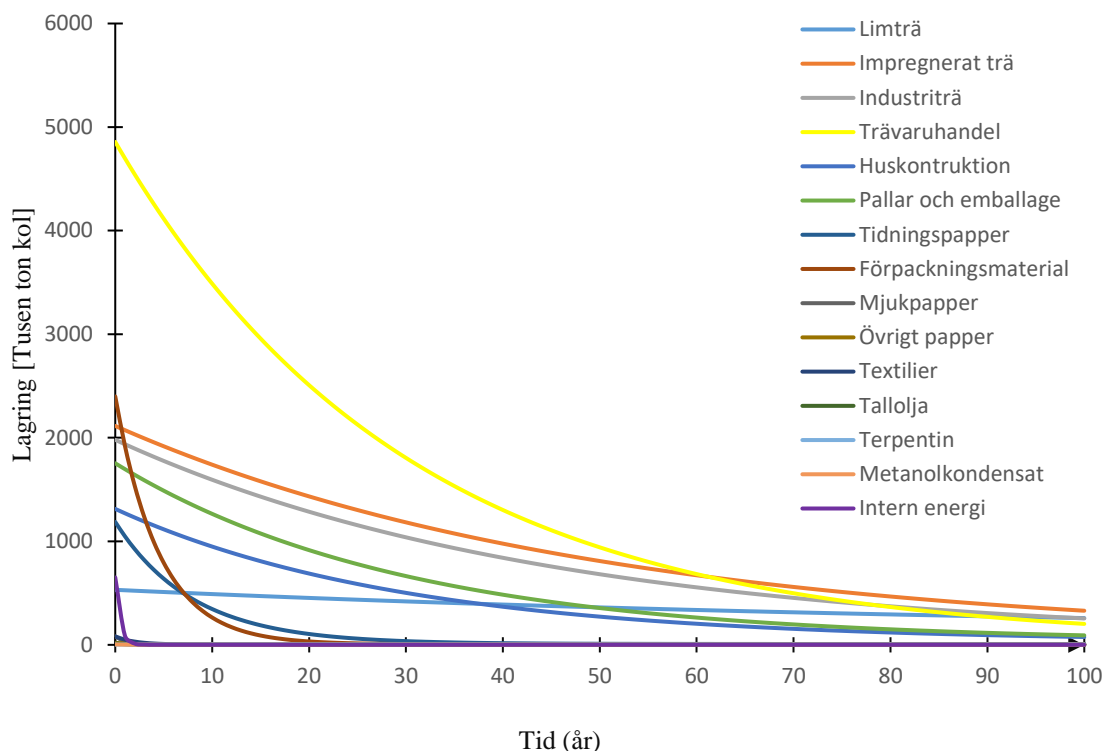
4.3.1 Förlänga livslängd produkter

Livslängden för alla produkter från sågverksindustrin förlängs med 1/3 och det gäller även textilier, se Figur 16. Produktkategorin ”Skogsbränslen” ingår inte längre i analysen vid kaskadanvändning.



Figur 16 Inbindningstiden för det biogena kolet vid implementering av "Cascading wood use" och ökad livslängd för sågade trävaror samt textil. Det biogena kolet som frigörs i form av koldioxid illustreras av en romb. Råvaruförbrukningen startar vid år 0, den grå, vertikala linjen. De röda linjerna representerar längden på pappersprodukternas cykler.

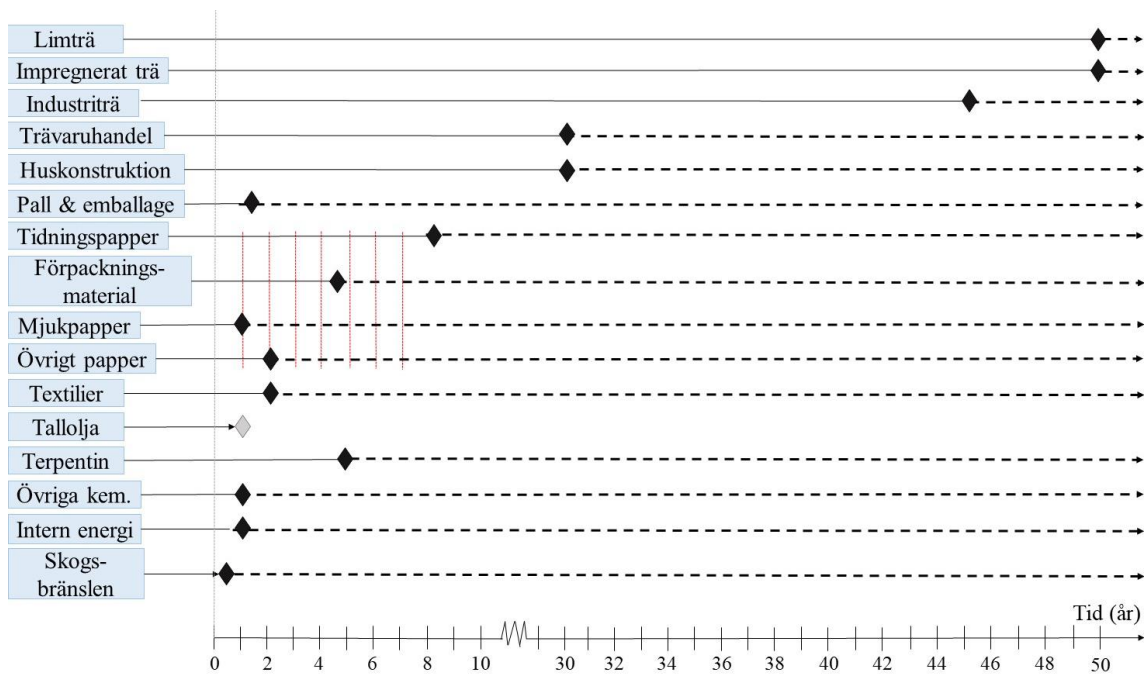
Produktionsmängden av produkter och inbindningstiden av biogent kol vid förlängd livslängd och kaskadanvändning sammanställdes med IPCC:s riktlinjer, där lagringen av kol kan studeras med tiden, se Figur 17. Observera att vissa produktkategorier inte syns tydligt i grafen, eftersom den initiala produktionsmängden är mycket liten för dessa kategorier.



Figur 17 Hur lagringen av biogent kol minskar med tiden, baserat på att livslängden för sågade trävaror och textil förlängd med en tredjedel, samt införandet av kaskadanvändning.

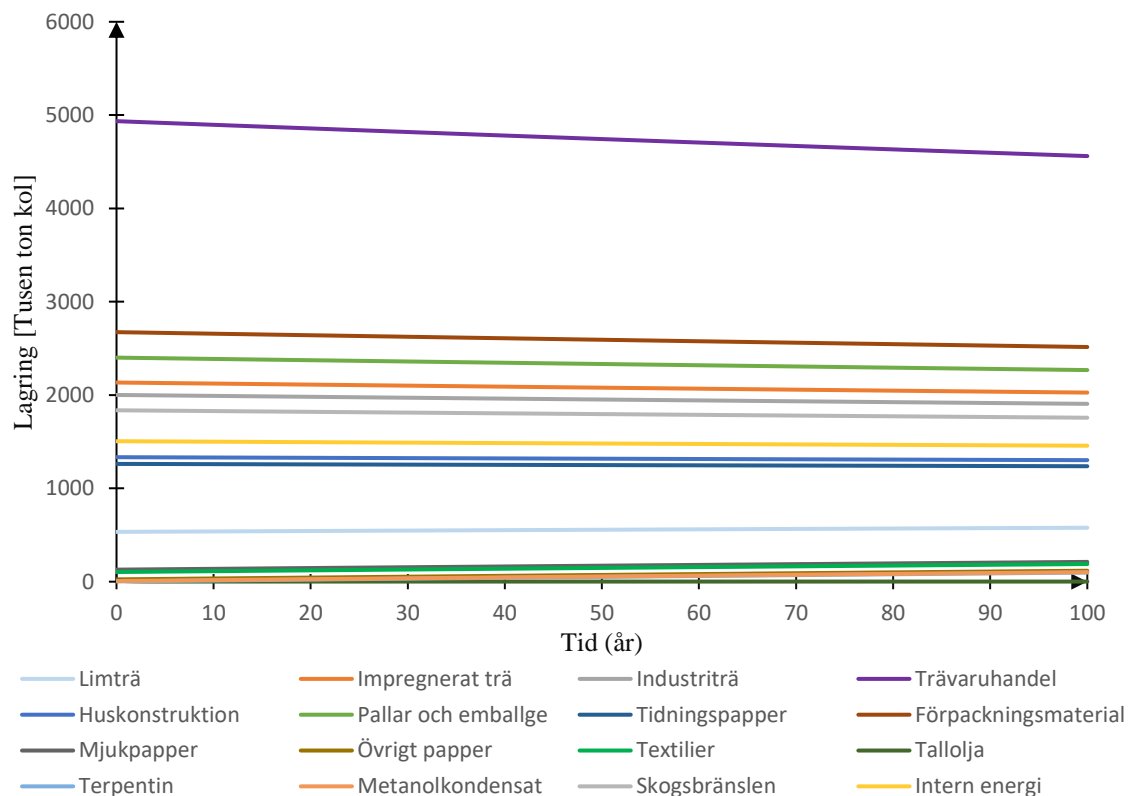
4.3.2 Bio-Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS)

Medellivslängden för respektive produktkategori är den samma som innan BECCS tillämpades, men när produkten förbränns lagras istället koldioxiden i marken, se Figur 18. Inbindningstiden av biogent kol i de träbaserade produkterna blir densamma för alla produktkategorier, eftersom lagringen av koldioxid inte skiljer sig från produkt till produkt. Den enda produktkategori där koldioxiden inte lagras är "Tallolja".



Figur 18 Inbindningstiden för det biogena kolet vid implementering av BECCS vid förbränning av träavfall, papper, kartong, svartlut, textilier och skogsråvaror. Det biogena kolet som frigörs i form av koldioxid illustreras av en grå romb och de streckade linjerna representerar att kolet är lagrat i marken, som startar vid en svart romb.

Produktionsmängden av träbaserade produkter och inbindningstiden av biogent kol vid tillämpning av BECCS sammanställdes med IPCC:s riktlinjer, där lagringen av kol kan studeras med tiden, se Figur 19. En medellivslängd på 1000 år ansattes för att illustrera när koldioxiden pressas ned i marken, istället för att frigöras direkt vid avfallshandling. Produkter från trävaruhandel bidrar med störst inbindning av biogent kol och lagringen av kol minskar mycket lite varje år för samtliga produktkategorier, vilket stämmer överens med att det biogena kolet pressas ned i marken istället för att frigöras.



Figur 19 Hur lagringen av biogent kol minskar med tiden, baserat på att medellivslängden är 1000 år för alla produkter, utom tallolja, vid tillämpning av BECCS.

5 DISKUSSION

Enligt National Inventory Report av Naturvårdsverket (2019c) hade skördade träprodukter lagrat 6,7 miljoner ton CO₂-ekvivalenter år 2018, medan resultatet i denna studie visar att det är 29,0 miljoner ton CO₂-ekvivalenter som lagrats i tillskottet av träbaserade produkter årligen. Den stora skillnaden mellan resultatet från denna studie och statistik som Naturvårdsverket sammanställt beror på en rad faktorer. Naturvårdsverket har antagit att alla produkter har ett innehåll av biogent kol på 50 procent, vilket inte antagits i denna studie då olika andel biogent kol antagits för olika produktkategorier, se exempelvis Tabell 9. Datan de använt bygger på tre produktkategorier, där textilier, tallolja och terpentin inte ingår. Naturvårdsverket har även använt data som de själva sammanställt under 1900-talet för att beräkna inflödet och utflödet av kol i träbaserade produkter. Den största orsaken till skillnaden bör ändå vara att Naturvårdsverket har tagit hänsyn till ett årligt utflöde av produkter, alltså ett utflöde av kol ur kolpoolen allteftersom produkter konsumeras. Detta innebär att värdet på 6,7 miljoner ton CO₂-ekvivalenter inte beskriver samma sak som värdet på 29,0 miljoner ton CO₂-ekvivalenter från denna studie.

IPCC:s metodik tar inte hänsyn till att en relativt stor mängd råmaterial går direkt till förbränning och frigör därför koldioxid till atmosfären på kort tid. Om enbart

produktkategorierna som IPCC antagit används fås därför inte en helhetsbild över omfattningen av frigjort biogent kol. När fler produktkategorier tas med i beräkningar bör resultatet bli mer nyanserat, se Figur 13-14 jämfört med Figur 15. Det bör även tydliggöras att alla produktkategorier kommer efter hand gå till förbränning och ge bioenergi, vilket innebär att alla produktkategorier på sätt och vis ingår i produktkategorin ”Skogsbränslen”. De enda produkter som tagits med i denna kategori är dock de som direkt går till förbränning och aldrig lever som en annan produkt innan det går som brännbart, biologiskt avfall.

IPCC har antagit halveringstiderna 2 år för papper, 25 år för spånskivor och 35 år för sågade trävaror, vilket motsvarar medellivslängd på 7 år, 36 år respektive 50 år. Det är livslängder av samma storleksordning som de livslängder som antogs i denna rapport, vilket styrker resultatet för studien. När de sexton produktkategorierna sammanställdes som tre produktkategorier approximerades medellivslängden för sågade trävaror till 48,3 år, spånskivor till 20,5 år och papper och kartong till 3,9 år. Dessa värden är något mindre än de IPCC antagit, vilket kan bero på att denna studie undersöker mer ingående vilka typer av produkter som ingår i respektive kategori. Exempelvis ingår troligen inte pallar och emballage i produktkategori ”Spånskivor” eller ”Sågade Träskivor” och medellivslängden hade då troligen sänkts drastiskt, eftersom sådana produkter slits i betydligt högra takt än exempelvis träfasad och livslängden är då betydligt kortare.

5.1 VAL AV METOD - MATERIALFLÖDESANALYS

Systemet som studerades startar vid förbrukning av råvara och slutar vid avfallshanteringen då produkterna förbränns. Anledningen till att råvaruförbrukningen också studerades var för att kunna följa kolet från biomassa i ett träd till slutgiltig produkt och för att se ett samband för kolflödet. Det kan tydligt ses att mängden biogent kol som först fanns i sågtimmer eller massaved inte fördelas jämnt över produkterna eller biprodukterna, utan fördelas till störst del i de produkter som marknaden för sådana varor efterfrågar och även där det krävs nyfibrer för papperstillverkning.

Eventuella förluster kan också synliggöras om kolet följs från råvara till avfall, och i detta fall visar materialflödesanalysen att det sker stora materialförluster vid övergången mellan massaved och produkter och biprodukter, samt övergången mellan sågtimmer och produkter, se Figur 11. Dessa förluster är i själva verket svartlut som går till förbränning och ingår därför i kategorin ”Bioenergi” samt råflis, bark och spån som går till massa- och pappersindustrin och till kategorin ”Bioenergi”. Det förekommer även förluster mellan de olika mellanliggande stegen i massaindustrin eftersom pappersmassa exporteras och returfibrer tillförs, vilket kan synliggöras om en mer detaljerad materialflödesanalys utförs.

En alternativ metod hade varit att enbart studera produkternas kolinnehåll och bortse från råvaran. Det hade inte gett samma helhetsbild över det biogena kolets flöde och eventuella felkällor hade varit svårare att identifiera.

5.2 STRATEGIER FÖR ATT FÖRLÄNGA INBINDNINGSTIDEN

Avfall från byggsektorn är idag ett stort problem, eftersom mängden avfall som genereras är mycket stor i Sverige (Ejlertsson et al. 2018). Det är framför allt därför som återvinning

och återanvändning av byggmaterial bör ske i större omfattning, för att minska mängden avfall som uppstår. Denna synvinkel har inte illustrerats i resultatet, då detta avfall direkt går till förbränning och ingår inte i någon produktkategori. Den absoluta majoriteten av träavfallet går till förbränning och träavfallet omfattar troligen produkter som brukats under lång tid och restprodukter och spill från byggnationer eller produktion av varor. I denna studie förlängdes bara livslängden för de långlivade, sågade trävarorna, eftersom det var så produktkategoriseringen såg ut.

När det kommer till förlängd livslängd på textilier bör fibrer från dissolvingmassa kunna återvinnas på samma sätt som fibrer från pappersmassa. Även om behovet av återvinning av textiltfibrer troligen inte är lika stort som behovet av att återvinna massafibrer från papper eller kartong, bör detta ändå vara ett alternativ i framtiden för att försöka minska klimatpåverkan i vårt konsumtionsamhälle.

Vid implementering av kaskadanvändning ställs höga krav på att balansera material och energi, så att industrier och andra energikrävande anläggningar eller byggnader kan försörjas på energi, samtidigt som råvaror inte ska gå direkt till förbränning. Det krävs en stor omställning i energisektorn och skogsbruket för att inget råmaterial ska gå direkt till energiförsörjning, eftersom det idag är satt i system att GROT och brännved är sådana resurser som alltid förbränns inom relativt kort tid. Istället skulle dessa råvaror användas i mer långlivade produkter. Då GROT är de allra spädaste delarna av ett träd och består till stor del av bark kan det inte användas till exempelvis sågade trävaror. Brännved är sådant rundvirke som inte uppnådde tillräckligt hög kvalitet för att gå som massaved eller sågtimmer. Detta innebär att det kan vara en stor utmaning att hitta nya användningsområden för dessa råvaror och nya innovativa idéer behövs. En möjlig vinkel skulle vara att använda även dessa produkter för intern energi inom skogsindustrin, såsom bark används för att försörja massa- och pappersbruk med energi. En stor andel av det GROT som uppstår vid avverkning lämnas också på platsen, vilket innebär att koldioxiden inte frigörs lika snabbt, som om det förbränns. En större mängd GROT kan lämnas kvar på avverkningsplatsen och ge näring till levande växter och djur och för att undvika att råvaror går direkt till förbränning

BECCS kan tillämpas på vissa processer, vilket måste vägas in för att bedöma om tekniken är lämplig i Sverige eller någon annanstans. I Sverige kan det vara lämpligast att tillämpa industrier för massa- och pappersproduktion, eftersom den typen av produktion är mycket utbredd i Sverige. Vid kraftproduktion, som fallet vid Värtaverken i Stockholm, kan tekniken också tillämpas, eftersom förbränning av avfall också är mycket utbredd och det finns 80 anläggningar i Sverige som uppfyller kraven för en sådan anläggning. Utvecklingen av BECCS är dock starkt begränsad av tillgängligheten på biologiskt avfall, vilket kan begränsa möjligheterna att utöka tekniken. Som vid införandet av kaskadanvändning är balansen mellan energi och material viktig att ta hänsyn. Även om processen förutsätter att det finns stora mängder biologiskt avfall är det ändå bättre att de biologiska materialen kan användas under lång tid innan de blir till avfall, för att maximera resurseffektiviteten. BECCS kan även tillämpas på anläggningar

som producerar biodrivmedel och biogas, men då denna produktion inte sker lika storskaligt som massa- och pappersproduktion i Sverige är det alternativet troligen inte lika fördelaktigt.

Det är även viktigt att undersöka hur mycket av det biogena kolet som kan fångas upp när det frigörs som koldioxid. Som nämndes i avsnitt 3.2.2 *Bio-Energy with Carbon Capture* hävdar Stockholm Exergi att de kan fånga upp två miljoner ton koldioxid per år. Det betyder inte att BECCS resulterar i att 100 procent av koldioxiden fångas upp, även om det antas i denna studie. Hur stor andel av koldioxiden som faktiskt kan fångas upp beror på hur väl tekniken kan utvecklas och hur stor avfallsmassa som förbränns. Om mängden avfall är mycket stor ställs större krav på att anläggningen ska hinna med att fånga upp den stora mängd koldioxid som frigörs.

Den strategi som är bäst för att lösa klimatproblematiken bör vara BECCS, eftersom det finns stora möjligheter att nettopåverkan på klimatet blir negativ. Denna teknik är avancerad och har inte ännu utvecklats i särskilt stor utsträckning. Det innebär att utmaningarna är stora. Därför kan kaskadanvändning och förlängd livslängd av produkter vara enklare att genomföra i förhållande till BECCS. Alla undersökta strategier i denna studie anses rimliga att införa i Sverige, och globalt, inom en viss framtid.

5.3 OSÄKERHETER OCH FELKÄLLOR

Det finns ett antal osäkerheter i denna studie. Data från flera olika källor används för beräkningar och beräkningarna kan i vissa fall vara felaktiga till följd av den mänskliga faktorn. Majoriteten av datan som använts kommer från officiell statistik som sammanställs årligen, vilket bör vara trovärdiga siffror med minimala osäkerheter. Förutom vid indelning av sågade trävaror i produktkategorier, då information från Branschorganisationen Svenskt Trä användes. Denna indelning av olika produktområden för sågade trävaror bör ses som ungefärlig och en uppskattning av verkligheten.

Vid beräkning av biprodukterna som framställs ur svartluten antogs att brunluten gav ett så litet bidrag att det var försumbart. Om brunluten ingått i beräkningar hade mängden producerad tallolja och terpentin ökat något, men troligen inte nämnvärt. Osäkerheter till följd att antagandet om brunluten bedöms vara små. Dessutom tillämpades massbalans för att beräkna kolinnehållet i biprodukter från massa- och pappersindustrin. Om en självständig beräkning av kolinnehållet i biprodukterna från massaindustrin hade utförts hade materialflödesanalysen kunnat synliggöra eventuella förluster i systemet. Det kan exempelvis uppstå förluster på vägen från råvara till produkt, exempelvis genom spilldelar som blir brännbart avfall.

En viss mängd av massan exporteras, vilket innebär att all massa som produceras i Sverige inte blir till produkter i Sverige. Där sker en förlust av biogent kol, som skickas utomlands. Antagandet om att all massa som produceras i Sverige innehåller lika mycket biogent kol som pappers- och kartongprodukterna som produceras ger alltså upphov till felkällor. En viss andel av pappersprodukterna består dessutom av returfiber, även om

den andelen är relativt liten i svenskproducerade produkter bör även det ge upphov till felkällor. Detta gör att det totala kolinnehållet i råvaruförbrukning och produkter skiljer sig åt, då massan exporteras och returfibrer tillförs.

Vid bedömning av livslängden för tidningspapper, förpackningsmaterial, mjukpapper och övrigt papper är återvinning en mycket avgörande faktor. Här bedöms osäkerheterna vara stora, eftersom systemet av återvinning är mycket komplext. Livslängden för en enskild cykel antogs vara ett år, vilket bedöms vara rimligt. Det hade dock vara mer fördelaktigt att ha en vetenskaplig referens att styrka upp detta, eftersom osäkerheterna ökar vid rena antaganden. Ingen återvinning antogs för de övriga produkterna, vilket bedöms ge små osäkerheter.

Det finns även osäkerheter i den metod som valdes. En materialflödesanalys tar inte hänsyn till socioekonomiska frågor eller energi, men sådana aspekter bör ändå tas med i tolkningen av resultatet. För att få en bredare förståelse för ett system görs ofta en analys av ekonomi, energi eller stadsplanering parallellt med materialflödesanalysen (Brunner & Rechberger 2004). Någon sådan parallell analys har inte utförts inom ramen för detta arbete.

5.4 FÖRSLAG PÅ FRAMTIDA STUDIER

För fortsatta studier krävs att återvinning av papper och kartong studeras i detalj och redovisas på ett sätt som enkelt går att tillämpa för inbindningstid av biogent kol. Parametrar som inkluderar livslängden för en enskild cykel krävs.

För att synliggöra andra aspekter av det biogena kolflödet kan en analys av energi eller ekonomi göras parallellt med materialflödesanalysen.

När avfallet förbränns kan en viss andel av det biogena kolet fortfarande finnas kvar i askan och alltså inte frigöras som koldioxid. En studie som undersöker detta vidare kan även säkerställa resultatet i denna studie.

I ett verkligt scenario där kaskadanvändning eller BECCS ska tillämpas påverkas många fler faktorer i samhället än klimatpåverkan, därför bör alla parametrar för hållbar utveckling studeras. Studier av ekonomiska och sociala faktorer för strategier att förlänga inbindningstiden är nödvändigt för att avgöra hur tillämpbara teknikerna är.

Effekterna av att förlänga livslängden för produkterna bör också analyseras, eftersom det sannolikt ger upphov till en dominoeffekt på marknaden för träbaserade produkter.

6 SLUTSATSER

Trä som råvara har fördelar för klimatet, eftersom materialet är förnybart och kolet går i cykler, vilket gör att en förstärkning av växthuseffekten undviks. Svensk skogsindustri genererar mängder av produkter årligen, som har olika användningsområden och livslängd. Sammanlagt innehåller det årliga tillskottet av träbaserade produkterna 29,0 miljoner ton koldioxid. Sågade trävaror binder in störst mängd biogent kol, under längst tid. Detta beror på att produktionsmängden för sådana varor är störst och förluster mellan råvara och produkt är mindre än vid pappers- eller kartongproduktion. Felkällor bedöms

även vara små vid analys av sågverksindustrin, i förhållande till massaindustrin där återvinning och export sker.

Resultatet för mängden biogent kol som lagras årligen i träbaserade produkter på 29,0 miljoner ton koldioxid skiljer sig från beräkningar av Naturvårdsverket, som var 6,7 miljoner ton koldioxid. Antaganden av Naturvårdsverket om densitet och återvinning av produkter, samt inflöde och utflöde av produkter årligen stämmer överens med de antaganden som gjordes i detta examensarbete, därför bör skillnaden i resultat främst bero på indata och antalet produktkategorier.

Det finns en potential att öka livslängden på framför allt sågade trävaror och textilier, eftersom återvinning ännu inte införts för dessa produkter. Kaskadanvändning och BECCS kan sannolikt tillämpas i Sverige i relativt stor omfattning. Fördelen med BECCS är att nettopåverkan på klimatet blir negativ, medan kaskadanvändning har en nettopåverkan som är noll. Balansen mellan energiutvinning och material eller avfall måste dock beaktas och säkerställas.

7 REFERENSER

- Arasto, A., Kärki, J., Onarheim, K. och Tsupari, E. (2014). *Bio-CCS: Feasibility comparison of large scale carbon-negative solutions*. Energy Procedia. (Volume 63). Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214025260> [2020-04-29]
- Bernes, C., (2016). *En varmare värld – växthuseffekten och klimatets förändringar*. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-1300-4.pdf?pid=19441> [2020-06-30]
- Biometria (2019). *Skogsindustrins virkesförbrukning samt produktion av skogsprodukter 2014-2018*. Uppsala: Biometria. Tillgänglig: <https://www.biometria.se/wp-content/uploads/2019/10/Skogsindustrins-virkesf%C3%B6rbrukning-och-produktion-2018-version-sept-2019.pdf> [2020-02-27]
- Brunner H, P., & Rechberger, H. (2004) *Practical handbook of material flow analysis*. Lewis Publishers. Tillgänglig: https://thecitywasteproject.files.wordpress.com/2013/03/practical_handbook-of-material-flow-analysis.pdf [2020-01-29]
- Bousios, S., Meinel, G., Ringman, J. och Tempel, L. (2016). D1.4 *European fibre flow model*. CEPI
- Cook, P., Pour, N. och Webley, P. (2017). *A sustainability framework for bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) technologies*. Energy Procedia. (Volume 114). Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217319434> [2020-04-28]
- Domsjö (2020). *Bioraffinaderiet Domsjö Fabriker*. Tillgänglig: http://www.domsjo.adityabirla.com/Documents/Presentationer/Foretagspresentation_domsjo_fabriker.pdf [2020-04-01]
- Ejlertsson, A., Loh Lindholm, C., Green, J. & Ahlm, M. (2018). *Cirkulär ekonomi i byggbranschen*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet. (Rapportnummer C 338) Tillgänglig: <https://www.ivl.se/download/18.14bae12b164a305ba11aa53/1535448825219/C338.pdf> [2020-01-27]
- Energiföretagen (2019). *Kraftvärme*. Tillgänglig: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/kraftvarme/> [2020-02-27]
- Energiföretagen (2020). *Fjärrvärme*. Tillgänglig: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrvarme/> [2020-06-30]
- Energimyndigheten (2019). *Läget på energimarknaderna – biodrivmedel och fasta biobränslen*. [Broschyr]. Energimyndigheten. Tillgänglig: [53](http://www.energimyndigheten.se/globalassets/om-</p></div><div data-bbox=)

oss/lagesrapporter/biobransle/2019/laget-pa-energimarknaderna-for-biodrivmedel-och-fasta-biobranslen-juni-2019.pdf [2020-04-24]

Erlandsson, M., & Holm, D. (2015). *Livslängdsdata samt återvinningsscenarion för mer transparenta och jämförbara livscykelberäkningar för byggnader*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet. (Nr B2229). Tillgänglig: <https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b76ce/1445517742414/B2229.pdf> [2020-04-20]

European Commission (2018). *A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment*. Luxembourg: Publications office of the European Union. Tillgänglig: https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf [2020-01-21]

Europeiska unionen (2019). *Vägledning om kaskadanvändning av biomassa med exempel på bästa praxis i fråga om träbiomassa*. Tillgänglig: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9b823034-ebad-11e8-b690-01aa75ed71a1/prodSystem-cellar/language-sv/format-PDF> [2020-06-06]

Fickler, J. & Jakobsson, T. (2017). *Livscykelanalys av plastpall och EUR-pall i livsmedelsbranschen*. Svenska Retursystem. Tillgänglig: http://www.retursystem.se/media/filer_public/ec/1e/ec1e096f-2b81-4589-8e51-60f023fca69b/lca_srs_helpall_och_trapall.pdf [2020-04-08]

Florachem (2018). *FloraSolv Turpentine*. Jacksonville: Florachem Corporation. <https://florachem.com/wp-content/uploads/2018/06/FLORASOLV%E2%84%A2-Turpentine-PDS-20180907.pdf> [2020-04-08]

Globala målen (u.å. a). *Globala målen*. Tillgänglig: <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/> [2020-01-20]

Globala målen (u.å. b). *Hållbar energi för alla*. Tillgänglig: <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-7-hallbar-energi-alla/> [2020-01-20]

Globala målen (u.å. c). *Hållbar konsumtion och produktion*. Tillgänglig: <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-12-hallbar-konsumtion-och-produktion/> [2020-02-20]

Globala målen (u.å. d). *Bekämpa klimatförändringarna*. Tillgänglig: <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-13-bekampa-klimatforandringarna/> [2020-01-21]

Globala målen (u.å.e). *Ekosystem och biologisk mångfald*. Tillgänglig: <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-15-ekosystem-och-biologisk-mangfald/> [2020-01-21]

- Global CCS Institute (2019). *Bioenergy and carbon capture and storage*. Tillgänglig: https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/03/BECCS-Perspective_FINAL_18-March.pdf [2020-04-16]
- Hammar, T. och Levihn, F. (2020). *Time-dependent climate impact of biomass use in a fourth generation district heating system, including BECCS*. Biomass and Bioenergy. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953420301409> [2020-06-12]
- IPCC (2019). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Tillgänglig: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch12_HarvestedWoodProducts.pdf [2020-02-03]
- Matthews, G. (1993) *The carbon content of trees*. Edinburgh: Forestry Commission. (Technical Paper 4). Tillgänglig: www.forestryresearch.gov.uk/documents/6904/FCTP004.pdf
- Naturskyddsföreningen (2011). *Länge leve kläderna!* Naturskyddsföreningen. Tillgänglig: https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/pm_lange_leve_kladerna.pdf [2020-04-02]
- Naturvårdsverket (2015). *Textilåtervinning – Tekniska möjligheter och utmaningar*. Stockholm: Naturvårdsverket. (Rapport 6685). Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6685-7.pdf> [2020-04-14]
- Naturvårdsverket (2019a). *Tillväxt och avverkningar i skogen*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Skog-tillvaxt-och-avverkningar/> [2019-12-09]
- Naturvårdsverket (2019b). *Olika typer av skog med höga naturvärden*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Naturvard/Skydd-av-natur/Formellt-skydd-av-skog/Bevara-naturvarden-i-skogen/Skog-med-hoga-naturvarden/> [2020-06-11]
- Naturvårdsverket (2019c). *Sveriges klimatlag och klimatpolitiska ramverk*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Klimat/Sveriges-klimatlag-och-klimatpolitiska-ramverk/> [2020-01-23]
- Naturvårdsverket (2019d). *National Inventory Report Sweden 2019*. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/FN/nir-sub-15-april.pdf> [2020-05-13]
- Naturvårdsverket (2019e). *Utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning (LULUCF)*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-och-upptag-fran-markanvandning/> [2020-02-04]

Naturvårdsverket (2020a). *Biogena koldioxidutsläpp och klimatpåverkan*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/Biogena-koldioxidutslapp-och-klimatpaverkan/> [2020-04-23]

Naturvårdsverket (2020b). *Avfallsförbränning*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Forbranning/Avfallsforbranning/> [2020-04-16]

Purkus, A., Hagemann, N., Bedtke, N. & Gawel, E. (2018). *Towards a sustainable innovation system for the German wood-based bioeconomy: Implications for policy design*. Journal of Cleaner Production (Volym 172: 3955–3968)

Ranacher, L., Stern, T. och Schwarzbauer, P. (2017). *Do wood products protect the climate? Public perception of the forest based sector's contribution to climate change mitigation*. Austrian Journal of Forest Science 3

Retursystem Byggpall (2017). *Byggbranschens hantering av standard-lastpallar*. Returlogistik. Tillgänglig: <https://www.byggpall.se/wp-content/uploads/Milj%C3%B6utredning-Retursystem-Byggpall-17-10-27-D.pdf> [2020-04-08]

SCB (2016). *Statistikdatabasen*. Tillgänglig: http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0305/MI0305T02N/table/tableViewLayout1/?loadedQueryId=64701&timeType=item [2020-03-16]

Skogsindustrierna (u.å. a). *Skogsnäringens betydelse för svensk ekonomi och välfärd*. <https://www.skogsindustrierna.se/skogsindustrin/branschstatistik/ekonomisk-betydelse2/> [2020-01-24]

Skogsindustrierna (u.å. b). *Återvinning och cirkulär ekonomi*. Tillgänglig: <https://www.skogsindustrierna.se/skogsindustrin/branschstatistik/atervinning-cirkular-ekonomi/> [2020-01-28]

Skogsindustrierna (u.å. c). *Efterfrågan på dissolvingmassa*. Tillgänglig: <https://www.skogsindustrierna.se/bioekonomi/efterfragan-pa-dissolvingmassa-vaxer/> [2020-03-20]

Skogsindustrierna (2020). *Så här går det för skogsindustrin*. (Nr 1). Tillgänglig: <https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/sa-gar-det-for-skogsindustrin/sa-gar-det-for-skogsindustrin-februari-2020.pdf> [2020-03-04]

Skogen (u.å. a) *Nettoavverkning*. Tillgänglig: <https://www.skogen.se/glossary/nettoavverkning> [2020-03-02]

Skogen (u.å. b). *Finpapper*. Tillgänglig: <https://www.skogen.se/glossary/finpapper> [2020-02-07]

- Skogen (u.å. c). *Brännved*. Tillgänglig: <https://www.skogen.se/glossary/brannved> [2020-03-17]
- Skogsstyrelsen (2019). Skogsstyrelsens statistikdatabas. Tillgänglig: http://pxweb.skogsstyrelsen.se/pxweb/sv/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas__Bruttoavverkning/JO0312_01.px/table/tableViewLayout2/?rxid=03eb67a3-87d7-486d-acce-92fc8082735d [2020-04-01]
- SkogsSverige (2016a). *Torkning av virke*. Tillgänglig: <https://www.skogssverige.se/tra/fakta-om-tra/torkning-av-virke> [2020-04-23]
- SkogsSverige (2016b). *Omföringstabell vanliga kubikmetermått i skogen*. Tillgänglig: <https://www.skogssverige.se/omvandlare> [2020-03-10]
- SkogsSverige (2017). *Mekanisk massa*. Tillgänglig: <https://www.skogssverige.se/papper/fakta-om/massa-och-papperstillverkning/mechanisk-massa> [2020-02-13]
- SLU (1995). Trädbränslesortiment – definitioner och egenskaper. *Fakta Skog*. Nr. 5. Tillgänglig: <https://www.slu.se/globalassets/ew/ew-centrala/forsk/popvet-dok/faktaskog/faktaskog95/4s95-05.pdf> [2020-03-16]
- SLU (2019). *Skogsdata 2019*. Umeå: Sveriges officiella statistik. Tillgänglig: https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2019_webb.pdf [2020-04-15]
- Staffas, L., Hansen, K., Sidvall, A., & Munthe, J. (2015). Råvaruströmmar. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet. (Nr C116) Tillgänglig: https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b5075/1448028963565/C116+IVL+rapport+C+Skogsr%C3%A5varu+2015-05-19_final.docC116x.pdf [2020-02-25]
- Stockholm Exergi (2019). *Teknik för att fånga in koldioxid testas i Stockholm*. Tillgänglig: <https://www.stockholmexergi.se/nyheter/teknik-for-att-fanga-in-koldioxid-testas-i-stockholm/> [2020-04-29]
- Stora Enso (u.å. a). *Tallolja*. Tillgänglig: <https://www.storaenso.com/sv-SE/products/bio-based-chemicals/tall-oil> [2020-02-13]
- Stora Enso (u.å. b). *Terpentin*. Tillgänglig: <https://www.storaenso.com/sv-se/products/bio-based-chemicals/turpentine> [2020-02-13]
- Sundberg, S., Aronsson, M., Dahlberg, A., Hallingbäck, T., Johansson, G., Knutsson, T., ... Thor, G. (2015). *Nytt i nya rödlistan*. Svensk botanisk tidskrift. Tillgänglig: <https://www.artdatabanken.se/globalassets/ew/subw/artd/2.-var-verksamhet/publikationer/21.-tillstand-och-trender/nytt-i-roedlistan.pdf> [2020-06-11]
- Svenskt trä (u.å. a). *Trä är ett hållbart byggmaterial*. Tillgänglig: <https://www.svensktra.se/trafakta/allmant-om-tra/tra-och-miljo/tra-ar-ett-hallbart-byggmaterial/> [2020-01-28]

Svenskt trä (u.å. b). *Egenskaper hos barrträ*. Tillgänglig: <https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/egenskaper-hos-barrtra/> [2020-03-11]

Svenskt trä (u.å. c). *Från timmer till plank*. Tillgänglig: <https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/> [2020-02-20]

Svenskt trä (u.å. d). *Om limträ*. Tillgänglig: <https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/om-limtra/> [2020-02-20]

Svenskt trä (2017b). *Skogsindustri*. Tillgänglig: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/skogsbruk/skogsbruk/skogsindustri/> [2020-02-17]

Svenskt trä (2017a) *Sågprocessen*. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/sagverksprocessen/sagprocessen/sagprocessen/?previousState=1> [2020-02-20]

Södra (2018). *Produktionsprocess*. Tillgänglig: <https://www.sodra.com/sv/massa/vara-massabruk/produktionsprocess/> [2020-02-11]

Södra (2019). *Kläder gjorda av björk?* Tillgänglig: <https://www.sodra.com/sv/massa/produkter/dissolvingmassa/> [2020-02-13]

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

WWF (2016). *Mapping study on Cascading use of wood products*. Tillgänglig: https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/92d39e3e-7713-4756-90c3-f1e8c232c5e7/wwf_mondi_cascading_use_of_wood_final_web.pdf?v=63664509938 [2020-04-29]

APPENDIX A

Tabell A.1. För att beräkna om enheten för biprodukter från sågverk användes fukthalt och rå bulkdensitet (Svenskt trä u.å b; SLU 1995)

Produkt	Fukthalt [%]	Rå bulkdensitet [kg/m ³ s]	Torr-rådensitet [kg TS/m ³ f] (Medelvärde)
Råflis (barrved)	54	300	410-450 (430)
Torrflis (barrved)	23	200	410-450 (430)
Sågspån	57	350	400-420 (410)
Kutterspån	12	110	400 (400)
Bark (barrved)	55	400	300-340 (320)
GROT (obearbetad)	50	-	300-610 (455)

Tabell A.2. Omvandlingsfaktorer mellan olika skogliga volymenheter (SkogsSverige 2016b).

	m ³ s → m ³ f	m ³ f → m ³ fub
Sågspån	0,32	-
Kutterspån	0,22	-
Råflis	0,37	-
Bark	0,45	-
Brännved	-	0,88