

Erasmus+-prosjekt 2022-1-NO01-KA220-HED-000087893

Dette Erasmus+-prosjektet er finansiert med støtte fra Europakommisjonen. Denne publikasjonen gjenspeiler kun forfatterens synspunkter, og Europakommisjonen og de nasjonale kontorene for Erasmus+ kan ikke holdes ansvarlig for bruken av informasjonen i publikasjonen.

BIM-LCA Construction**Prosjekttittel: Bruk av tre som****byggemateriale**

1 - Målsettinger

Målene med denne Timber-opplæringen er som følger:

- Lære om de miljømessige fordelene ved å bruke tre som hovedkonstruksjonsmateriale i bygninger.
- Kunnskap om den nyeste teknologien for produksjon av treelementer til bygningskonstruksjoner.
- Kunnskap om typologien til trekonstruksjonssystemer for bygninger.
- Å kjenne til resultatene av en livssyklusanalyse (LCA) som sammenligner miljøpåvirkningen fra en bygning i tre med miljøpåvirkningen fra den samme bygningen i betong.

2 - Læringsmetodikk

Læreren vil gi en forklaring om tre som byggemateriale på ca. 30 minutter.

Studentene skal lese denne veiledningen og følge trinnene som vises i veiledningen, nemlig

- Fordelene med tre som byggemateriale. (Ted talk-video inkludert).
- Skogforvaltning.
- Standarder for trekonstruksjoner og designveiledninger.
- Strukturelle systemer i trekonstruksjoner.
- Strukturelle elementer i trekonstruksjoner.
- Forbindelser i trekonstruksjoner.
- Seismisk motstand i trekonstruksjoner. (Video inkludert).
- Tømmer og brannsikkerhet.
- Tømmerforringelse på grunn av biologiske agenser.
- Programvare for design av massivtre.
- Eksempel på utforming av en bygning i massivtre. Stora Enso. (LCA-studie inkludert)

For å evaluere hvor vellykket søknaden har vært, vil det bli gjennomført en spørreundersøkelse for studentene.

3 - Opplæringens varighet

Implementeringen som beskrives i denne veiledningen, vil bli utført gjennom BIM-LCA-prosjektets nettsted ved hjelp av selvlæring.

3 undervisningstimer er egnet for denne opplæringen.

4 - Nødvendige undervisningsressurser

Datarom med PC-er med internettilgang.

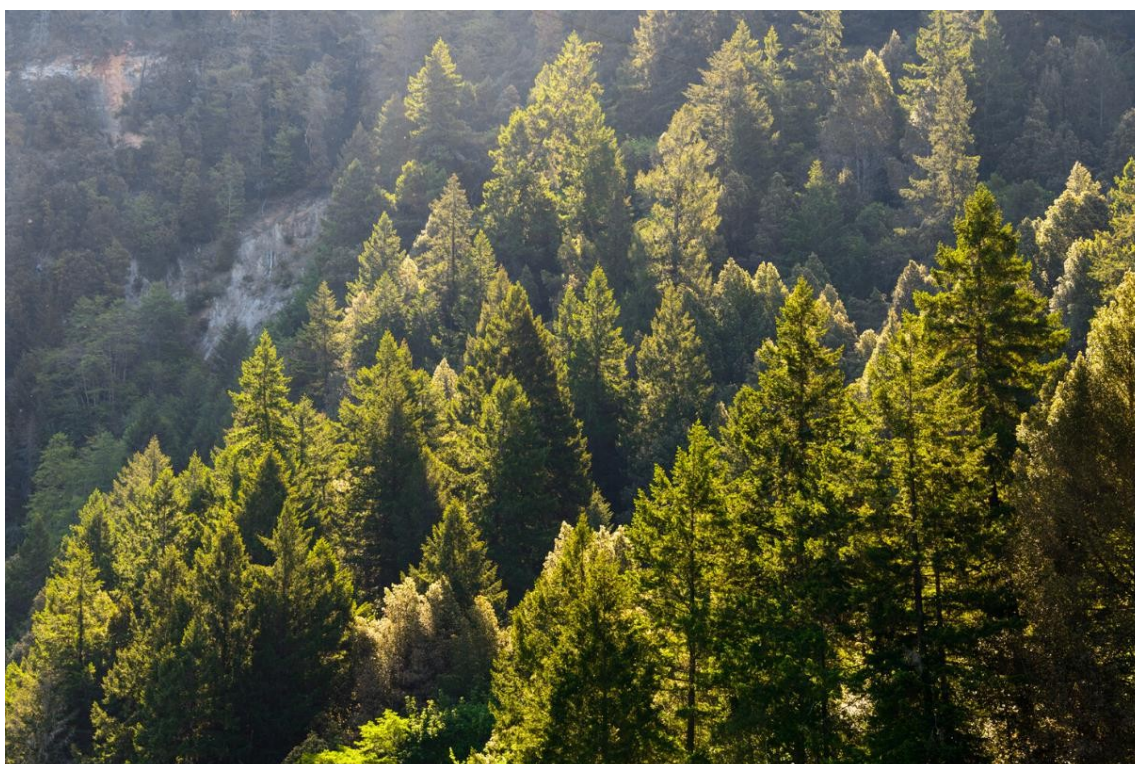
Nødvendig programvare: Microsoft Office.

5 - Innhold og veiledning

5.1 - Innledning. Fordelene med tre som byggemateriale

5.1.1. Maksimal bærekraft

Tre er et usedvanlig fornybart byggemateriale som utmerker seg når det gjelder bærekraft. Under veksten fanger trærne opp og holder på skadelig karbondioksid, slik at CO₂ bindes i treet i stedet for å slippes ut i luften. Derfor er det avgjørende at trærne først hogges når de har nådd full modenhet og har sluttet å ta opp CO₂, slik at man sikrer maksimale miljøfordeler. Når skogene forvaltes på en ansvarlig måte av eiere som prioriterer fornyelse fremfor utarming, kan du være sikker på at tømmeret du bruker, er avvirket på en miljøvennlig måte [1].



Inkorporert energi omfatter den totale energien som trengs for å produsere et produkt eller levere en tjeneste. I bygg- og anleggssektoren omfatter dette energiforbruket i bygge-, produksjons- og transportprosesser, som vanligvis utgjør 30-50 prosent av et prosjekts samlede karbonfotavtrykk. Å omdanne trær til tømmer for bygging innebærer minimalt energiforbruk, og

byggeprosessen krever vanligvis bare en brøkdel av den transporten som kreves for betong.

Disse faktorene bidrar til at trevirke får den laveste karakteren for innebygd energi blant de vanligste byggematerialene.

Ta for eksempel en gulvbjelke av tre, som krever omtrent 80 megajoule (MJ) energi per kvadratmeter gulvflate og slipper ut 4 kg CO₂. En kvadratmeter gulvareal som bæres av en stålbjelke, krever derimot 516 MJ og slipper ut 40 kg CO₂, mens et betonggulv krever 290 MJ og slipper ut 27 kg CO₂.

Tre har ikke bare eksepsjonell styrke og holdbarhet, men holder også høy kvalitet, selv når man tar hensyn til byggehastigheten. Trekonstruksjoner kan stå i århundrer og er mer kostnadseffektive og enklere å vedlikeholde enn alternative materialer.

5.1.2. Termisk effektivitet

Materialets iboende egenskaper bidrar også til dets miljøvennlige omdømme. Tømmer er en naturlig isolator og inneholder små luftlommer som begrenser dets evne til å overføre varme. Denne egenskapen reduserer energibehovet til oppvarming og kjøling av boliger, noe som fører til redusert bruk av fossilt brensel. Dessuten gir trerammer mer plass til isolasjon sammenlignet med mursteinskonstruksjoner, noe som forbedrer den termiske effektiviteten.

5.1.3. Enkel montering

Tre er kjent for sin lette vekt og tilpasningsdyktighet, noe som gjør det enkelt å håndtere og montere. Dette forenkler byggeprosessen og gjør den raskere, mer kostnadseffektiv og mindre forstyrrende. Det er et ideelt valg for utvikling av gamle industriområder og bygging i byer, noe som skaper roligere, fredeligere og renere byggeplasser.



I tillegg utmerker tre seg ved produksjon utenfor byggeplassen, noe som reduserer byggetiden med opptil 50 %. Tømmerrammer kan kappes nøyaktig til og enkelt monteres med færre arbeidere, færre leveranser på byggeplassen og minimalt med avfall. Produksjon i et kontrollert fabrikkmiljø eliminerer værrelaterte problemer, reduserer sannsynligheten for feil og reduserer risikoen for skader. Økt automatisering i produksjonsprosessen reduserer dessuten avhengigheten av tradisjonell faglært arbeidskraft. Når det gjelder kostnadsbesparelser, fremstår trekonstruksjon som et betydelig mer kostnadseffektivt alternativ til tradisjonelle byggemetoder.

5.1.4 Et klassisk materiale eller fremtidens viktigste byggemateriale?

Michael Green, en arkitekt fra Vancouver, er en ledende talsmann for å bygge skyskrapere i tre i Nord-Amerika. I TED-foredraget sitt sa han at tre er det mest avanserte materialet han kan bruke, og snakket om behovet for å skape en betydelig prestasjon, som Eiffeltårnet, ved hjelp av tre.

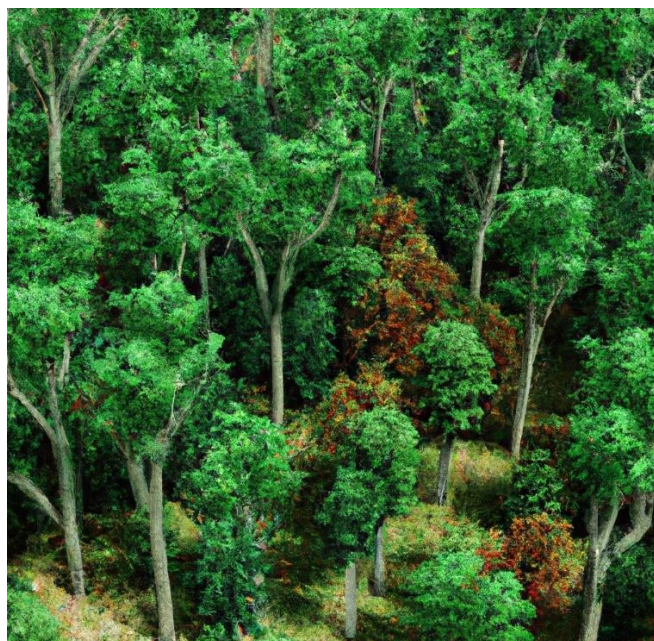


[Video 1](#)

5.2 - Skogforvaltning

5.2.1. Skogbruk og tømmer

I dagens sammenkoblede verden må vi tenke på skog og tre på ulike måter: i våre nærområder, i nærliggende regioner og over hele verden. Akkurat nå er omtrent 30 % av jordas landareal, det vil si rundt 4 milliarder hektar, dekket av skog. Men disse skogene har blitt mindre i mange år på grunn av praksiser som å brenne ned jorda for å rydde den til jordbruksland, gjøre den om til jordbruksland og hugge ned trær ulovlig. Fra 2010 til 2015 har imidlertid tempoet i skogryddingsprosessen avtatt noe. Selv om folk planter rundt 4,3 millioner hektar ny skog hvert år, mister vi fortsatt 3,3 millioner hektar skog hvert år.



Skogene i ulike deler av verden, som tropiske, subtropiske, kalde og tempererte områder, er avgjørende for å skaffe oss trevirke vi kan bruke. Men når det gjelder å lage treprodukter, er det de dyrkede skogene i Europa som står i fokus. Disse skogene forvaltes på en måte som er bra for mange ting, ikke bare for å skaffe trevirke. De bidrar til å beskytte miljøet, gir oss mennesker et sted å oppholde oss, og de er levested for en rekke planter og dyr.

På den annen side finnes det en stor industri rundt om i verden som planter og dyrker visse typer trær, som eukalyptus og hurtigvoksende furu, hovedsakelig for å lage ting som trevirke til energi, papir og andre produkter. De dyrker disse trærne i store grupper, og det er ikke like bra for miljøet.

Hvert år gir jordas skoger oss mye trevirke, omtrent 3,7 milliarder kubikkmeter (det tilsvarer 2,2 milliarder tonn). Omtrent halvparten av dette brukes til å lage energi, og den andre halvparten blir til ulike produkter, for eksempel tømmer til byggkonstruksjoner. Så tre er fortsatt veldig viktig som et materiale vi kan fortsette å bruke, og det er et av de tre materialene vi bruker mest av, og som kommer fra naturen.

5.2.2. Nåtid og fremtid for tømmerressursene i Europa

I mange århundrer har folk i Europa tatt vare på skogene sine og til og med dyrket spesielle skoger for å få trevirke til for eksempel husbygging. I EU, som har 28 medlemsland, finnes det 180 millioner hektar skog, som dekker omtrent 41 % av landarealet. Overraskende nok økte faktisk skogarealet med 5 % fra 1990 til 2010, og bare i Tyskland økte det med 48 000 hektar fra 2002 til 2012.

Det er mye trevirke i disse skogene i Europa. I Tyskland finnes det for eksempel rundt 3,7 milliarder kubikkmeter trevirke, og i hele EU er det enda mer, rundt 22,5 milliarder kubikkmeter. Tyskland har de største treservene i EU, med unntak av Sveits og Østerrike. I gjennomsnitt finnes det rundt 336 kubikkmeter trevirke per hektar land i Tyskland. Og i Tyskland vokser det hvert år opp rundt 120 millioner kubikkmeter trevirke på overflaten, hvorav rundt 80 millioner kubikkmeter blir brukt som rå tømmerstokker.

Alle disse tallene forteller oss at Tyskland har rikelig med dette råmaterialet, og at det ikke kommer til å ta slutt med det første. **En beregning viser faktisk at alle nye bygninger som bygges i Tyskland, kan lages med bare en tredjedel av den gjennomsnittlige mengden trevirke som kan hentes bærekraftig fra skogene i landet.**

For å kunne bruke trevirke på en bærekraftig måte må vi sørge for at vi tar godt vare på skogene våre og hjelper dem med å vokse opp igjen. En måte å gjøre dette på er å ha varierte skoger som passer til sine spesifikke steder og klima. Disse varierte skogene vil være mer lik naturskogene, og de vil holde seg sunne over tid. De vil ha mange forskjellige treslag, mer løvtre og mer dødt og råtnende trevirke, noe som er bra for miljøet.

I Tyskland har de sett på hvordan skogene deres vokser og hvor mye trevirke de kan få i fremtiden. De har brukt noe som kalles "Waldentwicklungsund Holzaufkommensmodellierung" (WEHAM), som er en fancy måte å modellere skogutvikling og tresressurser på. Ifølge denne modellen forventer de å ha rundt 80 millioner kubikkmeter tømmer tilgjengelig hvert år de neste 40 årene. Det betyr at mengden trevirke i de tyske skogene vil øke til rundt 3,9 milliarder kubikkmeter.

De spør imidlertid også at typen trevirke de får tak i, vil endre seg. Akkurat nå kommer det meste av tømmerstokken de bruker til bygging, fra grantrær (ca. 44 %).

Men innen 2027 vil mengden tilgjengelig granstokker gå ned til rundt 35 %. I stedet vil de ha mer bartrevirke fra trær som furu og douglasgran. De vil også se en stor økning i bøk og eik. Denne endringen skyldes klimaendringene, som vil gjøre løvskog og blandingskog viktigere for å skaffe trevirke i Europa.

5.3 - Standarder for trekonstruksjoner og designveiledninger.

Amerikanere:

- American Wood Council (AWC) og International Code Council har gitt ut en felles publikasjon, ***Mass Timber Buildings and the IBC***, som gir en oversikt over kravene til massivtrekonstruksjoner i *International Building Code* (IBC) for 2015, 2018 og 2021.
- **2018 National Design Specification (NDS) for Wood Construction** er utviklet av American Wood Councils (AWC) Wood Design Standards Committee og er godkjent av ANSI som en amerikansk nasjonal standard. NDS 2018 er referert til i 2018 International Building Code. Blant de viktigste tilleggene i NDS 2018 er nye designbestemmelser for takbelegg med ringskaftspiker og gjennomtrekking av festehoder for å håndtere økte vindlaste i ASCE 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.
- ANSI/AWC 2021 ***Special Design Provisions for Wind and Seismic (SDPWS)*** inneholder kriterier for dimensjonering, utforming og detaljering av systemer, elementer og forbindelser i trekonstruksjoner som skal motstå sidekrefter. Trekonstruksjoner som skal motstå vind eller seismiske krefter, dimensjoneres enten ved hjelp av ASD (Allowable Stress Design) eller LRFD (Load and Resistance Factor Design). Nominelle skjærkapasiteter for membraner og skjærvegger er oppgitt for referansesammenstillinger.
- **Teknisk design i tre CSA 086, Canadian Standards Association, 2014.**
- **International Code Council. International Building Code. Country Club Hills, Illinois, USA. 2018.**
- **International Code Council. International Residential Code. Country Club Hills, Illinois, USA. 2018.**
- **APA - The Engineered Wood Association. Standard for ytelsesklassifisert krysslaminert tre, ANSI/APA PRG 320. Tacoma, Washington, USA 2020.**

Europeere:

English title	Description
EN 338	EN 338 - Structural timber ? Strength classes
ETA-14/0349	European Technical Assessment ETA-14/0349 of 02.10.2014
Expertise Rolling shear - no edge gluing, H.J. Blass	Expertise on Rolling shear for CLT
EN 1995-1-2	EN 1995-1-2 - Eurocode 5 – Design of timber structures – Part 1-2: General – Structural fire design
EN 14080	EN 14080 - Timber Structures - Glued laminated timber and glued solid timber - Requirements
DIN EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings
DIN EN 1995-1-1 NA	EN 1995-1-1 - National Annex – Nationally determined parameters – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General ? Common rules and rules for buildings
Technical expertise 122/2011/02: analysis of load bearing capacity and separation performance of CLT elements	Verification of the load bearing capacity and the insulation criterion of CLT structures with Stora Enso CLT
Technical expertise 2434/2012 - BB: failure time t_f of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Expertise on failure time t_f of gypsum wall fire boards according to ON B3410 and gypsum wall boards type DF according to EN 520
EN 1990	EN 1990 - Eurocode ? Basis of structural design
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe; publishes by SP Technical Research Institute of Sweden
National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	ÖNORM EN 1995-1-2 - National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12
DIN EN 1995-1-2_NA	DIN EN 1995-1-2 - Germany - National Annex - Eurocode 5: Design of timber structures ? Part 1-2: General ? Structural fire design ? National specifications concerning DIN EN 1995-1-2, national comments and national supplements
Expertise Rolling shear, H.J. Blass	Expertise on rolling shear strength and rolling shear modulus of CLT panels
ÖNORM EN 1995-1-1_NA, chapter 7.3	ÖNORM EN 1995-1-1 - Austria - National Annex – Nationally determined parameters – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General- Common rules and rules for buildings; chapter 7.3

- Prosjekteringsveiledning til Eurokode 5: Prosjektering av trebygninger: EN 1995-1-1.** EN 1995, eller Eurokode 5, beskriver prinsippene og prosjekteringsreglene som skal brukes for prosjektering av tre og trebaserte materialer i bygg- og anleggskonstruksjoner. Designers' Guide to Eurocode 5: Design of Timber Buildings gir veiledning i tolkning og bruk av de viktigste dimensjoneringskravene i del 5 av Eurokode 5.

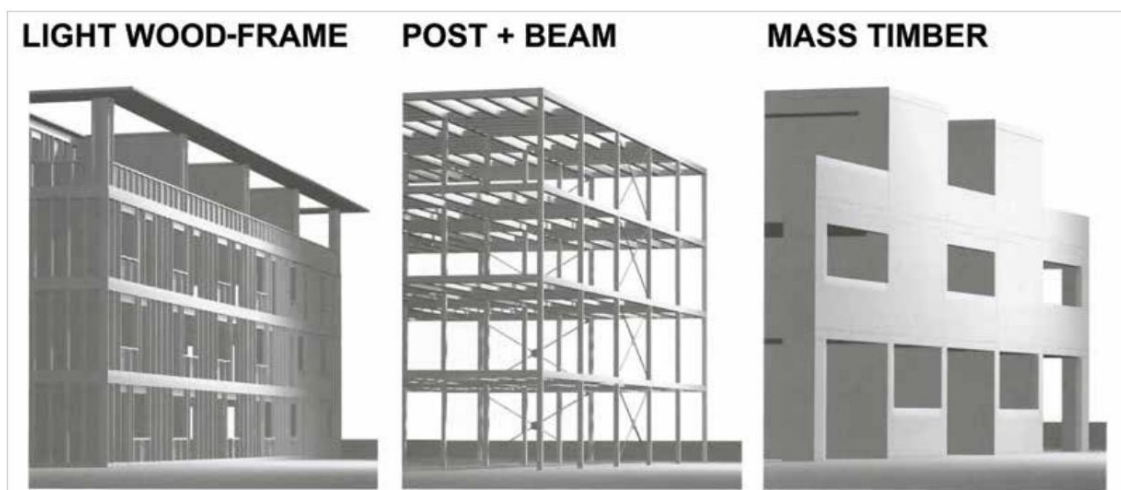
1.1. Felles regler og regler for bygninger, med utfyllende veiledning om prinsippene, kravene og reglene i del 1.2, Prosjektering av brannkonstruksjoner.
- Konstruksjon av krysslaminerte trekonstruksjoner.** Grunnleggende design- og konstruksjonsprinsipper i henhold til Eurokode. proHolz Austria. Arbeidsgruppe i den østerrikske treindustrien for å fremme bruken av tre. Wien/Østerrike. 2014. ISBN 978-3-902926-03-6

5.4- Strukturelle systemer i trekonstruksjoner

De mest brukte konstruksjonssystemene for bygninger med én eller flere etasjer er vist



i figurene nedenfor [2]:



5.2.1. Lett trerammekonstruksjon

Tre er ofte valgt som det primære rammematerialet for eneboliger, flerfamiliehus og næringsbygg på grunn av kostnadseffektiviteten, den store tilgjengeligheten og de enkle monteringsprosedyrene. Lette rammekonstruksjoner brukes ofte i byggingen av butikker, helseinstitusjoner, utdanningsinstitusjoner og ulike næringsbygg [3].



Etter hvert produseres komponenter til lette rammekonstruksjoner utenfor byggeplassen og monteres deretter på byggeplassen.

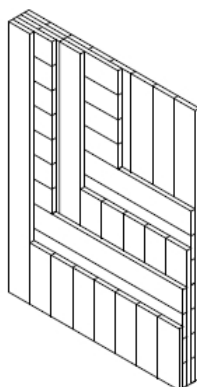
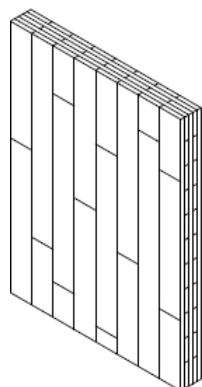
5.2.2. Konstruksjon i massivtre

Massivtre er en kategori av byggemåter som kjennetegnes av bruk av store massivtrepaneler til vegg-, gulv- og takkonstruksjoner. Den omfatter også innovative former for skulpturelle bygninger og andre konstruksjoner enn bygninger som er laget av massivtrepaneler eller rammesystemer med en bredde eller dybde på 2 m eller mer. Produktene i massivtrefamilien omfatter

Massivtre representerer en klassifisering av metoder for reisverk, som vanligvis kjennetegnes ved bruk av store massivtrepaneler i konstruksjonen av vegger, gulv og tak. Det omfatter også oppfinnsomme konfigurasjoner av arkitektoniske konstruksjoner og andre konstruksjoner enn bygninger, dannet av massivtrepaneler eller rammesystemer med dimensjoner som overstiger 2 meter i bredde eller dybde. Spekteret av massivtreprodukter inkluderer: [2], [4], [5]:

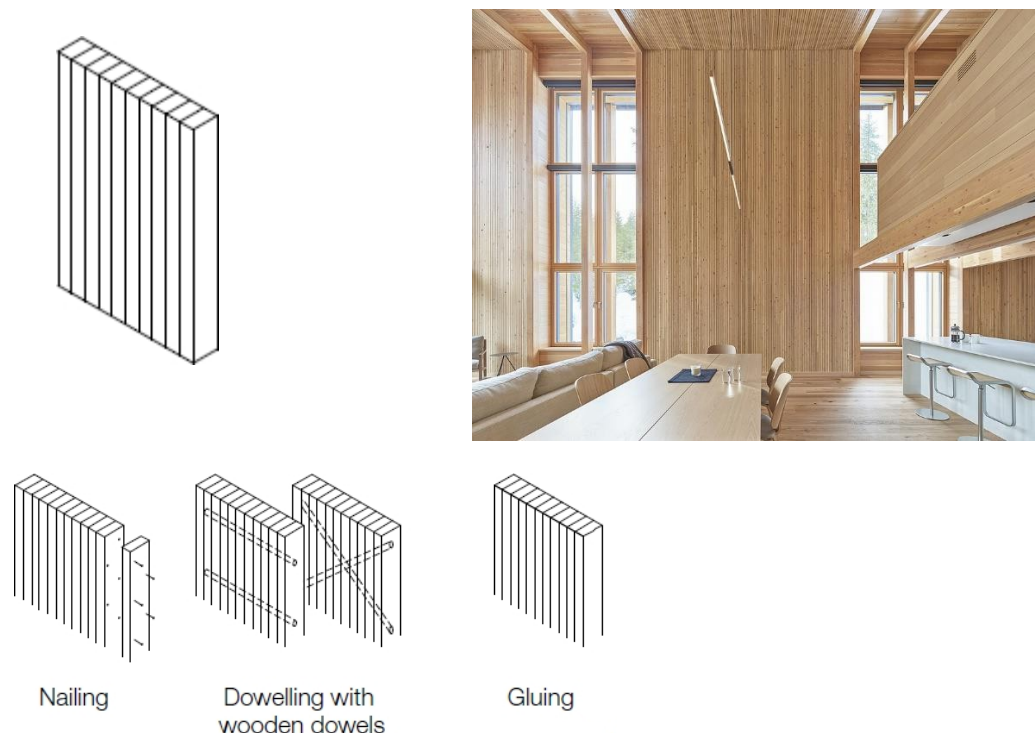


Krysslaminert tre (CLT).



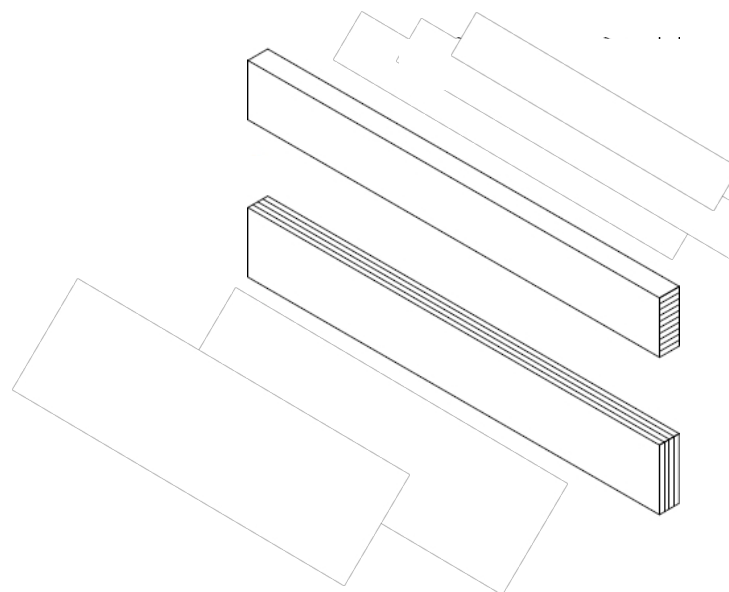
Krysslaminert tre (CLT) består av lag med dimensjonert trelast, vanligvis tre, fem eller syv lag, som er plassert i rett vinkel på hverandre og limt sammen til strukturelle paneler som kjennetegnes av eksepsjonell styrke, dimensjonsstabilitet og stivhet. Disse panelene er en svært kostnadseffektiv løsning for store arkitektoniske prosjekter i flere etasjer. Noen arkitekter anser CLT som både et selvstendig konstruksjonssystem og et allsidig byggemateriale som kan integreres sømløst med andre treprodukter, og som egner seg til hybrid- og komposittanvendelser. CLT egner seg godt til gulv, vegger og tak, og kan til og med stå eksponert på innvendige overflater for estetiske formål. Kryss- og

CLTs laminerte natur gjør at det kan spenne i to retninger. I tillegg kan **CLT** spesialproduseres i ulike dimensjoner, og panelstørrelsene varierer fra produsent til produsent.



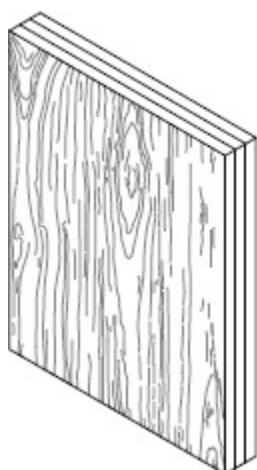
Konstruksjoner i limtre ble opprinnelig utviklet som platekomponenter, konstruert av billige, mindreverdige plater som ble satt sammen til bærende konstruksjonselementer i massivtre av høy kvalitet. Sammenhengen mellom de ulike bordene er tilrettelagt for å kompensere for deres iboende inhomogeniteter. Limtrevegger består av massivtreplanker, vanligvis av bartre, med en tykkelse på mellom 20 og 60 mm, som er omhyggelig sammenkoblet. Vertikale veggelementer, som er utformet for enkel montering på stedet, produseres vanligvis i bredder som forenkler praktisk håndtering. Bordene kan spenne over hele konstruksjonselementets lengde, være sammenføyd med fingerskjøter eller ha forskjøvede forbindelser. Tykkelsen på disse elementene begrenses først og fremst av den maksimale bredden på bordene, som vanligvis er opptil 240 mm eller, i sjeldnere tilfeller, opp til 280 mm. I sin spede begynnelse ble de enkelte bordene bundet sammen med spiker, hovedsakelig av stål, noe som kunne vanskeliggjøre senere endringer. Men når bordene ble satt sammen med dybler av løvtre, ofte av bøk, ble det mulig å modifisere og resirkulere de ferdige komponentene i etterkant av produksjonen, på samme måte som med massivt tre.

Limtre (limtre)



Limtre, ofte kalt limtre, består av individuelle trelameller som er spesielt utvalgt og plassert ut fra sine egenskaper, og som deretter limes sammen med holdbare, fuktbestandige lim. Alle lamineringene har en fiberretning som er parallell med elementets lengdeakse. Limtre har bemerkelsesverdige styrke- og stivhetsegenskaper og tilbys i en rekke ulike utseendekvaliteter som egner seg for både strukturelle og arkitektoniske formål. Selv om limtre vanligvis brukes som bjelker og søyler, har konstruktører muligheten til å bruke limtre i plankeform til gulv- og takdekker. Limtreproduksjonens tilpasningsdyktighet gjør det mulig å lage "paneler" av limtre, som kan gi intrikate krumninger og særegne geometriske utforminger. I tilfeller der slike innovative konfigurasjoner brukes til gulv- og takpaneler, betraktes limtre som en utvidelse av produktfamilien for massivtre, og kalles noen ganger Glulam Timber (GLT).

Laminert finertømmer (LVL)



Laminert finertømmer (LVL) er et massivtreprodukt med dobbelt så høyt styrke/vektforhold som stål, noe som gjør det til et optimalt valg når det stilles høye krav til

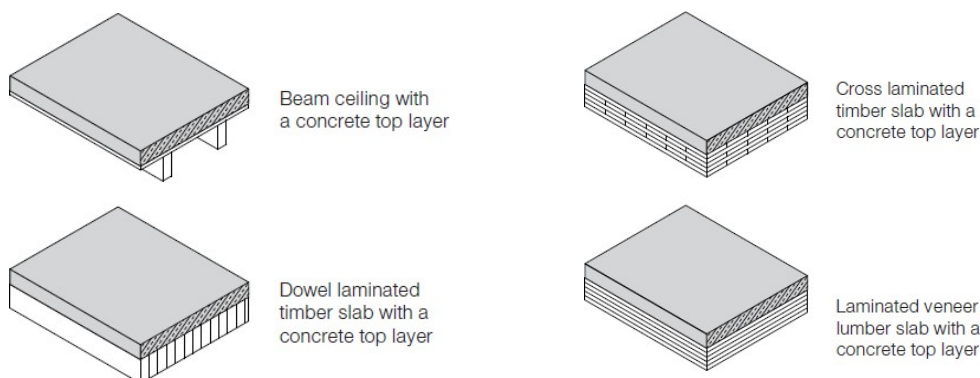
egenskaper som styrke, dimensjonsstabilitet og betydelig bæreevne er en forutsetning. LVL er laget av flere lag med styrkeklassifiserte, ovntørkede trefiner som er omhyggelig limt sammen i kontrollerte fabrikkomgivelser. LVLs tilpasningsdyktighet og dokumenterte strukturelle pålitelighet har ført til en rask økning i bruken av LVL innen massivtrekonstruksjoner.

LVL er et av de mest robuste trebaserte konstruksjonsmaterialene i forhold til sin masse, og er derfor en ideell løsning når det kreves et bærende materiale som både er bærekraftig og pålitelig formstabil. LVL egner seg for presis prefabrikasjon og sømløs integrering med ulike materialer.

LVL-produktet som Stora Enso tilbyr (<https://www.storaenso.com/en/products>), produseres ved å lime sammen 3 mm tykke finérskiver ved hjelp av høyfast lim. Stokkene som brukes i produksjonen av LVL gjennomgår en prosess med avskalling og tørking, noe som sikrer jevn spredning av eventuelle naturlige trefeil i finéren. Sammen med lamineringsprosessen gir dette et lineært og ensartet materiale med bemerkelsesverdig styrke og stivhet.

LVL-bjelker og -søyler kan fås i platedimensjoner på opptil 24 000 mm x 2400 mm x 75 mm, som kan skreddersys for å oppfylle spesifikke prosjektkrav. For tykkelser på mer enn 75 mm tilbyr Stora Enso LVL G-bjelker og -søyler, som produseres ved å binde sammen LVL-paneler i en flat konfigurasjon [6].

Komposittplater av tre og betong



Konseptet med sammensatte trebetongdekker ble først lansert på 1920-tallet med det primære målet å redusere mengden betong og stål som ble brukt i dekkekonstruksjoner. Etter andre verdenskrig fikk denne teknikken fornyet aktualitet, først og fremst for å forsterke og renovere aldrende trebjelkelag.

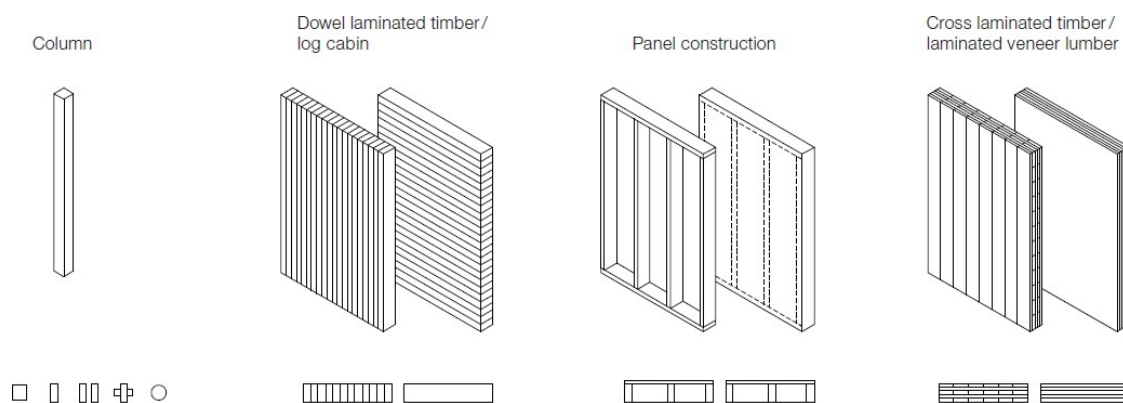
Siden 1990-tallet har det vært en oppblomstring i bruken av komposittplater av tre og betong, særlig i moderne byggeprosjekter. I dag utgjør disse platene de mest utbredte hybridkomponentene i trebaserte konstruksjoner. Sammenlignet med konstruksjoner som utelukkende består av tre, gir de bedre strukturell integritet, bedre lydisolering og bedre brannsikkerhet. I tillegg til dette,

Den ekstra massen bidrar til å dempe uønskede vibrasjoner. Derfor er trebetongdekker av komposittmateriale spesielt godt egnet for konstruksjon av middels til lange spennvidder [5].

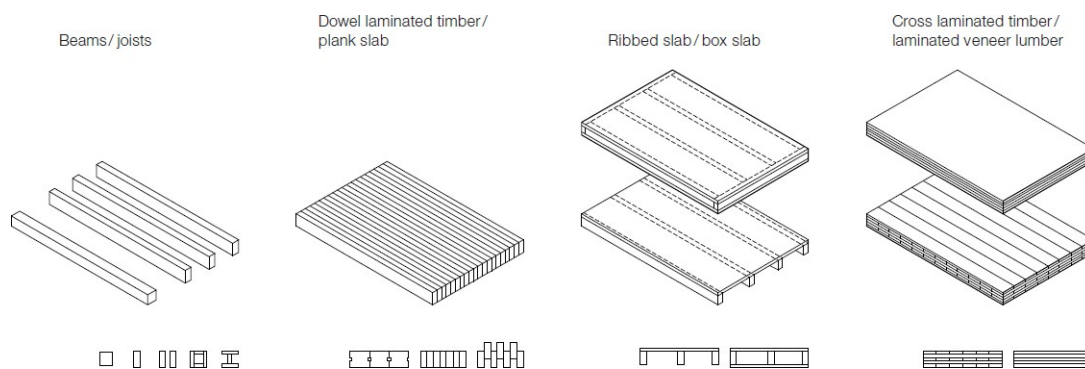
5.5- Strukturelle elementer i trekonstruksjoner

Figurene nedenfor illustrerer de vanligste strukturelle komponentene som vanligvis brukes i trebaserte bygningskonstruksjoner [5].

Vertikale strukturelle elementer:



Horisontale strukturelle elementer:



5.6- Forbindelser i trekonstruksjoner

Kostnadene knyttet til forbindelsene i en massivtrekonstruksjon kan ha en betydelig innvirkning på det totale prosjektbudsjettet. Kompleksiteten i utformingen av forbindelser i massivtre går imidlertid lenger enn bare strukturelle hensyn, og omfatter også estetiske hensyn, overholdelse av brannklassifiseringsforskrifter, gjennomførbarhet, tilpasning til trevirkets dimensjonsendringer på grunn av fukt og fuktsikringstiltak. Derfor blir jakten på en optimal løsning en mangefasettert utfordring for designerne.

For å gjøre denne kompliserte prosessen enklere har [WoodWorks](#) utgitt en brukervennlig katalog over treforbindelser som skal gi en oversikt over alle tilgjengelige konstruksjons- og arkitektoniske forbindelser i massivtre. Målet er å forenkle valget av kostnadseffektive forbindelsestyper og samtidig balansere andre kritiske faktorer [7].

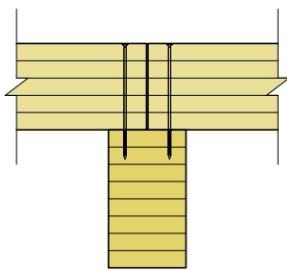
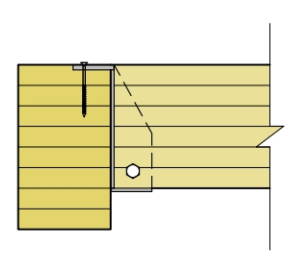
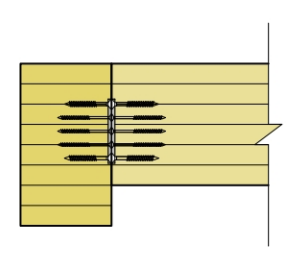
Denne katalogen, som kalles Mass Timber Connections Index, fungerer som et verktøy for å velge ut egnede forbindelsestyper for et gitt prosjekt. Disse forbindelsestypene krever strukturelle vurderinger for å verifisere deres styrke og stivhet. I tillegg må de sikres tilstrekkelig mot fukt og brannfare, i samsvar med gjeldende konstruksjonsregler for trekonstruksjoner, enten de er europeiske eller amerikanske.

For tilgang til katalogen, vennligst klikk [her](#).

For å systematisere denne indeksen har strukturelle forbindelser blitt kategorisert i tre forskjellige "forbindelsesklasser", som grupperer dem med felles egenskaper knyttet til kostnader, byggbarhet og brannklassifisering. Disse klassene er beskrevet og eksemplifisert i tabell 1 som klasse 1, klasse 2 og klasse 3. Klasse 1-forbindelser krever utelukkende massivtreelementer og strukturelle festemidler. Klasse 2-forbindelser omfatter spesialtilpassede stålkomponenter, for eksempel plater og vinkler, i tillegg til konstruksjonsfester. Klasse 3-forbindelser består derimot av prefabrikkerte, egenutviklede forbindelser som tilbys av leverandører som Simpson Strong-Tie, Rothoblaas, MiTek og andre. Klasse 3-forbindelser leveres ofte med bekreftende tester som underbygger deres styrke og brannklassifisering.

Klasse 1-tilkoblinger er generelt sett det mest økonomiske og enkle installasjonsalternativet, selv om de ikke alltid er i tråd med andre prosjektkrav. Klasse 2- og 3-tilkoblinger er derimot generelt mer kostbare. Klasse 3-tilkoblinger kan imidlertid være spesielt relevante når skjulte tilkoblinger foretrekkes, eller når brannmotstandsklassen er av avgjørende betydning.

TABLE 1: Connection Classes

Connection class	Class 1	Class 2	Class 3
Class description	Requires only mass timber elements and fasteners	Utilizes steel fabricated elements, with components such as angles and plates, and includes fasteners	Prefabricated proprietary connectors
Connection example			
	Beam Bears on Girder*	Beam Bears on Steel Bearing Seat with Knife Plate*	Beam Connected to Girder with Proprietary Concealed Connector*

*Table 8 in the *Index of Mass Timber Connections*

5.7 - Seismisk motstand i trekonstruksjoner

Tittel på videoen: "Sammenligning av løsninger i og utenfor tre: En undersøkelse av åtte seismiske og vindrelaterte systemalternativer for massivtrekonstruksjoner"

I denne videopresentasjonen går vi nærmere inn på de ulike systemene som er tilgjengelige for å gi massivtrekonstruksjoner motstand mot jordskjelv. Vi fokuserer spesielt på de vertikale systemene som motstår sidekrefter, som spiller en sentral rolle når det gjelder å motstå sidekrefter fra vind og jordskjelv i massivtrekonstruksjoner.

Tradisjonelt har vertikale systemer for å motstå sidekrefter i massivtrebygninger ofte avveket fra trebaserte rammeløsninger. I den senere tid har det imidlertid skjedd et merkbart skifte, og stadig flere prosjekter har tatt i bruk tresentrerte systemer. Disse omfatter skjærvegger med lett treramme, skjærvegger av krysslaminert tre (CLT) og avstivede rammer av tre. Samtidig finnes det eksempler på at det er overbevisende fordeler med andre systemer enn tre.

Denne videopresentasjonen er en illustrativ ressurs som gir innsikt i åtte vanlige sidesystemer som brukes i design og bygging av bygninger i massivtre.



[Video 2](#)

Følgende figur viser fire alternativer for seismiske sidesystemer i tre.



Tømmer op. 1: Lette vegger med rammeverk



Tømmer op. 2: Skjærvegger av massivtre



Tømmer op 3: Skjærvegger av massivtre som gynger

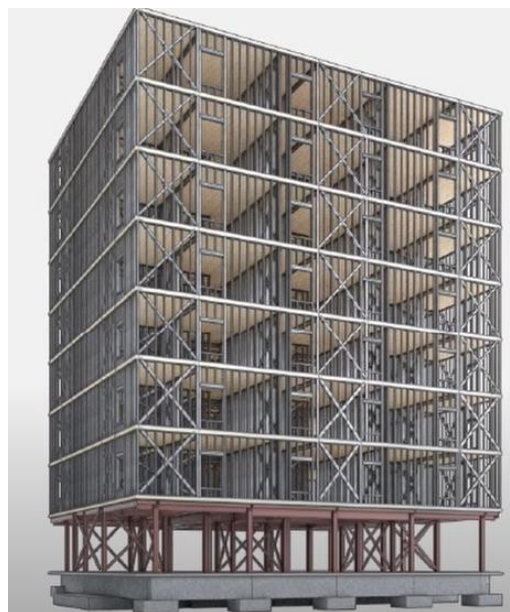


Timber op. 4: Avstivede rammer av massivtre

Og nå vises fire alternativer for seismiske sidesystemer som ikke er av tre:



Ikke-tømmer op. 1: Skjærvegger av betong



Ikke-tømmer op. 4: Kaldformede skjærvegger av stål



Ikke-tømmer op. 3: Mansonary skjærvegger



Ikke-tømmer op. 2: Stålavstivning/momentrammer

Den europeiske referansestandarden for prosjektering av jordskjelvsikre bygninger er

- EN 1998-1:2004 Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for jordskjelvmotstand - EN 1998-1:2004
Del 1: Generelle regler, seismiske påvirkninger og regler for bygninger

ANSI/AWC 2021 Special Design Provisions for Wind and Seismic (SDPWS) gir derimot kriterier for dimensjonering, utforming og detaljering av systemer, elementer og forbindelser i trekonstruksjoner som skal motstå sidekrefter.

5.8- Tømmer og brannsikkerhet

Brennbarheten til trevirke er fortsatt en viktig faktor som fører til strenge byggeforskrifter og standarder som i betydelig grad begrenser bruken av det som byggemateriale. Brannsikkerhet er en avgjørende faktor for å skape en følelse av trygghet og spiller en sentral rolle i valg av materialer til byggeprosjekter. En



grunnleggende

Forutsetningen for å utvide bruken av tre i bygg er at man sørger for robuste brannsikkerhetstiltak [8].

Internasjonalt har en rekke forskningsinitiativer de siste tiårene studert brannatferd i trekonstruksjoner, med det primære målet å skaffe til veie data og innsikt som er avgjørende for sikker bruk av tre i konstruksjoner. Denne felles innsatsen har resultert i innovative konsepter og modeller for branndesign, understøttet av omfattende testprotokoller. Økt kunnskap om brannsikker dimensjonering av trekonstruksjoner, kombinert med teknologiske tiltak, særlig implementering av sprinklersystemer og tilgang til velutstyrte brannvesen, har banet vei for en sikker integrering av tre i et bredt spekter av bruksområder. Derfor har flere land tatt initiativ til å revidere brannforskriftene sine for å legge til rette for økt bruk av tre.

Det har nylig skjedd en harmonisering av metodene for branntesting og klassifisering i Europa, selv om byggekravene fortsatt i stor grad fastsettes på nasjonalt nivå. Det finnes europeiske standarder på teknisk nivå, men styringen av brannsikkerhet er fortsatt underlagt nasjonal lovgivning og er dermed et spørsmål om politisk diskurs. Følgelig forventes det at nasjonale brannforskrifter vil bestå, men den nyvunne harmoniseringen av europeiske standarder lover godt for å fremskynde reformer i de nasjonale forskriftene.

Det har vist seg å være betydelige forskjeller mellom de europeiske landene, blant annet når det gjelder antall etasjer som tillates i trekonstruksjoner, og de spesifikke begrensningene som gjelder for synligheten av treoverflater både innvendig og utvendig. Noen land mangler eksplisitte forskrifter eller har ingen restriksjoner på antall etasjer for trebygninger. Likevel er det vanlig å sette en praktisk og økonomisk grense på åtte etasjer for trekonstruksjoner. Denne grensen kan strekke seg lenger for bruksområder som fasader, kledninger og gulvbelegg, ettersom disse komponentene også ofte integreres i betongkonstruksjoner, noe som illustrerer treets tilpasningsevne i ulike arkitektoniske sammenhenger."

5.8.1 Europeiske standarder for brannsikkerhet for trevirke

Følgende Eurokode 5-dokument omhandler emnet

- EN 1995-1-2:2004 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-2: Generelt - Brannteknisk dimensjonering av konstruksjoner.

Det finnes også en veiledning for brannsikring av treelementer i bygninger:

- Östman, B., Mikkola, E., Stein, R., Frangi, A., König, J., Dhima, D., Hakkarainen, T., & Bregulla, J. (2010). *Brannsikkerhet i trebygninger: Teknisk retningslinje for Europa*. SP-rapport nr. 2010:19

5.9 - Forringelse av trevirke på grunn av biologiske agenser

De viktigste biologiske faktorene som utgjør en trussel mot trevirkets strukturelle integritet, er vedråtesopp, saproxytiske biller, termitter og marine bløtdyr og krepsdyr. I de fleste scenarier er det treråtende sopp som spiller den dominerende rollen som ansvarlig for nedbrytning av treverk.

Eurokode 5 angir hvordan man skal gå frem for å beskytte konstruksjonselementene mot angrep fra organismer:

Trevirke og trebaserte materialer skal enten ha tilstrekkelig naturlig holdbarhet i henhold til EN 350-2 for den aktuelle fareklassen (definert i EN 335-1, EN 335-2 og EN 335-3), eller være behandlet med et konserveringsmiddel i henhold til EN 351-1 og EN 460.

MERKNAD 1: Konserveringsbehandling kan påvirke styrke- og stivhetsegenskapene.

MERKNAD 2: Regler for spesifikasjon av konserveringsbehandlinger er gitt i EN 350-2 og EN 335.

5.10 - Programvare for design av massivtre.

Programvare for global analyse av trevirke ved hjelp av finitte elementer:



Disse tre programmene er kommersielle finite element-programmer. For å modellere strukturen av treelementer med disse programmene er det nødvendig å være forsiktig når man legger inn stivheten til strukturelementene.

Når det gjelder LVL-paneler, er stivheten knyttet til bøyekrefter og normale krefter i planet forskjellig i fiberretningen og i retningen vinkelrett på fiberretningen.

Når det gjelder CLT-paneler, kreves det en spesiell stivhetsmatrise for skallelementene som modellerer disse panelene, fordi de er bygget opp av lag som er orientert i ortogonale retninger. Med **CLT** desingner-programvaren kan denne stivhetsmatrisen beregnes slik at den kan legges inn i Sap2000- eller RFEM 5-programmene. I Sofistik FEA-programvaren kan vi modellere flerlags 2D-strukturelementer, og denne programvaren beregner derfor stivhetsmatrisen til skallelementene som brukes til å modellere CLT-panelene på riktig måte.

Programvare for designverifisering av trekonstruksjoner i henhold til europeiske standarder:



[CLTdesigner - CLTdesigner](#)

Programvaren for CLT-design tilbyr blant annet de nødvendige verifikasjonene for bruddgrensetilstanden (ULS) med hensyn til bøyning og skjær for permanente og forbigående laster samt ulykkesituasjoner (brann), og verifikasjonene for bruksgrensetilstanden med hensyn til nedbøyning og vibrasjoner i henhold til EN 1990 eller EN 1995 for kontinuerlige systemer, som for eksempel krysslimte treplater.



[Calculatis - Tjenester og digitale verktøy | Stora Enso](#)

Calculatis fra Stora Enso er et gratis konstruksjonsverktøy for ingeniører. Calculatis er effektivt og fullstendig nettbasert, og lar deg analysere konstruksjonselementer i våre massivtreprodukter, inkludert produkter fra Sylva™ by Stora Enso-sortimentet.

Calculatis er utviklet for å dekke behovene til ingeniører som arbeider med trekonstruksjoner, og inneholder designmoduler for gulv, tak, søyler, bjelker, overliggere, støtter og forbindelser for konstruksjoner laget av CLT, LVL, limtre og massivtre. Verktøyet kan også utføre hygrotermiske (U-verdi, Glaser-diagram og kondens) og branntekniske (R-, E- og I-kriterier) analyser i henhold til Eurokode og sveitsiske byggeforskrifter (SIA).

Calculatis støtter alle trinn i trekonstruksjonsprosjektet med en effektiv arbeidsflyt og nøyaktige resultater. Med enkel og oversiktlig parametrisering, moduler som er klare til bruk og illustrative rapporter, hjelper verktøyet deg med å spare tid og få tilgang til alle beregningene på ett sted.

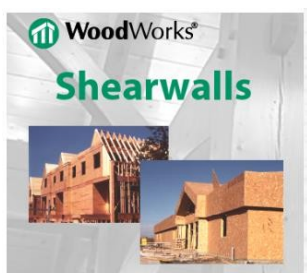
Programvare for designverifisering av trekonstruksjoner i henhold til amerikanske standarder:



<http://woodworks-software.com/us-edition/>



Med WoodWorks® Sizer kan du dimensjonere bjelker, søyler, veggstendere og paneler konstruert av trelast, tømmer, limtre, strukturelt komposittvirke, I-bjelker og CLT.



WoodWorks® Shearwalls, prosjekterer trerammekonstruksjoner i opptil 6 etasjer. Med et tastetrykk genereres vind- og jordskjelvbelastninger, kreftene fordeles og skjærvegger utformes.



Med WoodWorks® Connections kan du designe forbindelser som består av bolter, skruer, treskruer, spiker, tunge stålplater og mye mer. Resultatet vises som fulldimensjonerte tegninger i CAD-kvalitet.

5.11 - Eksempel på utforming av en bygning i massivtre. Stora Enso.

Det svenske selskapet Stora Enso ([Om oss | Stora Enso](https://www.storaenso.com/en)<https://www.storaenso.com/en>) er en distributør av treelementer til bygninger. På deres nettsider finner vi flere eksempler på bygninger som er bygget med trekonstruksjoner.

5.9.1. Beskrivelse av bygningen

Et av disse eksemplene er et 8-etasjes boligbygg som er vist i figuren nedenfor. Det er bygget i sentrum av Helsinki i Finland i 2023.

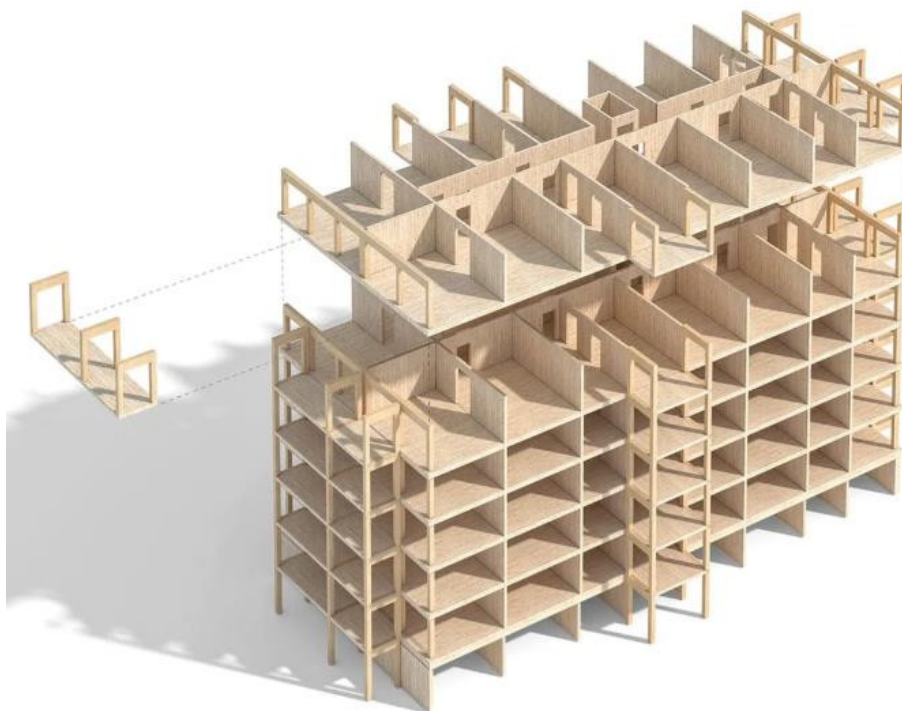


De viktigste funksjonene er:

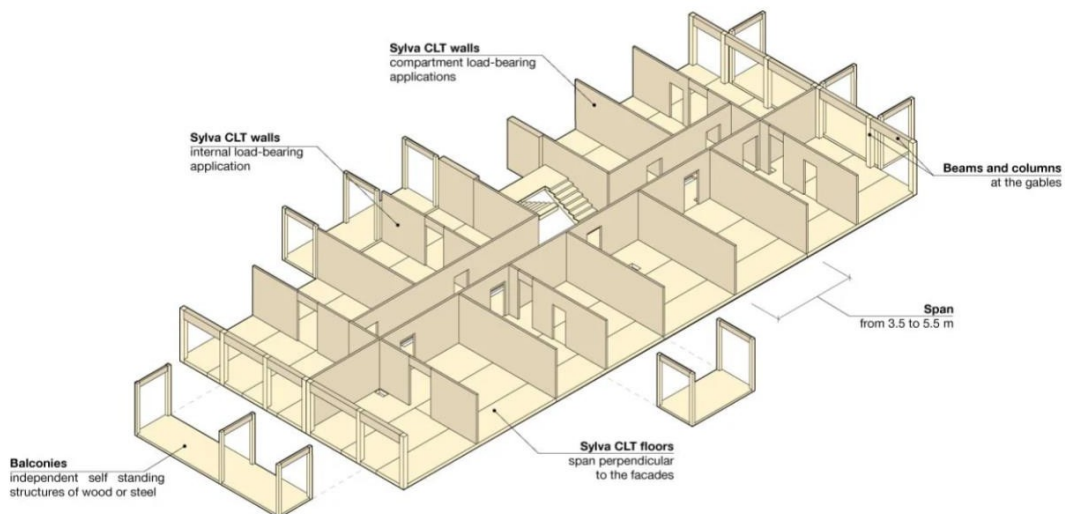
- **Tre-Hybrid-system:** Dette systemet kombinerer fordelene ved en bærende massivtrekonstruksjon med en svært prefabrikkert, ikke-bærende bygningskropp.
- **Modulært designprinsipp:** Det benytter et enkelt designprinsipp som kan tilpasses modulær bruk på ulike steder, og som kan romme bygninger på opptil 8 etasjer.
- **Fleksibel design:** Systemet gir fleksibilitet i leilighetskonfigurasjoner, noe som gjør det mulig å kombinere spennvidder fra 3,5 til 5,5 meter uten at det går ut over kostnadseffektiviteten.
- **Optimalisering av plass:** Den utvendige trekonstruksjonen er betydelig slankere enn tilsvarende isolerte alternativer, noe som potensielt kan øke det innvendige gulvarealet med opptil 5 %.
- **Miljømessige fordeler:** Dette systemet reduserer karbonutslippene med ca. 22 % sammenlignet med en mineralbasert referanse over hele livssyklusen (fra A1-til D5-trinnene, som strekker seg over 50 år). I tillegg reduserer det innebygd karbon med ca. 29 %, noe som omfatter alle byggematerialer fra fundament til kledning.
- **Innovative balkongløsninger:** Systemet tilbyr også innovative, selvbærende balkongkonstruksjoner som eliminerer behovet for gjennomføringer gjennom bygningskroppen.

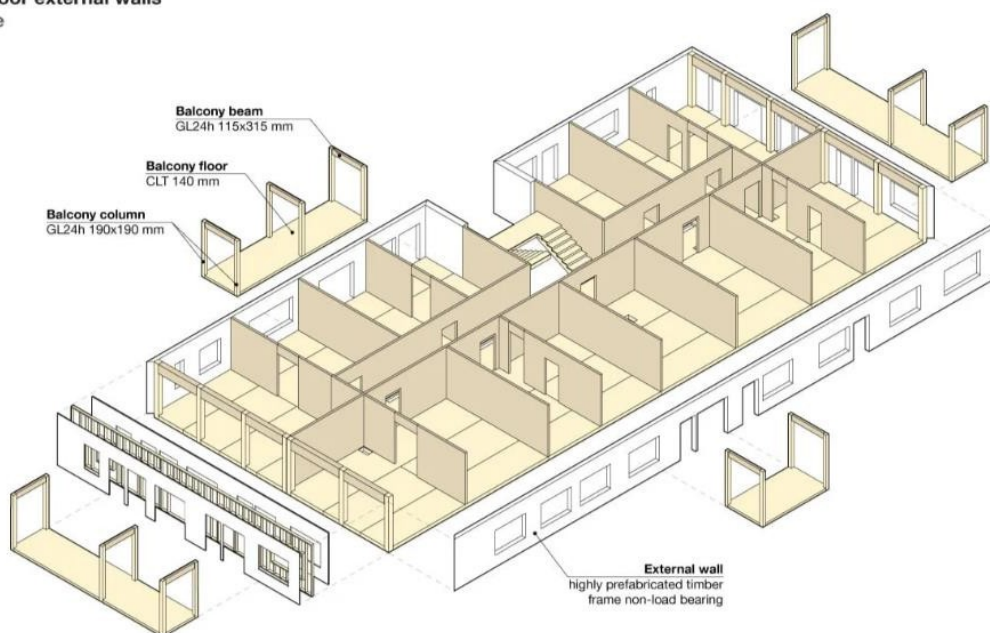
De følgende figurene viser flere av treelementene i bygningens struktur og innhegninger.

Tømmerkonstruksjon.



Standard floor structure principles
perspective



Standard floor external walls perspective

FEM analysis
bracing structures

Based on the structural design study by Ramboll Finland

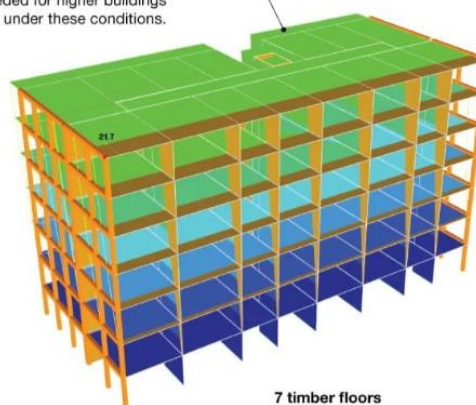
Model assumptions

- Wind conditions class I: $q_p(z)=0,906\text{kN/m}^2$
- Pinned-pinned beams and columns
- CLT walls 120mm
- The stability of the building is ensured by the CLT walls in both directions.

 Total horizontal deflection limit: **H/500**

Deflection: 22 mm
Limit: 48 mm

The building's stability is ensured for 7 floors.
Thicker walls may be needed for higher buildings under these conditions.


5.9.2. Kostnad for å bygge i massivtre.

Her er kostnadsestimatet for trekonstruksjonen fra en spesialisert underleverandør til en hovedentreprenør:

- Referanse kostnad: 582 EUR/m² [totalt tømmerareal, gulv- og takflate]
- Installasjonens varighet: Ca. 16 uker
- Kostnaden inkluderer:
 - Sylva-sett, inkludert vegger, gulv, trapper, balkonger, bjelker og søyler.
 - Koblinger,
 - Montering
 - Rammeentreprenørens margin, risiko og premie.

5.9.3. Livssyklusanalyse av en bygning i massivtre.

En omfattende livssyklusanalyse av denne trebaserte bygningen er tilgjengelig på Stora Ensos nettsted og kan lastes ned som et PDF-dokument (LCA pdf).

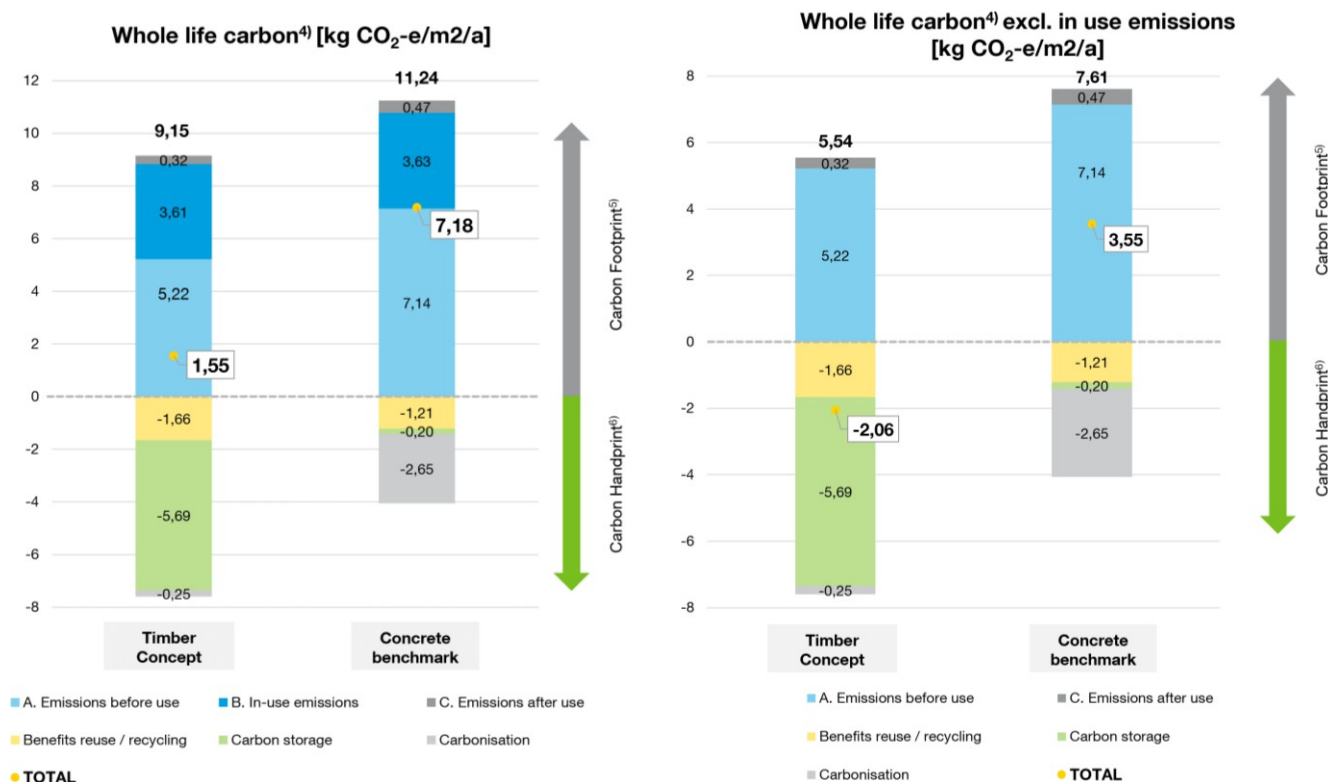
De viktigste egenskapene ved denne studien, som er utført av Stora Enso, er som følger:

- **Komparativ analyse:** Studien omfatter en komparativ vurdering mellom en trekonstruksjon og en alternativ betongkonstruksjon. Den undersøker CO₂-utslippene per kvadratmeter gulvareal for begge alternativene i løpet av bygningens levetid på 50 år. Analysen identifiserer også de mest innflytelsesrike materialene og tjenestene når det gjelder utslipp.
- **Vurdering av karbonavtrykk over hele livsløpet:** Vurderingen av bygningens karbonavtrykk over hele livsløpet ble utført ved hjelp av modellen for livssyklusanalyse (LCA), ved hjelp av "Method for the Whole Life Carbon Assessment of Buildings" (2021-utgaven) som er foreskrevet av det finske miljøverndepartementet. Denne metoden er basert på bærekraftsrammeverket Level(s), som er utviklet av Europakommisjonen, og følger etablerte standarder for bærekraftig bygging.
- **Beregninger med OneClickLCA:** Beregningene ble utført ved hjelp av OneClickLCA-verktøyet, en anerkjent plattform for livssyklusanalyser i byggebransjen."

Bygningens egenskaper som vurderes i denne LCA-studien, er

- Brutto innvendig gulvareal: 4465 m²
- Oppvarmet nettoareal: 4298 m²
- Areal på byggeplassen: 587 m²
- Antall etasjer: 8
- Levetid for rammestrukturen: 50 år
- Type oppvarming: Geotermisk oppvarming
- Anslått strømforbruk per år: 267 MWh

Hovedfunnene fra denne komparative LCA-studien:



Sammenlignende analyse av karbonutslipp:

1. Totale utslipp over hele livssyklusen (ekskl. kreditter):

- Trekonstruksjon: 9,15 kg CO₂-e/m²/år
- Betongkonstruksjon: 11,24 kg CO₂-e/m²/år
- Resultat: Trekonstruksjoner har 22 % lavere CO₂-utslipp sammenlignet med betongkonstruksjoner gjennom hele livssyklusen, uten å ta hensyn til gjenbruk/gjenvinningskreditter, biogen karbonlagring eller karbonatisering.

2. Totale utslipp over hele livsløpet (inkludert kreditter):

- Konstruksjon i tre: 1,55 kg CO₂-e/m²/år
- Betongkonstruksjon: 7,18 kg CO₂-e/m²/år
- Resultat: Trekonstruksjoner viser en bemerkelsesverdig reduksjon i CO₂-utslipp på 78 % sammenlignet med betongkonstruksjoner over hele livssyklusen, inkludert kreditter fra gjenbruk/gjenvinning, biogen karbonlagring og karbonatisering.

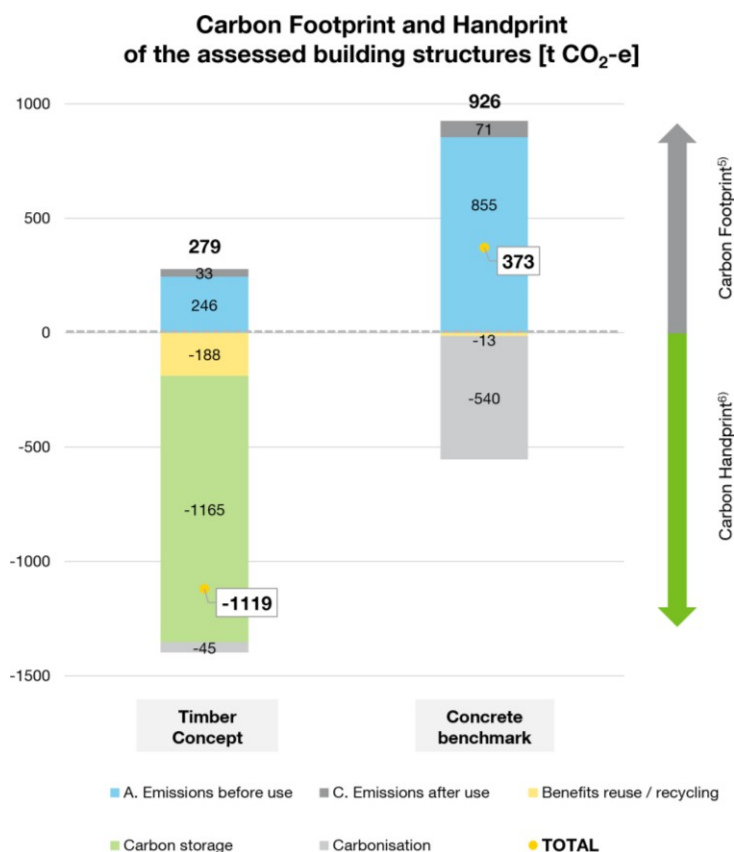
3. Totale livsløpsutslipp (unntatt bruksutslipp og kreditter):

- Konstruksjon i tre: 5,54 kg CO₂-e/m²/år

- Betongkonstruksjon: 7,61 kg CO₂-e/m²/år
- Resultat: Trekonstruksjoner har 27 % lavere CO₂-utslipp sammenlignet med betongkonstruksjoner gjennom hele livssyklusen, med unntak av utslipp under bruk (elektrisitet, oppvarming, kjøling) og eventuelle kreditter fra gjenbruk/gjenvinning, biogen karbonlagring eller karbonatisering.

4. Potensial for global oppvarming (ekskl. utslipp og kreditter):

- Trekonstruksjoner: -2,06 kg CO₂-e/m²/år (negativt bidrag)
- Resultat: Trekonstruksjoner gir et negativt bidrag til det globale oppvarmingspotensialet på -2,06 kg CO₂-e/m²/år, eksklusive utslipp under bruk.



Sammenligning av strukturelle rammer:

1. Totale utslipp over hele livssyklusen (ekskl. kreditter):

- Strukturell bygningsramme av tre: 279 tonn CO₂-e
- Strukturell ramme av betong: 926 tonn CO₂-e

- Resultat: En bygningsramme i tre slipper ut 70 % mindre CO₂ i løpet av hele livssyklusen sammenlignet med en bygningsramme i betong, uten å ta hensyn til kreditter fra gjenbruk/gjenvinning, biogen karbonlagring eller karbonatisering.

2. Innvirkning på karbonlagring:

- Trehuskonseptet lagrer 318 tonn karbon i løpet av sin livssyklus.
- Dette innebærer at 1165 tonn CO₂-e bindes og lagres i denne bygningen gjennom hele dens levetid.

3. Totale utslipp over livsløpet (inkludert kreditter):

- Strukturell treramme: -1 119 tonn CO₂-e (negativt bidrag)
- Strukturell ramme av betong: 373 tonn CO₂-e
- Resultat: Den strukturelle trerammen gir et betydelig negativt bidrag på -1 119 tonn CO₂-e til det globale oppvarmingspotensialet når man tar hensyn til kreditter fra gjenbruk/gjenvinning, biogen karbonlagring og karbonatisering. I motsetning til dette bidrar betongkonstruksjonen med 373 tonn CO₂-e.

Referanser

- [1] "The benefits of timber as a building material - Specifier Review", 16. mars 2018. <https://specifierreview.com/2018/03/16/timber-building-benefits/> (besøkt 18. september 2023).
- [2] "Messe Tømmer i Nord Amerika", *Think Wood*. <https://www.thinkwood.com/continuing-education/mass-timber-north-america> (besøkt 18. september 2023).
- [3] "Light Frame Wood Construction", *Think Wood*. <https://www.thinkwood.com/light-frame-wood-construction> (besøkt 18. september 2023).
- [4] T. W. c/o S. L. Styret, "Messe Timber Design Manual". <https://info.thinkwood.com/masstimberdesignmanual> (besøkt 18. september 2023).
- [5] K. Hermann, S. Krötsch og S. Winter, *Håndbok i fleretasjes trekonstruksjoner*. 2018. doi: 10.11129/9783955533953.
- [6] "Laminert finér trelast (LVL) - Tre produkter | Stora Enso". <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/lvl> (besøkt 18. september 2023).
- [7] "Index of Mass Timber Connections", *WoodWorks | Wood Products Council*. <https://www.woodworks.org/resources/index-of-mass-timber-connections/> (besøkt 18. september 2023).
- [8] "Brann sikkerhet i Timber bygninger: Første European Guideline - SFPE". <https://www.sfpe.org/publications/periodicals/sfpeeuropedigital/sfpeurope3/issue3feature2> (besøkt 18. september 2023).



6 - Leveranser

For å evaluere hvor vellykket søknaden er, må studentene svare på et nettbasert spørreskjema.

7- Hva vi har lært

Miljøfordelene ved å bygge i tre

At kunnskapen, teknikken og standardene om tre gjør at vi i dag kan designe mye mer bærekraftige bygninger enn bygninger av betong, stål og murstein.

Hvilke typer treelementer som er tilgjengelige for utforming av trekonstruksjoner.

En liste over dataverktøy for prosjektering av trekonstruksjonen i en bygning.

Med riktig skogforvaltning kan tre være fremtidens materiale.

Betydningen av LCA-analyser for å sammenligne miljøpåvirkningen fra bygninger i tre med miljøpåvirkningen fra bygninger i betong.