

TRÄ vs. BETONG

En nulägesanalys av miljö-
påverkan och biodiversitet
i trä- och betongstommar



STUDIEN DELAS IN I FEM DELAR

Första delen: Nulägesanalys över miljöpåverkan och biodiversitet i trä och betongstommar (rapportförfattare: Astrid Berglund, Plant, Alina Jakobsson, Plant och Fredrik Dahlgren, Plant)

Andra delen: Metodutveckling om biodiversitet samt fördjupningsstudie (rapportförfattare: IVL Svenska Miljöinstitutet)

Tredje delen: Hur skiljer sig arbetsmiljön på de bägge byggarbetsplatserna?

Fjärde delen: Uppföljning av de två husen – vad blev de faktiska utsläppen?

Femte delen: Hur skiljer sig hyresgästernas trivsel i de bägge husen?

© 2025 Sveafastigheter
Alla rättigheter reserverade.

Sveafastigheter
Olof Palmes gata 13A
111 37 Stockholm
Tel 010-333 10 70
info@sveafastigheter.se
www.sveafastigheter.se

Innehåll

Begreppslista	4
Inledning	6
Bakgrund	6
Mål och syfte	7
Metod	8
Avgränsningar	8
Projektbeskrivning	9
Teori och perspektiv	10
Inledning	10
Livscykelanalys	10
Biodiversitet	15
Andra faktorer	19
Resultat	24
Resultat Livscykelanalys, standard	24
Resultat Livscykelanalys, biodiversitet	27
Sammanställning av resultat	30
Diskussion och slutsats	31
Diskussion	31
Slutsats	32
Framtida studier och forskning	33
Referenser	34
Appendix	38
Bilaga A: En jämförelse av två byggnader med olika stomsystem	38
Bilaga B: Building materials and their impacts on biodiversity	38

Begreppslista

BBR

Boverkets byggregler.

BIOGEN KOLINLAGRING

Lagring av kol i biologiska material såsom trä genom fotosyntes.

BIOLOGISK MÅNGFALD

Variationen av arter, gener och livsmiljöer.

BIODIVERSITET

Biologisk mångfald kallas ibland biodiversitet och med det menas variationen bland levande organismer i alla miljöer och de ekologiska relationer och processer som organismerna ingår i.

BIOLOGISKT KULTURARV

Detta är en relativt bred term och kan syfta på hur biologisk mångfald är kopplad till kultur, t.ex. traditionella jordbrukslandskap eller arter som är betydelsefulla för kulturell identitet. I forskningen kan det diskuteras i termer av "biokulturell mångfald".

BTA

Bruttoarea, BTA, är summan av alla våningsplans yta och begränsas av de omslutande byggnadsdelarnas utsida. Beräknades enligt svensk standard SS 21054:2009 till och med den 17 mars 2020. Beräknas därefter enligt SS 21054:2020.

CHAUDHARY AND BROOKS-METODIK

En metod som kvantifierar biologisk mångfaldsförlust baserat på förändringar i markanvändning.

CO₂E

Koldioxidekvivalenter.

EPD

"Environmental product declaration". Det engelska begreppet för miljövarudeklaration för en viss produkt eller produktgrupp. Här avses miljövarudeklarationer som följer beräkningsreglerna i EN 15804, vilka även benämns som specifika klimatdata.

FUNKTIONELL ENHET

En kvantifierad beskrivning av den funktion som en produkt, process eller tjänst tillhandahåller, som används som referens i en livscykelanalys (LCA) för att säkerställa jämförbarhet mellan olika system.

FÖRSURNING

Miljöpåverkan som orsakas av utsläpp av svavel- och kväveföreningar som sänker pH i mark och vatten.

GENERISKA KLIMATDATA

Genomsnittliga klimatdata för resurser som är representativa för svenska förhållanden.

HYGGESFRITT SKOGSBRUK

Skogsbruksmetod där marken alltid är täckt av träd, utan stora kalhyggen.

KALHYGGESBRUK

Skogsbruk där alla träd på en yta avverkas samtidigt för att skapa en ny skogsgeneration.

TRAKTORHYGGESBRUK

Ett skogsskötselsystem där skogen odlas i jämnåriga bestånd som slutavverkas vid samma tidpunkt, oftast genom kalhygge.

KARBONATISERING

En kemisk process där betong absorberar koldioxid från luften och omvandlas tillbaka till kalksten.

KL-TRÄ

Korslimmat trä.

KOLDIOXIDEKVIVALENTER

Enhet för att mäta den samlade klimatpåverkan från utsläpp av olika växthusgaser. Förkortas vanligen CO₂e.

KONTINUITETSSKOGSBRUK

Skogsbruk där skogen brukas utan att helt kalavverkas, vilket bibehåller en skiktad skog med olika åldrar på träden.

KUIPERS ET AL.-METODIK

En metod som analyserar habitatförändringar och fragmenteringens påverkan på arter i olika ekoregioner.

LCA

"Livscykelanalys". Miljöbedömning av en produkts eller tjänsts hela livscykel.

LCIA

LCIA kopplar utsläpp och resursanvändning till kategorier av miljöpåverkan, som klimatförändringar, försurning eller övergödning.

LIVSCYKELSKEDE

En byggnads livscykelkedan enligt standarden EN 15978 – produktskede (modul A1–A3), byggproduktionsskede (modul A4–A5), användningsskede (modul B1–B7) och slutskede (modul C1–C4).

MARKNÄRA OZON

Skadligt ozon i troposfären som bildas av reaktioner mellan utsläpp av NO_x och VOC under solljus.

OZONNEDBRYTNING

Nedbrytning av ozonlagret i stratosfären, främst orsakad av CFC-gaser, vilket ökar UV-strålning på jorden.

RECIPE-METOD

En metod för livscykelpåverkansbedömning (LCIA) som kopplar utsläpp till miljöpåverkan och slutpunktskategorier som påverkan på ekosystem.

TAXONOMI

Ett system för att klassificera investeringar som miljömässigt hållbara enligt EU:s regelverk.

UTARMNING AV FOSSILA RESURSER

Minskning av begränsade fossila bränslen som olja, kol och naturgas.

UTARMNING AV ICKE-FOSSILA RESURSER

Minskning av andra ändliga resurser som mineraler och metaller.

VÄXTHUSGASER

Gaser som släpper igenom solens kortvågiga strålning och absorberar delar av jordens värmestrålning. På engelska "greenhouse gas" (GHG).

ÖVERGÖDNING

Ökad tillförsel av näringsämnen som kväve och fosfor, vilket leder till obalans i ekosystem och algbloomning.

Inledning

BAKGRUND

Finns det en risk att dagens stora fokus på klimatpåverkan kan leda till att vi försummar andra viktiga miljöpåverkanskategorier?

Inom bygg och övrig media har klimatpåverkan generellt presenterats som det viktigaste och mest akuta miljöproblemet. Det är dock inte alla som håller med om den beskrivningen. Redan 2009 presenterade forskare på Stockholm Resilience Centre de nio planetära gränserna som pekar ut de miljöprocesser som skapar stabilitet för livet på jorden (Stockholm Resilience center, 2023). För var och en av de olika miljöprocesserna har forskarna definierat säkra gränsvärden, inom vilka mänskligheten kan fortsätta att utvecklas och må bra i framtiden. Den senaste uppdateringen från 2023 visar att flera av gränserna redan är överskridna – och att biodiversitet är en av de mest kritiskt överskridna kategorierna. Figuren nedan visar att just förlusten av biologisk mångfald är en av de miljöaspekter där vi befinner oss allra längst utanför ett säkert handlingsutrymme.

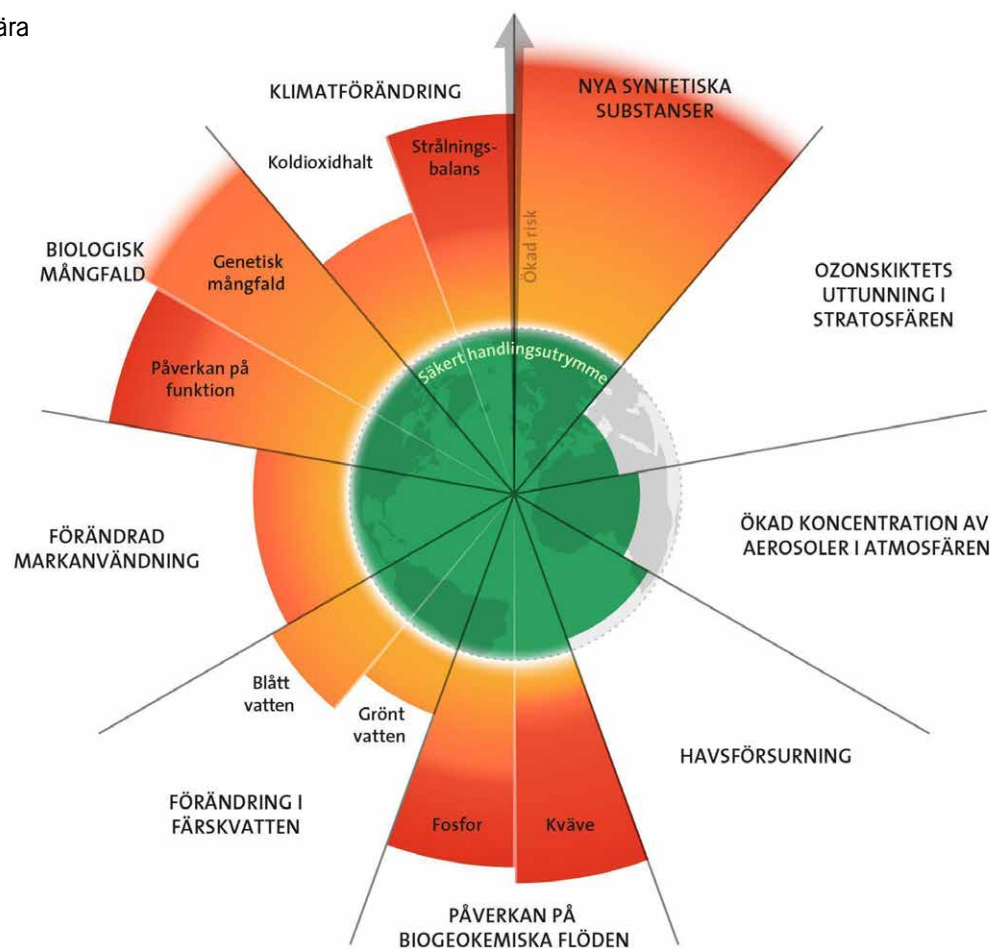
Trots detta är fokus i både lagstiftning och branschpraxis nästan uteslutande riktat mot klimatpåverkan. **Det finns en risk att detta ensidiga fokus leder till att andra miljöpåverkanskategorier försummas.** Det är därför avgörande att vi breddar perspektivet och redan i tidiga skeden integrerar fler miljöaspekter i beslutsfattandet.

Bygg- och fastighetssektorn stod 2021 för inhemska utsläpp av växthusgaser motsvarande cirka 22 procent av Sveriges totala utsläpp. Dessutom bidrar sektorn till stora utsläpp utomlands genom import av varor och material. Utsläppen från uppvärmning har minskat under perioden 1993–2021, men utsläppen från byggande och renovering har varit relativt oförändrade (Boverket, 2024). Från den 1 januari 2022 ska merparten av alla projekt som söker bygglov enligt lag ta fram en klimatdeklaration (Boverket, 2023). Det innebär att en beräkning som visar den klimat-

påverkan (CO₂e) som genereras vid uppförande av byggnaden ska tas fram. Lag (2021:787) om klimatdeklaration för byggnader reglerar i dagsläget inte hur stora dessa utsläpp får vara. Syftet är dock att det ska leda till en minskning av klimatutsläpp från nybyggnation i branschen, och på sikt införs gränsvärden. På liknande sätt krävs klimatberäkning av byggprojekt i EUs Taxonomi. Taxonomin är ett verktyg för att identifiera miljömässigt hållbara investeringar inom olika branscher och sektorer (Europeiska kommissionen, n.d.).

Metoden som används för klimatberäkning kallas livscykelanalys (LCA). En LCA är en metod som används för att påvisa en produkts miljöpåverkan för hela eller delar av processen att tillverka, använda och slutligen kassera/återvinna produkten (Baumann, 2004). Inom LCA analyseras olika miljöpåverkanskategorier såsom klimatpåverkan, övergödning eller förorening. I dagsläget finns det underlag för att kunna göra beräkningar inom byggnation för exempelvis klimatpåverkan, ozonnedbrytning, förorening, övergödning och bildning av troposfäriskt ozon. Av dessa kategorier är beräkningsunderlaget mest utvecklat för klimatpåverkan. Inom byggbranschen är klimatberäkningar relativt nytt. De flesta miljöcertifieringssystem för nybyggnation har implementerat LCA-beräkningar som en del av sina krav de senaste åren, kraven ser lite olika ut men huvudfokus har varit på växthusgaser. Det blir också vanligare med beräkningar som sker tidigt i planeringsstadiet inför en byggnation. Syftet med dessa är att fånga upp förändringar som skulle kunna göras för att minska utsläppen av växthusgaser som projektet ger upphov till. Ofta jämförs betong och trä för att påvisa vilket alternativ som ger lägst utsläpp. Fler och fler fastighetsbolag ställer också egna krav på hur stora utsläpp av växthusgaser som en byggnad får ge upphov till. Krav på andra miljöpåverkanskategorier är dock ytterst ovanliga i dagsläget.

FIGUR 1: De nio planetära gränser, status 2023 (Stockholm Resilience center, 2023).



En stor debatt inom fastighet- och byggbranschen är vilket material som är det mest hållbart att bygga med, trä eller betong. Trä- respektive betongföretag lyfter upp olika fördelar för respektive material. Klimatberäkningar görs ofta för att påvisa vilket material som

har lägst klimatpåverkan. Scope, tidshorisont, biogent lagrat kol och betongens förmåga att karbonisera är några aspekter som påverkar utfallet. Biodiversitet är en viktig aspekt, men som generellt inte tas med när jämförelser mellan materialet görs.

MÅL OCH SYFTE

Målet är att med konkreta exempel bidra till branschens förmåga att ta rätt beslut i tidigt skede avseende vilket stommaterial som bör användas för att byggnader ska vara hållbara ur ett holistiskt perspektiv när biologisk mångfald adderas till LCA. Studien ska kartlägga hur hållbart trä respektive betong är som byggmaterial ur ett LCA-perspektiv där även den biologiska mångfalden studeras. Jämförelsen görs för två likvärdiga byggnader som ska byggas vid samma tidpunkt under likadana förhållanden.

Studien har därför valt att bredda perspektivet och ta fram både en traditionell LCA, och en biodiversi-

tets-LCA för analys av byggnadernas miljöpåverkan, refereras till som *Livscykelanalys, standard* och *Livscykelanalys, biodiversitet*. Stor vikt läggs vid att dela kunskapen med branschen på ett transparent och lättförståeligt sätt. Det är avgörande att de ökade kostnaderna för hållbarhetssatsningar, såsom att minska utsläppen från byggnation, inte leder till hyreshöjningar som gör bostäderna otillgängliga för målgruppen. **Lösningarna som studeras i projektet ska vara kommersiellt gångbara för att vara till största möjliga nytta för branschen.**

METOD

Studien genomförs med hjälp av experter inom respektive fält, litteraturstudier, den senaste forskningen, samt beräkningar och känslighetsanalyser av två verkliga case. Målet att studien ska presentera ett resultat som är så nära sanningen som möjligt med dagens metoder och tekniker.

Som en del av arbetet med studien *Trä versus Betong* har Sveafastigheter initierat framtagningen av två examensarbeten. Dessa har genomförts under ledning av Ulrika Palme, universitetslektor i Environmental Systems Analysis vid Chalmers tekniska högskola. Arbetena har titlarna *Building Materials and their Impacts on Biodiversity* och *Assessing Impacts on Biodiversity in the Building Sector* (Albinsson et al., 2023; Christiansson et al., 2023). Båda projekten har analyserat Hus 3–3 och Hus 3–5 i Sveafastigheters projekt Skogselvan i Vallentuna och undersöker påverkan på biodiversiteten från materialen trä och betong med olika angreppssätt. Resultaten av dessa arbeten används i studien.

Parallellt med studierna om materialens påverkan på biodiversitet genomförs en livscykelanalys av båda byggnaderna. Förutom klimatpåverkan analyseras

försurning, övergödning, ozonnedbrytning, marknära ozon, utarmning av fossila resurser och utarmning av icke-fossila resurser i livscykelanalyserna. För parametrar som har stor påverkan på resultatet genomförs känslighetsanalyser.

De beräkningar som har gjorts på Skogselvan är framtagna i ett tidigt skede av byggprocessen. Detta innebär att de mängder som används i de beräkningar som gjort kan komma att justeras längre fram. Samma gäller produktspecifika val som speglas med produktspecifik miljödata. Uppdaterade beräkningar med faktiska utsläpp kommer att göras i en senare del av projektet (Del 4).

Då Sveafastigheter framförallt utvecklar och bygger hyreslägenheter som sedan långsiktigt förvaltas är det av största vikt att bostäderna byggs till ett pris som genererar rimlig hyra. Målsättningen är att delvis kompensera trähusets högre kostnader med klimatförbättrande materialval i betonghuset. Detta görs främst genom köp av klimatförbättrande betongalternativ. Hur kostnaderna för respektive hus faller ut kommer att visa sig längre fram, när projekteringen kommit längre.

AVGRÄNSNINGAR

Den första delen av studien (Del 1) genomförs under bygglovsskedet för de objekt som ingår i studien (Skogselvan). Detta innebär att byggnaderna inte är detaljprojekterade och att erfarenheter från byggproduktionen inte kan tas med i detta skede av studien. Bland annat har studien inte möjlighet att gå på djupet kring fukt-, ljud-, eller brandrisker i detta skede. Avseende ingående material i byggnaderna i studien är alltså konstruktionerna inte detaljprojekterade avseende brand- och ljudkrav. Ytterligare material kan därmed tillkomma för att uppfylla dessa funktioner i ett senare skede.

På grund av avsaknad av data inkluderas inte utsläpp av CO₂e från trakthyggesbruk i studien i dagsläget. Det finns ännu inte tillräckliga underlag för att värdera effekten av dessa utsläpp inom en livscykelanalys för en byggnad. Detta är något som planeras att studeras närmare i den senare uppdateringen (Del 2) av studien *Trä versus Betong* som utförs av IVL Svenska Miljöinstitutet AB. En annan parameter som inte hanteras i detta skede av studien är hur analysen skulle påverkas av återbruk av stommar i trä respektive betong.

När det kommer till studien av hur biodiversiteten påverkas av trä eller betong undersöker denna rapport endast tre av de fem kategorier som identifierats som drivkrafter bakom förlusten av biologisk mångfald. För

att erhålla en heltäckande bild skulle samtliga kategorier behöva analyseras. Detta är dock för närvarande inte möjligt, eftersom det saknas etablerade metoder för att på ett tillförlitligt sätt undersöka de återstående två kategorierna.

I studien *Building materials and their impacts on biodiversity*, som ligger till grund för resultatet av Livscykelanalys, biodiversitet jämförs två stommar mot varandra, en i trä och en i betong. I stommen av betong har ingen analys gjorts av armeringen. Studien tar heller inte hänsyn till material utöver stomme som skulle tillkomma i trähuset, såsom till exempel gips. Biodiversitet kopplat till stål och gips är något som kommer att studeras närmare i den senare uppdateringen (Del 2) av *Trä versus Betong* som utförs av IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

PROJEKTBSKRIVNING

Studien *Trä versus Betong* jämför två likvärdiga flerbostadshus med hyresrätter som Sveafastigheter ska bygga i Vallentuna inom projektet Skogselvan. Det ena huset byggs med trästomme, det andra med betongstomme. Byggnaderna i studien har designats för att vara likvärdiga i funktion, alltså att de har samma antal lägenheter, samma antal kvadratmeter ljus BTA och lik-

värdig energiprestanda. Husen har valts för att de kan anses vara kommersiellt gångbara för vad som byggs just nu när det kommer till flerbostadshus. Tabellen nedan definierar huvudsakliga likheter och skillnader mellan byggnaderna i studien för att underlätta tolkningen av studiens resultat.

TABELL 1: Information om projektet Skogselvan.

FUNKTION	SKOGSELVAN, TRÄHUS (HUS 3-5)	SKOGSELVAN, BETONGHUS (HUS 3-3)
Stomtyp och byggsystem	KL-träbjälklag Bärande yttervägg i KL-trä Bärande innerväggar i KL-trä	BJL: plattbärlag Bärande YV: halvsandwich Bärande IV: prefab massiv
Antal lägenheter	16 lägenheter 13 st 2 rok 3 st 3 rok	16 lägenheter 13 st 2 rok 3 st 3 rok
BOA (kvm)	826	866
Ljus BTA (kvm)	1 051	1 051
Atemp (kvm)	1 023	1 332
Formfaktor	1,28	1,37
Energikrav	Energiklass C Miljöbyggnad 3.2, Silver	Energiklass C Miljöbyggnad 3.2, Silver
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient (Um) [W/m ² K]	0,33	0,28

FIGUR 2: Översiktsbild av de studerade byggnaderna. Trähuset till vänster och betonghuset till höger.



Teori och perspektiv

INLEDNING

I detta kapitel behandlas bakgrunden till vald metodik i projektet. Parametrar som påverkar analysen beskrivs närmare, och forskningsläget kopplat till nyckelparametrar presenteras. Här identifieras ock-

så parametrar som inte har kunnat analyseras inom avgränsningen för detta skede av studien *Trä versus Betong* (Del 1), utan rekommenderas följas upp i senare del av studien.

LIVSCYKELANALYS

Livscykelanalys (LCA) är den metod som används idag för att beräkna byggnaders miljöpåverkan. Vid en LCA beräknas miljöpåverkan under en produkts hela livscykel, från att den tillverkas till att produkten ska tas ur bruk och behöver tas om hand. Förutom att visa byggnadens totala miljöpåverkan kan en LCA också visa i vilket skede byggnadens miljöpåverkan är som störst. Normalt domineras klimatpåverkan för en byggnad av bidraget från byggskedet och driftens energianvändning (Boverket, 2024). Trenden med mer energisnåla hus gör att det i framtiden kommer att vara byggskedet som främst ger upphov till byggnadens miljöpåverkan (Boverket, 2024).

Resultatet från en LCA kan nyttjas för att projektera och bygga med mindre miljöpåverkan. Lag (2021:787) om klimatdeklaration för byggnader som började gälla januari 2022 baseras på LCA, där beräkning av byggnadens klimatpåverkan krävs. Standarden SS-EN 15978:2011 anger riktlinjer och beräkningsmetoder för LCA av byggnader. Standarden kan nyttjas både för nyproduktion och ombyggnation av byggnader. I standarden finns vägledning om bland annat avgränsningar, insamling av data,

FIGUR 3: Byggnadens livscykel (Boverket, 2023).



FIGUR 4: Informationsmoduler vid en LCA (Boverket, 2023).

LIVSCYKELINFORMATION BYGGNAD				TILLÄGGSINFORMATION
A1–A5 Byggskede		B1–B7 Användningsskede	C1–C4 Slutskede	D Fördelar och belastningar utanför systemgränsen
A1–A3 Produktskede	A4–A5 Byggproduktionsskede			
A1 Råvaruförsörjning	A4 Transport	B1 Användning	C1 Demontering, rivning	
A2 Transport	A5 Bygg- och installations- processen	B2 Underhåll	C2 Transport	
A3 Tillverkning		B3 Reparation	C3 Restprodukt- behandling	
		B4 Utbyte	C4 Bortskaffning	
		B5 Ombyggnad		
		B6 Driftsenergi		
		B7 Driftens användning		

indikatorer att inkludera samt redovisning av beräkningsresultat.

En LCA kan redovisa resultatet av påverkan på flera miljöpåverkanskategorier. Vilken eller vilka miljöpåverkanskategorier som omfattas beror på studiens syfte och avgränsningar. Inom byggbranschen är det vanligast att fokusera enbart på klimatpåverkan. De påverkanskategorier som omfattas av SS-EN 15978:2011 är (Boverket, 2023):

- **GWP** – Klimatpåverkan
- **ODP** – Ozonnedbrytning
- **AP** – Försurning
- **EP** – Övergödning
- **POCP** – Marknära ozon
- **ADPe** – Utarmning av icke fossila resurser
- **ADPf** – Utarmning av fossila resurser

Det finns fler miljöpåverkanskategorier inom LCA än ovan, men för vissa saknas det data för bedömning som gör det svårt att beräkna och analysera parametern. Tillgången på miljödata är en viktig parameter i framtagandet av en LCA. Det bästa valet i tidiga skeden av ett byggprojekt, innan val av leverantörer och produkter gjorts, är användande av generiska data för livscykelanalysen. Generiska data är genomsnittsdata som är representativt för produkter för den aktuella marknaden. I samband med att kravet på klimatdeklarationer infördes har Boverket tagit fram generiska klimatdata

(GWP) anpassade för den svenska marknaden. När det i ett senare skede blir klart vilka specifika byggprodukter som ska användas i projektet, ska dessa ersättas med produktspecifik miljödata – i första hand från miljövarudeklarationer (EPD) (Boverket, 2023).

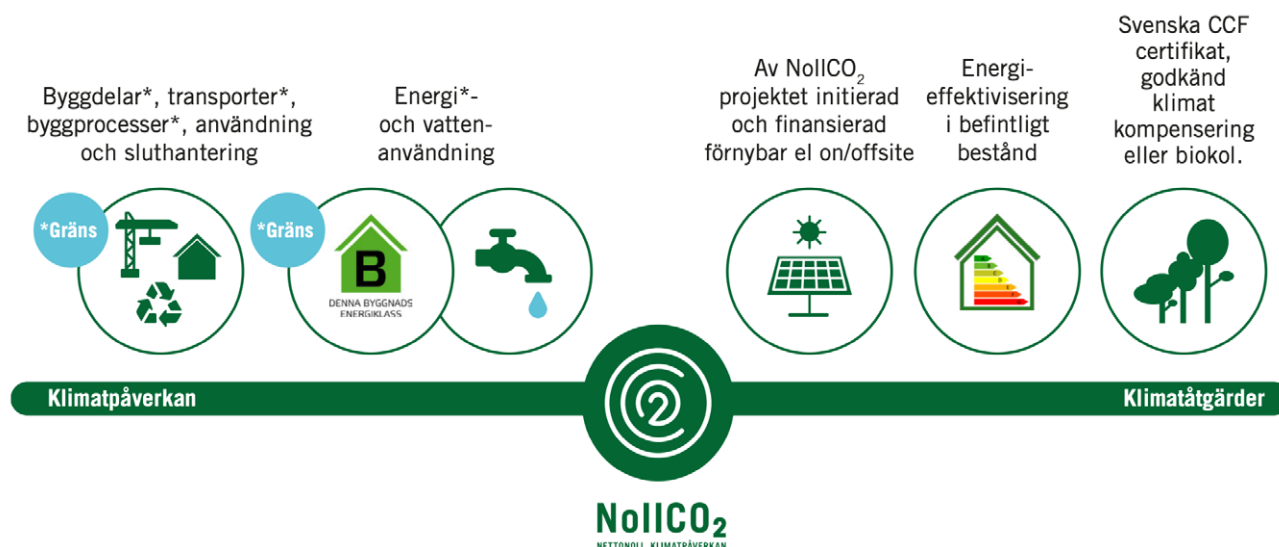
En annan aspekt i avgränsningen i en LCA är vilka byggnadsdelar/arbeten som ska tas med i analysen. Utgångspunkten i SS-EN 15978:2011 är att samtliga byggdelar i byggnadsverket ska inkluderas. Dock görs i vissa fall avgränsningar här – exempelvis inom Lag (2021:787) om klimatdeklaration för byggnader där byggnadens klimatskärm, bärande konstruktionsdelar och innerväggar inkluderas. I dagsläget exkluderas alltså exempelvis pålning, markstabilisering, markarbeten, installationer och invändiga ytskikt från klimatdeklarationer.

I en LCA delas byggnadens livscykel upp i tre skeden enligt SS-EN 15978:2011:

1. Byggskedet
2. Användningsskedet
3. Slutskedet
4. Påverkan utanför byggnadens livscykel

Dessa skeden delas i sin tur upp i vad som kallas informationsmoduler. En informationsmodul beskriver processerna under livscykeln. Genom att redovisa LCA-resultat på samma sätt, blir det lättare att tolka och jämföra resultaten från olika projekt med varandra.

FIGUR 5: NollCO₂, Nettonoll klimatpåverkan genom koldioxidbalans (Sweden green building council, 2025).



LIVSLÄNGD OCH ANPASSINGSFÖRMÅGA

Beräkning av användningsskedet (B) och slutskedet (C) av en byggnads livscykel innebär många antaganden kring hur byggnaden kommer användas och hur framtida energiförsörjning kommer se ut. En längre beräknad livslängd kräver fler antaganden.

Den livslängd som används i beräkningen kommer att få stor påverkan på resultatet och hur stor andel av klimatpåverkan som inbyggda material står för under en byggnads livscykel. Här kommer också aspekten kring möjligheten att anpassa en byggnad för framtida förändrade behov in.

En byggnad som kan anpassas för nya krav och verksamheter, som exempelvis ökat behov av tekniska installationer eller ökade laster, har större chans att stå kvar länge. Avseende flexibilitet i en byggnad ger betong och stålkonstruktioner fördelar med större spännvidder som möjliggör en mer öppen och flexibel konstruktion. Något som också premieras i taxonomins kriterier avseende "Design for adaptation" (EU Taxonomy Navigator (2024), European Commission). Vidare är dagens träkonstruktioner inte anpassade för reparation/utbyte om delar av en byggnad skulle skadas av till exempel brand eller fukt, här behöver branschen utveckla bygg- och konstruktionsmetoder.¹ En trästomme liksom en betongstomme ska kunna stå i 100 år, vilket ställer krav på byggnadens förmåga att anpassas för framtida behov och förutsättningar.

BIOGEN KOLINLAGRING

Kol lagras i växande grödor genom fotosyntes, där koldioxid upptas från atmosfären i tillväxtprocessen. Alltså finns bundet kol lagrat i byggmaterial som trä, hampa och annat material med biologiskt ursprung. **I dagsläget finns ingen tydlig branschstandard i Sverige för hur biogent lagrat kol ska beräknas och inkluderas i en byggnads livscykelanalys enligt gällande standarder** (EN 15804 och EN 15978). En väsentlig parameter i analysen i projektet är därför frågan om hur biogent lagrat kol ska värderas. Hur det inlagrade kolet i materialet beräknas samt konverteras till koldioxid har en tydlig och anammande metodik i standarden EN 16449 (EN 16449:2014), eller genom att använda GWP-biogenic för produkter med EPD enligt 15804+A2-standard. Däremot är frågan om hur det lagrade kolet får hanteras och eventuellt betraktas som en kolsänka omdiskuterad.

I Boverkets slutrapport för gränsvärde för byggnaders klimatpåverkan (Boverket, 2023:20) föreslås att mängden bundet förnybart biogent kol i byggprodukter inte ska redovisas i den utökade klimatdeklarationen 2027. Detta med motiveringen att det inte finns konsensus kring hur biogen kolinlagring i byggnader ska värderas som kolsänka. Boverket hänvisar vidare till att arbete pågår inom EU med att utreda hur frågan ska hanteras i livscykelanalyser av produkter (Product Environmental Footprint, PEF), och att detta arbete bör följas. I slutet av 2024 släpptes också "Framework for permanent carbon removals, carbon farming and

¹ Yutaka Goto, intervju med författaren, 6 oktober 2023.

carbon storage in products“, en EU-framtagen rapport med syfte att utveckla ett ramverk för kolsänkor inom Europa. I denna rapport lyfts att träprodukter som lagras i minst 35 år, likt träbaserade byggmaterial, kan ses som en kolsänka (European Council, 2025).

I det svenska certifieringssystemet NollCO₂ får biogen kolinlagring i långlivade trävaror användas som en balanserande åtgärd för att uppnå netto-noll klimatpåverkan inom ett projekt (Sweden green building council, 2025). Det lagrade kolet betraktas alltså inte som en del av byggnadens livscykel, utan hanteras utanför livscykeln. En långlivad trävara är definierad som en produkt med livslängd om minst 35 år, med motiveringen att detta linjerar med förslaget från tidigare nämnda Carbon Removal Carbon Farming-rapporten. Figur 5 nedan beskriver hur balansåtgärder beskrivs som en vågskål i systemet för att uppnå nettonoll klimatpåverkan.

För att få använda metoden måste därför CCF-certifikat (kontinuitetsskogsbruk, eng. Continuous Cover Forestry) köpas. I samband med certifieringen överlämnas kopior på köpta certifikat för nyttjad mängd till SGBC. Koldioxidupptaget beräknas genom att använda GWP-biogenic värdet för produkter med EPD enligt EN15804+A2-standard.

I LFM30 får kolsänkor i byggmaterial tillgodogöras som balanseringsmetod för att uppnå nettonoll klimatpåverkan. LFM30 har ännu inte helt fastställt med vilken metodik biogent kol ska beräknas, projektet får argumentera för sin valda metodik tills det fastställs (senast 2025). Däremot finns förslag på metodik för beräkning av biogent lagrat kol i byggmaterial inom LFM30 som stöd i beräkningsmall för återbetalningsplan version 1.7 (Holmgren, 2023) (Erlandsson, 2022). 50 procent av värdet enligt schablonen får återopas i klimatbudget i LFM30. Schablonerna i LFM30s återbetalningsplan är hämtade från Erlandsson et.al (2020). Metoden för biogen kolsänka i LFM30 utgår från odlad skog, att skogen bedöms på landskapsnivå, samt att återplantering av skogen sker. Resonemanget är att i en brukad skog är återplantering och återväxt hanterad (Erlandsson et. al., 2022). Det ställs alltså inte krav på certifikat för träråvaran såsom FSC, PEFC eller liknande i dagsläget.

I en av referensrapporterna till Erlandsson et.al (2020), Erlandsson et. al (2018) beskrivs hur värdet av det biogent bundna kolet kan betraktas som kolsänka. I rapporten framgår att “värdet på bundet biogent kol i form av koldioxid beskriver grunden för vad som skulle kunna räknas in som en kolsänka i samhället helt, delvis eller inte alls”. I rapporten beskrivs värdet av fördröjning av koldioxid. Koldioxid har en mycket lång livstid i atmosfären. Sett för en oändlig tidshorisont, har utsläpp idag och i framtiden samma betydelse. Men i ett kortare tidsperspektiv, för nationella och internationella hållbarhetsmål och risker för kritiska tröskelvärden för global uppvärmning, så spelar utsläppens tidpunkt roll (Cherubini et al., 2012). **En koldioxidmolekyl bidrar till global uppvärmning så länge den stannar i atmosfären, varför**

koldioxidutsläppen är mindre skadliga för klimatet desto senare de inträffar.

Koldioxid som absorberas under träråvarans tillväxt och frigörs vid förbränning 50 år senare har alltså hållits undan från atmosfären i 50 år, vilket är fördelaktigt för att minska den globala uppvärmningen.

En förutsättning är att träråvaran kom från ett hållbart skogsbruk där avverkade träd ersätts med nya träd kontinuerligt. Tillfällig lagring av kol i trävaror kan alltså anses ha en positiv inverkan på klimatet.

Erlandsson et. al (2018) hänvisar vidare till metodik enligt den engelska standarden PAS 2050 (PAS 2050, Annex E) där fördröjning av utsläpp från tillfällig kolinlagring (som en trästomme i en byggnad) kan värderas. Sänkor värderas under perioden 1–100 år där 1 kg biogen koldioxid från ett förnybart system får en kredit linjärt mellan 0 till 1 kg CO₂e/kg biogen CO₂ beroende av hur länge den undanhålls från atmosfären. 40 års fördröjning ger 0,4 kg CO₂e. Genom PAS 2050 finns alltså en metod för att värdera effekten av kolsänkan i biogent lagrat koldioxid över en byggnads livscykel.

KARBONATISERING

Betong tillverkas av cement, ballast och vatten. Det är förhållandet mellan vatten och cement som till största del bestämmer betongens egenskaper, men även cementtyp, ballastens egenskaper och sammansättning har betydelse. Cement tillverkas till största del av kalksten som malts till pulver och lera och sedan bränts till små cementkulor (cementklinker). För att göra detta så hettas kalken och lera upp till omkring 1 450 grader i stora ugnar. Under denna process, som kallas kalcinering, frigörs koldioxid (Betonginitiativet, 2018). Livscykelanalyser av betong visar att mer än 90 procent av koldioxidutsläppen från betong kommer från cementklinker.

Karbonatisering av betong är en naturlig process som innebär att kalkcement naturligt vill återgå till kalksten, och därmed absorberar koldioxid från omgivande luft. Processen är långsam och pågår under hela betongens livstid (Heidelberg Materials Cement, 2024). Karbonatisering innebär en ökad risk för rostangrepp i armering, det är därmed inte önskvärt att alla betongkonstruktioner karbonatiseras. Fenomenet är välkänt och har alltså historiskt sett framför allt bekämpats ur hållfasthetsperspektiv. I och med den klimatutmaning världen står inför har perspektivet skiftats något (RISE, 2023).

Frågan är hur stor effekt karbonatisering kan förväntas ha, jämfört med de utsläpp de cementbaserade produkterna ger upphov till i tillverkningen. Mängden koldioxid som betongen i en byggnad kan uppta påverkas av tidsaspekten för analys, vilka bindemedel som används i betongen (kalkcementhalten), betongens kvalitet och betongens exponering mot luft och fukt i färdig byggnad (Strippel et al. 2021). Standarden EN 16757 definierar en metodik för beräkning av karbonatisering från betong

och förtillverkade betongprodukter. I standarden finns också justeringsfaktorer vid användning av andra bindemedel än Portlandcement, till exempel masugnsslagg som är ett vanligt förekommande bindemedel i klimatförbättrande betongprodukter. Användande av masugnsslagg som bindemedel ökar hastigheten på karbonatiseringen i betongen, men den ökar inte det totala upptaget av koldioxid i betongen (Strippel et al. 2021).

För att beräkna hur stor effekt karbonatisering får i en färdig betongbyggnad behövs således information om bindemedel i betongen. Dessutom behöver ett antal antaganden göras om betongens exponering för luft och fukt under byggnadens livslängd. Karbonatisering i betong beaktas inte i NollCO₂s metodik (SGBC, 2024). LFM30 däremot godkänner karbonatisering i betong som en möjlig metod för att uppnå koldioxidbalans i sin metodik (Holmgren, 2023). Hur karbonatisering ska beräknas är däremot inte krävställt i metodiken i dagsläget. Däremot hänvisar LFM30 till (Erlandsson, 2019) som i sin tur hänvisar till en tidigare studie (Erlandsson, 2017) där antaganden om exponeringsgrad i en betongbyggnad gjorts och beräkningsresultat och metodik redovisas mer i detalj. Bland annat hänvisas till standarden EN 16757. Den aktuella byggnaden har betong i både fasad och stomme, 10 procent av ytan antas exponeras utifrån, resten invändig exponering. Samtliga invändiga väggytor är antingen målade eller tapetserade. Karbonatiseringen vid plastmatta, klinker, parkett eller laminatgolv sätts till noll. Erlandsson (2019) anger att karbonatiseringen minskar med en rotfunktion vilket innebär att det går snabbt i början men avstannar med tiden. Mellan år 80 och 100 karbonatiserar bara 11 procent. Uppnådd karbonatisering under 100 år enligt de antaganden som gjorts är 0,054 kgCO₂e/kg bindemedel typ CEM I. Detta motsvarar 10 procent av de ursprungliga utsläppen för bindemedlet.

I Boverkets rapport (Boverket, 2023:20) förtydligas att karbonatisering av betong inkluderas i livscykelmodul B1. Rapporten hänvisar också till (Erlandsson, 2019), samt till (Löfgren, 2021) avseende analys av mängd infångad koldioxid via karbonatisering under en byggnads livslängd. Löfgren studerade ett liknande typhus med sandwich-element i fasaden, bärande innerväggar av betong med en målad insida, samt bjälklag med ytskikt på ovansidan och målad undersida. Karbonatiseringen under 100 år uppgick till 10 procent av de initiala utsläppen (i modul A1–A3) för cementprodukter i byggnaden. Det motsvarar 8–9 procent av de initiala utsläppen av betongprodukterna i byggnaden. Ungefär 70 procent av karbonatiseringen uppskattas att ske under de första 50 åren.

Vidare skriver Boverket (Boverket, 2023:20) med hänvisning till (Malmqvist et al., 2023) att karbonatiseringen under 50 år motsvarar ungefär 3,5 procent av utsläppen inom modul A1–A3 för ett flerbostadshus av denna typ, där drygt 60 procent av utsläppen är kopplade till betonganvändning. **Om alternativa**

bindemedel används i betongen för att minska dess klimatpåverkan (exempelvis masugnsslagg) minskar också mängden koldioxid som absorberas under byggnadens livslängd. Då det handlar om en förhållandevis begränsad bindning av koldioxid bedöms att en inkludering av B1 i en utökad klimatdeklaration inte skulle påverka produktval i någon större utsträckning. Det behöver också definieras vilka andra utsläpp och upptag som ska redovisas i modul B1, Boverket har därmed valt att exkludera modul B1 i förslaget om utökad klimatdeklaration 2027.

I början av 2025 gjordes även en uppdatering IVL:s skrift "Anvisningar för LCA-beräkning av byggprojekt" där en schablon för karbonatisering publicerades för att stötta svenska byggbranschen i beräkningen av karbonatisering (IVL, 2025). För 50 års livstid nyttjas då ekvationen:

$$-2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kgCO}_2\text{e}}{\text{kg betong}}$$

Sammanfattningsvis bedöms karbonatisering från betong ge relativt liten effekt under livscykeln på byggnadens klimatpåverkan i sin helhet.

KLIMATFÖRBÄTTRANDE ÅTGÄRDER

Materialinnovation spelar en nyckelroll i byggsektorns klimatomställning. För betong, som är en av de största källorna till koldioxidutsläpp, pågår intensiv forskning för att minska cementens klimatpåverkan. Alternativa bindemedel, såsom slagg, flygaska och lera, används allt oftare som ersättning för traditionell cement (Betongbranschen, 2023)(Byggkoll, 2023). Även för trä finns framsteg inom behandlingar och prefabricerade lösningar som förbättrar materialets hållbarhet. Till exempel utvecklas biobaserade ytbehandlingar som ökar träets motståndskraft mot fukt och brand, vilket förlänger livslängden och minskar behovet av framtida reparationer eller utbyte (RISE, n.d.) (Svenskt Trä, 2019).

En viktig strategi för att minska klimatpåverkan från betong är att använda materialet där det verkligen behövs och med rätt sammansättning för ändamålet. Betongens egenskaper, såsom hållfasthet och beständighet, bör anpassas efter konstruktionsens specifika krav. Till exempel kan högrepresterande betong användas i bärande element som utsätts för stora laster, medan lättviktsbetong eller andra alternativ används i mindre kritiska delar av byggnaden. Genom att optimera materialvalet minskas överanvändning av cement, vilket har en direkt effekt på utsläppen.

Slimmade stomsystem är en effektiv metod för att reducera klimatpåverkan genom att minimera materialanvändningen. Med hjälp av avancerade beräknings- och simuleringsverktyg kan ingenjörer optimera konstruktionen för att använda så lite material som möjligt utan att äventyra säkerhet eller hållfasthet (Happio, A.

et al., 2020). För betong kan detta innebära att minska tjockleken på golvplattor eller balkar, medan det för trä kan handla om att använda laminerade träprodukter, såsom limträ och korslimmat trä (KL-trä), för maximal styrka med minimal materialåtgång. Denna strategi är

särskilt viktig eftersom den inte bara minskar utsläppen från materialproduktionen utan också kan bidra till lägre transportkostnader och minskad energiåtgång vid byggandet.

BIODIVERSITET

Biologisk mångfald eller biodiversitet är ett samlingsbegrepp för rikedom av arter, den genetiska variationen inom arten och de ekosystem där arterna ingår (Isof, 2021). Begreppet betonar betydelsen av variationsrikedom bland alla levande organismer, ekosystem och de livsmiljöer där de ingår. Enligt IPBES (The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) finns det fem huvudsakliga drivkrafter till förlust av biologisk mångfald (IPBES, 2019):

- Klimatförändringar
- Föroreningar
- Invasiva arter
- Habitatförändringar
- Överexploatering av arter

För att få en heltäckande bild av påverkan på biodiversiteten bör alla utvärderas. Det finns fyra olika nivåer att studera; biologiskt kulturarv, mångfald av ekosystem, mångfald av arter samt genetisk variation inom arter (Bracy Knight et al., 2020). Dessa fyra kan delas in i flera underkategorier. De biologiska kulturarven kan dessutom innehålla många olika ekosystem, som i sin tur innehåller många olika typer av arter med olika genetisk variation. Biodiversitetens komplexitet gör det är svårt att hitta ett sätt att mäta påverkan på den. Vilken enhet ska användas? Vad är det som ska kvantifieras och hur ska det värderas mot andra faktorer?

Inom bygg- och fastighetsbranschen har biodiversitet varit en het fråga de senaste åren. Många fastighetsägare arbetar med att öka den biologiska mångfalden på sina fastigheter och flera av de miljöcertifieringar som används i Sverige har krav som gynnar biologisk mångfald på platsen (LEED, BREEAM, Svanen och Miljöbyggnad). Förutom Svanens extrapoäng för Naturnära/hyggesfritt skogsbruk och kravställningar som berör vilket typ av trä som får köpas in, är dessa krav begränsade till själva fastighetens utformning. **Att kvantifiera hur olika materialval i byggskedet bidrar till minskad eller ökad biodiversitet till följd av materialframställningens påverkan görs inte alls i dagsläget.** En av anledningen till detta är troligtvis att biodiversitetens komplexitet ännu inte helt inkorporerats i ramverket för framtagningen av en LCA (Crenna et al., 2020). Detta då ingen allmänt accepterad metod finns tillgänglig som täcker alla aspekter av biologisk mångfald.

Som en del av arbetet med projektet har Sveafastigheter initierat framtagningen av två examensarbeten under ledning av Ulrika Palme, Chalmers Universitetslektor, Environmental Systems Analysis, Chalmers tekniska högskola. Arbetena går under namnen *Assessing impacts on biodiversity in the building sector* av Albinsson et al. och *Building materials and their impacts on biodiversity* av Christiansson et al. Resultatet från dessa arbeten ligger till grund för biodiversitetsdelen i denna rapport.

BIODIVERSITET OCH TRÄ

Den vanligaste typen av skogsbruk i Sverige är trakt-hyggesbruk. En annan metod som används är kontinuitetsskogsbruk (eng. Continuous Cover Forestry). Intresset för kontinuitetsskogsbruk har ökat i exempelvis Schweiz, södra Tyskland, Slovenien och östra Frankrike. I Sverige har dock metoden mötts av viss skepticism (Hertog et al., 2022). Enligt Hertog et al har Sverige en lång historia av att skapa unga och produktiva skogar som inte ger förutsättningar för strukturella livsmiljöer, detta gör att Sverige sticker ut bland nordligare länder för skogarnas begränsade förmåga att stödja biologisk mångfald.

TRAKTHYGGESBRUK

Trakthyggesbruk (även kallat kalhyggesbruk) är en metod att bedriva skogsbruk på som innebär att det etableras en ny generation träd samtidigt i ett skogsbestånd. Detta innebär att alla träd i skogen kommer att ha samma ålder vilket resulterar i en homogen skog. Under sin livslängd tas skogen omhand med olika typer av gallring och röjning tills det är dags för slutavverkning. Slutavverkning innebär att majoriteten av alla träd tas ner förutom några få som är kvar för att skydda nya plantor mot frost, skydda jorden från att bli mättad av vatten och för att fröa av sig till nya plantor. Tiden från en slutavverkning till nästa slutavverkning kallas omloppstid. Omloppstiden för den här typen av skog kan variera, från knappt 50 år för en bördig granskog i södra Sverige till 129 år för en mager tallskog i norr. (Skogskunskap, 2023)

Trakthyggesbruk påverkar förutsättningarna för liv för flera olika arter när alla träd huggs ner och med det den rådande levnadsmiljön. Röster inom miljörörelsen

hävda att det bör ses som en plantering snarare än en skog (Naturskyddsföreningen, 2022). Det är dock ett ämne under debatt, då **det behövs mer forskning för att helt kunna säkerställa vilken påverkan på biodiversitet de olika skogsbruksmetoderna har** (SLU, 2023).

Representerar för skogsindustrin, såsom Skogsindustrierna, betonar den klimatpositiva påverkan den svenska skogen har, som ett svar på den kritik som traktorhyggesbruk möter (Skogsindustrierna, 2020) (Hertog et al., 2022). Detta stöds av Goto som påtalar att ur ett klimatperspektiv och med rätt användning av råvarorna från skogen, bidrar den som kolsänka.²

ALTERNATIVA SKOGSBRUKSMETODER

Kontinuitetsbruk och hyggesfritt skogsbruk är två metoder inom skogsbruk som syftar till att bevara ekosystem och biologisk mångfald. Hyggesfritt skogsbruk är ett komplext begrepp som kan ha många olika syften och innefatta många olika saker. Definitionen av hyggesfritt skogsbruk har därav under perioder ansetts odefinierad. Skogsstyrelsen har därför tagit på sig att definiera vad som bör ingå i begreppet (Appelqvist, 2021). Det går att argumentera för att kontinuitetsbruk är en form av hyggesfritt skogsbruk då kontinuitetsbruk har hårdare definitioner än hyggesfritt skogsbruk.

HYGGESFRITT SKOGSBRUK

Hyggesfritt skogsbruk definieras som "Hyggesfritt skogsbruk på skogsmark med produktionsmål innebär att skogen sköts så att marken alltid är trädbevuxen utan att det uppstår några större kalhuggna ytor" (Appelqvist, 2021). Det finns krav på hur höga träden måste vara, hur tät skogen ska vara samt på markägarens intentioner med marken. Det finns dock undantag som innebär att det går att skapa "luckor" i skogen på 50 x 50 meter. Vanliga metoder för hyggesfritt skogsbruk är luckhuggning, blädning, schackrutehuggning och överhållen skärm.

Den allmänna uppfattningen är att hyggesfritt skogsbruk är gynnsamt för biologisk mångfald även om det finns kritiker som argumenterar för motsatsen (Espmark, 2017).

KONTINUITETSBRUK

FCSs nya skogsbruksstandard har introducerat begreppet kontinuitetsskogsbruk, vilket är en mer specifik och snäv definition än hyggesfritt skogsbruk (Skogskunskap, 2023).

Så här beskriver FSC kontinuitetsskogsbruk:

Kontinuitetsskogsbruk (Continuous cover forestry):

Ett brukande med mål att hålla marken kontinuerligt bevuxen med träd och där brukandet underhåller eller utvecklar skogens skiktning. Kontinuitetsskogsbruk är en form av hyggesfritt skogsbruk. Med hyggesfritt skogsbruk menas ett brukande utan att skogen kalavverkas, det vill säga att marken är kontinuerligt bevuxen med träd och att beståndet har en viss lägsta slutenhet. Till exempel kan frö- och timmerträdställningar, luckhuggning och skärmträd ingå i ett hyggesfritt skogsbruk, men dessa räknas inte som kontinuitetsskogsbruk. (FCS, 2022)

I ett kontinuitetsskogsbruk består skogen av träd i olika storlekar och åldrar. Det innebär att när skog avverkas, kommer vegetation fortfarande ha ett liknande utseende som innan avverkningen (Albrektson et al., 2012). Det går alltså inte att avskilja olika utvecklingsfaser. Rent definitionsmässigt är kontinuitetsskogsbruk inte begränsat till vissa trädslag eller marktyper, i praktiken är det dock bara skuggtåliga trädslag som kan skapa och upprätthålla fullskiktad skog. Det är därför i Sverige i första hand aktuellt för granskog.

I Europa uppskattas det att runt 22–30 procent av skogen drivs med kontinuitetsskogsbruk. Det finns i dagsläget ingen tillförlitlig data på hur stor del som är kontinuitetsskogsbruk i Sverige, men uppskattningsvis runt 5 procent eller mindre (Hertog et al., 2022). Det finns empiriska studier som påstår att kontinuitetsskogsbruk ger omkring 20 procent lägre avkastning än traktorhyggesbruk (Albrektson et al., 2012). Andra påstår att avkastningen kan vara upp till 40 procent lägre vid kontinuitetsskogsbruk (Karlson, 2006). Det är dock svårt säkerställa den exakta siffran och vad denna skillnad beror på då en skogs produktivitet beror på många olika faktorer, cyklerna är långa och många antaganden måste göras i analysen.

Naturvårdsverket och andra miljöorganisationer lyfter fram att **kontinuitetsbruk även kan vara en del av lösningen för att minska förlusten av biologisk mångfald och stärka ekosystemtjänster i produktions-skogar.**

BIODIVERSITET OCH BETONG

Betong består av en blandning av cement, ballast och vatten, där dess egenskaper huvudsakligen påverkas av vatten-cementförhållandet. Även valet av cementtyp samt ballastens sammansättning och egenskaper spelar en avgörande roll för betongens hållfasthet och prestanda (SGU, 2023).

CEMENT

Som tidigare beskrivit så tillverkas cement till största del av kalksten som malts till pulver och lera för att sedan brännas till små cementkulor, se kapitel Karbonatisering (Betonginitiativet, 2018).

Kalkstenen kommer från kalkstensbrott. Runt om i Europa finns det omkring 400 kalkstensbrott, varav många ligger i karstlandskap, vilka ofta har en unik fauna och flora samt speciella hydrologiska förhållanden med underjordiska strömmar, grottor och stora källor.

Dessa unika kalkstensmiljöer har bildats under miljontals år av olika naturliga processer, vilket innebär att de är svåra, ibland omöjliga att återställa när de väl skadats. Det kan vara så att vissa arter bara existerar på en specifik plats i ett specifikt karstlandskap, vilket innebär att ett kalkstensbrott på den platsen kan leda till global utrotning av arten (IUCN, 2014).

Den omvandling och förstörelse av habitat som sker när själva området görs om till kalkbrott, men även den omgivande infrastrukturen såsom byggande av vägar, är direkta effekter av stenbrottverksamhet. När människan utvidgar sina områden till områden som tidigare varit orörda innebär det att vilda djur kan störas av buller från sprängningar och av trafik. När kalkstenen utvinns kan det leda till föroreningar i området såsom damm till luften, vilket stör ekosystemet i karstlandskapet som innehåller mycket sötvatten eller förorening av marken genom att dammet sedimenterar (IUCN, 2014).

Att byta ut en del av cementen mot material som slagg (en biprodukt från stålproduktion) eller flygaska (en biprodukt från kolkraftverk) påverkar inte bara klimatpåverkan positivt, även biodiversiteten. Detta då det innebär en minskad användning av kalkstensmjöl och därav också mindre brytning av kalksten.

BALLAST

70–80 procent av betongens volym är ballastmaterial. Som ballast nyttjas i huvudsak krossad sten eller naturgrus. Naturgrus har väldigt goda egenskaper för betongtillverkning men är samtidigt en ändlig resurs som är viktig för bland annat grundvatten. I Sverige begränsas uttag av naturgrus bland annat via miljömålet "Grundvatten av god kvalitet" (Sveriges miljömål, 2025). Med hänsyn till detta pågår en utfasning av naturgrus i betongtillverkningen och idag använder många tillverkare uteslutande krossad ballast (Betonginitiativet, 2023).

Naturgrus som återfinns i bland annat rullstensåsar eller andra formationer har en god förmåga att lagra grundvatten. På så vis har naturgrus en avgörande roll för dricksvattenförsörjning men även för energiförsörjning och för natur- och kulturlandskapet (Sveriges miljömål, 2025).

När ballast i stället utvinns via täkter innebär detta stora ingrepp i naturen (SBUF, 2015). I samband med berg-, sand- och grustäkter lyfts dock även positiva aspekter för biodiversitet då täkten skapar vissa unika livsmiljöer som är ovanliga i vardagslandskapet.

VATTEN

Vatten är en av huvudingredienserna i betong och utgör cirka 6 procent av dess sammansättning (Svensk betong, n.d.). När processvatten också räknas in utgör vatten runt 30 procent av de totala resurserna som används i betongproduktionen (CarbonCure, 2023). Det gör att betongproduktionen står för närvarande för 9 procent av den globala industriella vattenanvändningen (Miller et al, 2018).

Vid tillverkning av betong används vatten i flera delar av processen, så som till exempel:

- **Blandning och härdning:** Vatten tillsätts för att aktivera cementens bindemedelsegenskaper, vilket möjliggör betongens härdning.
- **Kylning och rening:** Vatten används för att kyla utrustning och för rökgasrening under cementproduktionen (Heidelberg materials, 2019). Vatten används även för att rengöra betongblandare, verktyg och annan utrustning, vilket förhindrar ansamling av härdad betong och bidrar till att bibehålla maskinernas effektivitet och livslängd.

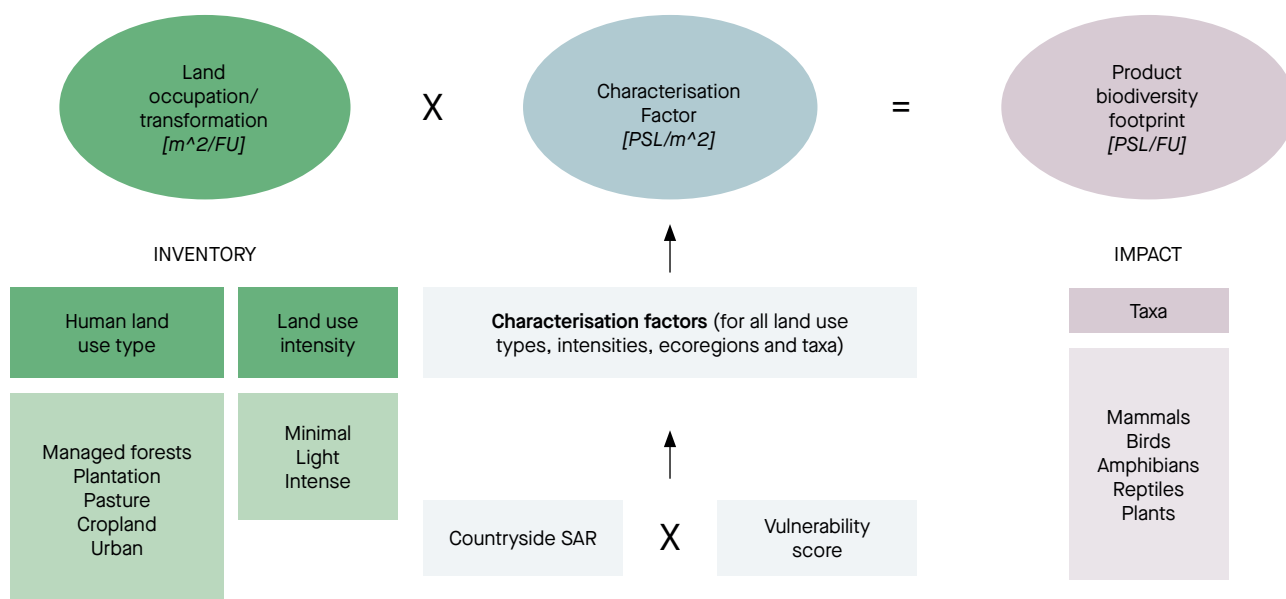
Hur mycket användningen av vatten påverkar den omgivande miljön med till exempel vattenbrist beror på var produktionen sker. I områden där vatten redan är en bristvara (t.ex. torra eller halvtorra regioner) påverkar en hög vattenanvändning mer än i områden där tillgängligheten är större.

BYGGMATERIALENS PÅVERKAN PÅ BIODIVERSITET

Som tidigare nämnts jämförs två likvärdiga hus med olika bärande konstruktioner, en i trä och en i betong med varandra i ett examensarbete (Albinsson et al, 2023). Husen ska byggas av Sveafastigheter som också är initiativtagare till studien. Detta för att undersöka vilket material som är bäst ur ett biodiversitetsperspektiv.

För att göra detta användes tre olika metoder: Chaudhary, Brooks samt Kuipers et al. och ReCiPe. ReCiPe valdes som en av metoderna då den använder sig av kategorierna klimatpåverkan, föroreningar (försurning, övergödning, marknära ozon samt potential för vattenbrist) och markanvändning, vilket är tre av fem kategorier som anses driva på förlusten av biologisk mångfald. Chaudhary och Brooks samt Kuipers et al använder sig enbart av en kategori, markanvändning, men undersöker detta mer djupgående än ReCiPes metod. Rapporten uttryckte svårigheter med att hitta en metod som tog hänsyn till exploatering av arter eller invasiva arter, detta är därför inte inkluderat i analysen. Resultatet av rapporten kommer att analyseras i kapitlet Resultat.

FIGUR 6: Chaunhary and Brooks, metodik för analys av påverkan på biodiversitet. (Chaudhary & Brooks, 2018).



METODIK ENLIGT CHAUDHARY AND BROOKS

Chaudhary and Brooks är en metod för livscykel-påverkansbedömning. Metoden visar påverkan på den biologiska mångfalden genom att mäta hur förändring i markanvändningen påverkar förlusten av arter (Chaudhary & Brooks, 2018). Detta görs genom att räkna på globala och regionala karakteriseringsfaktorer för fem artgrupper (däggdjur, fåglar, groddjur, reptiler och växter) för fem landskapstyper (brukad skog, plantager, betesmarker, odlingsmark och städer). Metodiken använder sig alltså av ett natur-art-yta-samband (cSAR, Countryside Species Area Relationship).

Påverkan på biodiversiteten beräknas genom att koppla samman markanvändning och markförändring med förlusten av arter. Detta görs genom att analysera vilken typ av mark som används, intensiteten i användningen, samt hur stor area som krävs för att producera råmaterialet i fråga.

METODIK ENLIGT KUIPERS ET AL.

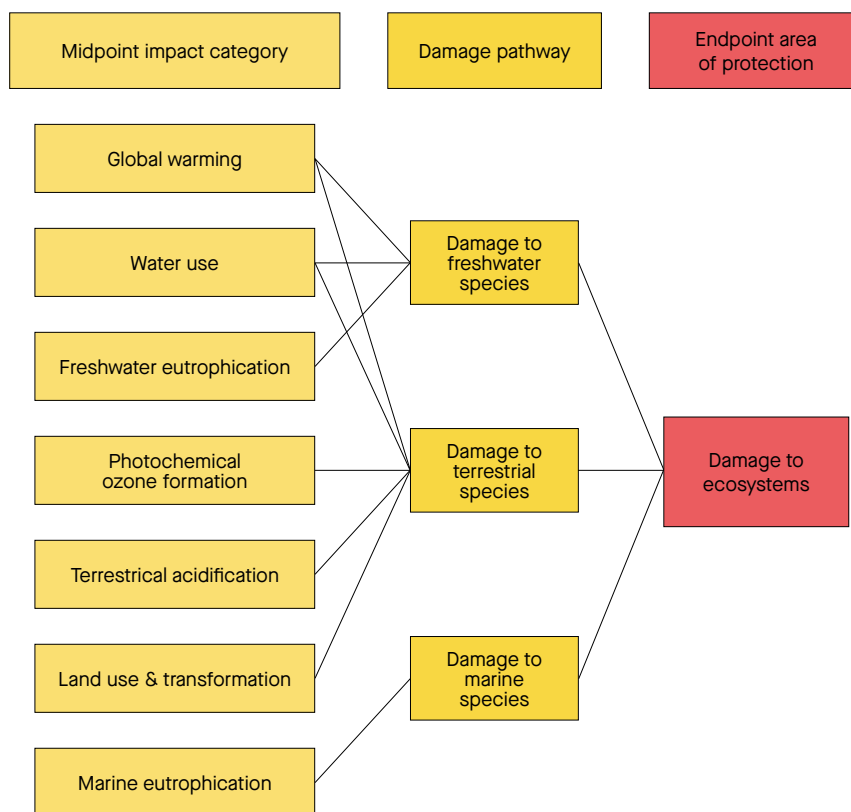
Kuipers et al. använder sig av sambandet mellan art och habitat (Kuipers et al., 2021). Den tar hänsyn till förändringar i habitat och fragmenteringseffekter (effekten av gradvis uppdelning av biotoper) för att utveckla markanvändnings karakteriseringsfaktorer för fyra artgrupper (däggdjur, fåglar, groddjur och reptiler) i olika typer av ekoregioner och för fyra landskapstyper (stads-, odlingsmark- och betesmark samt skogsbruk).

Det innebär att Kuipers et al. i likhet med Chaudhary and Brooks använder sig av ett landskap-art-yta samband (cSAR). Markanvändning har dock högre påverkan i Kuipers et al. än i andra cSAR föregångare, vilket tyder på att markanvändning är underskattade i tidigare metoder. Kuipers et al. tar också hänsyn till landskapets permeabilitet och artspridningsavstånd vilket inte görs i metodiken enligt Chaudhary and Brooks.

METODIK ENLIGT RECIPE

ReCiPe är en metod för livscykel-påverkansbedömning (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) i en LCA (RIVM, 2018). I en livscykel-påverkansbedömning kvantifieras föroreningar och kopplas till de miljöpåverkanskategorier som de bidrar till. Om en process till exempel släpper ut koldioxid (CO_2) och metan (CH_4) till atmosfären, så kommer de bidra till den globala uppvärmningen, vilket är en av många miljöpåverkanskategorier. Det som gör ReCiPe speciellt är att den kopplar ihop midpoint-kategorier så som global uppvärmning, övergödning och marknära ozon med fler och endpoint-kategorier såsom *Skador på ekosystemet* vilket är den kategori som är intressant för det här projektet. Påverkan på ekosystemet påvisas som "förlust av arter under ett år" (Goedkoop et al., 2013).

FIGUR 7: ReCiPe, mittpunktskategorier sammankopplas med slutpunktskategorier (Albinsson et al, 2023).



ANDRA FAKTORER

I detta kapitel kommer andra faktorer tas upp genom en litteratur- och intervjustudie. Detta för att ge en mer nyanserad bild än vad enbart livscykelanalysberäkningarna ger.

TRÄ OCH BETONG SOM MATERIAL

Trä och betong är två väldigt olika material, med olika förutsättningar och egenskaper. Nedan ges en övergripande genomgång av dessa skillnader för att ge en grundläggande förståelse för respektive material.

TRÄ

Trä är ett material som har många tekniska fördelar såsom låg vikt, goda isolerande egenskaper och hög hållfasthet i förhållande till vikt. Att bygga hus med en större andel trä har blivit allt vanligare de senaste åren.

- **Bättre arbetsmiljö:** Att bygga med trä kan bidra till en bättre arbetsmiljö på byggarbetsplatsen. Trä är betydligt lättare än betong, vilket gör det enklare att transportera, lyfta och montera på byggarbetsplatsen. Dess-

utom har byggarbetsplatser med trästommar ofta lägre damm- och bullernivåer jämfört med gjutning av betong, vilket förbättrar arbetsmiljön (Ramboll, n.d.).

- **Låg densitet:** Trämaterialets relativt låga densitet jämfört med betong gör att det går att lyfta och frakta fler byggelement, större volym, av trä än av betong i samma transport. Det bidrar till bättre frakt- och lyftlogistik i byggskedet som i sin tur kan bidra till en bättre total projektekonomi (RISE, n.d.).
- **Flexibelt material:** Att bygga med KL-trä upplevs som flexibelt eftersom det är lätt att med enkla verktyg göra anpassningar och håltagning med mera både på fabrik och på byggarbetsplatsen (RISE, n.d.).
- **Kortare spännvidder:** Jämfört med betong har trä en lägre tryck- och böjhållfasthet, vilket innebär att det är svårare att skapa stora öppna ytor utan stödjande pelare eller balkar. Detta kan göra trä mindre lämpligt för byggnader som kräver stora, öppna rum som sport-

hallar eller konferensanläggningar (Eriksson et al., 2021). En begränsad möjlighet till öppna ytor utan stödjande pelare kan också vara en begränsande faktor vid framtida ombyggnationer, då det minskar flexibiliteten vid byte av användningsområde (Espinoza et al., 2020). Framsteg inom teknologier som korslimmat trä (KL-trä) har dock förbättrat träs prestanda, vilket möjliggör längre spännvidder och mer robusta konstruktioner (Tyréns, n.d.)

- **Hög hållfasthet i förhållande till vikt:** Trots sin lätta vikt har trä en hög hållfasthet i förhållande till sin densitet, särskilt när det gäller drag- och böjhållfasthet. Detta gör det effektivt för konstruktioner där vikt är en begränsande faktor.

BETONG

Betong är ett robust och mångsidigt material som är väl lämpat för en rad olika byggnadstyper och applikationer. Dess tekniska egenskaper gör det till ett populärt val för konstruktioner som kräver lång hållbarhet och hög bärförmåga (Svensk Betong, 2021).

- **Långa spännvidder:** Betong har hög tryckhållfasthet och kan bära mycket stora laster, vilket gör det möjligt att skapa byggnader med stora öppna ytor och komplexa arkitektoniska former.
- **Hög brandsäkerhet:** Betong är obrännbart och behåller sin strukturella integritet längre vid brand jämfört med trä. Detta minskar behovet av ytterligare brandskydd.
- **Lång livslängd och beständighet:** Betong är motståndskraftigt mot fukt, mögel och skadedjur, vilket bidrar till en lång livslängd och lägre underhållskrav.
- **Flexibilitet i formgivning:** Betong kan gjutas i nästan vilken form som helst, vilket möjliggör unika och komplexa byggnadsstrukturer.
- **Långsam byggprocess och torktid:** Betong kräver lång torktid och härdning innan byggnaden kan belastas fullt ut, vilket kan förlänga byggtiden. Vid gjutning på plats påverkas byggprocessen av väderförhållanden, vilket kan orsaka förseningar.
- **Svårt att återvinna och återanvända:** Betong kan krossas och återanvändas som fyllnads-

material, men det är svårt att återanvända i sin ursprungliga form. Armerad betong måste separeras från stålet vid återvinning, vilket gör processen resurskrävande.

HYBRIDBYGGNADER

Byggnader där både trä och betong används brukar benämnas som hybridbyggnader. Genom att använda trä där dess lätta vikt är mest effektivt, och betong där dess styrka och robusthet krävs, går det att optimerade både byggnadens prestanda och funktionalitet (WW, 2020).

- **Effektiv materialanvändning:** Trä kan användas för överbyggnader och interiöra konstruktioner, medan betong används för fundament, bottenvåningar och andra delar som kräver hög bärförmåga.
- **Ökad designfrihet:** Kombinationen av trä och betong möjliggör längre spännvidder, högre byggnader och större flexibilitet i arkitektoniska lösningar.
- **Förbättrad hållfasthet:** Hybridbyggnader kan dra nytta av träs lätthet och betongs styrka, vilket gör dem lämpliga för en mängd olika projekt.

BRAND OCH FUKT

Riskminimering avseende brand- och fuktskador är två viktiga faktorer i uppförandet och det långsiktiga förvaltandet av en byggnad, både avseende skydd av liv och hälsa samt egendomsskydd. Parametrar som påverkar fukt- och brandrisker är till exempel typ av träkonstruktion, om heltäckande våderskydd används under byggtiden eller huruvida byggnaden ska vara utrustad med sprinkler. Det råder i dagsläget inte konsensus i branschen om hur särskilt fuktrisker ska värderas och mitigeras för stora trähusprojekt. I skrivande stund är projekteringen av Sveafastigheters Skogselvan i Vallentuna tidigt skede varför beskrivning av hur projektet bedömt och mitigerat brand- och fuktrisker redovisas senare i projektet.

RISK- OCH SKADEPERSPEKTIV VID BRAND

Som en del av studien har försäkringsbolagens perspektiv på trä- och betongbyggnader belysts genom en intervju med Josef Brandt, riskingenjör på Länsförsäkringar.³ Riskingenjörer jobbar med att utvärdera

3 Josef Brandt, intervju med författaren, 28 september 2023.

försäkringsbolagens risker med att erbjuda försäkring för fastigheter. Boverkets byggregler avseende brandsäkerhet är inriktade på att skydda liv, till exempel genom att säkerställa att byggnaden har brandceller med brandklassade konstruktioner som säkerställer att byggnaden hinner utrymmas om brand utbryter. Försäkringsbolagets perspektiv handlar om egendoms-skydd, det vill säga hur själva byggnaden klarar sig om en brand utbryter eller en skada uppstår.

Försäkringsbolagens syn är att byggnader med trästomme inte klarar brand lika väl som en betongbyggnad. Det uppstår generellt mer omfattande skador på konstruktionen både avseende skador från branden och från släckningsarbetet varför en träbyggnads restvärde påverkas mer. Det finns skillnader i typ av träkonstruktion, där massiva trästommar står emot brand bättre medan trämodulbyggnader innebär risk för snabbare brandspridning. Risken för egendoms-skada påverkar fastighetens försäkringspremie där betongbyggnader får lägre premier än träbyggnader. Det är dock inte självklart att en fastighet går att försäkra över huvud taget, då BBR inte tar hänsyn till egendomsskydd. Det finns fall där så skett, därför har Länsförsäkringar tagit fram egna riktlinjer för brandskydd för höga träbyggnader. Liknande riktlinjer finns också från andra försäkringsbolag, till exempel Trygg Hansa. Det är troligt att fler aktörer på marknaden utvecklar egna riktlinjer på sikt.

Länsförsäkringars riktlinjer (LF, 2023) gäller bostäder med brännbar stomme med fyra våningsplan eller mer som projekteras från den 1 januari 2023. Till exempel ställs krav på boendesprinkler, obrännbart material i fasad och yttervägg (bärande konstruktion får vara i trä). För att inte riskera att hamna i ett läge där en träbyggnad blir svår att försäkra behöver således hänsyn tas också till egendomsskydd i projekteringen.

För analys i studien *Trä versus Betong* är händelse av brandtillbud svårt att ta hänsyn till. Enligt räddningstjänsten sker cirka hälften av alla byggnadsbränder i bostäder. Under 2022 ryckte räddningstjänsten ut till 2 661 bränder och brandtillbud i flerbostadshus (MSB, 2023). Vidare finns det 2 675 000 lägenheter i flerbostadshus i Sverige (Boverket, 2023). Således sker en brand eller ett brandtillbud i en lägenhet i ett flerbostadshus i cirka 1‰ (1 promille) av lägenheter under ett givet år förutsatt att bränderna är jämnt fördelade över alla lägenheter. Detta är en förenkling då det kan finnas geografiska eller socioekonomiska skillnader i brandfrekvenser. Om brand uppstår kommer dock högst troligt skador ofta uppstå på byggnaden, då begränsad statistik finns för att analysera detta inom projektet kommer ingen närmare analys göras av detta.

TRÄ ÖVER TID

Det finns en utbredd uppfattning om att träkonstruktioner har en kortare livslängd än betong. Denna föreställning grundar sig ofta på skillnader i materialens egenskaper, såsom träets känslighet för fukt och

brand. Men forskning, historiska exempel och innovativa byggnadstekniker visar att **trästommar kan ha en mycket lång livslängd och vara fullt jämförbara med betongstommar, förutsatt att de designas och underhålls korrekt.**

Historien erbjuder många bevis på träkonstruktioners livslängd. Ett exempel är de medeltida timmerhusen i Nordeuropa, varav många fortfarande är i bruk. Dessa flera hundra år gamla byggnader visar att trä är ett mycket hållbart material, särskilt när det används i rätt miljö och med adekvat skydd mot fukt och skadedjur (Brunnberg & Forshed Arkitektkontor, 2022). I Japan är trähus ännu äldre, de berömda templen som Horyu-ji, byggt på 600-talet, består av trästommar som har överlevt århundraden av klimatvariationer och jordbävningar (Geographic, 2018). Även i Sverige och Finland finns exempel på timmerhus från 1700-talet som är i gott skick tack vare konstruktionstekniker som lyfter upp stommen från markfukt och använder tak som skyddar mot regn (Arkeologerna, 2024).

Under de senaste decennierna har teknologiska framsteg gjort det möjligt att ytterligare förbättra träkonstruktioners hållbarhet. Korslimmat trä (KL-trä) har revolutionerat träbyggandet och är inte bara starkt och formstabil, utan också motståndskraftigt mot deformation och sprickbildning. Det används idag i allt från höghus till broar, vilket visar på materialets mångsidighet och långsiktiga användbarhet (Espinoza et al., 2020). Modern impregnering och ytbehandling skyddar trä mot fukt, mögel och insektsangrepp. Kombinationen av dessa teknologier och nya designprinciper gör det möjligt att bygga träkonstruktioner med förväntad livslängd på över 100 år. Flera moderna träbyggnader, som Mjøstårnet i Norge (världens högsta träbyggnad), är utformade med detta mål i åtanke (Nordic Office of Architecture, 2021). Detta innebär att även om betong har många egenskaper som är överlägsna ur ett längre perspektiv, så har trä med rätt förutsättningar möjlighet att hålla under lång tid som stommaterial.

RÄCKER SKOGEN?

Projektet SMARTA Wood (SMARTA Wood, n.d) som avslutades 2021 är ett projekt som leds av Chalmers, som fokuserar på trämaterialflöden i Europa. Ökad efterfrågan på trä från byggsektorn och andra sektorer som arbetar för att uppnå fossilfrihet kan leda till avskogning om användningen av träråvaran inte balanseras med produktionen. Målet med projektet var att ge byggbranschen ett ramverk för optimering av hållbarhetspotential, med hänsyn till tillgången på träresurser i Europa. Studien tittar på träbyggnadsprojekt i Sverige, Finland och Schweiz och analysen tar med ett klimatomfattigt, ekonomiskt och socialt perspektiv där träbyggnaden jämförs med en motsvarande byggnad i betong. Träbyggnaderna konstateras ha lägre klimatpåverkan, men är generellt något dyrare och mer arbetskraftsintensiva jämfört med betongbyggnader. I

ett samtal med Yutaka Goto,⁴ forskare vid institutionen för byggt teknologi på Chalmers och en av de drivande bakom SMARTA Wood-studien, har studien fått värdefull input kring träbyggnation utifrån hans forskarperspektiv.

Inom studien SMARTA Wood har det konstaterats att det ur ett klimatperspektiv är möjligt att bygga mer i trä. Goto lyfter dock att det inte är lämpligt att bygga alla byggnader i trä. I SMARTA Wood låg fokuset på flerbostadshus. Genom att använda träråvaran som stommaterial möjliggörs att träet fungerar som en kolsänka under byggnadens livstid. **För tillfället ökar virkesförrådet, det vill säga att skogen växer mer än vad som huggs ner.** Det finns dock konflikter här med andra sektorer som exempelvis kemiindustrin och energisektorn, detta har inte studerats inom projektet SMARTA Wood. **Idag exporteras merparten av skogsråvaran från Sverige och exporten utgör en viktig del av vår ekonomi. Om träråvaran ska behållas inom landsgränsen i större utsträckning för att utgöra byggmaterial kommer det att få konsekvenser för träindustrins export.**

Med träets potential som kolsänka när den används som byggmaterial väcks också frågan huruvida det ur ett samhällsperspektiv är bättre att bygga tyngre trästommar som lagrar mer kol per byggnad eller lättare trästommar där samma mängd trä kan vara till nytta för fler byggprojekt. Enligt Goto är detta en fråga som behöver studeras från ett högre perspektiv, där virkesbudgeten studeras utifrån samtliga branschens planer och behov av träråvara. Det är dock ett intressant perspektiv och frågeställning att beakta.

UTSLÄPP FRÅN MARK

Under senare år har frågan om kalhyggen bidrar till utsläpp av växthusgaser debatterats flitigt. **Det är ännu osäkert om skogen efter avverkning fungerar som en kolsänka eller en kolkälla** och storleken då dessa utsläpp är svåra att fastställa exakt (Olsson, 2020). Forskning har dock visat att avverkade skogsytor kan leda till betydande nettoutsläpp av växthusgaser, särskilt under den inledande perioden efter kalavverkning.

En studie ledd av Patrik Vestin vid Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap undersökte utsläppen av tre huvudsakliga växthusgaser – koldioxid (CO₂), metan (CH₄) och lustgas (N₂O) – från kalhyggen.⁵ Mätningarna, som genomfördes mellan 2010 och 2013, inleddes ett år efter avverkning och markberedning. Studien undersökte både fuktiga och torra delar av hyggen för att analysera skillnader i utsläppsmönster.

Resultaten visade att markens vatteninnehåll var en avgörande faktor för växthusgasutsläpp. Fuktiga mark bidrog till snabbare vegetationstillväxt, vilket minskade CO₂-utsläppen när ny växtlighet etablerades. Samtidigt frigjordes mer metan från dessa ytor, vilket påverkade den totala växthusgasbalansen negativt eftersom metan är en kraftfull växthusgas. Dessutom ökade vattenmättningen i marken efter avverkningen, vilket förändrade marken från en metansänka till en metankälla.

Tidigare klimatberäkningar kan ha underskattat effekterna av metan och lustgas från kalhyggen. På de studerade ytorna bidrog dessa gaser tillsammans med upp till 20 procent av den totala växthusgasbudgeten under enskilda år, beroende på om mätningarna omfattade korta eller längre tidsperioder. För metan, vars globala uppvärmningspotential är högre på kort sikt, är detta särskilt viktigt att beakta. Under en 20-årsperiod kan metanemissionernas påverkan på klimatet tredubblas jämfört med en analys med ett 100-årsperspektiv.

Kalhyggen kan ta 10–20 år att gå från nettokälla till nettosänka, men detta gäller främst för koldioxid. Vestin påpekar att det finns få studier som undersöker metan och lustgas i dessa sammanhang, vilket gör det svårt att ge en heltäckande bild av växthusgasbalansen på längre sikt.

Som ett alternativ till trakthyggesbruk har kontinuitetsskogsbruk lyfts fram. I en studie genomförd av Vestin i Uppsala fann forskarna att det är möjligt att avverka upp till 25 procent av träden utan att negativt påverka skogens förmåga att ta upp koldioxid. Förutsättningen är att skogen gallras försiktigt utan att stora luckor skapas. Denna metod minimerar också utsläpp från marken, vilket gör att kolbalansen kan bibehållas.

Sammanfattningsvis visar forskningen att kalhyggen initialt är nettokällor till växthusgaser, men att ny vegetation efter hand kan bidra till att återställa kolbalansen. Markens vatteninnehåll spelar en central roll för utsläppsmönstret, och metan och lustgas kan ha större betydelse för klimatpåverkan än vad som tidigare antagits, särskilt på kortare tidsperiod. **Alternativa metoder som kontinuitetsskogsbruk kan erbjuda ett sätt att begränsa klimatpåverkan, men ytterligare forskning behövs för att förstå de långsiktiga effekterna av olika skogsbruksmetoder.**

Fortsatta studier behövs också för att inkludera alla växthusgaser i klimatmodeller och ge en mer komplett bild av hur skogsbruk påverkar den globala växthusgasbudgeten.

⁴ Yutaka Goto, intervju med författaren, 6 oktober 2023.

⁵ Patrik Vestin, intervju med författaren, 1 november 2024.

ÄR DET DYRARE ATT BYGGA I TRÄ?

I dagsläget finns en uppfattning hos många i branschen att det är dyrare att bygga hus i trä än betong. Detta beror självklart i stor utsträckning på vilken typ av byggnad som planeras byggas och vilka funktioner och krav den behöver uppfylla i form av exempelvis laster, akustik, vibrationer och brandskydd. Det är viktigt att inte bara jämföra kostnader mellan en trä- och en betongbyggnad i standardutförande, utan också ta hänsyn till åtgärder som minskar klimatpåverkan.

Yutaka Goto⁶ påtalar att det generellt skiljer sig i prisbild beroende på typ av trästomme. För byggnader upp till fem våningar är generellt en lätt trästomme billigare och över fem våningar är generellt en KL-trästomme billigare. Goto påtalar vidare att den viktigaste aspekten för att få ned kostnaden för byggande av träkonstruktioner är att som utvecklare och entreprenör få erfarenhet av att bygga i trä. Kostnaden kan minska snabbt när utvecklare och entreprenörer byggt några projekt, i generella tal läggs kostnaden cirka 30 procent högre första projektet, 15 procent högre andra projekt på grund av ökad erfarenhet och minskad riskmarginal. I en jämförande studie av kostnader för projektering och byggnation av flerbostadshus i betong eller korslimmat trä i Sverige och Norge (Swartz et al., 2023) noterades en generellt högre kostnad för KL-trä i de norska projekten, men en generellt lägre kostnad för de svenska KL-trä projekten i studien (11,7–14,2 procent lägre).

Entreprenörer som deltagit i denna studie bekräftar att med ökad erfarenhet av byggande i KL-trä finns god potential att minska kostnaderna och korta byggtiden. Studien påtalar dock vidare att kostnaden för material i de norska KL-träprojekten är högre. Detta är en följd av relativt få leverantörer av KL-trä i Norge, dock har fler leverantörer etablerat sig i de nordiska länderna och kostnaderna för transport av KL-trä har minskat de senaste åren. I Norge ställer också brandkrav på stora mängder brandgips i KL-träbyggnader, samt installation av sprinklersystem för byggnader över 8 våningar. Då krav på bland annat boendesprinkler ställs av försäkringsbolag för träbyggnader över 4 våningar är detta också något att beakta i svenska projekt (LF, 2023)

Tillgången på material är något som Goto påpekar var en faktor under pandemin där världsläget och de logistiska problem som följde medförde ökade materialkostnader i byggindustrin. KL-trä-, limträ-, virkesproducenter som själva ägde skog eller hade skogen nära drabbades inte av problematiken men hade möjlighet att öka sina marginaler. I tider av oro i världen finns en stor fördel i att ha lokal tillgång till

byggmaterial och råvaror, för säkrare ledtider och prisläge.

Användande av heltäckande väderskydd är också en parameter som påverkar byggkostnaden i ett trähusprojekt. Som tidigare nämnt råder det inte konsensus i branschen om huruvida heltäckande väderskydd krävs för att minska riskerna för fuktskador och mögelpåväxt vid byggande av stora trähusprojekt. Dock visar studier att trähusbyggande med hög prefabriceringsgrad kombinerat med heltäckande väderskydd kan halvera byggtiden. Därmed möjliggörs lägre ränteutgifter, tidigare hyresintäkter för byggnaden och lägre totalkostnad för projektet (Jonsson et al., 2021).

6 Yutaka Goto, intervju med författaren, 6 oktober 2023.

Resultat

I delrapportens resultatdel kommer det sammanvägda resultatet av studien *Trä versus Betong* att presenteras. De delar som kommer att beröras är "Teori och perspektiv", med betoning på resultatet från studien *Building materials and their impacts on biodiversity*

som initierats av Sveafastigheter. Även resultatet av livscykelanalysen av de båda husen i projektet Skogselvan i Vallentuna kommer att diskuteras, se Bilaga A och B.

RESULTAT LIVSCYKELANALYS, STANDARD

Inom studien *Trä versus Betong* utförs en livscykelanalys (LCA) av två byggnader i projektet Skogselvan, där ena huset har en stomme i trä och den andra i betong, för att jämföra deras miljöpåverkan. Båda byggnaderna är flerbostadshus på 1051 kvadratmeter ljus BTA med en beräknad livslängd på 50 år. Analyserna inkluderar byggmaterialets tillverkning, byggproduktion, användning, underhåll och slutskede. Ett huvudsyfte är att bedöma den totala klimatpåverkan (mätt som koldioxidekvivalenter) och inkludera fler miljöpåverkanskategorier som försurning, övergödning och uttunning av ozon samt att göra en känslighetsanalys av utfallet. Denna analys kommer i rapporten att refereras till som *Livscykelanalys, standard*, för att differentiera den från *Livscykelanalys, biodiversitet*.

BYGGNADERNAS UTFORMNING OCH SYSTEMGRÄNSER

Byggnaderna som studeras är lika till storlek och funktion, men skiljer sig i materialval för väggar och bjälklag. Trähuset använder KL-trä, medan betonghuset har halvsandwich-väggar och plattbärlag. Systemgränserna definieras genom två omfattningar: *Hel byggnad* och *Modellerad byggnad*, där den senare fokuserar på specifika material och livscykel-skeden. Detta för att kunna hantera begränsningar i datatillgång på de delar där schablonvärden används för att fånga upp hela byggnadernas byggdelsomfattning.

Det innebär att Klimatpåverkan (GWP) beräknas för alla scenarier, medan andra miljöpåverkanskategorier försurning (AP), övergödning (EP), ozonnedbrytning (ODP), marknära ozonbildning (POCP), utarmning av fossila resurser (ADP_f) och utarmning av icke-fossila resurser (ADP_e) endast beräknas i scenarier med *Modellerad byggnad*.

I omfattningen *Hel byggnad* inkluderas byggdelen 2–8 enligt SBEFs byggdelsstabell (de delar av byggdelen 2 som hör till grunden och dess isolering) medan *Modellerad byggnad* omfattar byggdelen 26–69.

Analysen omfattar följande skeden:

- 1. Produktskede (A1–A3):**
Tillverkning av byggmaterial, inkluderar råvaruförsörjning och transport.
- 2. Byggproduktionsskede (A4–A5):**
Materialtransport till byggarbetsplatsen och energiåtgång vid byggproduktion.
- 3. Användningsskede (B):**
Underhåll och renovering (B2, B4, B5) samt energi- och vattenanvändning under byggnadens livslängd (B6 och B7).
- 4. Slutskede (C):**
Rivning och avfallshantering.

KLIMATPÅVERKAN

Klimatpåverkan är den faktor som går att räkna på *Hel byggnad* i tidiga skeden, detta eftersom de schabloner som används i Sverige och tillhandahålls av IVL enbart finns presenterat som GWP i dagsläget. Livscykelanalysen presenterar därför resultat för båda scenarierna för denna miljöpåverkanskategori.

Totalt GWP för Hel byggnad:

- **Trähuset:** Den totala klimatpåverkan för trähuset uppgår till 212 kg CO₂e/BTA.
- **Betonghuset:** Den totala klimatpåverkan för trähuset uppgår till 346 kg CO₂e/BTA.

Skillnaden på cirka 132 kg CO₂e/BTA (över 60 procent mer för betonghuset) är ett resultat av högre utsläpp från produktskedet (A1–A3) för betong, där mycket energi och resurser krävs för att tillverka och transportera betongprodukter. Produktskedet står för största delen av påverkan för båda byggnaderna, men särskilt för betonghuset där det representerar 286 kg CO₂e/BTA jämfört med 181 kg CO₂e/BTA för trähuset.

Fördelning av klimatpåverkan per byggdel:

- I betonghuset står stommen (byggdel 3) för den största delen av den totala påverkan, över 51 procent. Stommen inkluderar de bärande elementen som huvudsakligen består av betong, vilket innebär höga CO₂-utsläpp.
- I trähuset är det istället byggdel 6 (stomkompletteringar och rumsbildande delar) som dominerar, med cirka 21,7 procent av den totala klimatpåverkan. Eftersom stommen i trähuset

är konstruerad av KL-trä, har den betydligt lägre klimatpåverkan än betongens stomme.

KLIMATFÖRBÄTTRAD BETONG

För scenarierna som presenteras i ovan har typiskt generiska materialdata från Boverkets klimatdatabas använts för att beräkna klimatpåverkan kopplad till betongen. Det innebär i princip att medeldata har använts i beräkningen. För att se hur träbyggnaden står mot klimatförbättrande betongprodukter har ytterligare två scenarier tagits fram.

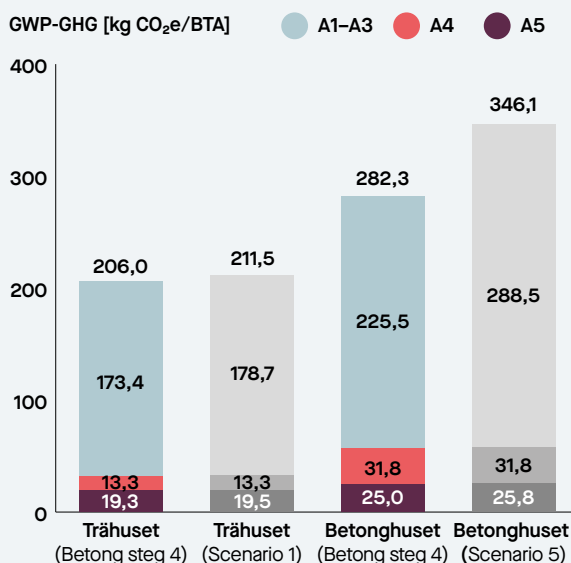
För denna beräkning har klimatförbättrande betong nivå 4 använts för fabriksbetong samt för prefabricerade betongelement. Den betongen har cirka 40 procent lägre klimatpåverkan i jämförelse med ett typiskt värde för branschen. Data för den klimatförbättrande betongen nivå 4 kommer från Svensk betongs generella emissionsvärden baserat på produktionsår 2019.

Jämfört med det tidigare presenterade scenario som beräknades har betonghuset en nästan 20 procent lägre påverkan med klimatförbättrad betong nivå 4. För trähuset har påverkan minskat med nästan 3 procent jämfört med den ursprungliga beräkningen. Trähuset har fortfarande en betydligt lägre klimatpåverkan i jämförelse med betonghuset.

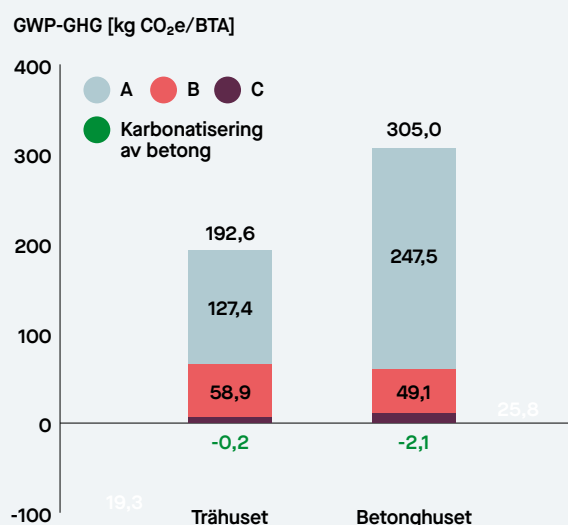
KARBONATISERING

Karbonatisering faller egentligen under livscykelkedan B1, enligt anvisningar från IVL (IVL, 2025), men för denna analys har den presenteras separat från den övriga klimatpåverkan för att visa på den påverkan karbonatisering kan ha i förhållande med den övriga klimatpåverkan.

FIGUR 8: Klimatpåverkan (GWP-GHG) uppdelat på livscykelkedan för Trähuset (Betong nivå 4) och Betonghuset (Betong nivå 4).



FIGUR 9: Diagram visar potentialen för karbonatisering för betong, jämfört med klimatpåverkan för respektive byggnad.



Detta visar att inkluderingen av karbonatisering av betong har en väldigt liten påverkan på resultatet och inte har betydande roll när klimatpåverkan av trä- och betongstommen ska jämföras för detta projekt.

BIOGEN KOLINLAGRING

I de tidigare presenterade scenarierna i denna rapport har utsläpp och sänkor kopplade till biogent kol inte inkluderats. Detta beror på att det idag saknas en branschstandard för hur biogent kol ska inkluderas i LCA-beräkningar. Trots detta kan ändå potentialen av koldioxidsänkorna kopplat till trämaterial och andra biobaserade material fortfarande vara relevant i jämförelsen mellan trä- och betongstommar.

Figur 10 visar att sänkan av biogent kol motsvarar 79,7 procent av klimatpåverkan för trähuset, vilket gör skillnaden i resultat mellan trähuset och betonghuset ännu större. Detta visar också på att **hanteringen av biogent kol i beräkningen har en stor påverkan på resultatet** och i jämförelsen mellan trä- och betongstommen.

FÖRSURNING, ÖVERGÖDNING, OZONNEDBRYTNING, MARKNÄRA OZON

Utöver klimatpåverkan har rapporten även beräknat övriga miljöpåverkanskategorier för *Modellerad byggnad*. Resultaten visar att trähuset har en lägre miljöpåverkan än betonghuset i samtliga kategorier, med ett undantag för marknära ozon (POCP).

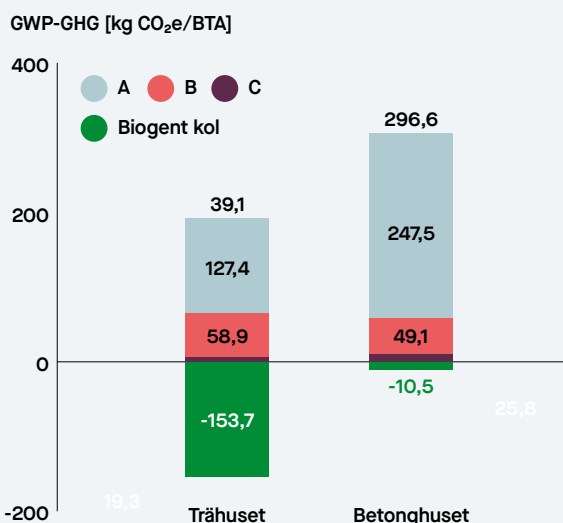
Marknära ozon (POCP): Betonghuset har en högre negativ påverkan från transporter när det kommer till utsläpp som påverkar marknära ozon, detta beror på kvävemonoxid (NO) som är ett ämne som bildas i förbränningsmotorer i bilar, särskilt dieselmotorer. Eftersom kvävemonoxid kan bryta ner ozon bildas det ett minusutsläpp kopplat just till miljöpåverkanskategorier marknära ozon. Att betonghuset får ett lägre utsläpp beror alltså att de ger upphov till fler transporter i A4 än trähuset.

Försurning (AP), övergödning (EP) och ozonnedbrytning (ODP): Trähuset visar lägre påverkan inom alla övriga kategorier som studerades, såsom försurning, övergödning och ozonnedbrytning. Denna skillnad beror på att produktionen och användningen av träbaserade byggmaterial har mindre påverkan på dessa kategorier jämfört med den betong och armering som används i betonghuset.

FULL LIVSCYKELANALYS OCH RESULTAT FÖR FRAMTIDSSCENARION

I de scenarier som inkluderar full livscykelanalys (A-C) används två framtidsscenarier för att ta hänsyn till potentiella förändringar över tid: ett klimatförbättrings-

FIGUR 10: Diagram visar potentialen för biogent kollagring, jämfört med klimatpåverkan för respektive byggnad.



scenario och ett business-as-usual (BAU)-scenario. Detta för att fånga upp osäkerheten i att göra beräkningar på utsläpp som sker i framtiden.

Klimatförbättringsscenario: Detta scenario tar hänsyn till gradvisa förbättringar i utsläppsintensitet från energikällor och materialproduktion fram till år 2050, vilket reflekterar EU-referensscenario. I detta scenario minskar klimatpåverkan för båda byggnaderna, men trähuset får en större positiv effekt tack vare sin högre andel förnybara material.

Business-as-usual (BAU): Här antas att inga stora förändringar sker i energimixen eller produktions-sätt, vilket kan ses som ett värsta-fall-scenario. Resultaten visar att betonghusets påverkan är särskilt känsligt för ett BAU-scenario, där betongens energikrävande produktion fortsätter att bidra stort till klimatpåverkan.

KÄNSLIGHETSANALYS

Känslighetsanalysen i livscykelanalysen belyser hur olika antaganden, materialval och framtidsscenarier påverkar miljöpåverkan för byggnader med trä- respektive betongstomme. Analysen framhäver särskilt betydelsen av val kring stommens livslängd och utbyten, materialens klimatpåverkan, olika framtids-scenarier samt osäkerheter kopplade till tidigt projektskede.

Rapporten antar att stommen, både i trä- och betonghuset, inte behöver bytas ut under byggnadens livslängd på 50 år. Detta är en rimlig utgångspunkt eftersom stommar ofta har en längre livslängd än byggnaden i sig. Om det däremot skulle inkludera

ett antagande om utbyte av trästommen skulle detta avsevärt öka trähusets totala klimatpåverkan, vilket skulle kunna förändra dess fördel gentemot betonghuset. Stommen i trähuset bidrar redan idag till en betydande andel av den totala klimatpåverkan i produktskedet (A1-A3).

När det gäller materialval framgår att korslimmat trä är det material som står för den största klimatpåverkan i trähuset, både på grund av produktionens påverkan och de mängder som används. Inkluderingen av biogent kol i en alternativ analys minskar trähusets klimatpåverkan ytterligare eftersom det tar hänsyn till att trä lagrar koldioxid under sin livslängd. Betonghuset domineras av påverkan från fabriksbetong, följt av väggar och armering. När klimatförbättrad betong används i en alternativ beräkning minskar den totala klimatpåverkan för betonghuset, vilket visar att materialteknologiska innovationer kan spela en avgörande roll för att reducera miljöpåverkan. För trähuset ligger den största potentialen i att optimera mängden KL-trä och att ytterligare minska transport och produktionens klimatpåverkan. För betonghuset är framtida förbättringar kopplade till innovationer som CCS (Carbon Capture and Storage) avgörande.

Studien betonar också att resultaten påverkas av att projektet befinner sig i ett tidigt skede. Eftersom viss data saknas har schablonvärden och erfarenhetsdata använts för att komplettera analysen. Detta skapar en viss osäkerhet, särskilt för byggdelen som inte är fullt ut modellerade i BIM. Ett exempel är att alternativa beräkningar för betonghuset har genomförts med minskad armeringsmängd och annan betongtyp för att analysera potentialen för förbättringar. Solceller, som planeras för båda byggnaderna, är exkluderade från analysen eftersom de inte är byggnadsspecifika. Detta kan dock påverka slutsatserna om energibehov och klimatpåverkan i användningsskedet.

Sammanfattningsvis visar känslighetsanalysen att resultaten är beroende av antaganden och scenarier. Trähuset uppvisar en lägre klimatpåverkan i de flesta scenarier, men resultaten är känsliga för förändringar i antaganden, särskilt kring stommens livslängd och utbyten. Betonghuset har en högre initial klimatpåverkan, men visar stor potential för förbättring genom teknologiska framsteg och klimatförbättrad betong.

RESULTAT LIVSCYKELANALYS, BIODIVERSITET

Som tidigare nämnts jämförs en trästomme och en betongstomme med varandra i en masteruppsats initierad av Sveafastigheter (Albinsson et al, 2023). Detta för att undersöka vilket material som är bäst ur ett biodiversitetsperspektiv. Resultatet av studien kommer att presenteras här.

Studien jämförde trä- och betongkonstruktioners påverkan på biodiversitet med hjälp av tre olika metoder för att utvärdera deras effekter på biodiversitet. Dessa metoder — ReCiPe, Chaudhary & Brooks och Kuipers et al., gav insikter om hur de olika materialen påverkar biodiversiteten i form av artsförluster.

- **ReCiPe:** Fokuserar på klimatpåverkan, marknära ozon, försurning, övergödning och vattenutarmning och markanvändning.
- **Chaudhary & Brooks:** Kvantifierar biodiversitetsförluster kopplade till markanvändning och intensitet.
- **Kuipers et al.:** Analyserar habitatfragmenteringens påverkan på arter i olika ekoregioner.

Studien undersöker de två byggnader i projektet Skogselvan i Vallentuna som tidigare analyserats i *Livscykelanalys, standard*. I studien har enbart stommen tagits med i beräkningen och analysen görs för

byggskedet (A1 till A5). När det kommer till betongstommen är armeringen inte medräknad, utan enbart betong. Resultatet presenteras i PDF (Potentiellt försvunnen andel). Denna term används inom livscykelanalys för att kvantifiera påverkan på biodiversitet, där det handlar om andelen arter i ett ekosystem som potentiellt riskerar att försvinna på grund av en specifik miljöpåverkan.

CHAUDHARY & BROOKS

Chaudhary & Brooks-metoden belyste att trästommen bidrog till en betydligt högre påverkan på biodiversitet genom omfattande markanvändning, se Tabell 2. Habitatförluster från skogsbruket framstod som en avgörande faktor för artförluster, särskilt i områden med hög biologisk mångfald. Betongstommen hade en lägre påverkan kopplad till markanvändning, då dess produktionskedja inte kräver samma omfattande omvandling av naturliga habitat som träproduktion gör.

Tabell 2, visar de sammanvägda effekterna på arter för varje stomme i de fyra olika ekoregioner som finns i Sverige. Påverkan från trästommen är konsekvent större än påverkan från betongbyggnaden i samtliga ekoregioner.

TABELL 2: Sammanvägda resultat per ekoregion, Chaudhary & Brooks.

EKOREGION	TRÄ (SAMMANVÄGD TAXA) [PDF]	BETONG (SAMMANVÄGD TAXA) [PDF]
Baltiska blandskogar	0,000000071	0,00000000016
Sarmatiska blandskogar	0,0000000664	0,000000000139
Skandinavisk och rysk taiga	0,0000000619	0,000000000132
Skandinaviska fjällbjörkskogar och gräsmarker	0,0000000385	0,000000000082

TABELL 3: Sammanvägda resultat per ekoregion, Kuipers et al.

EKOREGION	TRÄ (SAMMANVÄGD TAXA) [PDF]	BETONG (SAMMANVÄGD TAXA) [PDF]
Baltiska blandskogar	0,000015	0,0000000311
Sarmatiska blandskogar	0,0000024	0,00000000466
Skandinavisk och rysk taiga	0,00000215	0,00000000429
Skandinaviska fjällbjörkskogar och gräsmarker	0,000011	0,0000000224

KUIPERS ET AL.

Kuipers et al. förstärker förståelsen av habitatfragmentering som en central fråga för biodiversitet. Trästommen visade sig orsaka större fragmentering av naturliga habitat, vilket påverkar arter negativt genom att minska sammanhängande livsmiljöer, se Tabell 3. Betongstommen hade däremot en mer begränsad direkt påverkan på habitatstrukturer, vilket innebär att dess inverkan på arter enligt denna metod var mindre omfattande.

Kuipers et al. kan ses som en utveckling av Chaudhary & Brooks-metoden genom att den lägger på en ny dimension i analysen. Medan Chaudhary & Brooks fokuserar på påverkan från markanvändning och intensitet, går Kuipers et al. ett steg längre genom att integrera habitatfragmentering. Detta gör metoden mer detaljerad och specifik i att förstå hur landskapsförändringar påverkar arter, särskilt i områden med fragmenterade ekosystem. Kombinationen av dessa två metoder ger en bredare och mer djupgående bild av biodiversitetsförluster kopplade till byggmaterial.

Tabell 3 visar de sammanvägda resultaten för arter för varje byggnad per ekoregion. Precis som resultaten från C&B-metoden har träbyggnaden den största påverkan i samtliga ekoregioner.

RECIPE

Där Chaudhary & Brooks och Kuipers et al. främst fokuserar på markanvändning, tar ReCiPe hänsyn till fler miljöpåverkanskategorier såsom klimatpåverkan, marknära

ozon, försurning, övergödning och vattenutarmning. Även markanvändningens påverkan är med i analysen, men den analyseras inte lika djupgående som i Chaudhary & Brooks och Kuipers et al. Resultatet presenteras i Tabell 4 nedan i PDF (Potentiellt försvunnen andel).

Resultatet när ReCiPe användes visar att markanvändning bidrar mest till förlusten av biologisk mångfald för trä medan vattenanvändning är drivande för betong. Den visar också att betongalternativet har störst total påverkan på biodiversiteten, både medräknat biogen kolinlagring och utan.

SAMMANVÄGT RESULTAT LIVSCYKELANALYS BIODIVERSITET

Alla tre metoder som används i analysen täcker påverkan på biologisk mångfald till följd av markanvändning. Tabell 5 visar den sammanvägda påverkan på arter orsakad av stommen för de båda byggnaderna.

Träbyggnaden har konsekvent den högsta påverkan i alla tre metoder, från ungefär 440 gånger större enligt ReCiPe till cirka 515 gånger större enligt Kuipers et al. Det är värt att notera att skillnaden mellan de två stormarnas påverkan ökar i takt med att komplexiteten i beräkningen av markanvändning ökar, där ReCiPe är minst komplex och HF är mest komplex. Vilket skulle kunna tolkas som att markanvändning underskattas i de mindre komplexa metoderna.

Det går dock att som en känslighetsanalys revidera upp påverkan från markanvändning så att denna i ReCiPes modell ökar för trä så att den även där blir

TABELL 4: ReCiPe-resultat per påverkanskategori och totalt.

MILJÖPÅVERKANSKATEGORI	TRÄ [PDF]	BETONG [PDF]
Klimatpåverkan (GWP)	-0,000765	0,000307
Marknära ozon (POCP)	0,00000309	0,0000124
Försurning (AP)	0,000000241	0,00000254
Övergödning (EP)	0,00000179	0,00000358
Vattenutarmning (WDP)	0,000299	0,0558
Markanvändning (LU)	0,00177	0,00000404
Totalt	0,00131	0,0561
Totalt, exklusive biogen kolinlagring	0,00214	

TABELL 5: Påverkan från markanvändning, alla metoder.

BEDÖMNINGSMETOD	TRÄ (SAMMANVÄGD TAXA) [PDF]	BETONG (SAMMANVÄGD TAXA) [PDF]
ReCiPe	0,00177	0,00000404
Chaudhary & Brooks	0,0000000664	0,000000000139
Kuipers et al.	0,00000024	0,00000000466

TABELL 6: ReCiPe-resultat per påverkanskategori och totalt, känslighetsanalys.

PÅVERKANSKATEGORI	TRÄ [PDF]	BETONG [PDF]
Global uppvärmning	-0,000765	0,000307
Bildning av troposfäriskt ozon	0,00000309	0,0000124
Försurning	0,000000241	0,00000254
Övergödning	0,00000179	0,00000358
Vattenbrist	0,000299	0,0558
Markanvändning	0,002080686695	0,00000404
Totalt	0,001619807695	0,0561
Exklusive biogen kolinlagring	0,002450307695	

515 gånger större än markanvändning för betong, se Tabell 6. Detta innebär att betongstomme skulle gå från att ha 26 gånger större total påverkan än trästommen, till 22 gånger större påverkan, och med det inte påverka slutsatsen att **betongstommen har högre total påverkan på biodiversitet enligt ReCipes analysmetod.**

Alla tre metoder påvisar alltså på att markanvändning som kopplas till byggnationen av trästomme ger större förluster av arter än den markanvändning som är kopplat till betongstommen. Men eftersom ReCiPe väger in fler aspekter än bara markanvändning, skulle detta kunna tolkas som att trästommen är det bästa alternativet av de två som jämförs.

Det måste dock tilläggas att undersökningen enbart undersöker tre av fem kategorier som anses driva på förlusten av biologisk mångfald. För en heltäckande bild bör dessa också undersökas, något som tyvärr inte är möjligt i dagsläget då metoder saknas. Det är heller inte *Hel byggnad* som har analyserats, utan en-

bart stomme för respektive utförande. Detta skulle inte ändra denna analys då resterande byggdelar i princip är samma för huskropparna, men gör att analysen får en större osäkerhet om den ska appliceras på andra typer av byggnader.

SAMMANSTÄLLNING AV RESULTAT

Tabell 7 sammanfattar flera av de nyckelresultat som tagits fram i studien. Analys innebär den beräkningsmetod och den enhet som har använts för resultatet. Under omfattning av byggnad listas den omfattning som nyttjats i beräkningen. Exempelvis beräknas ef-

ekten på bidoversitet med omfattning stomme medan känslighetsanalysen med klimatförbättrad betong steg 4 redovisas för hela byggnaden. Under omfattning av byggnad listas även vilka scenarion som beräkningen hänvisar till i Bilaga A.

TABELL 7: Sammanställning resultat från respektive system baserat på utförda analyser i rapporten.

ANALYS	OMFATTNING AV BYGGNAD	TRÄ	BETONG
BTA (kvm)		826	866
Spännvidd		Kortare	Längre
Brand		Generellt mer omfattande skador	Generellt mindre omfattande skador
Biodiversitet – ReCiPe (exkl. biogent kol) [PDF]	Stomme (utan armering)	0,00214	0,0561
Biodiversitet – Chaudhary & Brooks [PDF]	Stomme (utan armering)	0,0000000664	0,00000000139
Biodiversitet – Kuipers et al. [PDF]	Stomme (utan armering)	0,0000024	0,00000000466
Klimatpåverkan GWP-GHG [kg CO ₂ e/BTA]	Modellerad byggnad (2,6)	127,44	242,2
Försurning AP [kg SO ₂ e /BTA]	Modellerad byggnad (2,6)	0,49	0,54
Övergödning EP [kg (PO ₄) ³⁻ e/BTA]	Modellerad byggnad (2,6)	0,09	0,12
Ozonnedbrytning ODP [kg C ₂ H ₄ e/BTA]	Modellerad byggnad (2,6)	0,0000142	0,0000151
Marknära ozon POCP [kg CFC ₁₁ e /BTA]	Modellerad byggnad (2,6)	0,043	0,04
Utarmining av fossila resurser ADPf [MJ/BTA]	Modellerad byggnad (2,6)	1857,0	2116,7
Utarmining av icke-fossila resurser ADPe [kg Sbe/BTA]	Modellerad byggnad (2,6)	0,000401	0,000615
Klimatpåverkan A1-A5 [kg CO ₂ e/BTA]	Hel byggnad (1,5)	211,5	346,1
Klimat A1-A5 Klimatförbättrad steg 4 [kg CO ₂ e/BTA]	Hel byggnad (1,5)	206	282,3

Diskussion och slutsats

DISKUSSION

Resultatet från studien visar på en komplex bild där både trä- och betongbyggnader har för- och nackdelar beroende på vilket perspektiv som premieras – klimatpåverkan, biodiversitet, markanvändning, kostnad eller tekniska egenskaper. Det finns också osäkerhet kring vissa av resultaten, där vidare studier skulle behöva göras för att få en fullständig bild. Vid beaktande av framtidens material framgår också att analysen kan förändras över tid.

När det kommer till resultatet från *livscykelanalys, standard*, och dess klimatpåverkan är det tydligt att trästomme är att föredra med dagens material och beräkningstekniker, detta oavsett om upptag av biogent kol räknas med eller inte. Detta gäller också oavsett om karbonatiseringen av betong inkluderas i beräkningen eller inte. Det går att minska klimatpåverkan genom att välja produkter med lägre klimatpåverkan. Framförallt stål och betongprodukter har minskat sin klimatpåverkan mycket under senare tid och förväntas minska även framgent. När betongstommen beräknades med klimatförbättrad betong nivå 4 visar den en minskning med nästan 20 procent jämfört med generisk data från Boverket. Detta är bara en åtgärd för att få ner klimatpåverkan i ett hus med betongstomme, där rätt betong på rätt plats och en slimmad stomme är andra exempel där klimatpåverkan kan minskas betydligt. Så även om trä i dagsläget har en lägre klimatpåverkan än en betongstomme skulle detta kunna ändras eller jämnas ut framöver. Innovationer inom betong- och stålproduktion kan alltså minska de miljömässiga skillnaderna mellan betong- och trästommar i framtiden. Detta gör att träs försprång kan komma att minska på längre sikt, även om det idag framstår som det mest klimatsmarta valet.

För övriga miljöpåverkanskategorier som beräknades, visade resultatet att försurning, övergödning och ozonnedbrytning att trä gav ett bättre resultat. Marknära ozon var den enda miljöpåverkanskategori där betongstommen var den miljöpåverkanskategori som gav lägst resultat. Det måste dock nämnas att dessa resultat är osäkra, då underlagsdata för övriga kategorier som tidigare nämnts är mindre utvecklat än för klimatpåverkan.

I *Livscykelanalys, standard* har livslängden byggnaderna i studien antagits vara 50 år, vilket är praxis inom beräkningsmetodik. Det går att argumentera för att en längre beräknad livslängd, exempelvis 100 år, skulle innebära att trästommen kan behöva bytas ut, medan betongstommen skulle klara en längre livslängd. Detta skulle innebära en stor förändring i resultatet i jämförelse mellan de två byggnaderna. Det finns dock i dagsläget ingen metodik som stödjer detta sätt att räkna och Levels(s) anger i dagsläget att grundkonstruktioner för hus, bärverk i husstomme och schakt i hus ska beräknas med en livslängd på 60 år och gör därav ingen skillnad på trä och betong. Det finns också de som hävdar att en trästomme under rätt förutsättningar kan ha en mycket lång livslängd om byggnaden designas och underhålls korrekt. Det går dock inte att motsäga sig betongens överlägsna egenskaper inom många områden såsom bärförmåga, stabilitet och styvhet, brandsäkerhet, motstånd mot vibrationer med flera. Vilket gör att en trästomme måste designas med omsorg och kunskap för att säkerställa att branschens högre krav uppfylls samt och säkerställa stommens livslängd. Det skulle också kunna vara så att den viktigaste faktorn för en byggnad som står länge, är hur flexibel den är när det kommer till anpassningar och

nya typer av användningsområden. Där har betong en fördel med möjligheten till långa spännvidder.

När det gäller biodiversitet är påverkan mer spridd och kontextspecifik. Trämaterialets påverkan är starkt kopplad till skogsbruksmetoder. Trakthyggesbruk medför betydande förlust av livsmiljöer och kan leda till att ekosystem rubbas, medan hyggesfritt eller kontinuitetsbruk har potential att minska dessa negativa effekter. För betong är påverkan på biodiversiteten bland annat kopplad till utvinning av kalksten från kalkbrott, som ofta förstör unika karstlandskap och deras ekosystem. Detta gör att betongproduktion kan få en mer direkt och irreversibel påverkan på biodiversiteten i vissa regioner, men också väldigt geografiskt begränsad till områden där kalkbrytning sker. Skillnaderna mellan dessa material understryker behovet av att inkludera biodiversitet som en central parameter i byggmaterialjämförelser. De metoder som finns för att räkna på detta har alla sina olika begränsningar och det finns många olika åsikter om ämnet. Jämförelsen av en trä- och en betongstomme som gjordes med ReCiPe, visade dock att trä var det bättre valet om fler aspekter togs i beaktande. Ingen av analyserna i rapporten *Building materials and their impacts on biodiversity* tog dock hänsyn till vad som sker med biodiversiteten i ett hyggesfritt- eller kontinuitetsbruk. Då hyggesfritt eller kontinuitetsbruk är mindre effektivt än trakthyggesbruk, så skulle detta kunna påverka analysen negativt, då markarealen blir större. Kuipers et al. mäter dock fragmentering, vilket rimligtvis borde bli mindre med dessa metoder och alltså ge en fördel till dessa skogsbruksmetoder. Det finns en utbredd tes att hyggesfritt eller kontinuitetsbruk är bättre ur biodiversitet synpunkt än trakthyggesbruk. Dessa metoder används dock idag i begränsad omfattning i Sverige.

Samtidigt finns det osäkerheter, särskilt kring utsläpp kopplade till trakthyggesbruk och hur dessa påverkar resultaten i *Livscykelanalys, standard* och

Livscykelanalys, biodiversitet. Om dessa utsläpp är underskattade skulle det kunna komma att förändra balansen mellan materialen, beroende på utsläppens storlek.

Kostnadsmässigt är träbyggnader generellt dyrare att uppföra, men det finns stor potential att minska kostnaderna i takt med att branschens kunskap och effektivitet ökar genom mer utbrett träbyggande. Samtidigt kan klimatåtgärder i betongbyggnader, såsom klimatförbättrad betong, göra kostnaderna mer jämförbara. Det är också viktigt att notera att trähus ofta har tjockare väggar, vilket medför en något mindre boendeyta – något som i sin tur leder till minskade hyresintäkter för Sveafastigheter.

Det är tydligt att valet mellan trä och betong inte kan göras isolerat från andra byggnadstekniska och samhällsekonomiska överväganden. En hybridlösning, där materialen används där de är som mest effektiva, kan minska både klimatpåverkan och kostnader. Exempelvis kan nedre delen av en byggnad utföras i betong och övre i trä eller att en tillbyggnad på ett befintligt hus utföras i trä, båda exempel på att nyttja träbyggandets låga vikt. Ett annat alternativ är att bygga med träväggar eller träpelare som bär vertikalt.

En aspekt där betong har en fördel är vid brand. Trä tenderar att få så omfattande skador att återanvändning av stommen ofta blir omöjlig efter en större brand. Inom trästommar står massiva trästommar emot brand bättre medan trämodulbyggnader innebär risk för snabbare brandspridning. Betong påverkas däremot i regel mindre allvarligt och kan i många fall återanvändas eller repareras efter en brand. Detta återspeglas i de premier som försäkringsbolag erbjuder, där betongkonstruktioner vanligtvis premieras med lägre kostnader. Trots detta är antalet byggnadsbränder i Sverige mycket lågt, vilket gör det svårt att rättfärdiga en större viktning av brandriskens inverkan i en livscykelanalys.

SLUTSATS

Studien jämför trä- och betongstommar med en klassiskt livscykelanalys och belyser deras respektive styrkor och utmaningar. Resultatet visar att trämaterialet har lägre påverkan i majoriteten av de miljöpåverkanskategorier som analyserades. Samtidigt finns osäkerheter kring påverkan av utsläpp kring kring kalhyggen och trakthyggesbruk. Hyggesfria alternativ har potential att minska dessa negativa effekter, men mer forskning behövs inom området.

Betongens fördelar ligger i dess robusthet, brandsäkerhet och långa livslängd, vilket gör det till ett pålitligt material i komplexa konstruktioner och höga byggnader. Dock är påverkan av klimatutsläpp och andra miljöpåverkanskategori från betongproduktion en stor utmaning. Även om karbonatisering av betong

kan återta en del av klimatutsläppen, är denna effekt begränsad.

När biodiversitet inkluderades i analysen, visade sig trä vara det fördelaktiga valet om fler aspekter beaktades genom användningen av ReCiPe som metod. Om enbart markanvändningens effekt på biodiversitet studeras är dock betong att föredra.

Studien belyser också behovet av systemperspektiv i val av byggmaterial. Hybridlösningar, där trä och betong kombineras för att optimera fördelarna hos båda materialen, kan vara en väg framåt. För att främja hållbar utveckling krävs en bredare ansats som integrerar ekonomiska, praktiska och ekologiska faktorer i design och materialval.

Branschen bör vidareutveckla samarbeten för att ta

fram tydliga riktlinjer för hållbart materialval och inkludera fler aspekter av hållbarhet i tidiga projekteringsfaser. Målet bör vara att kombinera kommersiell gångbarhet med långsiktig ekologisk och klimatmässig hållbarhet för framtidens byggnader. **Analysen i den-**

na rapport ger en bild av det aktuella kunskapsläget, men det sker en snabb utveckling i branschen, och framsteg inom materialutveckling och beräkningsmetoder kan på sikt påverka resultatet av jämförelsen mellan trä- och betongkonstruktioner.

FRAMTIDA STUDIER OCH FORSKNING

För att komplettera och fördjupa analysen föreslås följande områden för framtida studier:

- **Klimatpåverkan från kalhyggen:** Analysera hur utsläpp från kalhyggen påverkar livscykelanalysen för trä och dess klimatfördelar, utreds i Del 2 av IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- **Fukt och brand:** Ta med fukt- och brandpåverkan i analyserna för att ge en mer heltäckande bild av materialen.
- **Tillgång till skogsråvara:** Undersöka om skogens kapacitet räcker för att möta en ökad efterfrågan utan att påverka biodiversitet eller kolinlagring negativt.
- **Arbetsmiljö och trivsel:** Jämföra arbetsmiljön på byggarbetsplatser samt undersöka hyresgästernas trivsel och upplevelse av byggnader med olika stommaterial. Detta kommer att utredas i Del 3 och 5 av projektet.

Dessa områden kan ge en mer nyanserad och komplett jämförelse av trä och betong för framtidens byggande.

Referenser

Albinsson, T., Larsson, M. (2023). *Assessing impacts on biodiversity in the building sector*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola. <https://odr.chalmers.se/items/95966427-c2f2-4431-8530-976c5b43ed95>

Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L., & Valinger, E. (2012). *Skogsskötselns grunder och samband* (tech. rep. No. 1). <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-1-skogsskotselns-grunder-och-samband.pdf>

Andersen Swartz, J., Goto, Y., et al. (2023). *Economic Comparison of Mass Timber and Concrete Construction in the Nordic Region*. <https://researchgate.net>

Appelqvist, et al. (2021). *Hyggesfritt skogsbruk- Skogsstyrelsens definition*. (RAPPORT 2021/8). Uppsala: SLU. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-20222021202020192018/rapport-2021-8-hyggesfritt-skogsbruk---skogsstyrelsens-definition.pdf>

Arkeologerna. (2024). *Hur byggdes timmerhusen under 1700-talet?* <https://arkeologerna.com/bloggar/hus-och-manniskor/hur-byggdes-timmerhusen-under-1700-talet/> [2024-12-12].

Back, T. E. (2020). *Hyggesfritt skogsbruk. Skinn-skatteberg: EU Erasmus+ projektet Net4Forest*. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/skmsk/schema/ersson.2020.hyggesfritt_skogsbruk_erasmusplus_o2-003.pdf

Baumann, H., Tillman, A-M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application*. Göteborg: Studentlitteratur AB.

Betongbranschen. (2023). *Färdplan för klimatneutral betong – Betongbranschen*. Stockholm: Svensk Betong. <https://www.svenskbetong.se/component/edocman/?task=document.viewdoc&id=103&Itemid=>

Betonginitiativet. (2018). *Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft, betongbranschen*. <https://www.svenskbetong.se/component/edocman/?task=document.viewdoc&id=59&Itemid=> [2023-10-11].

Betonginitiativet. (2023). *Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft, betongbranschen*. <https://www.svenskbetong.se/component/edocman/?task=document.viewdoc&id=103&Itemid=> [2025-03-07].

Boverket. (2023:20). *Gränsvärde för byggnaders klimatpåverkan och en utökad klimatdeklaration*. <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2023/slutrapport-gransvarde-for-byggnaders-klimatpaverkan.pdf>

Boverket. (2023). *Om klimatdeklaration*. <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/> [2023-10-11].

Boverket. (2024). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. <https://www.boverket.se/sv/byggnade/hallbart-byggnade-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/> [2024-12-12].

Brunnberg & Forshed Arkitektkontor. (2022). *Lärdomar från historiska träbyggnader*. <https://www.brunnbergoforshed.se/lardomar-fran-historiska-tra-byggnader> [2024-12-12].

Byggkoll. (2023). *Bindemedel som kan ersätta cement i betong*. <https://byggkoll.bygggtjanst.se/artiklar/2023/mars/bindemedel-som-kan-ersatta-cement-i-betong/> [2024-12-11].

- Byggkoll. (2025). *Hur länge ska betong hårdas – Betong brinntid & torktid*. <https://byggnytt.nu/betong-harda-brinntid-guide/> [2025-03-11]
- CarbonCure. (2023). *Water: One of Concrete's Most Important Resources Faces New Challenges*. <https://www.carboncure.com/concrete-corner/water-one-of-concretes-most-important-resources-faces-new-challenges/> [2025-03-11]
- Cherubini, F., Guest, G., Strømman, A. H. (2012). *Application of probability distributions to the modeling of biogenic CO₂ fluxes in life cycle assessment*. GCB Bioenergy, 4:784–798. doi:10.1111/j.1757-1707.2011.01156.x
- Christiansson, M., Roos, T. (2023). *Building materials and their impacts on biodiversity*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola. <https://odr.chalmers.se/items/31799976-4273-4235-9bd8-5e7148c17746>
- Crenna, E., Marques, A., La Notte, A., & Sala, S. (2020). *Biodiversity Assessment of Value Chains: State of the Art and Emerging Challenges*. Environmental Science and Technology, 54(16), 9715–9728. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05153>
- EN 16449:2014. *Trä och träbaserade produkter – Beräkningsmetod för biogen kolhalt i trä och omvandling till koldioxid*. <https://www.sis.se/produkter/trateknik-15e6ae2b/tra-sagttimmer-och-sagat-virke/ssen164492014/>
- Eriksson, A., Johansson, M. (2021). *En jämförelse mellan KL-trä och betong som bjälklagssystem: En studie av kostnad, dimensioner och miljöpåverkan vid olika spännvidder*. Examensarbete, Jönköping University. <https://hj.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A1579010/FULLTEXT01.pdf> [2024-12-12].
- Erlandsson et al. (2017). *Blå Jungfrun version 2017 med nya cement*. IVL Svenska Miljöinstitutet. <https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a-1de98f472d27/1628414590265/FULLTEXT01.pdf>
- Erlandsson et al. (2018). *Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus*. LCA av 5 byggsystem, underlagsrapport. <https://www.ivl.se/download/18.182a90c917b9f528bf11c24b/1633080411405/FULLTEXT02.pdf>
- Erlandsson, M., Mattisson, E., Nilsson, J. (2022). *Negativa klimatutsläpp genom användning av biogena kolsänkor*. IVL Svenska miljöinstitutet, Rapport C 68, Juli 2022. <https://www.ivl.se/download/18.147c3211181202f18d122e53/1659521237869/C689.pdf>
- Espinoza, O., Buehlmann, U. (2020). *Cross-laminated timber: Status and perspectives*. Forest Products Journal, 70(1), 20–30. <https://doi.org/10.1000/forestproducts.2020.clt-status>
- Espmark, K. (2017). *Debatten om hyggesfritt skogsbruk i Sverige*. (Future Forests Rapportserie 2017:2). Umeå: SLU.
- EU Taxonomy Navigator. (2024). *European Commission*. <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/sectors>
- European Council. (2025). *Council greenlights EU certification framework for permanent carbon removals, carbon farming and carbon storage in products*. <https://docs.google.com/document/d/1ENj-8gqiJ1M1ZkGILHnNlOn5yf3h77V1W69vOma6g1Jg/edit?tab=t.0> [2025-03-04].
- Europeiska kommissionen. (n.d.). *EU Taxonomy for Sustainable Activities*. <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/> [2023-10-11].
- FCS. (2022). *Skogsbruksstandard*. <https://se.fsc.org/se-sv/regler/skogsbruksstandard>
- Happio, A. et al. (2020). *Reducing material intensity in structural systems*. Buildings, 10(4), Article 80. <https://doi.org/10.3390/buildings10040080>
- Heidelberg Materials Cement. (2024). *Karbonatisering – vad är det? Sverige*. <https://docs.google.com/document/d/1ENj8gqiJ1M1ZkGILHnNlOn5yf3h77V1W69vOma6g1Jg/edit?tab=t.0> [2025-02-26]
- Heidelberg Materials Cement. (2019). *"Vi har minskat vattenanvändningen med 30 procent"* <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/vi-har-minskat-vattenanvandningen-med-30-procent> [2025-03-11].
- Hertog, I. M., Brogaard, S., Krause, T. (2022). *Barriers to expanding continuous cover forestry in Sweden for delivering multiple ecosystem services*. Ecosystem Services, 53, 101392. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101392>
- Institutet för språk och folkminnen (Isof). (2021). *Biologisk mångfald*. <https://web.archive.org/web/20221027183155/https://www.isof.se/vart-uppdrag/samarbeten/hallbarhetstermgruppen/termlista-hallbar-utveckling/termer/biologisk-mangfald>

IVL Svenska Miljöinstitutet. (2024). *Anvisningar för LCA-beräkningar av byggprojekt version 2024-06*. <https://www.ivl.se/download/18.5c5c41c51900fc-f63db278b3/1719484483034/Anvisningar%20f%C3%B6r%20LCA-ber%C3%A4kningar%20av%20byggprojekt%20version%202024-06%20-%20240627.pdf> [2024-08-21].

IVL Svenska Miljöinstitutet. (2025). *Anvisningar för LCA-beräkningar av byggprojekt version 2025-02*. <https://www.ivl.se/download/18.3d781b21194d-85bfa42e8ab/1739194547290/Anvisningar%20f%C3%B6r%20LCA-ber%C3%A4kningar%20av%20byggprojekt,%20version%202025-02.pdf> [2025-03-4].

Jonsson, R., Persson, M. (2021). *Trähusbyggande med heltäckande väderskydd*. SBUF 13881. <https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/b70bb14a-6ce8-4fb0-8136-bf2e2eeb67db/Final-Report/SBUF%2013881%20Slutrapport%20-%20Byggprocess%20f%C3%B6r%20tr%C3%A4husbyggande%20med%20v%C3%A4derskydd.pdf>

Karlsson, M. (2006). *Trakthyggesbruk och kontinuitetsskogsbruk med gran, en jämförande studie*. https://www.skogforsk.se/cd_20190114161752/contentassets/e476f6471a8c487d8e5318fe7fbaa69c/redogorelse-5-2006-low.pdf

Länsförsäkringar. (2023). *Länsförsäkringars utökade krav på brandskydd för höga träbyggnader*. https://www.lansforsakringar.se/493b60/globalassets/varmland/dokument/blanketter/11976_00_krav_hoga_trabyggnader_faktablad_webb.pdf

LFM30 återbetalningsplan v.1.6. <https://lfm30.se/wp-content/uploads/2022/03/LFM30-Hja%25C-C%2588lpmedel-Mall-A%25CC%258Aterbetalningsplan-version-1.6.xlsx>

Löfgren, J. (2021). *Betydelsen av betongens koldioxidupptag ur ett livscykelperspektiv*. <https://www.husbyggaren.se/betydelsen-av-betongens-koldioxidupptag-ur-ett-livscykelperspektiv/>

Malmqvist, T., Borgström, S., Brismark, J., & Erlandsson, M. (2023). *Referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader. Version 2, 2023. TRI-TA-ABE-RPT-233*. <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1744370/FULLTEXT01.pdf>

Miller, S.A., Horvath, A. & Monteiro, P.J.M. (2018). *Impacts of booming concrete production on water resources worldwide*. *Nat Sustain* 1, 69–76. <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0009-5>

MSB. (2023). *Statistik över räddningstjänstens insatser*. <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/raddningstjanst-och-raddningsinsatser/statistik-raddningstjans-tens-insatser/>

Naturskyddsföreningen. (2022). *Sanningen om den svenska skogen*. <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/sanningen-om-den-svenska-skogen/> [2023-09-12].

National Geographic. (2018). *Secrets of Japan's ancient wooden temples*. <https://www.nationalgeographic.com/history/article/secrets-of-japans-ancient-wooden-temples> [2024-12-12].

Nordic Office of Architecture. (2021). *The rise of Mjöstårnet*. <https://nordic.no/the-rise-of-mjostarnet> [2024-12-12].

NollCO₂. (2022). *Continuous Cover Forestry (CCF) certificates as climate action in Sweden Green Building Council's Net Zero Carbon Future certification system*. <https://www.sgbc.se/app/uploads/2022/09/NollCO2-Climate-Action-CCF-220912-1.pdf>

Olsson, M. (2020). *Kalhuggning ger utsläpp av växthusgaser*. <https://www.nateko.lu.se/sv/artikel/kalhuggning-ger-utslapp-av-vaxthusgaser> [2024-08-13].

PAS 2050, Annex E. *Annex E – Calculation of the weighted average impact of delayed emissions arising from the use and final disposal phases of products*. https://www.plattformeco2.ch/portal/documents/10279/17373/BSI_PAS2050.pdf/06409597-60e5-4c71-85b5-0e07de662ef9

Ramboll. (n.d.). *Varför bygga i trä*. <https://c.ramboll.com/sv-se/varfor-bygga-i-tra>

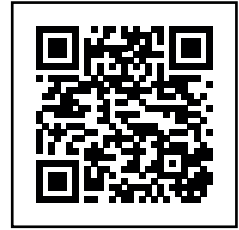
RISE. (n.d.). *Träbaserade material och produkter*. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/trabasera-de-material-och-produkter> [2024-12-12].

RISE. (n.d.). *Så kan betong bli en koldioxidsänk*. <https://www.ri.se/sv/berattelser/sa-kan-betong-bli-en-koldioxidsanka> [2023-08-14]

RISE. (n.d.). *Framtidens KL-trä*. <https://www.ri.se/sv/framtidens-kl-tra> [2025-03-11]

- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S. I., Lambin, E., Lenton, T., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. (2009). *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*. The Resilience Alliance. *Ecology and Society*, 14(2). <https://doi.org/10.5751/ES-03180-140232>
- SBUF. (2015). *Handbok – Inspiration till att skapa bra natur i täkter*. https://www.ncc.se/siteassets/ncc-ballast/hallbarhet/handbok-for-biologisk-mangfald-i-takter_151015_lagupplost.pdf
- SGU. (2023). *Cement och betong*. <https://www.sgu.se/mineralnaring/industrimineral/cement-och-betong/> [2025-03-07]
- Sveriges betong. (n.d.). *Naturligt material*. <https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/naturligt-material> [2025-03-07]
- Sveriges miljömål. (2025) *Grundvatten av god kvalitet*. <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/grundvatten-av-god-kvalitet/> [2025-03-07]
- Sweden green building council. (2024). *NollCO₂ Nybyggnad och ombyggnad 2.0 (VERSION 2.0)*. Stockholm: SGBC. <https://www.sgbc.se/app/uploads/2024/12/NollCO2-Manual-2.0.pdf>
- Skogskunskap. (2023). *Skogsstyrelsens definition av hyggesfritt*. <https://www.skogskunskap.se/skotta-barrskog/hyggesfritt/skogsbruk-med-och-utan-hyggen/skogsstyrelsens-definition-av-hyggesfritt/>
- Skogskunskap. (2023). *Sveriges skogskötsel system*. <https://www.skogskunskap.se/aga-skog/fakta-om-skogen/sveriges-skogsskotselsystem/> [2023-09-12].
- Skogsindustrierna. (2020). *Vad är ett hållbart skogsbruk?* <https://integration.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/skogsindustrin-i-korthet/lyssna-pa-forskarna/vad-ar-ett-hallbart-skogsbruk/> [2023-09-14].
- Skogsstyrelsen. (2023). *Metoder för hyggesfritt skogsbruk*. <https://www.skogsstyrelsen.se/bruka-skog/olika-satt-att-skota-din-skog/hyggesfritt-skogsbruk/metoder-for-hyggesfritt-skogsbruk/> [2023-09-20].
- SLU. (2023). *Så kan skogsbruk utan kalhyggen påverka skogens arter*. <https://www.forskning.se/2023/04/04/skogsbruk-utan-kalhyggensko-gens-arter/> [2023-09-20].
- SMARTA WOOD. (n.d.). *SMARTA WOOD Demonstrator*. <https://efi.int/projects/smarta-wood-demonstrator> [2023-09-20].
- Stockholm Resilience Center. (2023). *Planetary boundaries*. <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html> [2023-10-11].
- Stockholm Resilience Centre. (2022). *Planetary boundaries*. <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html> [2021-08-10].
- Strippel, H., et al. (2021). *CO₂ uptake in cement-containing products*. IVL och Cementa. Rapport No B 2309. <https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f47389d/1628417180047/FULLTEXT01.pdf>
- Svensk Betong. (2021). *Betongens hållbarhet och livslängd*. Stockholm: Svensk Betong. <https://www.svenskbetong.se/rapporter/betongens-hallbarhet>
- Svensk Betong. (2021). *Brandsäkerhet och betong*. <https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper> [2024-10-9].
- Svenskt Trä. (2019). *Nya innovationer för ytbehandling av trä*. Tillgänglig: <https://www.svensktra.se/publikationer-start/tidningen-tra/2019-2/nya-innovationer-for-ytbehandling-av-tra/> [2024-12-12].
- The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). (2019). *The global assessment report on BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES – SUMMARY FOR POLICYMAKERS*. www.ipbes.net [2023-08-11].
- Tyréns. (n.d.). *KL-trä i träkonstruktioner*. <https://www.tyrens.se/aktuellt/trabyggnad/kl-trae-i-traekonstruktioner/> [2024-12-12].
- WWF. (2020). *Hybrid buildings for sustainable construction*. <https://www.wwf.org/hybridconstruction> [2024-10-9].

Appendix



BILAGA A: EN JÄMFÖRELSE AV TVÅ BYGGNADER MED OLIKA STOMSYSTEM

Besök www.sveafastigheter.se/tra-vs-betong för att läsa bilagan.

BILAGA B: BUILDING MATERIALS AND THEIR IMPACTS ON BIODIVERSITY

Besök www.sveafastigheter.se/tra-vs-betong för att läsa bilagan.



Sveafastigheter