



CHALMERS



Spikplåtsförbundna trätakstolars miljöpåverkan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

ZEINA ALASADI

SELMA BERGSTRÖM DENIZOGLU

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNING FÖR BYGGNADSTEKNOLOGI**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Spikplåtsförbundna trätakstolars miljöpåverkan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ZEINA ALASADI

SELMA BERGSTRÖM DENIZOGLU

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

Holger Wallbaum

Yutaka Goto

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2025

Spikplåtsförbundna trätakstolars miljöpåverkan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

ZEINA ALASADI

SELMA BERGSTRÖM DENIZOGLU

© ZEINA ALASADI OCH SELMA BERGSTRÖM DENIZOGLU, 2025

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2025

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag: Derome (2025), Spikplåtsförbundna trätakstolar.

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2025

Spikplåtsförbundna trätakstolars miljöpåverkan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Affärsutveckling och entreprenörskap inom samhällsbyggnadsteknik

ZEINA ALASADI

SELMA BERGSTRÖM DENIZOGLU

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Klimatfrågan blir ett alltmer aktuellt ämne som berör både företag och privatpersoner. Inom byggsektorn blir det därför extra viktigt att göra medvetna materialval som kan bidra till att minska klimatpåverkan.

I denna studie ligger fokus på klimatpåverkan, med särskilt fokus på antropogena koldioxidutsläpp, en av de främsta drivkrafterna bakom klimatförändringar. Trä betraktas som ett av de mest hållbara byggmaterialen, särskilt ur ett miljöperspektiv. Det är både förnybart, återvinningsbart och har förmågan att lagra koldioxid. Det är dock inte lika starkt som andra material, såsom stål och betong.

Detta examensarbete syftar till att undersöka klimatpåverkan från takstolar med särskilt fokus på spikplåtsförbundna trätakstolar. Studien jämför dessa med alternativa takstolar i betong, stål och limträ. Analysen baseras på livscykelanalys (LCA) som avgränsats till produktionsskedet (A1–A3).

Beräkningarna har utförts med hjälp av data från verifierade miljövarudeklarationer (EPD:er) samt ritningsunderlag från fyra olika företag. De spännvidder som omfattats i analysen sträcker sig från cirka 6 - 26 meter, vilket möjliggör en jämförelse av takstolars klimatpåverkan vid både korta och långa spännvidder.

Resultatet visar att de spikplåtsförbundna trätakstolarna har avlägset lägst klimatpåverkan av de undersökta alternativen i alla spännvidder, trots att det krävs fler trätakstolar för att täcka samma takyta. Studien understryker därmed vikten av medvetna materialval i hållbart byggande då valet av material kan ha en oväntat stor inverkan på byggnadens totala klimatpåverkan.

Nyckelord: takstolar, spikplåtsförbundna trätakstolar, miljöavtryck, LCA, trä, limträ, betong, stål, materialval, klimatförändringar.

Environmental impact of nail plate connected timber roof trusses

*Degree Project in the Engineering Programme
Business Development and Entrepreneurship*

ZEINA ALASADI

SELMA BERGSTRÖM DENIZOGLU

Department of Architecture and Civil Engineering
Division of building technology
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The issue of climate change is becoming an increasingly relevant and important topic that concerns both companies and individuals. Within the construction sector, it is therefore especially important to make conscious material choices that can help reduce climate impact.

This study focuses on climate impact, with particular focus on anthropogenic carbon dioxide emissions, one of the main drivers of climate change. Wood is considered one of the most sustainable construction materials, especially from an environmental perspective. It is renewable, recyclable, and has the ability to store carbon dioxide. However, it is not as strong as other materials, such as steel and concrete.

This thesis aims to investigate the climate impact of roof trusses, with a particular focus on nail-plate connected wooden roof trusses. The study compares these to alternative roof trusses made of concrete, steel and glulam. The analysis is based on a life cycle assessment (LCA), limited to the production stage (A1–A3).

The calculations have been carried out using data from verified environmental product declarations (EPDs) and drawing documentation from four different companies. The spans included in the analysis range from approximately 6 - 26 meters, allowing for a comparison of the climate impact of roof trusses across both short and long spans.

The results show that the nail-plate connected wooden roof trusses have by far the lowest climate impact among the studied alternatives across all span lengths, even though more timber trusses are required to cover the same roof area. The study highlights the importance of conscious material choices in sustainable construction, as the choice of material can have an unexpectedly significant impact on a building's total climate footprint.

Keywords: Roof trusses, nail-plate connected wooden roof trusses, environmental impact, LCA, wood, glulam, concrete, steel, material selection, climate change.

SAMMANFATTNING	II
ABSTRACT	III
FÖRORD	VI
1 INTRODUCTION	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Derome	3
1.3 Frågeställning	3
1.4 Mål & syfte	4
1.5 Avgränsningar	4
2 TEORI	6
2.1 Livscykelanalys, LCA	6
2.2 LCA systemgränser	6
2.3 EPD	7
2.4 Materialbeskrivning	8
2.4.1 Trä	8
2.4.2 Stål	9
2.4.3 Betong	10
2.4.4 Limträ	10
3 METOD	12
3.1 Övergripande metodbeskrivning	12
3.2 Datainsamling från företag	12
3.2.1 Spikplåtsförbundna trätakstolar	13
3.2.2 Stål	14
3.2.3 Betong	16
3.2.4 Limträ	17
3.3 Beräkningsmetod för klimatpåverkan	18
3.3.1 Spikplåtsförbundna trätakstolar	18
3.3.2 Ståltakstolar	19
3.3.3 Betongtakstolar	19
3.3.4 Limträtakstolar	20
4 RESULTAT OCH DISKUSSION	21
4.1 Beräkningar	21
4.1.1 Spikplåtsförbundna trätakstolar	21
4.1.2 Ståltakstolar	22
4.1.3 Betongtakstolar	22
4.1.4 Limträtakstolar	23
4.2 Spikplåtsförbundna trätakstolar	24
4.3 Ståltakstolar	25

4.4	Betongtakstolar	26
4.5	Limträtakstolar	27
4.6	Sammanställning	28
4.7	Materialaspekter	29
4.7.1	Biobaserade material	29
4.7.2	Stål	30
4.7.3	Betong	31
5	SLUTSATS	32
5.1	Förslag på vidare studier	32
6	REFERENSER	33

Förord

Detta examensarbete har genomförts vid programmet samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola i samarbete med Derome. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och har genomförts under våren 2025.

Vi vill först och främst tacka vår handledare hos Derome, Johan Björklund, för möjligheten att genomföra detta arbete samt för ditt engagemang och lärariska kunskaper under arbetets gång. Vi vill även tacka de företag som ställt upp med konstruktionsritningar som möjliggjort genomförandet av detta arbete.

Avslutningsvis vill vi tacka vår handledare Yutaka Goto för allt stöd, engagemang och vägledning vi fått. Dina insikter har varit mycket betydelsefulla för detta arbete.

Göteborg, juni 2025

Zeina Alasadi

Selma Bergström Denizoglu

Beteckningar

Latinska versaler

LCA	Livscykelanalys
GWP	Global Warming Potential (kg CO ₂ e)
EPD	Environmental Product Declaration
CO ₂ e	Koldioxidekvivalent
A1-A3	Produktionsskede i LCA

Latinska gemener

m	Massa (kg)
V	Volym (m ³)
ρ	Densitet (kg/m ³)
c/c	Centrumavstånd (m)

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

På senare tid har klimatpåverkan från byggbranschen blivit en allt viktigare fråga. Enligt Boverket (2025) står byggbranschen för en betydande andel av de globala antropogena koldioxidutsläppen, hela 22 %. Tillverkningen av stål och betong är energikrävande och resulterar i höga utsläpp av växthusgaser medan trä är ett förnybart material som dessutom lagrar koldioxid under sin livstid.

Stål tillverkas främst genom masugnsprocesser, som står för cirka 70,7% av stålets globala produktion (DiGiovanni et al., 2024). Processen är starkt beroende av fossila bränslen och hela stålproduktionen leder till cirka 7 % av de globala CO₂-utsläppen. Betong står däremot för en ännu större andel på cirka 8 % av de globala CO₂-utsläppen år 2022 (Purton, 2024), där 40% uppstår under cementens ugnprocess och 50 % uppstår vid kalkstensbränningen (Raveendran & Krishnan, 2025). Trots sin klimatpåverkan är betong ett av de mest använda byggmaterialen, det beror främst på materialets styrka och långa livslängd.

Detta har lett till en ökad debatt kring huruvida det miljömässiga och hållbara valet bör vara träbaserade konstruktioner istället för stål- och betonglösningar. Trä jämfört med stål och betong har en lägre inbäddad energi under sin livscykel. Vid en studie som jämförde stål- och träkonstruktioner visade det sig att träkonstruktioner släpper ut cirka 13 % mindre koldioxid än de konstruktioner som var gjorda i stål (Bian et al, 2025). Om koldioxiden som trädet absorberar under sin livstid hade inkluderats i beräkningen så hade detta värde ökat, från 13 % till 20 %. Ytterligare en studie visade att träkonstruktioner släppte ut ungefär 315 kg CO₂ per 10 m², till skillnad från stålkonstruktioner som släppte ut 582 kg CO₂ per 10 m². Detta innebär en minskning på 267 kg CO₂ per 10 m² och motsvarar en reduktion på cirka 46 %, vilket ytterligare bekräftar att träkonstruktioner har ett lägre klimatavtryck än stålkonstruktioner (Möller & Ahremark, 2024).

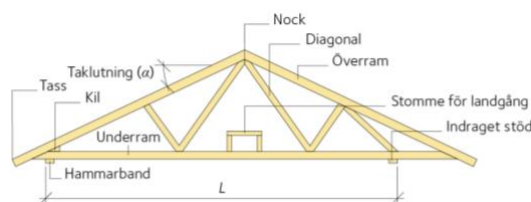
Då byggbranschen står inför stora hållbarhetsutmaningar är det viktigt att välja hållbara material för att minska klimatpåverkan i byggskedet. I Sverige har flerbostadshus i trä som stommaterial utvecklats starkt på senaste perioden. Enligt Trä- och Möbelföretagen (2024) består ungefär 15 % av alla nyproducerade

lägenheter av trästommar. Denna utveckling beror på att tidigare regleringar som begränsade träanvändningen i högre byggnader har förändrats. Sådana regleringar har tidigare avskaffats i både Finland och Norge, vilket ökade marknadsandelen för träbyggnationer. I Finland ökade marknadsandelen från 1 % till 10 % på cirka 14 år efter avregleringen (Maniak-Huesser et al, 2021).

Det som de nordiska länderna främst har gemensamt, när det kommer till att bygga hållbart i trä, är att de större utmaningarna handlar om just brandregler och försäkringspolicer (Maniak-Huesser et al, 2021). Samtidigt pågår en kontinuerlig utveckling, bland annat inom brandskydd, som gör det enklare att bygga säkrare träbyggnader.

Att bygga med trä har under de senaste decennierna ökat tack vare den snabba utvecklingen av EU:s byggnormer. Det har även visats att trä till skillnad från andra material som stål och betong inte har någon negativ klimatpåverkan och kräver dessutom minimalt underhåll. Enligt SCA i Svenskt trä (2021) har produktionen av massivt trä betydligt lägre koldioxidutsläpp än betong och stål. En av faktorerna till detta är då materialet trä har fördelarna att både kunna återvinnas samt brännas för att utvinna energi (Svenskt trä, 2021).

Trots att det finns många livscykelanalyser (LCA) av byggnadsmaterial, är specifika studier om takstolars klimatpåverkan, särskilt spikplåtsförbundna trätakstolar, mycket begränsade. I byggnadsprojektering är valet av takkonstruktioner avgörande för byggnadens hållfasthet då de används för att bära upp takets belastning samt fördela den till bärande väggar och pelare. Platsgjutna bjälklag och balksystem är exempel på bärande takkonstruktioner. Takstolar är dock de vanligaste alternativen, särskilt för småhus och byggnader med större spännvidder. Figur 1 visar den vanligaste typen av takstolar, nämligen fackverkstakstol.



Figur 1. En ritning av en fackverkstakstol med beteckningar på ingående delar och mått. Källa: Träguiden (2021).

Oftast väljer arkitekter och konstruktörer stål, betong och limträ framför spikplåtsförbundna trätakstolar. En orsak till detta kan vara att stål och betong är välkända material som använts länge inom byggbranschen, vilket gör användningen av materialen trygg i projekteringsfasen. Utöver detta kan en möjlig anledning till att spikplåtsförbundna trätakstolar sällan väljs vara brist på kunskap om materialets egenskaper samt dess miljöpåverkan. Av den anledningen är det viktigt att ta reda på om materialvalet styrs av konstruktionsmässiga begränsningar eller brist på kunskap och tradition, särskilt med tanke på byggbranschens klimatpåverkan. Detta väcker frågan om spikplåtsförbundna trätakstolar kan vara ett bra, eller till och med bättre, alternativ.

1.2 Derome

Derome är ett träföretag som grundades år 1946 av Karl Andersson och är idag Sveriges största familjeägda företag inom träindustrin, med cirka 2500 anställda. Företaget arbetar från skog till färdiga hus och har ett starkt fokus på hållbarhet och långsiktighet. Ett av de senaste exemplen är kvarteret Omställningen, där CO₂-utsläppen reducerades med över 50 % (Derome.se).

I det här projektet har Derome hjälp till med att dimensionera spikplåtsförbundna takstolar med en utformning som motsvarar de andra materialen, alltså stål, betong och limträ. Syftet har varit att möjliggöra en så pass jämförbar analys av klimatpåverkan som möjligt.

1.3 Frågeställning

För att minska byggbranschens klimatpåverkan krävs noggrant övervägda materialval i hela byggnaden. Takstolar är en viktig bärande komponent av yttertaket och trots att takstolar ofta utgör en relativt liten del av den totala byggnadens massa, kan det totala koldioxidavtrycket påverkas markant beroende på valet av material. Genom att jämföra spikplåtsförbundna trätakstolar med andra material, som stål, betong och limträ, som är vanligt förekommande material inom byggbranschen, kan en tydligare bild av hur valet av material i olika spannvidder påverkar miljön. Frågorna som rapporten kommer att svara på är:

1. Hur skiljer sig CO₂-utsläppen för spikplåtsförbundna trätakstolar i jämförelse med stål, betong och limträbalkar?
2. Inom vilka spannvidder är de olika takstolarna att föredra miljömässigt?

1.4 Mål & syfte

Syftet med studien var att bidra med ny kunskap om klimatpåverkan i produktionsskedet (A1-A3) för takstolar tillverkade i olika material. Målet var att undersöka huruvida spikplåtsförbundna trätakstolar utgör ett bra och hållbart alternativ jämfört med takstolar i betong, stål och limträ. Studien fokuserade särskilt på att jämföra koldioxidutsläpp, CO₂ från materialens produktion, då koldioxid är en av de största faktorerna till klimatförändringarna.

Studien var kvantitativ och baserades på beräkningar av klimatpåverkan för takstolar med spännvidder från 6 - 26 meter. Studien visade tydlig i vilka sammanhang spikplåtsförbundna trätakstolar är att föredra ur ett miljöperspektiv. Detta baserat på data från miljövarudeklarationer (EPD:er). Genom analys av olika spännvidder samt materialegenskaper har studien också visat i vilka spännvidder det är lämpligast att använda spikplåtsförbundna trätakstolar samt i vilka spännvidder det rekommenderas att använda annat material. Arbetet utfördes med hjälp av handledning från Derome.

1.5 Avgränsningar

Studien var avgränsad till att enbart omfatta takstolar i fyra olika material, nämligen massivt trä (spikplåtsförbundna trätakstolar), stål, betong och limträ. Andra möjliga material ingår inte i studien.

Fokus var på att jämföra klimatpåverkan i form av CO₂-utsläpp, den största bidragande faktorn för klimatförändringar. Andra miljöaspekter hos dessa material analyserades inte.

När det gäller de träbaserade takstolarna togs ingen hänsyn till den biogena kolinlagringen, det vill säga koldioxiden som träet binder under sin livstid.

Livscykelanalyserna begränsades till produktskedet A1-A3 enligt standard för LCA. Detta omfattar råmaterialutvinning, transport till tillverkning samt själva tillverkningen. Påverkan från byggske, användningsskede och slutskede omfattades inte av studien.

Inga experiment utfördes, enbart tillgängliga data från EPD:er (miljövarudeklarationer) och tillgänglig litteratur användes i beräkningarna.

Några faktorer som påverkar materialvalet, såsom kostnad och brandmotstånd, har inte analyserats specifikt för de analyserade takstolarna då det ligger utanför syftet för denna studie.

Studien utgick från svenska byggnormer och materialtillgångar, vilket innebär att resultaten är anpassade för svenska förhållanden.

2 Teori

2.1 Livscykelanalys, LCA

LCA står för livscykelanalys och används för att få fram miljöpåverkan under en produkts hela livscykel. Det omfattar miljöpåverkan på hela produkten, allt från själva utvinningen av naturresurser, via tillverkning och användningsfas, till avfallshantering. Figur 2 visar en produkts livscykel, från materialutvinningen till återvinning. Tack vare livscykelanalyser går det att identifiera vad under en produktion som står för störst miljöpåverkan, vilket i sin tur bidrar till mer hållbara och miljömässiga beslut (Boverket, 2024a).



Figur 2. En illustration av ett materials livscykelanalys, från materialets utvinning till materialets återvinning. Källa: The National Institute of Standards and Technology (NIST), via Wikimedia Commons. (2011)

I standarden SS-EN 15804:2012+A2:2019 finns riktlinjer för LCA av byggprodukter som i sin tur ligger som underlag för miljövarudeklarationer (EPD) av byggprodukter. Att använda livscykelanalyser redan i projekteringsfasen, alltså tidigt i projektet, ökar chansen att planera miljömässiga och hållbara lösningar. Detta genom att man i tidigt skede kan identifiera vilka delar av byggnaden eller vilka materialval som står för den största klimatpåverkan (Boverket, 2024).

2.2 LCA systemgränser

Systemgränser inom LCA redogör vilka processer som ska ingå i analysen. Det är denna avgränsning som avgör hur beräkningarna ska genomföras och vad resultatet kommer att omfatta. Livscykelanalys delas vanligtvis in i tre olika skeden, dessa är byggskede, användningsskede och slutskede. Byggskedet omfattar råvaruförsörjning,

transport samt tillverkningen av materialen till byggnadens plats. Bygg och installationsprocessen tas även med. Vidare i användningsskedet, när byggnaden används, räknas allt från underhåll och reparation till ombyggnad och drift, av både energi- och vattenanvändning, med. Till slut kommer slutskedet, då byggnaden nått sin livslängd som omfattas av rivning, transport, restproduktsbehandling och bortskaffning (Boverket, 2024b).

I denna studie omfattar LCA utsläpp från produktsskedet (A1-A3). Det omfattar råmaterialutvinning, transport till tillverkning samt själva tillverkningen. Valet att begränsa analysen till modulerna (A1–A3) grundar sig i att det finns tillgängliga och jämförbara data från verifierade miljövarudeklarationer för just dessa skeden. Dessutom utgör produktskede ofta en stor del av en byggprodukts totala klimatpåverkan, särskilt när det gäller val av material (Boverket, 2020).

Genom att avgränsa livscykelanalyserna till produktskede möjliggörs en rättvis och jämförbar analys av klimatpåverkan mellan de fyra olika materialtyper som studien omfattar. Eftersom samma systemgränser tillämpas på samtliga material säkerställer avgränsningen att resultaten och jämförelsen blir rättvis.

2.3 EPD

En EPD (miljövarudeklaration) är det som redogör för en byggprodukts miljöpåverkan utifrån hela dess livscykel och baseras på en livscykelanalys, LCA. Den används oftast som underlag vid val av material då den visar mängdens utsläpp samt resursanvändning en produkt orsakar. Miljövarudeklaration redovisar information om produkten, metodval samt resultatet av miljöpåverkan med en giltighetstid på 3-5 år (Boverket, 2024c).

Enligt Environdec (u.å.) följer miljövarudeklarationer inom byggbranschen vanligtvis standarden EN 15804. EPD redovisar andra miljöpåverkanskategorier såsom försurning, övergödning, resursanvändning och avfallsbildning. Detta för att en bredare och omfattande bild av den totala miljöpåverkan hos en produkt.

I EPD:er finns parametern GWP (global warming potential) med som är ett mått som används i jämförelse av hur starkt olika växthusgaser bidrar till den globala uppvärmningen i förhållande till koldioxid. GWP - faktorn beskriver den relativa

klimatpåverkan från en växthusgas till skillnad från koldioxid under en vis given tidsperiod (Naturvårdsverket, 2024).

2.4 Materialbeskrivning

2.4.1 Trä

Ett av det enstaka förnybara byggmaterial som används i stor omfattning i dagens byggbransch och som även har längst tradition i Sverige är trä. Under senaste perioden har användningen av träkonstruktioner ökat, särskilt konstruktioner i limträ dels tack vare nya limningsmetoder (Burström, 2018). Enligt Svenskt trä (2013) har studier visat att vid ersättning av material som betong eller stål med trä så minskar koldioxidutsläppen med ungefär 1,6 ton CO₂ per kubikmeter. Användningen av trä i bärande konstruktioner bidrar till att minska klimatpåverkan, till skillnad från betong och stål som har betydligt högre klimatpåverkan (Svenskt trä, 2013).

Eftersom skogen tar upp koldioxid genom fotosyntes bidrar materialet med att minska klimatpåverkan. Materialet trä har fördelarna att återanvändas, återvinnas samt användas för energiutvinning. När produkten förbränns frigörs det lagrade kolet. Eftersom materialet produceras av naturen så sker också variationer i egenskaper, trots samma träslag. Vid felhantering av materialet kan skador uppstå, dels av fukt men också kemiska angrepp samt angrepp av svamp och bakterier (Burström & Nilvér, 2018).

Enligt Svenskt trä (2016) tillverkas idag nästan 600 000 - 700 000 bärande trätakstolar årligen av Sveriges 70 takstolstillverkare. Dessa har flera användningsområden som till exempel för flervåningshus, skolor, industribyggnader och hallbyggnader. Egenskaperna hos trä varierar beroende på träslag samt träs förutsättningar under tillväxten. Faktorer som densitet, hårdhet, styvhet och fuktförmåga påverkar användbarheten av trä.

Till skillnad från andra porösa byggnadsmaterial har trä ett mycket högt fukttinnehåll. Trots att fukthalten har en stor påverkan på materialets mekaniska egenskaper, eftersom mer fukt orsakar svagare trä, har trä en hög hållfasthet till skillnad från andra byggnadsmaterial. Trä har även en väldigt bra isoleringsförmåga mot värme och därav även en hög värmekapacitet. Utöver detta varierar även hållfastheten för trä beroende på flera faktorer, bland annat träslag, belastningsriktning, densitet och fuktkvot. Till

följd av den höga porositeten har trä goda värmeisolerande egenskaper (Svenskt trä, 2016).

Enligt Derome (u.å.) väger trä dessutom betydligt mindre till skillnad från både betong och stål. En betongbalk väger 600 % mer och en stål原因 70 % mer än vad en träbalk väger. Dessutom kräver trä mindre energi vid både framställningen och transport.

2.4.2 Stål

Stål är ett av världens mest använda och återvunna material som använts i tusentals år. År 2010 producerades ungefär 1500 miljoner ton stål för olika konstruktioner och byggnationer runt om i världen. Till skillnad från vissa andra material kan stål återvinnas flera gånger utan att förlora sina egenskaper och kan till slut användas som råmaterial för nytt stål. Konsumtionstillväxten är så stor att under år 2050 kommer återvinningen av stålskrot enbart räcka till ungefär 50 % av världens totala stålproduktion (Jernkontoret, 2013).

Enligt Burström (2018) består stål av järn som huvudständsdelen och kol som legeringsämne. Ungefär 4,5 % av jordskorpan består av järn. Delar av detta är rent järn medan huvuddelen är bundet i olika kemiska föreningar, främst svart malm och blodstensmalm som både innehåller fosfor. Det är de föroreningar som innehåller fosfor som försämrar stålets egenskaper och kan skapa problem.

Burström (2018) hänvisar att vid tillverkningen av stål bryts malmer som ofta innehåller mer än 40 % gråberg. På grund av detta anrikas malmen vid gruvan genom att malmen krossas och det icke järnhaltiga materialet sorteras bort. Den finkorniga sanden som bildas kallas för slig. Det sintrade materialet, pellet, bildas när sligen bearbetas och sintrar till kulor. Därefter reagerar pelleten med förvärmad luft i masugnen. Järnet smälter där luft blåser och bildar råjärn. Idag står råjärn från masugnar för ca 55 % av den svenska stålindustrins behov. Stålindustrin står för ungefär 7 % av utsläppen av all koldioxid runt om i världen.

Vidare förklarar Burström (2018) att konstruktionsstål bildas av en legering av järn, kol, mangan och kisel. Kolhalten i konstruktionsstål varierar mellan 0,8-1,8 %. För att stål ska vara fullt hårdbart krävs minst 0,5-0,6 % kolhalt. Stål kan hårdas genom att avkylas genom neddoppning i vatten eller olja vilket gör stålet både hårt och sprött.

En stor del av kolet som omfattar konstruktionsstål är bundet i cementit som både är hårt och sprött. Dessutom innehåller det även 6,7 % kol. För vissa bärande konstruktioner och tak- och fasadbeklädnad används olika typer av rostfria stål. Det är den typen som har god beständighet mot korrosion.

2.4.3 Betong

Betong är ett av de viktigaste materialen inom byggbranschen, främst tack vare sin höga hållbarhet och sin förmåga att tåla stora påfrestningar. Enligt Hantverkslaboratoriet (2022) produceras ungefär 20 miljarder ton betong över världen varje år. Cement som betong bland annat består av står för ungefär 8 % av jordens utsläpp.

Burström (2018) förklarar att betong huvudsakligen består av cement, vatten och ballast (grus, sten och sand). När cement och vatten blandas bildas ett så kallat cementlim som binder ihop ballastkornen. För att påverka betongens egenskaper används även tillsatsmedel och tillsatsmaterial som kan justera både en färsk och en hårdnad betongs egenskaper, såsom styrka, arbetbarhet och hållbarhet. Tillsatsmaterialen kan även hjälpa till att minska betongens klimatbelastning då cementhalten kan minskas, vilket är den största klimatboven i betong.

På grund av att processen till cementtillverkningen är energikrävande, står den enligt Burström (2018) för 90 % av betongens klimatpåverkan. Av den anledningen har det sedan flera år tillbaka pågått utvecklade arbeten för att dämpa klimatpåverkan. Det handlar om att utveckla olika typer av cement med mindre portlandcement och även utveckla betong med lägre cementhalt. Detta har medfört till att dagens betong har ungefär 20-30 % lägre klimatpåverkan än konventionell betong.

Materialet har den unika förmågan att kunna formas och ändras på plats, då materialet oftast levereras färdigblandat till byggarbetsplatsen (Burström & Nilvér, 2018). Av den anledningen kan det vara en utmaning att ersätta betong med ett annat byggnadsmaterial som har samma funktioner.

2.4.4 Limträ

Limträ består av trä som limmats ihop i flera lager. Denna process ökar styrkan och styvheten eftersom risken för olika svagheter på samma ställe minskas avsevärt (Burström, 2018). Vid tillverkningen av limträ används vanligtvis fingerskalvade

lameller av hållfasthetssorterat gran. Limträ har flera användningsområden tack vare balkarnas tvärsnitt som kan utformas för olika sammanhang och klarar även av långa spännvidder. Ytterst i tvärsnittet kan lameller med olika hållfasthet, så kallad kombinerat limträ, placeras. Detta medför till att balken klarar av större laster utan större påverkan (Träguiden, 2021).

Limträ har en ganska låg miljöpåverkan då materialet kan återanvändas, återvinnas eller även användas för energiåtervinning. På grund av att materialet binder över 700 kg koldioxid bidrar den till en mer hållbar miljö. En av de viktigaste egenskaperna hos materialet är hållfasthet, styvhet och beständighet. Under tillverkningen av limträ används lim som kännetecknas av att ha både hög hållfasthet och beständighet. De två olika typerna, Limtyp I och Limtyp II, sorteras beroende på klimatet. Limträ med typ I kan i princip användas i olika typer av klimat medan typ 2 har en begränsad användning för konstruktioner som skyddas från väder och vind. Under tiden sker det även forskning om utvecklade lim alternativ som är miljövänligare. Till skillnad från andra byggmaterial är limträ ett av de starkaste alternativen med hög hållfasthet men hänsyn till egenvikten. Limträ har även goda värmeisolerande egenskaper och påverkas knappt av temperaturförändringar (Svenskt Trä, 2016).

3 Metod

3.1 Övergripande metodbeskrivning

I denna studie har klimatpåverkan beräknats för fyra olika typer av takstolar i trä, limträ, stål och betong. Beräkningarna baserades på materialvolym, densitet och EPD:er (miljövarudeklarationer). Takstolarnas utformning har tillhandahållits av respektive företag. Inga egna konstruktionsritningar och hållfasthetsberäkningar har gjorts.

Jämförelsen mellan takstolarna utgår från att de uppfyller samma bärande funktion i en byggnad med definierade spännvidder från 6 - 26 meter. På grund av att betong-, stål- och limträtakstolarna är utformade med ett centrumavstånd på 6 meter och de spikplåtsförbundna trätakstolarna är utformade med ett centrumavstånd på 0,6 – 1,2 meter, har antalet spikplåtsförbundna takstolar justerats för att täcka motsvarande takyta. Detta för att få en rättvis jämförelse.

När det gäller taklutningen förekommer det mindre avvikelser mellan de olika takstolarna. Exempelvis har vissa spikplåtsförbundna takstolar en brantare lutning, dels för att uppnå önskad lastbärande förmåga samt stabilitet. Däremot har dessa inte någon avgörande påverkan på resultatet i studien.

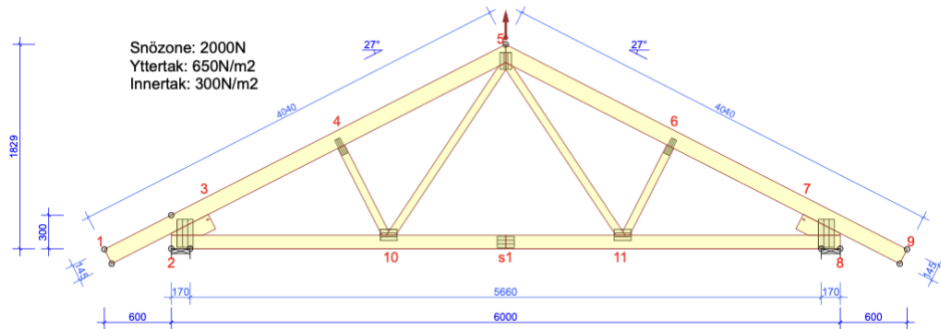
Med hjälp av ritningar och tillhörande materialinformation har volymen beräknats för de olika takstolarna. Med hjälp av formeln $m = V \times \rho$, multiplicerat takstolens volym (V) med materialets densitet (ρ) för att få fram massan (m), för respektive takstol. Slutligen har klimatpåverkan beräknats, uttryckt i kg CO₂e, med hjälp av parametern GWP (Global Warming Potential), baserat på de EPD:er som tillhandahållits av respektive företag. Eftersom limträtakstolens EPD saknade information om stålet den innehöll, har stålets GWP uppskattats med hjälp av Boverkets klimatdatabas.

3.2 Datainsamling från företag

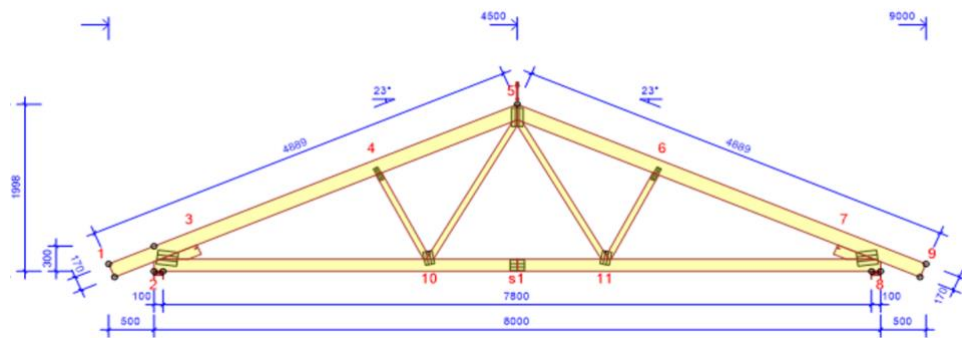
För att kunna genomföra arbetet har data insamlats från flera olika företag där allt från ritningar och materialunderlag tillhandahållits. Dessa underlag har senare använts för att genomföra beräkningar för respektive takstolstyp i de olika materialen.

3.2.1 Spikplåtsförbundna trätakstolar

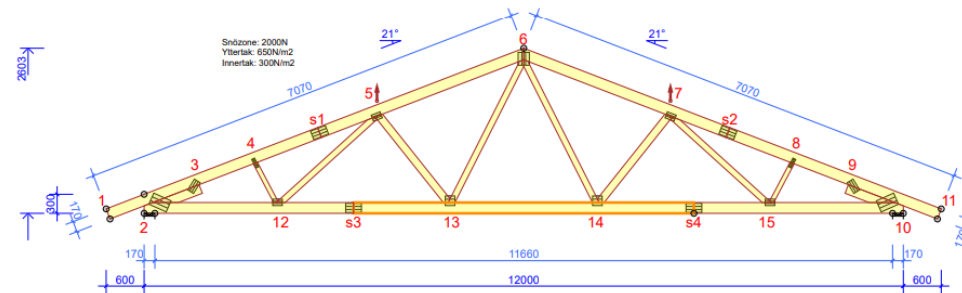
För analyseringen av de spikplåtsförbundna trätakstolarna har data och underlag samlats in från Derome. De fyra olika takstolarna som visas nedan i figur 3-6 har spännvidderna 6, 8, 12 och 20 m. För varje ritning visas konstruktionens uppbyggnad och mått för beräkningen av takstolens volym.



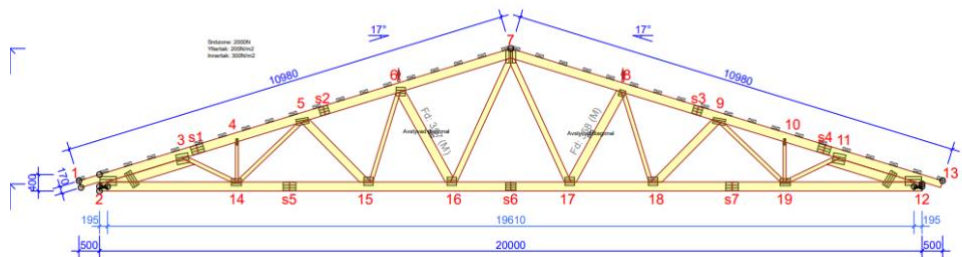
Figur 3. Ritning av spikplåtsförbunden trätakstol med 6 meters spännvidd. Källa: Derome (2025).



Figur 4. Ritning av spikplåtsförbunden trätakstol med 8 meters spännvidd. Källa: Derome (2025).



Figur 5. Ritning av spikplåtsförbunden trätakstol med 12 meters spännvidd. Källa: Derome (2025).



Figur 6. Ritning av spikplåtsförbunden trätakstol med 20 meters spännvidd. Källa: Derome (2025).

Vid beräkningen av klimatpåverkan användes underlag samt miljövarudeklarationen från Derome. Miljövarudeklarationen, som syns i figur 7 och visar det GWP-värde som användes i beräkningarna, omfattar prefabricerade spikplåtsförbundna konstruktioner i trä.

EPD, NEPD-4342-3573-EN	
Deklarerad enhet:	1 kg konstruktionselement av trä
Klimatdeklaration, vagga grind (A1-3, EN 15804 A2):	[kg CO ₂ e/kg]
Klimatpåverkan, GWP-GHG	2.13E-01

Figur 7. Utdrag från Deromes miljövarudeklaration (EPD), för prefabricerade spikplåtsförbundna träkonstruktioner, som visar det GWP värde som används i beräkningarna. Källa: Svenska Takstolsföreningen (STAK) (2023).

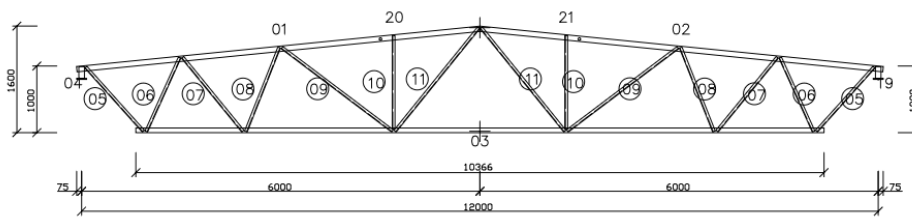
Takstolarnas volym hämtades från Deromes konstruktionsritningar. Densiteten som användes var 467 kg/m³. Genom att multiplicera densiteten med volymen kunde träets vikt beräknas i kilogram.

Enligt miljövarudeklarationen är värdet på klimatpåverkan 0,213 kg CO₂e per kg träkonstruktion. För att få klimatpåverkan på de prefabricerade spikplåtsförbundna trätakstolarna multiplicerades den totala vikten med GWP-värdet. Dessa beräkningar genomfördes för varje takstol med varsin spännvidd.

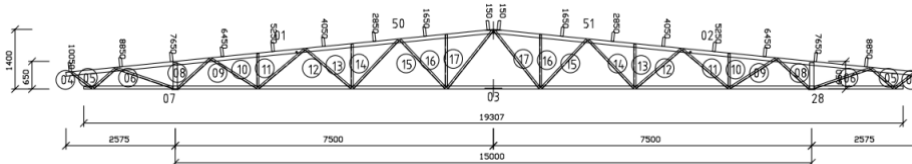
3.2.2 Stål

I figur 8 och 9 visas ritningarna på de två ståltakstolarna i spännvidderna 12 och 20,15 meter. Ritningarna innehåller mått samt information om utformningen vilket möjliggjorde uträkningen av stålets volym och massa. Därefter användes en tredjepartsgranskad miljövarudeklaration, som syns i tabell 1 och visar det GWP-värde som användes i beräkningarna, från Ranaverken (Ranaverken AB, 2023) enligt rekommendation från stålföretaget.

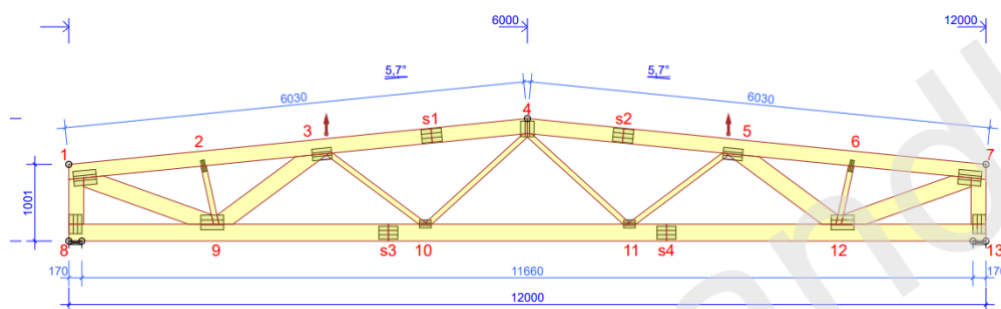
De två övriga alternativa takstolarna som syns i figur 10 och 11 skapades av Derome för att möjliggöra en rättvis jämförelse, båda i likadana spännvidder på 12 och 20,15 meter. Dessa analyserades med avseende på klimatpåverkan och jämfördes sedan med de ursprungliga ståltakstolarna.



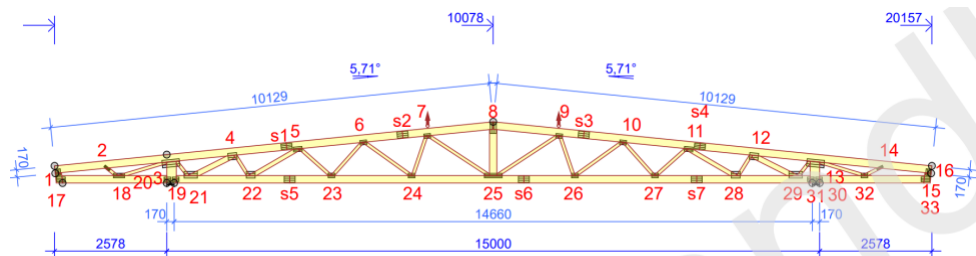
Figur 8. Ritning av takstol med 12 meters spännvidd med stålkonstruktion. Källa: SWL (2025).



Figur 9. Ritning av takstol med 20,15 meters spännvidd med stålkonstruktion. Källa: SWL (2025).



Figur 10. Ritning av alternativ takstol med 12 meters spännvidd som jämförelseunderlag med stålkonstruktion. Källa: Derome (2025).



Figur 11. Ritning av alternativ takstol med 20,15 meters spännvidd som jämförelseunderlag för stålkonstruktion. Källa: Derome (2025).

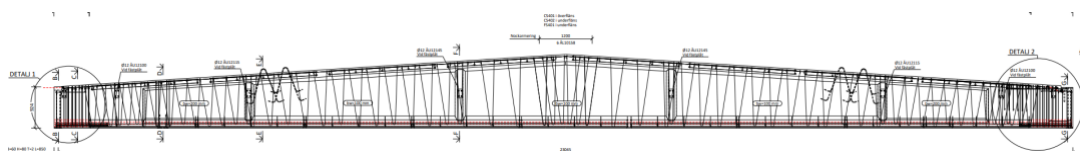
Tabell 1. Utdrag ur EPD för stål. Källa: Ranaverken AB (2023).

Impact category	Unit	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
GWP – total ^[1]	kg CO ₂ e	1,21E0	3,38E-2	9,18E-2	1,34E0	2,19E-2	2,36E-2	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	3,3E-3	4,57E-3	2,22E-2	2,65E-4	-4,17E-1
GWP – fossil	kg CO ₂ e	1,2E0	3,38E-2	3,11E-2	1,27E0	2,21E-2	2,28E-2	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	3,3E-3	4,57E-3	2,36E-2	2,64E-4	-4,18E-1
GWP – biogenic	kg CO ₂ e	1,03E-3	2,45E-5	6,07E-2	6,17E-2	1,6E-5	7,12E-4	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	0E0	0E0	0E0	0E0	1,37E-3
GWP – LULUC	kg CO ₂ e	6,73E-3	1,02E-5	4,91E-5	6,79E-3	6,65E-6	1,34E-5	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	2,79E-7	1,37E-6	2,67E-5	7,85E-8	-8,18E-5
Ozone depletion pot.	kg CFC ₁₁ e	9,35E-8	7,94E-9	3,46E-9	1,05E-7	5,19E-9	2,11E-9	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	7,12E-10	1,07E-9	3,38E-9	1,09E-10	-1,35E-8
Acidification potential	mol H ⁺ e	6,43E-3	1,42E-4	2,47E-4	6,82E-3	9,28E-5	1,3E-4	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	3,45E-5	1,92E-5	2,86E-4	2,51E-6	-2,06E-3
EP-freshwater ^[2]	kg Pe	7,27E-5	2,75E-7	2,45E-6	7,54E-5	1,8E-7	1,24E-6	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	1,33E-8	3,72E-8	1,63E-6	3,19E-9	-2,51E-5
EP-marine	kg Ne	1,19E-3	4,27E-5	8,21E-5	1,32E-3	2,8E-5	3,43E-5	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	1,52E-5	5,78E-6	6,3E-5	8,64E-7	-3,99E-4
EP-terrestrial	mol Ne	1,45E-2	4,72E-4	9,01E-4	1,59E-2	3,09E-4	3,72E-4	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	1,67E-4	6,38E-5	7,31E-4	9,52E-6	-4,54E-3
POCP ("smog") ^[3]	kg NMVOCe	5,51E-3	1,52E-4	2,7E-4	5,94E-3	9,93E-5	1,26E-4	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	4,59E-5	2,05E-5	2E-4	2,76E-6	-2,16E-3
ADP-minerals & metals ^[4]	kg Sbe	3,92E-5	5,77E-7	7,83E-7	4,06E-5	3,77E-7	4,58E-7	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	5,03E-9	7,79E-8	1,3E-6	2,42E-9	-7,54E-6
ADP-fossil resources	MJ	1,45E1	5,25E-1	4,06E-1	1,55E1	3,43E-1	2,8E-1	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	4,54E-2	7,1E-2	3,26E-1	7,39E-3	-3,43E0
Water use ^[5]	m ³ e depr.	7,89E-1	1,95E-3	8,26E-3	7,99E-1	1,28E-3	7,87E-3	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	8,46E-5	2,64E-4	4,63E-3	3,42E-4	-1,96E-1

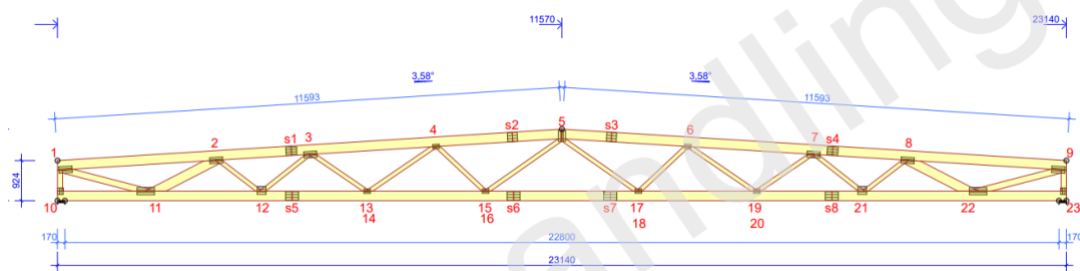
3.2.3 Betong

I figur 12 visas ritningen på betongtakstolen med spännvidden 23,14 meter. Ritningen innehöll mått samt information om utformningen vilket möjliggjorde uträkningen av betongens mängd. Därefter användes företagets egen miljövarudeklaration, som syns i tabell 2 och visar det GWP-värde som användes i beräkningarna, för att räkna ut klimatpåverkan.

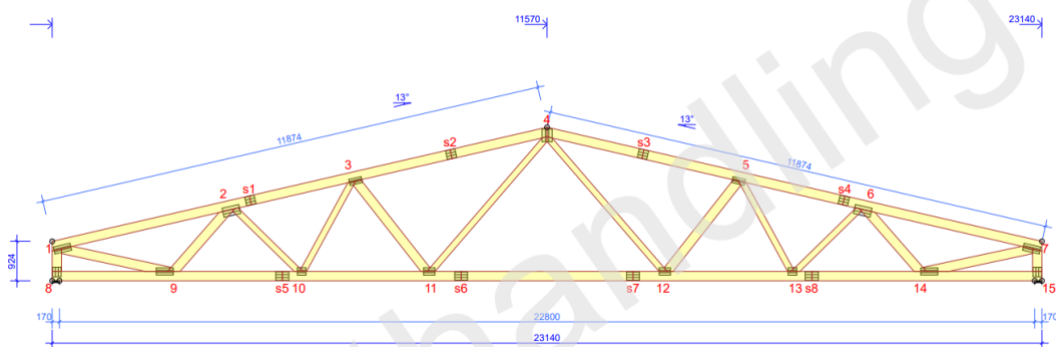
De två övriga alternativa takstolarna som syns i figur 13 och 14 skapades av Derome för att möjliggöra en rättvis jämförelse, båda i likadana spännvidder på 23,14 meter. Dessa analyserades med avseende på klimatpåverkan och jämfördes sedan med den ursprungliga betongtakstolen.



Figur 12. Ritning av takstol med 23,14 meters spännvidd med betongkonstruktion. Källa: Strängbetong (2025).



Figur 13. "T01" Ritning av alternativ takstol med 23,14 meters spännvidd som jämförelseunderlag med betongkonstruktion. Källa: Derome (2025).



Figur 14. "T02" Ritning av alternativ takstol med 23,14 meters spännvidd som jämförelseunderlag med betongkonstruktion. Källa: Derome (2025).

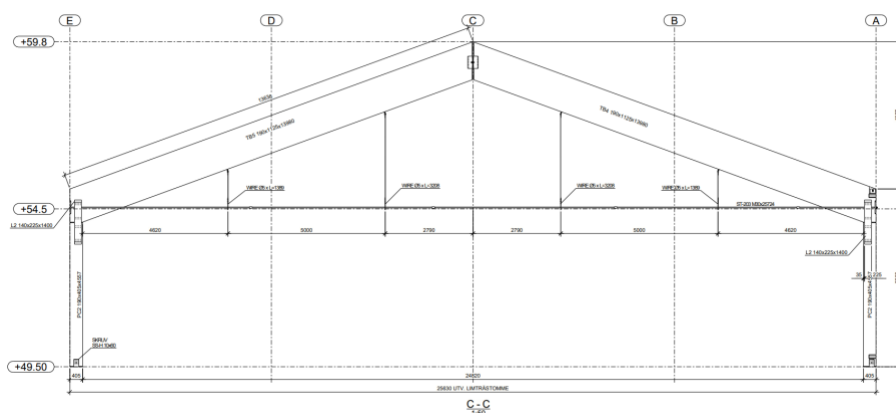
Tabell 2. Utdrag ur EPD för betong. Källa: Strängbetong AB (2020).

Miljöpåverkan											
	enhet	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	A1-A3
GWP	kg CO ₂ -e	1.75E+02	3.28E+00	4.92E+00	1.66E+01	5.29E-01	3.79E+00	1.94E+00	6.32E-01	0	1.83E+02
ODP	kg CFC11-e	2.10E-03	3.00E-07	2.12E-06	1.28E-06	1.47E-07	7.13E-07	1.50E-07	1.19E-07	0	2.10E-03
POCP	kg C ₂ H ₄ -e	2.10E-03	1.10E-03	1.64E-03	9.38E-04	9.96E-05	7.00E-04	1.08E-04	1.17E-04	0	2.69E-02
AP	kg SO ₂ -e	2.27E-01	4.27E-02	0.0342092	0.06792	0.0048608	0.037368	7.80E-03	6.23E-03	0	3.04E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ -e	2.49E-02	4.60E-03	0.0073442	0.012103	0.00079755	0.0064763	1.39E-03	1.08E-03	0	3.69E-02
ADPM	kg Sb-e	6.93E-05	4.83E-08	6.78E-06	8.85E-08	3.5746E-08	1.145E-08	1.04E-08	1.91E-09	0	7.61E-05
ADPE	MJ	5.48E+02	3.27E+01	11.202585	264.7716	0.46324	0	3.10E+01	0	0	5.91E+02

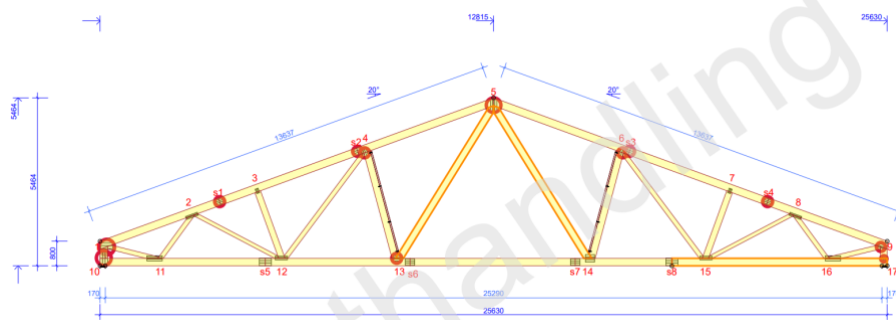
3.2.4 Limträ

Figur 15 visar ritningen på limträtakstolen med spännvidden 25,63 meter. Ritningen innehåller mått samt information om utformningen vilket möjliggjorde uträkningen av limträets volym. Därefter användes företagets egen miljövarudeklaration, som syns i tabell 3 och visar det GWP-värde som användes i beräkningarna, för att räkna ut klimatpåverkan på träet.

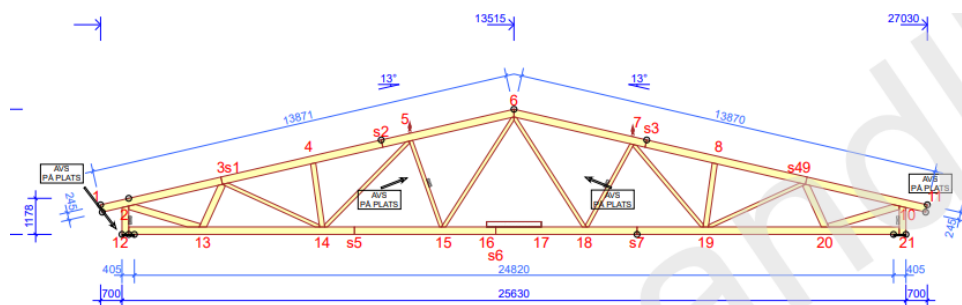
De två övriga alternativa takstolarna som syns i figur 16 och 17 skapades av Derome för att möjliggöra en rättvis jämförelse, båda i likadana spännvidder på 25,63 meter. Dessa analyserades med avseende på klimatpåverkan på samma sätt och jämfördes sedan med de ursprungliga limträtakstolarna.



Figur 15. Ritning av takstol med 25,63 meters med limträkonstruktion. Källa: Moelven (2025).



Figur 16. "T01" Ritning av alternativ takstol med 25,63 meters spännvidd som jämförelseunderlag med limträkonstruktion. Källa: Derome (2025).



Figur 17. "T04" Ritning av alternativ takstol med 25,63 meters spännvidd som jämförelseunderlag med limträkonstruktion. Källa: Derome (2025).

Tabell 3. Utdrag ur EPD för limträ. Källa: Moelven Töreboda AB (2022).

Core environmental impact, version A2 — mandatory indicators								
Parameter	Unit	A1-3	A4	A5	C1	C2	C3	D
GWP-total	kg CO ₂ e	-6.74E+02	2.68E+00	3.84E+00	1.16E-01	1.04E+00	7.51E+02	1.02E+02
GWP-fossil	kg CO ₂ e	5.24E+01	2.68E+00	2.82E+00	1.15E-01	1.03E+00	1.18E-01	-1.88E+02
GWP-biogenic	kg CO ₂ e	-7.44E+02	0.00E+00	3.26E-01	3.59E-04	3.20E-03	7.51E+02	2.90E+02
GWP-LULUC	kg CO ₂ e	3.65E-01	5.55E-08	1.94E-02	6.44E-04	5.75E-03	2.95E-04	0.00E+00
GWP-IOBC/GHG ¹⁾	kg CO ₂ e	5.27E+01	2.76E+00	2.84E+00	1.16E-01	1.04E+00	1.20E-01	-1.61E+02
ODP	kg CFC11 eq.	1.02E-06	6.16E-08	5.53E-08	2.60E-09	2.32E-08	2.82E-15	-1.02E-06
AP	mol H ⁺ eq.	6.02E-01	3.07E-02	3.24E-02	1.30E-03	1.16E-02	3.67E-04	-4.18E-01
EP-freshwater	kg P eq.	3.57E-03	1.41E-04	1.89E-04	5.96E-06	5.32E-05	2.54E-06	-5.34E-04
EP-marine	kg N eq.	2.78E-01	1.66E-02	1.51E-02	6.98E-04	6.23E-03	1.37E-04	-8.37E-03
EP-terrestrial	mol N eq.	2.51E+00	1.57E-01	1.37E-01	6.63E-03	5.92E-02	1.14E-03	7.20E-02
POCP	kg NMVOC eq.	5.16E-01	2.15E-02	2.74E-02	9.06E-04	8.09E-03	3.01E-04	5.99E-01
ADP-m&m 2)	kg NMVOC eq.	5.06E-05	1.47E-06	2.64E-06	6.21E-08	5.54E-07	9.81E-08	-1.24E+03
ADP-fossil 2)	kg NMVOC eq.	1.13E+03	4.16E+01	5.94E+01	1.75E+00	1.57E+01	1.16E+01	-6.09E-01
WDP	kg NMVOC eq.	6.65E+02	4.90E+01	3.68E+01	2.07E+00	1.84E+01	9.14E-02	-5.80E+00

3.3 Beräkningsmetod för klimatpåverkan

Materialvolymen har beräknats för varje takstol utifrån ritningar och tillhörande materialinformation från fyra olika företag. För att få fram den totala massan (m) av respektive takstol multipliceras volymen (V) med materialens densitet (ρ).

$$m = V \times \rho \quad (1)$$

Därefter har GWP-värden från EPD:er använts, se figur 7 samt tabell 1, 2 och 3, för att beräkna den totala klimatpåverkan.

$$GWP_{total} = m \times GWP \quad (2)$$

Eftersom stål, betong och limträ är monterade med ett centrumavstånd (c/c) på 6 meter, har resultatet för de spikplåtsförbundna takstolarna multiplicerats med de antal som behövs för att täcka samma yta som de andra materialen, för en rättvis jämförelse.

3.3.1 Spikplåtsförbundna trätakstolar

För beräkningar av klimatpåverkan för de spikplåtsförbundna trätakstolarna har GWP- total värdet för modul (A1-A3) använts, detta är givet till 0,213 kg CO₂e per kg

spikplåtsförbunden trä. Därefter har värdet multiplicerats med den totala vikten för vardera takstol. Trätakstolarna, se figur 3 - 6, har spännvidderna 6, 8, 12 och 20 meter och står på c/c 1,2 meter, resultatet multiplicerades därför med faktorn 5.

3.3.2 Ståltakstolar

För beräkningar av klimatpåverkan för ståltakstolarna har GWP- total värdet för modul (A1-A3) använts, detta är givet till 1,34 kg CO_{2e} per kg stål. Därefter har värdet multiplicerats med den totala vikten för vardera ståltakstol. Ståltakstolarna, se figur 8 och 9, har en spännvidd på 12 och 20,15 meter och står på c/c 6 meter.

Trä 12 m (stål)

Denna spikplåtsförbundna trätakstol, se figur 10, har samma form som stålet och står på c/c 1,2 meter. Detta innebär att det krävs fem spikplåtsförbundna trätakstolar för att täcka samma takyta som en ståltakstol. Vid beräkningen av den totala klimatpåverkan multiplicerades därför resultatet med faktorn 5.

Trä 20,15 m (stål)

Denna spikplåtsförbundna trätakstol, se figur 11, har samma form som stålet och står på c/c 0,6 meter. Detta innebär att det krävs tio spikplåtsförbundna trätakstolar för att täcka samma takyta som en ståltakstol. Vid beräkningen av den totala klimatpåverkan multiplicerades därför resultatet med faktorn 10.

3.3.3 Betongtakstolar

För beräkningen av klimatpåverkan för betongtakstolen har GWP - total värdet för modul (A1-A3) använts, detta är givet till 183 kg CO_{2e} per ton betong. Därefter har värdet multiplicerats med den totala vikten för betongtakstolen. Betongtakstolen, se figur 12, har en spännvidd på 23,14 meter och står på c/c 6 meter.

Trä 1 (betong)

Trä 1 (betong) är en spikplåtsförbunden trätakstol som har samma geometri och spännvidd som betongtakstolen, se figur 13, och står på c/c 0,6 m. Detta innebär att det krävs tio spikplåtsförbundna trätakstolar för att täcka samma takyta som en betongtakstol. Vid beräkningen av den totala klimatpåverkan multiplicerades därför resultatet med faktorn 10.

Trä 2 (betong)

Trä 2 (betong) är en spikplåtsförbunden trätakstol som också har en spännvidd på 23,14 m och är en liknande men rimligare trätakstol, se figur 14, som där med står på c/c 1,2 m. Detta innebär att det krävs fem spikplåtsförbundna trätakstolar för att täcka samma takyta som en betongtakstol. Vid beräkningen av den totala klimatpåverkan multiplicerades därför resultatet med faktorn 5.

3.3.4 Limträtakstolar

För beräkningen av klimatpåverkan för limträ har GWP - fossil värdet för modul (A1-A3) använts, detta är givet till 52,4 kg CO₂e per m³ limträ. Därefter har värdet multiplicerats med den totala volymen för limträ. Eftersom limträtakstolen till viss del består av stål, se figur 15, har stålets klimatpåverkan beräknats var för sig och sedan adderats ihop till limträtakstolens totala klimatpåverkan. Limträtakstolen har en spännvidd på 25,63 meter och står på c/c 6 meter. Eftersom det saknades information om stålet i deras EPD så har boverkets klimatdatabas använts, se figur 18 och 19, för att ta fram ett rimligt värde. Det slutgiltiga GWP värdet på stål approximerades till cirka 3,2 kg CO₂e/kg.

Enligt Boverket (2025) uppgår den konservativa klimatpåverkan, GWP-värdet för konstruktionsstål till 3,15 kg CO₂e per kg material, medan den för galvaniserade stålprodukter är något högre, ungefär 3,33 kg CO₂e per kg.

Trä 1 (limträ)

Trä 1 (limträ) är en spikplåtsförbunden trätakstol som är en exakt variant av limträtakstolen, vilket syns i figur 16. Den går dock praktiskt inte att transportera på ett vettigt sätt och är därför inte ett val i praktiken. Takstolen står på c/c 1,2 m vilket innebär att det krävs fem spikplåtsförbundna trätakstolar för att täcka samma takyta som en limträtakstol. Vid beräkningen av den totala klimatpåverkan multiplicerades därför resultatet med faktorn 5.

Trä 2 (limträ)

Trä 2 (limträ) är en spikplåtsförbunden trätakstol som går att transportera. Taklutningen för huset blir då 13 grader, vilket syns i figur 17. Även denna takstol står på c/c 1,2 m vilket innebär att det krävs fem spikplåtsförbundna trätakstolar för att täcka samma takyta som en limträtakstol. Vid beräkningen av den totala klimatpåverkan multiplicerades därför resultatet med faktorn 5.

4 Resultat och diskussion

I detta kapitel presenteras resultaten från beräkningarna för respektive takstol med de olika materialen.

4.1 Beräkningar

För att beräkna den totala klimatpåverkan (uttryckt i kg CO₂e) multiplicerades volymen för vardera takstol med det specifika GWP-värdet. Nedan redovisas de formler och indata som använts i beräkningen.

4.1.1 Spikplåtsförbundna trätakstolar

$$\text{Densitet} = 467 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{GWP} = 0,213 \text{ Kg CO}_2\text{e/Kg}$$

Trätakstol 6 m

$$\text{Total volym} = 0,114 \text{ m}^3$$

$$\text{Total massa} = 56,07 \text{ kg}$$

$$\text{Klimatpåverkan} = 56,072 \times 0,213 = 11,94 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{Klimatpåverkan (5 stk)} = 11,94 \times 5 = 59,72 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Trätakstol 8 m

$$\text{Total volym} = 0,1512 \text{ m}^3$$

$$\text{Total massa} = 73,72 \text{ kg}$$

$$\text{Klimatpåverkan} = 73,72 \times 0,213 = 15,70 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{Klimatpåverkan (5 stk)} = 15,70 \times 5 = 78,5 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Trätakstol 12 m

$$\text{Total volym} = 0,273 \text{ m}^3$$

$$\text{Total massa} = 136,31 \text{ kg}$$

$$\text{Klimatpåverkan} = 136,31 \times 0,213 = 29,03 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{Klimatpåverkan (5 stk)} = 29,03 \times 5 = 145,15 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Trätakstol 20 m

$$\text{Total volym} = 0,646 \text{ m}^3$$

$$\text{Total massa} = 330,97 \text{ kg}$$

$$\text{Klimatpåverkan} = 330,97 \times 0,213 = 70,5 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{Klimatpåverkan (5 stk)} = 70,5 \times 5 = 352,5 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

4.1.2 Ståltakstolar

Densitet = 7850 kg/m³

GWP = 1,34 kg CO₂e/kg

Ståltakstol 12 m

Volym stål = 0,08 m³

Massa stål = 0,08 × 7850 = 628 kg

Klimatpåverkan = 628 × 1,34 = 841,52 kg CO₂e

Ståltakstol 20,15 m

Volym stål = 0,15 m³

Massa stål = 0,15 × 7850 = 1177,5 kg

Klimatpåverkan = 1177,5 × 1,34 = 1577,85 kg CO₂e

Trä 12 m (stål)

Total massa (5 stk) = 839,28 kg

Klimatpåverkan = 839,28 × 0,213 = 178,77 kg CO₂e

Trä 20,15 m (stål)

Total massa (10 stk) = 1894,26 kg

Klimatpåverkan = 1894,26 × 0,213 = 403,48 kg CO₂e

4.1.3 Betongtakstolar

Betongtakstol 23,14 m

Volym betong = 6,96 m³

Densitet betong = 2350 kg/m³

Massa betong = 6,96 × 2350 = 16 363 kg = 16,363 ton

Massa stänger / Byglar = 637 kg

Total massa = 16,363 + 0,637 = 17 ton

GWP = 183 kg CO₂e / ton

Klimatpåverkan för 1 styck betongtakstol = 17 × 183 = 3 111 kg CO₂e

Trä 1 (betong)

Total massa (10 stk) = 3056,88 kg

Klimatpåverkan = 3056,88 × 0,213 = 651,115 kg CO₂e

Trä 2 (betong)

Total massa (5 stk) = 1859,65 kg

Klimatpåverkan = $1859,65 \times 0,213 = 396,105 \text{ kg CO}_2\text{e}$

4.1.4 Limträtakstolar

Limträtakstol 25,63 m

Volym limträ = $6,6778 \text{ m}^3$

GWP limträ = $52,4 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^3$

Klimatpåverkan limträ = $6,6778 \times 52,4 = 349,92 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Massa stål = 562 kg

GWP stål = $3,2 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$

Klimatpåverkan stål = $562 \times 3,2 = 1798,4 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Total klimatpåverkan = $1798,4 + 349,92 = 2148,32 \text{ kg CO}_2\text{e}$

Trä 1 (limträ)

Total massa (5 stk) = 2532,1 kg

Klimatpåverkan = $2532,1 \times 0,213 = 539,337 \text{ kg CO}_2\text{e}$

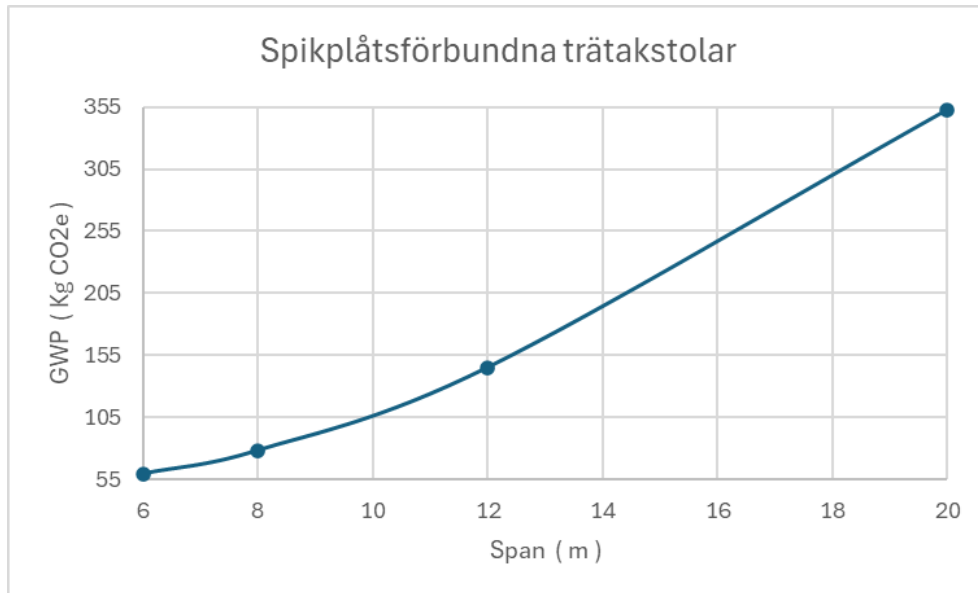
Trä 2 (limträ)

Total massa (5 stk) = 2358,175 kg

Klimatpåverkan = $2358,175 \times 0,213 = 471,635 \text{ kg CO}_2\text{e}$

4.2 Spikplåtsförbundna trätakstolar

Figur 18 visar hur den globala uppvärmningspotentialen (GWP) för spikplåtsförbundna trätakstolar ökar i samband med att spännvidden ökar. Den globala uppvärmningspotentialen, GWP är 59,72 kg CO₂e för takstolen vid 6 meters spännvidd och ungefär 352,5 kg CO₂e för takstolen vid 20 meters spännvidd.



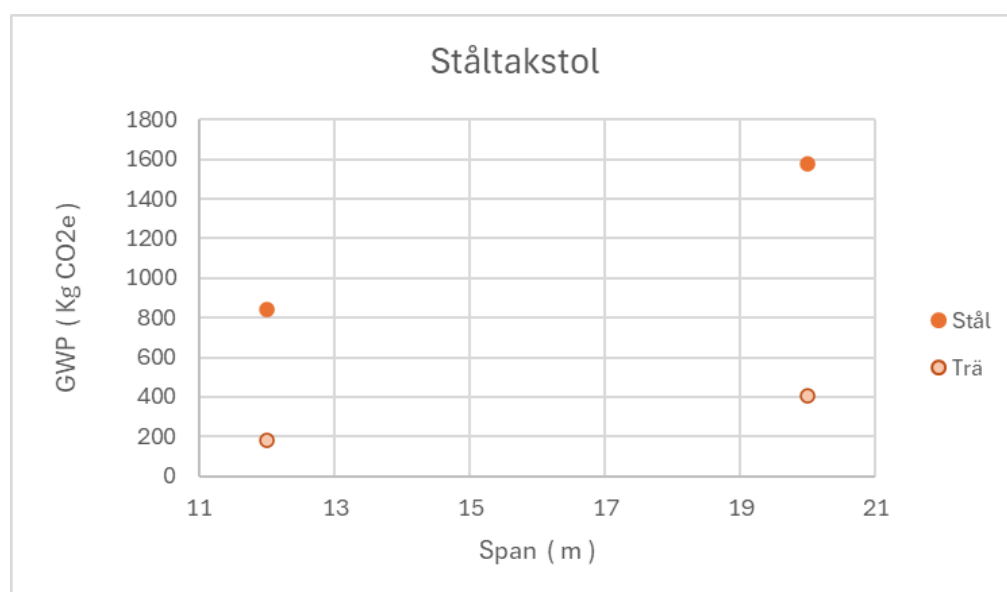
Figur 18. Global uppvärmningspotential (GWP) för spikplåtsförbundna trätakstolar vid olika spännvidder.

Kurvan visar på en exponentiell ökning snarare än en linjär ökning, detta är förväntat då längre spännvidder kräver mer material i form av både trä och stål, vilket bidrar till en högre klimatpåverkan.

Resultatet visar att spikplåtsförbundna trätakstolar är som mest klimatsnåla vid kortare spännvidder, trots detta är klimatpåverkan relativt låg även vid längre spännvidder.

4.3 Ståltakstolar

Figur 19 visar den globala uppvärmningspotentialen (GWP) vid en jämförelse mellan ståltakstolar och spikplåtsförbundna trätakstolar för spännvidderna 12 och 20 meter. Vid 12 meter spännvidd uppgår klimatpåverkan för ståltakstolen till cirka 842 kg CO₂e medan motsvarande konstruktion för fem spikplåtsförbundna trätakstolar resulterade i cirka 179 kg CO₂e. Skillnaden blir ännu mer påtaglig vid 20 meters spännvidd, där uppvärmningspotentialen för ståltakstolen når upp till cirka 1578 kg CO₂e, jämfört med 403 kg CO₂e för tio trätakstolar.



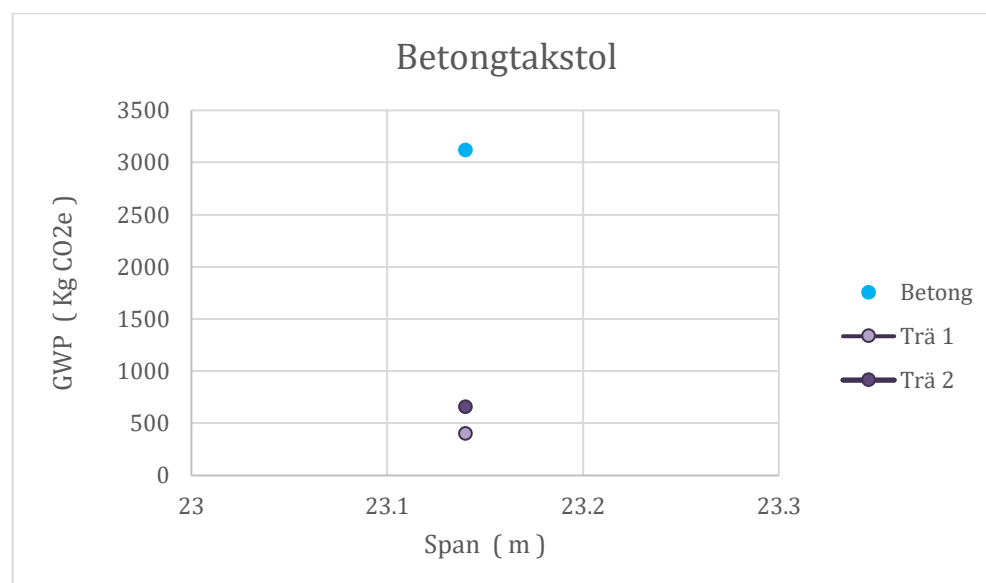
Figur 19. Jämförelse av global uppvärmningspotential (GWP) mellan ståltakstolar och spikplåtsförbundna trätakstolar vid spännvidderna 12 och 20 meter.

Resultatet visar att klimatpåverkan för ståltakstolarna är avsevärt högre än de spikplåtsförbundna trätakstolarna i båda jämförda spännvidder. Detta trots att det krävs fler trätakstolar för att täcka samma takyta som en ståltakstol. Det är också tydligt att klimatpåverkan för ståltakstolar ökar mer i takt med att spännvidden ökar, jämfört med spikplåtsförbundna trätakstolar. Trots detta är det mer lönsamt med spikplåtsförbundna trätakstolar vid kortare spännvidder, vid 12 meter är klimatpåverkan cirka fem gånger mindre och vid 20 meter är den cirka fyra gånger mindre. Vid användning av återvunnet stål hade GWP-värdet minskat från 1,34 kg CO₂e / kg till 0,663 kg CO₂e / kg (SSAB Europe Oy, n.d.), ståltakstolens klimatpåverkan vid 20,15 meter hade då minskat från 1577,85 kg CO₂e till 780,7 kg CO₂e, vilket fortfarande är högre än för spikplåtsförbundna trätakstolar.

4.4 Betongtakstolar

Figur 20 visar den globala uppvärmningspotentialen (GWP) i jämförelse mellan en betongtakstol och två olika alternativ av spikplåtsförbundna trätakstolar. Det syns tydligt i diagrammet att betongtakstolen har en avsevärt högre klimatpåverkan, jämfört med de två träbaserade alternativen. Vid en spannvidd på 23,14 meter uppgår den globala uppvärmningspotential för betongtakstolen till 3111 kg CO₂e.

Motsvarande värde för den ena trätakstolen (Trä 1), som består av tio takstolar, är ungefär 651 kg CO₂e, medan det andra alternativet (Trä 2), som består av fem takstolar, ligger på cirka 396 kg CO₂e.

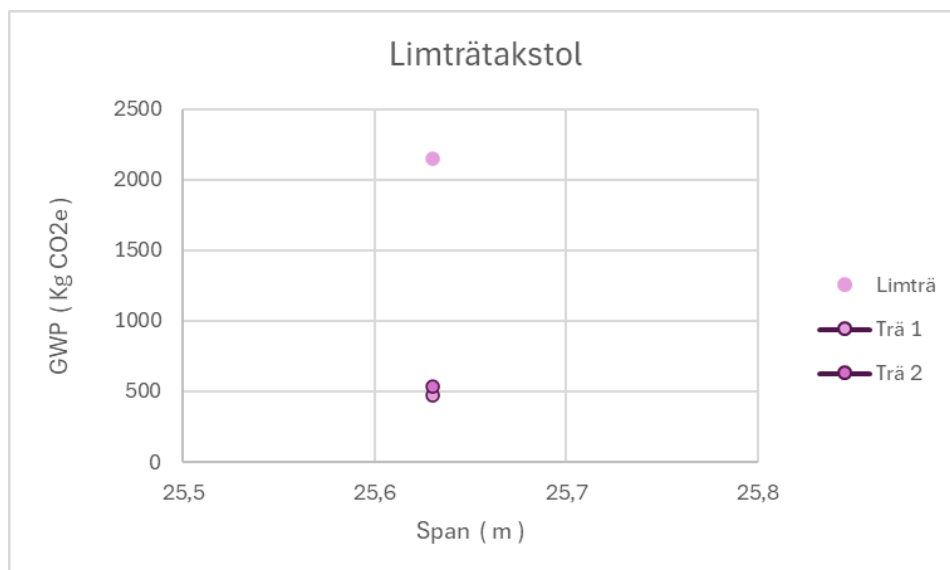


Figur 20. Jämförelse av global uppvärmningspotential (GWP) mellan en betongtakstol och två olika alternativ av spikplåtsförbundna trätakstolar vid spannvidden 23,14 meter.

Resultatet visar att betongens klimatpåverkan, från produktionsskedet (A1-A3), är betydligt högre än de övriga träalternativen. Det går att tillverka närmare 40 spikplåtsförbundna trätakstolar för samma klimatpåverkan som en betongtakstol. En av de främsta orsakerna till denna markanta skillnad är de höga utsläppen som uppstår vid cementtillverkningen, vilket är en central del i betongens tillverkningsprocess. Om denna betongtakstol bestod av grön betong skulle GWP-värdet kunna minska från 183 kg CO₂e /ton till 118 kg CO₂e /ton (Skanska Industrial Solutions AB, 2019). Betongtakstolens klimatpåverkan hade då minskat från 3111 kg CO₂e till 2006 kg CO₂e vilket fortfarande är betydligt högre än för spikplåtsförbundna trätakstolar.

4.5 Limträtakstolar

Figur 21 visar den globala uppvärmningspotentialen (GWP) i jämförelse mellan en limträtakstol och två olika alternativ av spikplåtsförbundna trätakstolar. Diagrammet visar att limträtakstolen har en betydligt högre global uppvärmningspotential, jämfört med de två spikplåtsförbundna trätakstolarna. Limträtakstolen uppnår ett GWP-värde på cirka 2148 kg CO₂e medan de två andra alternativen, då för fem takstolar, har ett värde på cirka 539 kg CO₂e (Trä 1) samt cirka 472 kg CO₂e (Trä 2).

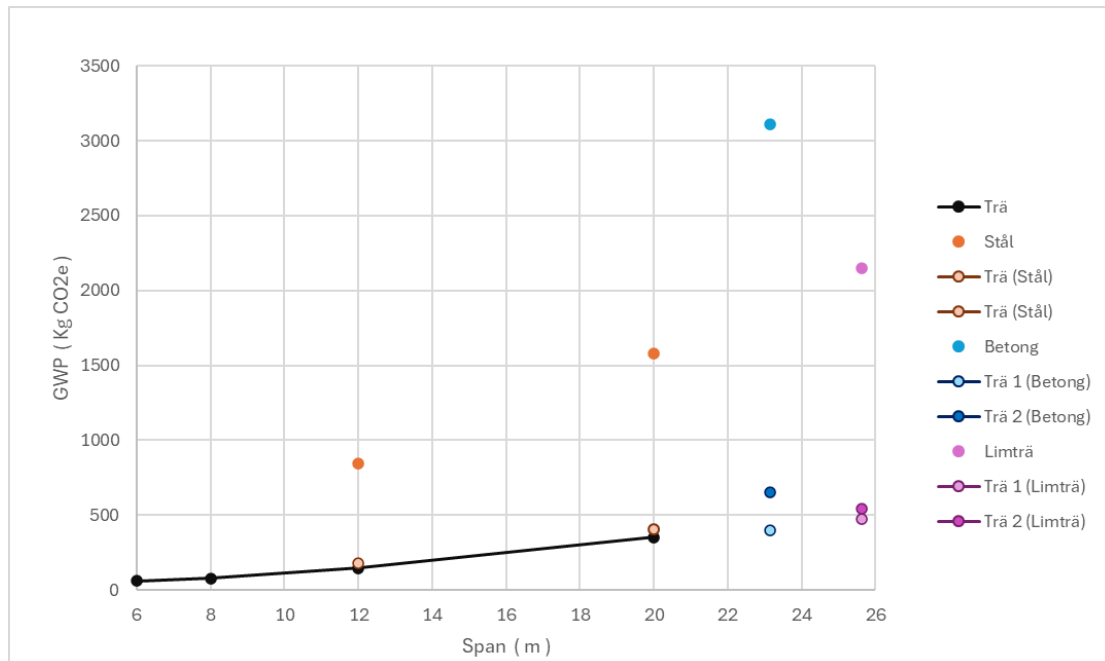


Figur 21. Jämförelse av global uppvärmningspotential (GWP) mellan en limträtakstol och två olika alternativ av spikplåtsförbundna trätakstolar vid spännvidden 25,63 meter.

Resultatet visar att limträtakstolens klimatpåverkan är betydligt högre än de spikplåtsförbundna trätakstolarna, trots att det krävs fler trätakstolar även i detta fall. Limträ består av flera lager ihop limmat trä, vilket bidrar till en högre klimatpåverkan jämfört med de spikplåtsförbundna trätakstolarna. Den största bidragande faktorn till det höga värdet är dock att konstruktionen till viss del består av stål, vilket gör att jämförelsen blir något missvisande. Då företaget inte hade tillgång till klimatdata för det använda stålet, utgick beräkningarna från schablonvärden i Boverkets klimatdatabas. Dessa värden var dock betydligt högre än GWP-värdet för den tidigare beräknade ståltakstolen.

4.6 Sammanställning

I sammanställningen av resultaten nedan, figur 22, framgår ett tydligt mönster. De spikplåtsförbundna trätakstolarna har den lägsta klimatpåverkan i samtliga analyserade spannvidder.



Figur 22. En sammanställning av de global uppvärmningspotentialen (GWP) från de olika takstolarna.

Spikplåtsförbundna trätakstolar är det mest miljövänliga alternativet under produktionsskedet (A1-A3). De är också tillverkningsbara upp till en spannvidd på cirka 25 meter. Vid större spann uppstår dock utmaningar då det blir svårare att både tillverka samt transportera takstolen.

Den takstol som uppvisar högst klimatpåverkan är betongtakstolen. Dess globala uppvärmningspotential (GWP) är nästan åtta gånger högre än för de spikplåtsförbundna trätakstolarna. Det innebär att det går att producera cirka 40 trätakstolar med samma klimatpåverkan som en betongtakstol. Materialvalet har alltså en avgörande betydelse för en byggnads totala klimatpåverkan.

Limträ är det näst mest miljövänliga alternativet. En takstol helt i limträ skulle ha haft en betydligt bättre klimatprestanda jämfört med den som analyserats, där delar av takstolen består av stål. Stålet i takstolen påverkar klimatpåverkan markant och gör att limträtakstolen ligger näst intill i linje med ståltakstolarnas klimatpåverkan, detta gör

att det blir svårt att avgöra om just denna typ av limträtakstol är bättre än en ståltakstol.

Stål är det näst minst klimatsmarta alternativet. Dock minskar skillnaden vid längre spännvidder, där ståltakstolen går från att ha fem gånger högre klimatpåverkan, än de spikplåtsförbundna trätakstolarna, till fyra gånger högre klimatpåverkan vid 20 m spännvidd. Detta på grund av stålets höga hållfasthet samt bärförmåga i förhållande till sin vikt.

4.7 Materialaspekter

Valet av byggmaterial påverkar inte bara byggnadens klimatpåverkan utan även dess ekonomiska och tekniska prestanda. Eftersom olika material har olika egenskaper, både för- och nackdelar, är det därför viktigt att väga in flera faktorer vid materialval. Viktiga aspekter att beakta inkluderar bland annat materialkostnad, bärförmåga, underhållsbehov samt återvinnings- och återanvändningsmöjligheter. Genom att undersöka materialen ur ett större perspektiv går det också att tydliggöra klimatomfattiga för- och nackdelar under takstolens resterande livscykel.

4.7.1 Biobaserade material

Biobaserade materialen, som limträ och massivt trä, har särskilda tekniska egenskaper som påverkar lämpligheten i olika konstruktioner. Limträ har en hög hållfasthet i förhållande till sin vikt och uppvisar god dimensionsstabilitet. Dess styrka och stabilitet är jämförbar med det av stål och betong, vilket gör att den lämpar sig för långa spännvidder och används ofta i större takkonstruktioner. Massivt trä är däremot svagare och har en begränsad spännviddskapacitet, dels på grund av naturliga begränsningar såsom trädlängder (Barbhuiya et al, 2025), vilket gör det lämpligt för kortare spännvidder. Biobaserade material finns alltså tillgängliga från både korta till mycket långa spännvidder, vilket gör att det inte finns några tekniska begränsningar som utesluter trä som materialval baserat på spännvidd.

En av de största utmaningarna för biobaserade material är att de är känsliga för fukt. Trä blir nämligen ofta felhanterat och skadas därför på grund av ett högt fukttinnehåll (Burström & Nilvér, 2018). Ett högt fukttinnehåll kan nämligen leda till röta och mögel vilket kan förkorta livslängden markant. Detta kan påverka de totala klimatutsläppen under livscykeln då en förkortad livslängd leder till tidigare behov av

renovering eller till och med utbyte. När det gäller specifikt takstolar är dock risken inte lika stor, då dessa är placerade i torra skyddade byggdelar. Detta innebär att takstolarna kan uppnå en lång livslängd med låg klimatpåverkan.

Ekonomiskt sett har biobaserade material oftast lägre materialkostnader. Dessutom är materialet lättare att hantera, vilket förenklar transport samt montering, vilket leder till lägre kostnader (Barbhuiya et al, 2025). När det kommer till de spikplåtsförbundna trätakstolarna krävs fler takstolar för samma takyta, vilket kan påverka monteringskostnaderna. Kostnaden kan också stiga vid behov av behandlingar och förstärkningar för att uppfylla tekniska krav, som exempelvis brand- och fuktskydd.

Biobaserade material kan alltså vara konkurrenskraftiga, inte bara sett till klimatpåverkan. Däremot har andra material, såsom stål och betong, andra attraktiva egenskaper.

4.7.2 Stål

Stål kännetecknas av mycket hög drag- och tryckhållfasthet, vilket är idealt för höga och bärande konstruktioner (Barbhuiya et al, 2025). Materialet kan därför vara fördelaktigt i industri- och kontorsbyggnader. Stål används dock i konstruktioner med både korta och långa spännvidder och tack vare materialets goda formbarhet kan det även anpassas till komplexa byggnadsformer.

Stål är dessutom fullt återvinningsbart utan att förlora sina tekniska egenskaper, vilket ger en potentiell miljöfördel i slutet av livscykeln. En takstol gjord i återvunnet stål skulle alltså kunna ha en betydligt lägre klimatpåverkan. Däremot kommer, som tidigare nämnt, återvinningen av stålskrot enbart räcka till ungefär 50 % av världens totala stålproduktion år 2050 (Jernkontoret, 2013).

Ekonomiskt sett är materialkostnaderna för stål höga (Barbhuiya et al, 2025). Det är också ett tyngre material vilket kan påverka både transport- samt monteringskostnaderna. Stål kräver också brandskydd vilket ökar kostnaderna ytterligare.

4.7.3 Betong

Betong har en hög tryckhållfasthet och en relativt låg draghållfasthet (Barbhuiya et al, 2025). Tack vare sin goda tryckhållfasthet och formbarhet lämpar sig materialet väl för bärande konstruktioner. Däremot innebär den låga draghållfastheten att materialet ofta kräver armering, vilket ökar både materialåtgång och konstruktionskomplexitet. Betongtakstolar är ovanliga och när de förekommer är spännvidderna generellt längre, dels på grund av betongens höga egenvikt.

I denna studie syns det att betong har en väldigt hög klimatpåverkan i produktionsskedet, dessutom har materialet begränsade återvinningsmöjligheter (Barbhuiya et al, 2025), vilket försämrar materialets miljöprestanda sett ur ett livscykelperspektiv. Däremot finns fortfarande möjligheten att återbruka produkten, trots att vikten gör detta lite mer komplicerat.

Ekonomiskt sett har betong ett måttligt pris (Barbhuiya et al, 2025). Det är kostnadseffektivt, särskilt i större volymer, vilket gör det attraktivt inom byggbranschen. Kostnaden kan dock variera beroende på faktorer såsom transporter vid platsgjutning.

5 Slutsats

Resultatet från studien visar att materialvalet har en avgörande betydelse för takstolens klimatpåverkan, särskilt i produktionsskedet (A1-A3).

Baserat på resultaten kan följande rekommendationer ges ur ett klimatperspektiv:

- Spikplåtsförbundna trätakstolar rekommenderas för spännvidder upp till 25 meter. De har lägst klimatpåverkan och är tekniskt möjliga att tillverka samt transportera inom detta spann.
- Limträtakstolar rekommenderas för spännvidder omkring 25 meter och uppåt. De kan i vissa fall ersätta både stål och betong ur ett miljöperspektiv, förutsatt att konstruktionen inte innehåller stora mängder med stål.
- Ståltakstolar rekommenderas vid längre spännvidder och särskilda fall där hög bärförmåga eller komplexa geometrier krävs, där biobaserade material inte är möjliga.
- Betongtakstolar rekommenderas inte ur ett klimatperspektiv. De kan endast motiveras i undantagsfall där inga andra lösningar lämpar sig.

5.1 Förslag på vidare studier

Då denna studie är begränsad till ett fåtal spännvidder och typer av takstolar, skulle en framtida studie kunna omfatta ett bredare urval av både konstruktioner och spännvidder för att ge en bättre heltäckande bild av klimatpåverkan.

Vidare skulle det vara värdefullt att undersöka takstolar tillverkade helt i limträ, samt takstolar där återvunnet stål och återbrukad betong används. Sådana alternativ har en lägre klimatpåverkan och kan därmed påverka resultatet markant.

Utöver detta vore det också värdefullt att inkludera de övriga livscykelkedan såsom transport, byggprocessen, användningsfasen och slutligen slutskedet samt återvinning. Detta då denna studie begränsats till endast produktionsfasen.

Eftersom denna studie enbart fokuserar på takstolar, kan det också vara intressant att genomföra en vidare studie som inkluderar hela byggnader. Ett sådant helhetsperspektiv kan även undersöka om specifika materialkombination kan vara mer optimala ur en resurs- och klimatsynpunkt.

6 Referenser

- Barbhuiya, S., Das, B. B., Kapoor, K., Das, A., & Katare, V. (2025). Mechanical performance of bio-based materials in structural applications: A comprehensive review. *Structures*, 75, Article 108726. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.108726>
- Bian, J., Yi, D., Yao, E., Yu, H., & Li, Z. (2025). Integrated assessment method for carbon emission and cost throughout the life cycle of office buildings: A comparative study of steel structure and timber structure. *Structures*, 77, 109103. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109103>
- Boverket. (2025). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>
- Boverket. (2024a). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/>
- Boverket. (2020). *Utveckling av regler om klimatdeklaration av byggnader - förslag på färdplan och gränsvärden*. <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2020/utveckling-av-regler-om-klimatdeklaration-av-byggnader.pdf>
- Boverket. (2024b). *Metodval för LCA*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/sahar-gors-en-lca/metodval-for-lca/>
- Boverket. (2024c). *Mer om miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljoavarudeklaration-for-byggprodukter-epd/>
- Burström, P. G., & Nilvér, K. (2018). *Byggnadsmaterial – Tillverkning, egenskaper och användning* (3:e uppl.). Lund: Studentlitteratur.
- Derome. (u.å). *Takstolar och byggsystem - broschyr*. https://www.derome.se/storage/C4548F7CBE474EF9214788A39D3D3E6E48E2AD17D15618A29FEEC86BAB8004E0/6f2ec8dbce7a419b90d52a8312816e21/pdf/media/0b062be7eef744769b9fdc7dc4dc6d4f/Broschyr_takstolar%20_%20byggsystem.pdf
- Derome.se (2025) <https://www.derome.se/>
- DiGiovanni, C., Hisseine, A. O., & Awolayo, N. A., (2024). Carbon dioxide sequestration through steel slag carbonation: Review of mechanisms, process

parameters, and cleaner upcycling pathways. *Journal of CO2 Utilization*, 81, 1.
<https://doi.org/10.1016/j.jcou.2024.102736>

Environdec (u.å.). *Environmental Product Declarations*.
<https://www.environdec.com/all-about-epds/epd-applications>

Hantverkslaboratoriet, Göteborgs universitet. (2022). *Betong - material, konstruktion, åtgärder, skador, arkitektur, historia*. Sven Olof Ahlberg och Eva Löfgren.

Jernkontoret. (2013). Environmental evaluation of steel and steel structures. Handbook for engineers, researchers, and university students.
https://www.jernkontoret.se/globalassets/publicerat/handboker/stalkretsloppet_slutra_pport_miljohandbok_engelsk_web.pdf

Maniak-Huesser, M., Tellnes, L. G. F., & Zea Escamilla, E. (2021). Mind the gap: A policy gap analysis of programmes promoting timber construction in Nordic countries. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21), 11876.
<https://doi.org/10.3390/su132111876>

Moelven Töreboda AB. (2022). *Environmental Product Declaration: Glulam (laminated timber)* (in accordance with EN 15804 and ISO 14025). The Norwegian EPD Foundation. <https://www.moelven.com/globalassets/moelven-toreboda/certificater-och-brochyror/epd-limtra.pdf>

Möller, P., & Ahremark, E. (2024). *Environmental impact assessment of wood and steel: A Comparative Analysis of Environmental Product Declarations for Wood and Steel Products in Wall Constructions*. (Master's thesis, Dalarna University)
<https://du.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A1885294/FULLTEXT01.pdf>

Naturvårdsverket. (2024). *Fluorerade växthusgaser*.
<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/kemikalier/fluorerade-vaxthusgaser/lackagekontroll/>

Purton, M. (2024, September 13). *Sustainable concrete is possible – here are 4 examples*. World Economic Forum.
<https://www.weforum.org/stories/2024/09/cement-production-sustainable-concrete-co2-emissions/>

Ranaverken AB. (2023). *Environmental Product Declaration: Structural steel* (EPD HUB-0456). EPD Hub.
<https://manage.epdhub.com/declarations/file/download/epdSigned/501/>

Raveendran, N., & Krishnan, V. (2025). Engineering performance and environmental assessment of sustainable concrete incorporating nano silica and metakaolin as cementitious materials. *Scientific Reports*, 15(1), Article 1482.
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-85358-8>

Skanska Industrial Solutions AB. (2019). *Environmental product declaration in accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804: Grön betong*.
<https://www.skanska.se/siteassets/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/betong/epd-gron-betong.pdf>

SSAB Europe Oy. (n.d.). *EPDer för SSAB Zero™*. <https://www.ssab.com/sv-se/fossilfri/ssab-zero/epd>

Strängbetong AB. (2020). *Environmental Product Declaration: Spannbalk RBF, FBF, FB, FH, IBF, SIB* (NEPD-2153-977). The Norwegian EPD Foundation.
https://strangbetong.se/wp-content/uploads/2021/02/NEPD-2153-977_Spannbalk-RBF-FBF-FB-FH-IBF-SIB.pdf

Svenskt Trä. (2013). *Att välja trä - en faktskrift om trä*. Föreningen Sveriges Skogsindustrier.

Svenskt Trä. (2016). *Limträhandbok – Del 1: Fakta om limträ*. Svenskt Trä.

Svenskt Trä. (2021). *Takstolshandbok. Stabilisering av takkonstruktioner*.

Svenska Takstolsföreningen (STAK). (2023). *Environmental Product Declaration: Wooden construction elements assembled with punched metal plate fasteners* (NEPD-4342-3573-EN). The Norwegian EPD Foundation.
https://www.epd-norge.no/getfile.php/13191815-1741691350/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-4342-3573_Wooden-construction-elements-assembled-with-punched-metal-plate-fasteners.pdf

The National Institute of Standards and Technology (NIST). (2011). *Life cycle thinking*.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Life_Cycle_Thinking_Product_System.jpg

Trä- och Möbelföretagen. (2024). *Trähusbarometern, statistik & prognoser för trähusbranschen 2/2024*.
https://www.tmf.se/imagevault/publishedmedia/l99536vq0zl3qr5hiyd4/Tr-husbarometern_2_2024.pdf?download=0

Träguiden. (2021). *Introduktion*.
<https://www.traguiden.se/konstruktion/takstolshandboken/bakgrund/1.1-introduktion/1.1-introduktion/?previousState=1000>



CHALMERS