

Slutrapport

Energimyndighetens titel på projektet – svenska
Utbyte mellan biogena och fossila koldioxidutsläpp: bedömningar av
substitutionseffekter hos olika värdekedjor

Energimyndighetens titel på projektet – engelska
Trading fossil and biogenic carbon emissions: assessments of substitution
effects for different value-chains

Organisation
Luleå tekniska universitet
ETKS/Nationalekonomi
97187 Luleå

Nyckelord
Substitutionseffekter; Biogena koldioxidutsläpp; Värdekedjor;
Kolinlagring; Kolsänka

Förord

Projektet finansierades av Energimyndigheten (75%) och Bio4Energy (25%), och genomfördes mellan 2023-10-01 – 2025-06-30. Stoppdatumet inkluderar en sex månader förlängning som projektet beviljades 2025-05-17. Projektet genomfördes i sin helhet av personal vid Luleå tekniska universitet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Summary	5
Inledning/bakgrund	7
Genomförande	8
Resultat	9
Diskussion	11
Publikationslista	14
Referenser, källor	15
Bilagor	Fel! Bokmärket är inte definierat.

Sammanfattning

Tillverkningen av material som stål, cement, plast och aluminium står för en stor andel av de totala utsläppen av växthusgaser, både globalt och i Sverige. Det finns tre principiella sätt att minska klimatavtrycket från dessa material: (1) öka resurseffektiviteten genom att minska materialförbrukningen längs produktionskedjorna; (2) förändra konsumtionsmönster och konsumtionsbeteenden och (3) materialsubstitution. Specifikt har projektet analyserat potentiella klimateffekter från det sistnämnda; materialsubstitution.

För detta ändamål har projektet utgått från ett helhetsperspektiv i syfte att ta fram kvantitativa resultat av s.k. substitutionsfaktorer. De indikerar klimatnyttan av att ersätta utsläppsintensiva material och bränslen med träprodukter. Substitutionsfaktorer tar hänsyn till träprodukternas egenskaper, vilka icke-träprodukter som ersätts, skillnader i produkternas förväntade livslängd och hur de hanteras när de är uttjänade. Det empiriska fokuset har legat på att kvantifiera substitutionsfaktorer för fem övergripande värdekedjor för skoglig biomassa: byggmaterial, förpackningar, pappersprodukter, möbler samt biokemiska produkter och textilier. Substitutionsfaktorerna användes för att bedöma klimateffekten av olika scenariobeskrivningar.

De övergripande resultaten pekar mot en generell substitutionseffekt i storleksordningen 1 ± 1 . Det innebär att en enhet fossil kol kan ersättas med en enhet biogent kol. Högre substitutionsfaktorer kan uppnås under optimala scenarier och om specifika utsläppsintensiva material ersätts. Men samtidigt kan dålig skogsförvaltning och olämplig användning av skoglig biomassa reducera substitutionsfaktorerna. Resultaten pekar också mot att varje scenario ger negativa nettoutsläpp, med en genomsnittligt undvikit utsläpp på 150 kt CO₂ årligen. Resultaten visar att medan avverknings- och processutsläpp förblir relativt stabila, driver undvikna utsläpp det mesta av variationen. Resultaten understryker klimatfördelarna med träsubstitution, särskilt inom bygg och förpackningar, där materialundanträngningseffekterna är starkast.

Projektet visar på svårigheten att beräkna och tillämpa substitutionsfaktorer. Inkludering av substitutionseffekter i utformningen av klimatrelaterade styrmedel bör därmed ske aktsamt. Tidsdynamiken (t.ex. föränderlig produktionsprocess, materialval och teknisk utveckling), tillsammans med komplexa värdekedjor, påverkar klimatnytta som innebär att eventuella styrmedel för substitutionseffekterna tvingas skjuta på ett rörligt mål. Ytterligare forskning krävs som analyserar förutsättningarna och konsekvenserna av detta. Däremot kan styrmedel som gynnar användningen av trämaterial fungera och indirekt ge positiva klimateffekter (t.ex. via förändrade byggnormer).

Summary

The production of materials such as steel, cement, plastic, and aluminium accounts for a significant share of total greenhouse gas emissions, both globally and in Sweden. There are three principal ways to reduce the climate impact of these materials: (1) increase resource efficiency by reducing material consumption along production chains; (2) change consumption patterns and behaviours; and (3) material substitution. This project specifically analysed the potential climate effects of the latter: material substitution.

To this end, the project adopted a holistic perspective with the aim of producing quantitative results in the form of so-called substitution factors. These indicate the climate benefit of replacing emission-intensive materials and fuels with wood-based products. Substitution factors consider the properties of wood products, which non-wood products they replace, differences in the expected lifespan of the products, and how they are handled at the end of their life. The empirical focus has been on quantifying substitution factors for five overarching value chains for forest biomass: construction materials, packaging, paper products, furniture, and biochemical products and textiles. The substitution factors were used to assess the climate impact of various scenario descriptions.

The overall results indicate a general substitution effect in the order of magnitude of 1 ± 1 . This means that one unit of fossil carbon can be replaced by one unit of biogenic carbon. Higher substitution factors can be achieved under optimal scenarios and when specific emission-intensive materials are replaced. However, poor forest management and inappropriate use of forest biomass can reduce the substitution factors. The results also indicate that every scenario leads to negative net emissions, with an average avoided emission of 150 kt CO₂ annually. The findings show that while harvesting and processing emissions remain relatively stable, avoided emissions drive most of the variation. The results emphasise the robustness of the climate benefits of wood substitution, especially in construction and packaging, where material displacement effects are strongest.

The project highlights the difficulty of calculating and applying substitution factors. The inclusion of substitution effects in the design of climate-related policy instruments should be done with caution. Time dynamics (e.g., evolving production processes, material choices, and technological development), together with complex value chains, affect the climate benefit, meaning that any policy measures targeting substitution effects are aiming at a moving target. Further research is needed to analyse the conditions and consequences of this. However,

policy instruments that promote the use of wood materials can be effective and indirectly yield positive climate effects (e.g., via building codes).

Inledning/bakgrund

Sveriges skogar binder cirka 31,6 miljoner ton CO₂ per år. Utöver detta binds ytterligare cirka nio miljoner ton CO₂ per år i träprodukter, som sågade träprodukter, träskivor och papper (Naturvårdsverket, 2025). Träprodukter har ytterligare en klimatnytta genom att ersätta eller tränga undan utsläpp från fossilintensiva material och bränslen. I forskningslitteraturen kallas denna effekt för substitutionsfaktorn (Gustavsson m.fl., 2021; Skytt m.fl., 2021; Lundmark m.fl., 2014). En substitutionsfaktor beskriver normalt hur stora koldioxidutsläpp som kan undvikas om träprodukter används i stället för andra produkter med samma funktion, t.ex. till kemiska föreningar, konstruktionsdelar, energibärare eller textilfibrer.

Generellt kan substitutionsfaktorer beräknas genom att kombinera livscykelinformation på volymen och kolinnehållet i de träprodukter som tillverkas eller konsumeras, med mängden och kolinnehållet i de material som ersätts (Leskinen m.fl., 2018). Systemet förändras dock över tid i samband med att nya biobaserade produkter kommersialiseras, produktionsprocesser blir mindre utsläppsintensiva och mer integrerade, konsumtionsbeteenden och preferenser förändras, samt med att handelsflöden förändras. Tidigare forskning visar att tidsdynamiken är viktigt att beakta för att bestämma storleken av substitutionsfaktorer (Demertzi m.fl., 2017). Även produkternas multifunktionalitet (Taylor m.fl., 2017) och antagande kring ersätta material och bränslen (Gustavsson och Sathre, 2006) påverkar storleken på substitutionsfaktorerna. Projektet visar att tidigare forskning till stor del har fokuserat på kvalitativa bedömningar av substitutionsfaktorer, och kvantitativt enbart i enskilda sektorer eller material. Enbart i mindre omfattning har substitutionsfaktorer studerats från ett övergripande systemanalytiskt perspektiv som beaktar både systemets komplexitet och en samhällsekonomisk effektiv allokering av trädråvara mellan sektorer. Dessutom är den empiriska forskningen av substitutionsfaktorer bristfällig, gammal eller i en kontext som inte passar för svenska förhållanden. Sammantaget visar tidigare forskning att vi har en begränsad kunskap om storleken på substitutionsfaktorerna och därmed även på klimatnyttans storlek av att ersätta utsläppsintensiva material med träprodukter.

Utgångspunkten för projektet är att det finns ett behov av att öka kunskapsbasen för vilka utsläppsintensiva material som kan ersättas idag och i framtiden, genom t.ex. tekniska innovationer. För nya produktionsprocesser och material är substitutionsfaktorerna synnerligen svåra att uppskatta. Att genomföra en systemanalys är en utmaning, men bedöms som nödvändig för att fånga potentiella synergier och avvägningar mellan substitutionsmöjligheter och olika träprodukter, samtidigt som osäkerheter kring substitutionsfaktorerna tydliggörs. Dessutom omgärdas

hela systemet av olika politikområden med påverkande styrmedel som måste beaktas.

Projektet utgår från ett systemanalytiskt perspektiv och har som syfte att besvara följande frågor: (1) Hur höga är substitutionsfaktorerna för de fem nämnda huvudgrupperna av träprodukter? (2) Vilka träprodukter, eller grupp av träprodukter, har den högsta potentialen att tränga undan koldioxidutsläpp? (3) Hur kan substitutionseffekterna tolkas i klimatarbetet, och hur kan de tillämpas i beslutsfattandet och utformandet av styrmedel. (4) Vilka är de primära källorna som skapar variabilitet och osäkerheter hos substitutionsfaktorerna?

Genomförande

Projektet genomfördes i tre sammankopplade arbetsmoment (beskrivna om enskilda arbetspaket). Generellt bygger projektets genomförande på tillämpningen av en integrerad utvärderingsmodell som vidareutvecklas för att kunna analysera klimatutfallen av en ökad användning av skogliga biomassa som substitut för utsläppsintensiva material. Den kontext modellen tillämpas inom tillhandahålls av de övriga arbetsmomenten.

Det första arbetsmomentet bestod i att bedöma storleken på relevanta substitutionsfaktorer. Bedömningen inkluderar förväntad livslängd på träprodukterna och hur de behandlas som avfall. För att bedöma osäkerheten hos substitutionsfaktorerna har en känslighetsanalys genomförts. Analysen baseras på en strukturerad litteraturöversikt med särskilt fokus på den svenska kontexten. Resultaten från arbetsmomentet används som indata i den tillämpade modellen.

Det andra arbetsmomentet bestod i att utveckla de scenariobeskrivningarna som sedan låg till grund för modellsimuleringarna. Scenariobeskrivningarna sammanställer två huvudsakliga utvecklingsmönster, ett utbuds- och ett efterfrågedrivet. Fokus har legat på kortsiktiga utvecklingsmönster (dvs. utan större kapitalinvesteringar) då långsiktiga scenariobeskrivningar bedömdes alltför osäkra för att kunna bidra till konkreta förändringar i substitutionsfaktorerna. I beskrivningarna ingår även möjliga utvecklingsmönster av konsumtionsbeteenden, preferenser och styrmedel.

Slutligen sammanfördes resultaten från de två första arbetsmomenten till det sista momentet där den integrerade modellen tillämpades. Modellen är byggd för att simulera samhällsekonomiska optimala allokering av den skogliga biomassan mellan de olika värdekedjorna beaktat de koldioxidutsläpp som sker vid värdekedjornas olika steg, från avverkning till avfallshanteringen. Genom att använda en partiell jämviktsmodell (där

den ekonomiska välfärden maximeras givet vissa randvillkor) kompletterad med Monte Carlo-simuleringar och koldioxidredovisningsmoduler kan träsubstitutionen analysera i termer av hur den påverkar utsläppen och samhällsekonomisk nytta. Detta sker för fyra sektorer: byggsektorn, textilier, förpackningar och möbler. Modellen implementerades i verktyget GAMS. Utvecklingen av modellen har inte ingått i detta projekt, däremot anpassas och tillämpas modellen mot projektets forskningsfrågor.

Projektdeltagare har varit professor Robert Lundmark, doktorand Oscar Piña och universitetslektor Åsa Lindman, allt verksamma vid enheten för nationalekonomi vid Luleå tekniska universitet. Dessutom har existerande nätverk och samarbeten med andra forskargrupper, organisationer och företag nyttjas i projektarbetet. Främst samarbete med Bio4Energy som är ett SFO. Projektet har resulterat i två vetenskapliga artiklar och en rapport.

Resultat

Projektets forskningsresultat härrör primärt från det första och tredje arbetsmomentet (se Genomförande). Men resultaten bygger på de scenariobeskrivningar som utvecklades i det andra arbetsmomentet. Dessa representerar potentiella externa förändringar, teknisk utveckling och nya produkter som förväntas påverka substitutionsfaktorerna. Scenarierna fokuserar på förändringar i efterfrågan på slutprodukter, produktionsprocesser och tillgången på skogsbiomassa. Den första gruppen av scenarier representerar potentiella förändringar på utbudssidan enligt tre skogsbruksscenarier. (1) BAU-scenariot representerar nuvarande skogsbruksmetoder där avverkningen hålls på samma nivå som tillväxten, (2) skogsvårdsscenariot fördubblar arean på skyddad skog, och (3) tillväxtscenariot ökar den inhemska tillgången på skogsbiomassa med 10/20 procent. Dessa scenarier valdes ut för att belysa effekterna av olika skogsbruksmetoder på balansen mellan en ökad koldioxidlagring och en ökad efterfrågan på biomassa. I scenariot med skogsvård ligger fokus därför på att bevara biologisk mångfald och långsiktig koldioxidbindning, medan fokus i scenariot med skogstillväxt ligger på att öka produktionskapaciteten för att stödja en bioekonomi. Den andra gruppen av scenarier representerar potentiella förändringar på efterfrågesidan baserat på antaganden om teknologiska och beteendemässiga förändringar. I scenariot med en snabb övergång mot en bioekonomi antas den inhemska efterfrågan på rundvirke öka med två respektive tio procent.

Storleken och osäkerheten på substitutionsfaktorer varierar beroende på material och sektor. Resultaten är baserade på en helhetsbild av hur materialval påverkar utsläppen och vilka ekonomiska förutsättningar som avgör hur stor klimatnyttan blir i praktiken. Den genomsnittliga

substitutionsfaktorer ligger omkring ett, vilket innebär att ett ton biogent kol i träprodukter i snitt ersätter ett ton fossilt kol. Värdena varierar dock stort mellan olika studier, från negativa siffror (där substitutionen ökar utsläpp) till värden över fem, beroende på produkt, livscykelantaganden, marknadseffekter och systemgränser. Sektorspecifikt framkommer följande (jfr Tabell 1):

- Byggsektorn uppvisar de högsta substitutionsfaktorerna, ofta mellan ett och tre. Trä kan här ersätta klimatintensiva material som betong och stål i byggnader, särskilt i långlivade konstruktioner. Flera livscykelanalyser visar att träbaserade byggmaterial ger tydliga utsläppsminskningar jämfört med konventionella alternativ.
- Förpackningssektorn har mer begränsade substitutionseffekter, ofta i spannet 0,5 till ett. Träbaserade material som kartong och papper kan ersätta plast, metall och glas, men eftersom produkterna är kortlivade, sker koldioxidutsläppen snabbt. Klimatnyttan beror på typ av ersatt material och hur produkten hanteras vid livscykelns slut.
- Textilsektorn visar potentiellt höga substitutionstal upp till 2,8 särskilt när träbaserade fibrer ersätter syntetmaterial som polyester. Dock är substitutionen ofta ofullständig, eftersom träfibrer inte alltid har identiska egenskaper med bomull eller syntetiska alternativ.
- Papperssektorn har en mer komplex roll, eftersom papper redan domineras av träbaserade produkter. Här rör det sig främst om interna substitutionsdynamiker eller ersättning av pappersprodukter med digitala lösningar, vilket inte är ett materialbyte i egentlig mening. Därför är det svårt att kvantifiera klimatnyttan från en ökad användning av trä i denna sektor.

Tabell 1: Medelvärde av substitutionsfaktor per sektor

Sektor	Medel	Min	Max
Byggsektorn	1,0	0,5	3,0
Förpackningar	0,5	0,0	1,0
Textilier	1,0	0,0	2,8
Pappersprodukter	0,5	0,0	1,0

Modellresultaten indikerar att nettoutsläppen är negativa i samtliga scenarier, med ett genomsnittligt undvikit utsläpp om cirka 150 kiloton CO₂ per år med ett spann mellan 140 – 170 kt CO₂. Detta innebär att träsubstitution i de analyserade sektorerna alltid leder till klimatvinster.

Den största variationen kommer från de utsläpp som undviks genom att trä ersätter mer koldioxidintensiva material. Dessa har också störst påverkan på modellens utfall och visar en stark positiv korrelation (>0,9) med

nettutsläppen. De mest stabila resultaten är för utsläpp kopplade till avverkning (≈ 560 kt CO₂/år) och förädling (≈ 760 kt CO₂/år) som båda har relativt låga variationer. De påverkas således i mindre omfattning av förändringar i substitutionsmönster, vilket tyder på att användningen av trä redan är högt optimerad i Sverige. I motsats visar de undvikna utsläppen större variation, med värden mellan 835 och 863 kt CO₂ per år. Denna variation beror på osäkerheter kring substitutionsfaktorer och konsumtionsmönster.

Korrelationsanalysen visar att social välfärd (definierad som skillnaden mellan konsumentnytta och produktionskostnader) har en måttlig men positiv korrelation med undvikna utsläpp ($\approx 0,5$). Detta tyder på att klimatmässigt gynnsamma scenarier också är samhällsekonomiskt lönsamma.

Diskussion

De forskningsfrågor projektet ställt är:

- (1) *Hur höga är substitutionsfaktorerna för fem huvudgrupper av träprodukter?*

Substitutionsfaktorer varierar kraftigt mellan olika sektorer, beroende på produkttypens livslängd, produktionsprocesser och vilket material som ersätts. Byggsektorn har relativt höga och stabila faktorer, medan faktorerna för förpackning och papper är lägre och mer osäkra p.g.a. deras korta livslängd och konkurrens med återvunnet material. Textilier har mycket hög klimatpotential per enhet trä, men är ännu inte fullt utvecklade marknadsmässigt.

Tabell 2: Genomsnittliga substitutionsfaktor per sektor och deras intervall

Produktgrupp	Genomsnittlig substitutionsfaktor (kg C undviken/kg C i trä)	Intervall
Byggmaterial	~ 1.0 – 1.3	0.5 till 3.0 (upp till 5.5 i vissa fall)
Förpackningar	~ 0.5	0.0 till 1.0
Textilier	~ 2.8	0.0 till 2.8
Pappersprodukter	~ 0.5	0.0 till 1.0 (kan vara 0 för grafiska papper)
Möbler	Ingen entydig faktor men ofta antas ≈ 1.0 i systemmodeller	Beror på livslängd och design

Not: Faktorerna är i ton eller kg kol undvikit per ton eller kg kol i träprodukten (tC/tC eller kgC/kgC).

- (2) *Vilka träprodukter, eller grupp av träprodukter, har den högsta potentialen att tränga undan koldioxidutsläpp?*

Byggmaterial (t.ex. korslimmat trä, limträ) har störst påverkan totalt sett eftersom de används i stor volym och ersätter koldioxidintensiva material som cement och stål, vilket tillsammans står för över 15 procent av Sveriges utsläpp. Även om textilier visar en hög faktor, är deras marknad ännu liten för träbaserade alternativ. En ökande efterfrågan på hållbara material (t.ex. inom modeindustrin) kan dock snabbt förändra detta. Träbaserade möbler, även om de inte alltid mäts med en SF, har också potential tack vare lång livslängd och stabil efterfrågan.

- (3) *Hur kan substitutionseffekterna tolkas i klimatarbetet, och hur kan de tillämpas i beslutsfattandet och utformandet av styrmedel.*

Beslutsfattare kan integrera substitutionsfaktorer i klimatarbetets nytta-kostnadsberäkningar. Substitution är en "osynlig klimatnytta" som ännu inte beaktas i tillräcklig utsträckning i t.ex. EU:s klimatredovisning eller LULUCF-regelverk. Dock kräver det systemtänk: substitutionseffekten är inte konstant och måste vägas mot andra mål, t.ex. biologisk mångfald och kolinlagring i skogen. Policy bör därför fokusera på både substitution och kolinlagring – inte bara det ena. Tillämpning kan vara styrmedel som främjar substitution där klimatnyttan är störst, t.ex. byggnormer, biobaserade textilsubventioner, eller ekonomiska incitament som t.ex. gröna upphandlingar, stöd för industriell omställning.

- (4) *Vilka är de primära källorna som skapar variabilitet och osäkerheter hos substitutionsfaktorerna?*

Fyra huvudsakliga osäkerhetskällor:

- Systemgränser: Olika antaganden kring vad som inkluderas (t.ex. transport, avfall, kollager).
- Typ av material som ersätts: Ersättning av stål ger annan effekt än plast eller återvunnen kartong.
- Livslängd och användningsmönster: Byggmaterial lagrar kol längre än förpackningar. Återvinning påverkar också nettoeffekten.
- Marknadseffekter och koldioxidläckage: Om ökad användning av trä inte leder till minskad användning av det ersatta materialet, uppstår ingen verklig substitutionsnytta.

Dessa osäkerheter innebär att substitutionseffekter måste tolkas försiktigt och alltid med hänsyn till kontexten. Ett generellt substitutionsvärde kan

leda till felaktiga slutsatser om det inte justeras för lokala och produktions specifika förhållanden. Dessutom kan styrmedel som enbart bygger på höga substitutionsfaktorer riskera att leda till ineffektiva eller till och med kontraproduktiva resultat om t.ex. substitution leder till ökad avverkning eller om ersättningsmaterialet ändå produceras och används.

Drivkrafter som påverkar substitutionsfaktorerna

Kostnadseffektivitet

Substitutionens storlek påverkas av kostnaden per undviken utsläppsenhet. Vissa användningsområden, exempelvis trä i byggnader, är relativt kostnadseffektiva, särskilt om koldioxidprissättning tillämpas. I andra fall, som avancerade bioprodukter eller textilfiber, är produktionskostnaderna höga, vilket minskar den ekonomiska lönsamheten och därmed möjligheten till substitution i praktiken.

Marknadskonkurrens och resursallokering

Skogsbiomassa är en begränsad resurs och konkurrensen om dess användning påverkar var substitution sker. Om exempelvis bioenergi gynnas av stöd, kan det leda till att biomassa styrs bort från materialanvändning, trots att klimatnyttan per enhet ofta är större vid materialsubstitution. En effektiv allokering av biomassan kräver styrmedel som beaktar skogsbiomassans alla värden och eventuella kaskadeffekter.

Teknologisk utveckling

Tekniska framsteg inom träindustrin (t.ex. korslimmat trä, biobaserade plaster) ökar möjligheten att ersätta fossilintensiva material, vilket höjer substitutionsfaktorerna. Samtidigt sker innovation även inom konkurrerande material, t.ex. grön stålproduktion eller koldioxidinfångning i cement, vilket minskar träets relativa klimatfördelar och därmed substitutionseffekten över tid.

Social innovation och konsumentpreferenser

Allmänhetens och branschens acceptans påverkar hur mycket substitution som faktiskt sker. Traditioner, upplevda risker och preferenser för exempelvis trä i byggnader eller träfiber i textilier kan antingen främja eller hämma substitution. Attityder förändras långsamt men kan förstärkas av information, regler och märkning.

Ekonomiska styrmedel och prissignaler

Koldioxidpriser, skatter och subventioner påverkar relativa kostnader och därmed vilka material som väljs. En korrekt prissättning av

klimatpåverkan gör träprodukter mer konkurrenskraftiga, vilket kan leda till högre substitutionsfaktorer.

Rebound- och läckageeffekter

Om materialsubstitution leder till lägre kostnader kan detta ge upphov till ökad konsumtion (reboundeffekt) och därigenom minska klimatvinsten. Läckageeffekter kan uppstå om t.ex. minskad stålproduktion i ett land leder till ökad produktion i ett annat. Dessa indirekta effekter kan minska den faktiska klimatnyttan av substitutionen.

Tidshorisont och skogsbrukets dynamik

Substitutionens klimatnytta påverkas också av hur snabbt kol åter binds i skogen efter avverkning, och av skogsbrukets hållbarhet. På kort sikt kan substitution leda till minskade kollager i skog, vilket måste vägas mot de undvikna utsläppen i andra sektorer. Ju längre livslängd träprodukten har och ju bättre återväxten är, desto högre kan substitutionseffekten bli.

Publikationslista

- Wood as a climate strategy: A systems perspective on substitution across Swedish industries (Oscar Piña). Vetenskaplig artikel.
- An economic perspective on carbon displacement factors (Robert Lundmark). Vetenskaplig artikel.
- Underlagsrapport för Scenariobeskrivningar (Åsa Lindman). Forskningsrapport.

Referenser, källor

- Demertzi, M., J.A. Paulo, S.P. Faias, L. Arroja och A.C. Dias. (2017). Evaluating the carbon footprint of the cork sector with a dynamic approach including biogenic carbon flows. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 23:1448-1459.
- Gustavsson, L. och R. Sathre. (2006). Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment*, 41(7):940-951.
- Gustavsson, L., T. Nguyen, R. Sathre och U.Y.A. Tettey. (2021). Climate effects of forestry and substitution of concrete buildings and fossil energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136:110435.
- Leskinen, P., G. Cardellini, S. González-García, E. Hurmekoski, R. Sathre, J. Seppälä, C. Smyth, T. Stern och P.J. Verkerk. (2018). *Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation*. European Forest Institute, Science to Policy 7, ISBN 978-952-5980-69-1.
- Lundmark, T., J. Bergh, P. Hofer, A. Lundström, A. Nordin, B.C. Poudel, R. Sathre, R. Taverna och F. Werner. (2014). Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests*, 5:557-578.
- Naturvårdsverket. (2025). Data och statistik.
<https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/>
- Skytt, T., G. Englund och B-G. Jonsson. (2021). Climate mitigation forestry – temporal trade-offs. *Environmental Research Letters*, 16:114037.
- Taylor, A., R. Bergman, M. Puettmann och S. Alanya-Rosenbaum. (2017). Impacts of the allocation assumption in LCAs of wood-based panels. *Forest Products Journal*, 67(5-6):390-396.