



CHALMERS

Jämförelse mellan betong- och hybridstommar ur ett hållbarhetsperspektiv

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Yousef Haj Mahmoud
Zouhir Naser

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR KONSTRUKTIONSTEKNIK**

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

EXAMENSARBETE ACEX20

Jämförelse mellan betong- och hybridstommar ur ett hållbarhetsperspektiv

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

Yousef Haj Mahmoud

Zouhir Naser



CHALMERS

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Examinator: Joosef Leppänen

Handledare: Joosef Leppänen

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2025

Jämförelse mellan betong- och hybridstommar ur ett hållbarhetsperspektiv

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

Yousef Haj Mahmoud

Zouhir Naser

© Yousef Haj Mahmoud/ Zouhir Naser, 2025

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2025

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Jämförelse mellan betong- och hybridstommar ur ett hållbarhetsperspektiv
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Yousef Haj Mahmoud

Zouhir Naser

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen: konstruktionsteknik, Bärande konstruktioner för hus och anläggningar
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Hållbart och miljövänligt byggande har fått allt större fokus i dagens byggbransch. Eftersom bygg- och anläggningssektorn står för en stor del av Sveriges klimatpåverkan har nya lagar införts som kräver att klimatpåverkan från ny bebyggelse redovisas genom klimatdeklaration utifrån ett livscykelperspektiv. Dessa lagar utgör ett viktigt steg mot att uppnå Sveriges klimatmål, som innebär att utsläppen av växthusgaser ska halveras före år 2030.

Detta har skapat ett växande behov av att utveckla mer klimatsmarta byggmetoder och använda resurseffektiva material, särskilt i byggnadens stomme, som utgör en stor del av materialåtgången. Traditionella stomsystemen i enbart betong eller trä har sina fördelar men också begränsningar. Betong har hög hållfasthet och styvhet, vilket gör det möjligt att bygga högt, men har samtidigt en hög klimatpåverkan vid tillverkning. Trä är däremot ett förnybart och miljövänligt material som dessutom fungerar som en koldioxidsänka, men dess låga vikt medför sämre stabilitetsegenskaper, vilket gör det svårt att bygga högt.

För att utnyttja styrkorna hos båda materialen undersöks i detta examensarbete en lösning i form av en hybridstomme, där trä och betong kombineras i samma konstruktion. Studien jämförs två kontorshus av pelardäcksystem stomtyp: ett med traditionell betongstomme och ett hybridssystem med pelare, balkar och bjälklag i limträ, som kompletteras med två stabiliserande betongschakt. Kontorshuset modelleras med hjälp av programmet Revit, och konstruktionsberäkningar genomförs för att fastställa dimensioner på samtliga bärande delar samt bestämma materialåtgång i respektive stomme.

Resultaten visar att hybridstommen ger lägre klimatpåverkan över hela byggnadens livscykel jämfört med en traditionell betongstomme. Studien har visat att det är möjligt att bygga högt med trä, men att detta kräver kompletterande tekniska åtgärder för att uppfylla krav på stabilitet, fuktsäkerhet, brandskydd, samt akustik och ljudmiljö.

Nyckelord: Hybridstomme, Betongstomme, LCA, Höga byggnader, Kontorsbyggnad, Miljöpåverkan, Koldioxidutsläpp, CO_{2e}, Hållbar konstruktion.

Comparison between concrete and hybrid frames from a sustainability perspective

Degree Project in the Engineering Program

Architecture and Civil Engineering

Yousef Haj Mahmoud

Zouhir Naser

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Structural Engineering

Chalmers University of Technology 2025

ABSTRACT

Sustainable and environmentally friendly construction has received increasing attention in today's building industry. As the construction sector accounts for a significant share of Sweden's climate impact, the government has introduced new regulations requiring that the climate impact of new buildings be reported through climate declarations based on a life cycle perspective. These regulations represent an important step towards achieving Sweden's climate goal, which aim to halve greenhouse gas emissions in the country by the year 2030.

This has created a growing need to develop more smart climate construction methods and to use resource efficient materials, particularly in the structural system of buildings, which account for the largest share of material consumption. Traditional structural systems made entirely of concrete or timber each have their advantages and limitations. Concrete has high strength and stiffness, which enables the construction of tall buildings, but its production has a high climate impact. Timber, on the other hand, is a renewable and environmentally friendly material that also functions as a carbon sink, but its low weight results in reduced stability, making it less suitable for tall buildings.

To utilize the strengths of both materials, this thesis investigates a solution in the form of hybrid structural frame, where timber and concrete are combined in the same load bearing system. The study compares two office buildings with column-slab systems: one with a traditional concrete frame and one with a hybrid system consisting of glulam columns, beams, and slabs, complemented by two stabilizing concrete cores. The buildings are modeled using the software Revit, and structural calculations are performed to determine the dimensions of all load-bearing components and to calculate material quantities in each structural system.

The results show that the hybrid frame contributes to lower climate impact over the building's entire life cycle compared to a traditional concrete frame. The study demonstrates that it is possible to construct tall buildings using timber, but that this requires additional technical measures to meet requirements regarding structural stability, moisture resistance, fire safety, and acoustic performance.

Key words: Hybrid frame, Concrete frame, LCA, Tall buildings, Office building, Environmental impact, Carbon dioxide emissions, CO₂e, Sustainable construction.

Innehåll

SAMMANFATTNING	III
ABSTRACT	IV
INNEHÅLL	V
FÖRORD	IX
1 INLEDNING	1
1.1 Introduktion	1
1.2 Bakgrund	2
1.3 Syfte	4
1.4 Mål	4
1.5 Avgränsningar	4
1.6 Frågeställningar	5
2 METOD	6
2.1 Litteraturstudie	6
2.1.1 Stommateriens egenskaper och miljöpåverkan	6
2.1.2 Jämförelse mellan trä-, betong- och hybridstommar	6
2.2 Modellering av stomsystem för kontorshus	6
2.3 Dimensionering av stommateriale	7
2.4 Beräkning av materialåtgång i modellerade stomsystem	8
2.5 LCA-beräkningar av stommar	9
2.5.1 Handberäkningar	9
2.5.2 LCA med One Click LCA	9
3 STOMMATERIALENS EGENSKAPER OCH MILJÖPÅVERKAN	11
3.1 Trä som stommateriale	11
3.1.1 Fördelar med materialet trä	11
3.1.2 Nackdelar med materialet trä	12
3.2 Betong som stommateriale	13
3.2.1 Fördelar med materialet betong	14
3.2.2 Nackdelar med materialet betong	16
3.3 Miljöpåverkan och klimatdeklaration inom byggsektorn	17
3.3.1 Sveriges klimatmål	17
3.3.2 LCA	18
3.3.3 Klimatdeklaration	19
3.3.4 Byggkomponenter i klimatdeklaration	20
4 JÄMFÖRELSE MELLAN TRÄ-, BETONG- OCH HYBRIDSTOMMAR	21

4.1	Kombination av trä och betong i hybridstommar	21
4.2	Olika stabiliseringsmetoder i hybridstommar	22
4.3	Stabilitet i olika stomsystem	24
4.3.1	Stabilitet hos trästommar	24
4.3.2	Stabilitet hos betongstommar	25
4.3.3	Stabilitet hos verkliga höga trähus	26
4.4	Brandsäkerhet hos trä- och betongstommar	28
4.5	Akustik hos trä- och betongstommar	29
4.6	Fukt hos trä-, betong- och hybridstommar	31
5	FALLSTUDIE: MODELLERING AV TVÅ KONTORSHUS	32
5.1	Modell 1: Byggnad med betongstomme	32
5.1.1	Stomdelar och dess dimensioner	33
5.1.2	Insamlade projektdata	37
5.1.3	Sammanställning av dimensioner och materialdata	38
5.1.4	Beräkning av betongmängd i modellen	39
5.2	Modell 2: Byggnad med hybridstomme	39
5.2.1	Stomdelar och dess dimensioner	41
5.2.2	Insamlade projektdata	44
5.2.3	Sammanställning av dimensioner och materialdata	45
5.2.4	Materialåtgång i byggnaden	46
6	RESULTAT	47
6.1	Jämförelsen mellan trä- och betongstomme	48
6.2	Skillnader i tekniska krav mellan trä-, betong- och hybridstommar	49
6.3	Stommaterialens mängder	50
6.3.1	Betongåtgång i betongstomme	50
6.3.2	Betong- och träåtgång i hybridstomme	51
6.4	Miljöpåverkan - handberäkningar	52
6.4.1	Klimatpåverkan från betongstommen	52
6.4.2	Klimatpåverkan från hybridstommen	52
6.4.3	Koldioxidlagring i hybridstommen	52
6.5	Miljöpåverkan enligt One click LCA	53
6.5.1	Total miljöpåverkan för betongstommen	53
6.5.2	Total miljöpåverkan för hybridstommen	53
6.5.3	Miljöpåverkan i bygg-, användnings och slutskede	53
6.5.4	Klimatpåverkan per livscykel	54
6.5.5	Omfattande miljöpåverkansanalys	57
6.5.6	LCA-klassificering och koldioxidutsläpp per byggnadsdel	58
7	DISKUSSION	59
7.1	Metodens styrkor och begränsningar	59
7.2	Tekniska skillnader i praktiken	60

7.3	Reflektion kring LCA och klimatpåverkan	61
7.4	Övergripande reflektioner	61
8	SLUTSATS	62
8.1	Tekniska skillnader och jämförelse mellan stomtyper	62
8.2	Miljöpåverkan och livscykelphasernas betydelse	62
9	FÖRSLAG TILL FORTSATT STUDIER	64
10	REFERENSER	65
11	BILAGOR	72

Förord

Detta examensarbete är det avslutande momentet på högskoleingenjörsprogrammet inom Samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet har genomförts under hela vårterminen 2025 och omfattar totalt 15 högskolepoäng.

Ett särskilt stort tack riktas till vår examinator och handledare Joosef Leppänen, universitetslektor och viceprefekt vid institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik. Även om projektet var större än vanligt, genomfördes arbetet i en stödjande och stressfri arbetsmiljö genom tydlig vägledning och ett motiverande arbetssätt i handledningen.

Göteborg, Juni 2025

Yousef Haj Mahmoud

Zouhir Naser

1 Inledning

1.1 Introduktion

Sedan den industriella revolutionen, som tog sin början i Storbritannien i mitten av 1700-talet, har världens befolkning ökat kraftigt. År 1700 uppgick den globala befolkningen till cirka 700 miljoner människor, medan den år 2025 beräknas ha nått omkring 8,2 miljarder. I takt med industrialiseringen skedde en omfattande samhällsomvandling där människor i allt större utsträckning flyttade från landsbygden till städerna i jakt på arbete. Denna urbanisering ledde till en snabb befolkningstillväxt i städerna, vilket skapade en omfattande bostadsbrist och ett växande behov av nya kontors- och bostadshus (SO-rummet, u.å.).

I Sverige tog industrialiseringen fart i mitten av 1800-talet, men utvecklingen gick därefter snabbt. Samtidigt ökade befolkningen markant, från cirka 3,5 miljoner år 1850 till omkring 5,1 miljoner år 1900, vilket var en bidragande orsak till den bostadsbrist som uppstod (SO-rummet, u.å.).

Bostadsfrågan är än idag aktuell. Enligt Boverket (2024) rapporterade 51 procent av Sveriges kommuner samma år att de hade bostadsbrist. Ett liknande mönster syns på kontorsmarknaden, särskilt i större städer. I Göteborg förväntas antalet kontorsanställda öka med upp till 72 000 under det kommande decenniet (Västsvenska Handelskammaren, 2024). De kontorsprojekt som hittills planerats bedöms inte vara tillräckliga för att möta den ökande efterfrågan, vilket understryker behovet av ytterligare kontorsbebyggelse.

Men ett ökat byggande innebär också större miljöpåverkan, särskilt i en sektor som redan står för betydande utsläpp av växthusgaser. I Sverige bidrar byggandet med ungefär en femtedel av landets totala utsläpp av växthusgaser, vilket gör byggsektorn till en central aktör i arbetet mot ett mer klimatneutralt samhälle (Boverket, 2025).

Den snabba klimatförändringen är en påminnelse om de konsekvenser som ett ohållbart resursutnyttjande medför. Klimatförändringar är en av de planetära gränser som redan överskridits (Hållbarhetsguiden, 2018). Detta är i stor utsträckning en följd av människans aktiviteter på jorden, som under de senaste decennierna har lett till

stora mängder utsläpp av växthusgaser. Dessa utsläpp har i sin tur orsakat en global temperaturökning på omkring 1,5 grader Celsius, vilket lett till omfattande förändringar i jordens klimat. Klimatförändringen utgör idag en av vår tids mest omdiskuterade miljöfrågor och beskrivs som en av de största utmaningarna för vår planet (Naturvårdsverket, u.å.).

Den globala uppvärmningen hotar inte bara samhällets infrastruktur och bebyggelse, utan även människors hälsa, den biologiska mångfalden och ekosystemen. Bland de negativa effekterna märks stigandehavsnivå, kraftigare skyfall, varierande vindhastigheter, intensiva värmeböljor och ändrade vegetationszoner (Naturvårdsverket, u.å.).

För att kunna hantera dessa utmaningar krävs ett omfattande samhällsengagemang samt en omställning till mer hållbara byggmetoder. Inom byggbranschen innebär detta att klimatsanpassa materialval och konstruktioner för att minska miljöpåverkan och därmed bidra till ett mer hållbart samhälle (Naturvårdsverket, u.å.).

Detta arbete jämför en betongstomme med en hybridstomme av trä och betong i ett kontorshus, med fokus på klimatpåverkan, tekniska krav och materialegenskaper.

1.2 Bakgrund

Idag finns ett växande behov av att utveckla mer hållbara byggmetoder och materialval. Traditionella byggnadskonstruktioner, som ofta är baserade på enstaka material som betong eller stål, har visat sig vara effektiva, men samtidigt har de hög miljöpåverkan och begränsad flexibilitet. Sedan 1900-talet har betong varit ett av de mest använda materialen inom byggsektorn, särskilt för högre byggnader, på grund av dess höga styvhet och långa livslängd (Design by cement, u.å.). Men med tanke på betongens stora miljöavtryck vid tillverkning har frågan om att ersätta betongen i stommen med mer hållbara alternativ blivit alltmer aktuell.

Stomsystemet i en byggnad omfattar de bärande konstruktionsdelarna som ger stabilitet och för ner laster till marken. Det inkluderar både permanenta laster, som egenvikt samt variabla laster, som människor, snö och vind. Det kan också handla om exceptionella laster som brand eller olyckor. Stommen är byggnadens skelett och består av balkar, bjälklag, pelare och bärande väggar. Den utgör en stor andel av

byggnadens material, vilket orsakar den största påverkan på miljön. De vanligaste materialen i stommar är trä, betong och stål. Val av stomme påverkas av flera faktorer, framför allt ekonomin, byggnadstyp och energiförbrukning (BYGG.se, u.å.).

Trästommar har visat sig vara de mest miljövänliga alternativen jämfört med betong och stål, eftersom de senare bidrar till stora utsläpp av koldioxid. Trä har dock också sina tekniska nackdelar, bland annat sämre akustik samt begränsningar vid högt byggande, eftersom det är lättare än betong. Betong däremot möjliggör höga konstruktioner och ger bättre stabilitet, enligt BYGG.se.

Under en längre period har materialvalet i byggnaders stommar varit ganska enformig, där fokus legat främst på funktion, hållfasthet och beständighet, medan miljöaspekter har fått mindre uppmärksamhet. I takt med ökad medvetenhet om klimatpåverkan har dock miljöfrågor fått en allt större betydelse inom byggsektorn. Naturvårdsverket föreslår flera åtgärder för att minska klimatpåverkan från byggnationer. En av dessa är att minska mängden material som används i stommen, exempelvis genom att ersätta energikrävande stommaterial med mer hållbara alternativ och att välja miljövänligare produktionsprocesser. Detta kan bidra både till ökad resurseffektivitet och minskade utsläpp (Naturvårdsverket, 2025).

Hybridkonstruktioner, där olika material såsom trä, betong och stål kombineras, har blivit ett alltmer attraktivt alternativ inom byggbranschen. Genom att utnyttja olika materialstyrkor kan hybridlösningar förbättra byggnadens strukturella prestanda, minska materialförbrukning och bidra till lägre klimatpåverkan. De kan också bidra till ökad flexibilitet och resurseffektivitet, vilket är avgörande steg mot ett mer hållbart samhälle (Husbyggaren, 2025).

Ett exempel på hybridstommar som analyseras i detta arbete är konstruktioner där trä kombineras med betong i syfte att öka stommens stabilitet och samtidigt minska dess materialåtgång.

1.3 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att undersöka hur hybridstommar, där trä kombineras med betong, kan bidra till att minska klimatpåverkan från byggnader och samtidigt uppfylla tekniska krav på stabilitet, ljudisolering, fuktsäkerhet och brandskydd. Detta görs genom att analysera och jämföra en ren betongstomme med en hybridstomme i ett kontorshus med 13 våningar, med fokus på materialens egenskaper, miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv samt praktiska för- och nackdelar vid användning.

1.4 Mål

Målet med detta arbete är att visa att hybridkonstruktioner kan vara ett effektivt och miljövänligt alternativ även för höga kontorsbyggnader. Arbetet har som avsikt att uppmuntra till ökad användning av hybridsystem i liknande byggprojekt, för att främja ett mer hållbart byggande.

1.5 Avgränsningar

- Arbetet fokuserar endast på två materialkombinationer: trä och betong.
- Studien är begränsad till stommar i kontorsbyggnader, där en jämförelse görs mellan två pelardäcksystem.
- Vid val av dimensioner på stommaterial används standarddimensioner och typvärden för bjälklag och balkar, baserat på spännvidder och laster för respektive stomme. För pelarnas tvärsnittsdimensioner genomförs konstruktionsberäkningar för att säkerställa pelarkapacitet mot knäckning.
- Mängdberäkningar för material omfattar endast de bärande delarna av stommen, de stabiliserande betongschakten samt de icke bärande ytterväggarna.
- Ventilationsrum på vindsplanet i båda byggnader inkluderas inte i materialmängdsberäkningarna, då dess volym är liten i förhållande till övriga stomdelar och dess klimatpåverkan bedöms vara liten.
- Vissa konstruktionsdetaljer, som platta på mark och ytterväggar är bestämda i samråd med en arkitekt för en tidigare projekteringskurs.
- Klimatanalysen omfattar hela byggnadens livscykel, dvs från vagga till grav, med undantag för underhållsaspekt.

- Klimatpåverkan från livscyklifaser B1-B5 under användningsskedet har inte inkluderats i beräkningarna, eftersom dessa är svåra att kvantifiera exakt och bedöms ha en begränsad påverkan jämfört med andra livscyklifaser i byggnaden.

1.6 Frågeställningar

- Vilka är de främsta fördelarna och nackdelarna med betong och trä som stommaterial?
- Vilka är skillnaderna mellan trä, betong- och hybridstommar när det gäller tekniska krav såsom stabilitet, brandskydd, akustik och fuktsäkerhet?
- Hur påverkar valet av betong- eller hybridstomme materialåtgången och miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv?
- Vilka livscyklifaser bidrar mest till klimatpåverkan i betong- respektive hybridstomme, och hur påverkar dessa faser det totala klimatavtrycket?

2 Metod

Detta kapitel beskriver de metoder som använts för att genomföra examenarbetet, både i teoridelen och i analysen. Arbetet bygger på en litteraturstudie, modellering och dimensionering av två kontorsbyggnader. Därefter beräknas materialmängder för respektive stomme. Avslutningsvis genomförs en livscykelanalys för att uppskatta byggnadernas miljöpåverkan under deras livslängd.

2.1 Litteraturstudie

För att skapa en bredare förståelse för det studerade ämnesområdet genomfördes inledningsvis en litteraturstudie. Denna fungerade både som en inspirationskälla för att komma igång med arbetet och som stöd för att identifiera tidigare forskning och därigenom hitta möjligheter att bidra med något nytt. Litteraturstudien användes också för att samla in information om materialens egenskaper och tekniska utmaningar. Den är indelad i två delar enligt följande avsnitt.

2.1.1 Stommaterialens egenskaper och miljöpåverkan

Den första delen behandlar byggmaterialen trä och betong, med fokus på deras för- och nackdelar. Vidare behandlas byggbranschens klimatpåverkan samt de åtgärderna för att minska den. Därefter presenteras byggnaders livscykel och betydelse av LCA-verktyget för klimatberäkningar. Avslutningsvis tas upp klimatdeklarationen och de ingående byggkomponenter.

2.1.2 Jämförelse mellan trä-, betong- och hybridstommar

Den andra delen av litteraturstudien belyser idén om materialkombination i en hybridstomme. Därefter presenteras olika lösningar för hybridstommar, anpassade efter olika byggnadstyp och tekniska krav. Vidare jämförs trä-, betong- och hybridstommar, utifrån de viktigaste tekniska kraven.

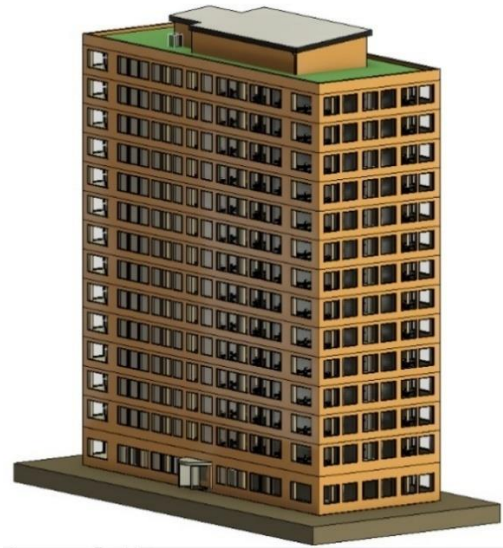
2.2 Modellering av stomsystem för kontorshus

I detta examensarbete har två teoretiska kontorshus med 13 våningar modellerats. Syftet med modellerna är att möjliggöra en jämförelse av miljöpåverkan genom att beräkna materialåtgången för respektive stomsystem, och därefter genomföra

livscykelanalyser beräkningar (LCA). Båda stomsystemen är baserade på ett pelardäcksystem. Den första modellen representerar en kontorsbyggnad med en betongstomme, där de bärande elementen utgörs av pelare, balkar och håldäckbjälklag i betong. Den andra modellen utgår från samma kontorsbyggnad och bärande system som den första modellen, men här kombineras både betong och trä i stommen. Modelleringen har genomförts med hjälp av programvaran Revit.



Figur 1. Modell av kontorshus med betongstomme.



Figur 2. Modell av kontorshus med hybridstomme (trä och betong).

2.3 Dimensionering av stommaterial

- Dimensioneringen av både bjälklag och balkar i trä och betong utgicks från standardmått och typvärden anpassade till respektive stomsystem. Dessa värden baserades på aktuella spännvidder och laster, och hämtades från tabeller i källor som Svensk Betong, Svenskt Trä och Träguiden.
- Vid modelleringen placerades pelarna med ett avstånd på 5 meter i x-led och 5,6 meter i y-led. Dessa mått låg till grund för att bestämma spännvidder av balkar och bjälklag.
- Pelare i både betong och trä dimensionerades i tre olika tvärsnitt, beroende på belastningen från våningsplan. De största tvärsnittsdimensionerna placerades i de nedersta våningar där belastningen är som störst.
- Dimensionerna för betongpelarna bestämdes efter att konstruktionsberäkningar genomförts i Mathcad programvara för att fastställa de dimensionerande

normalkrafter som pelarna utsätts för på varje våningsplan. I beräkningarna togs hänsyn till stommens egentyngd från pelare, bjälklag och balkar, samt till nyttig last och snölast. Tvärsnittsdimensioner för pelarna valdes enligt standardvärden från Svensk betong. De beräknade normalkrafterna användes därefter som indata i programvaran VM CIVIL för att kontrollera pelarens bärförmåga med avseende på normalkraftkapacitet enligt Eurokod 5.

- Träpelare dimensionerades genom två separata handberäkningar. Först bestämdes den dimensionerande normalkraften med hänsyn till stommens egentyngd, nyttig last och snölast. Därefter beräknades pelarnas normalkraftskapacitet enligt Eurokod 2, med stöd av kurslitteraturen Bärande Konstruktioner 2. Kontroll av pelarnas slankhet samt knäckning i båda styv och vek riktning genomfördes. Vid dimensioneringen beaktades omräkningsfaktorn k_{mod} , baserat på klimatklass 1 och medellång lastvaraktighet. Limträ med hållfasthetsklass GL30c valdes, och pelarnas tvärsnittsdimensioner fastställdes enligt standardmått för limträpelare enligt Träguiden.
- Den nyttiga lasten valdes till $2,5 \text{ kN/m}^2$, enligt rekommendationer från Boverket för kontorshus.
- Snölasten sattes till $1,8 \text{ kN/m}^2$, baserat på handberäkningar av dimensionerande snölast i brottgränstillstånd för Göteborg.

2.4 Beräkning av materialåtgång i modellerade stommsystem

I nästa steg bestämdes stomdelarnas volym för respektive stommsystem, i syfte att fastställa materialåtgången i dessa. Kalkylerna genomfördes i programmet Excel, där volymer för samtliga stomdelar summerades, och den totala volymen multiplicerades med respektive materials densitet för att få fram den total materialåtgången. För dessa beräkningar användes en densitet på 470 kg/m^3 för limträ och 2400 kg/m^3 för betong. Som komplement användes även ett verktyg på SnabbGrus webbplats för att kontrollera mängderna. Dock uppstod det skillnader i resultaten, eftersom SnabbGrus använder en lägre densitet för betong. Därför valdes handberäkningar i Excel som referens i det fortsatta arbetet.

2.5 LCA-beräkningar av stommar

För att ta reda på hur de två stomsystemen påverkar miljön genomfördes livscykelanalyser. Det gjordes på två sätt: först genom en enkel handberäkning som fokuserade på utsläpp från tillverkning av betong, och därefter genom en mer avancerad analys med hjälp av programmet One Click LCA (One Click LCA, 2025), som ger en bredare bild av miljöpåverkan under byggnadens livslängd.

2.5.1 Handberäkningar

Efter att dimensionerna för stommaterialen i respektive stomsystem hade fastställts, beräknades betongåtgången för både betong- och hybridstommen. Därefter gjorde handberäkningar för att bedöma miljöpåverkan från cementproduktionen. Resultat från handberäkningar fungerade som en tumregel och användes för att jämföra med resultaten från LCA-verktyget One Click, i syfte att kontrollera rimligheten i de värden som programmet genererar. Vid beräkningarna antogs att cement utgjorde 15% av betongens sammansättning. Som riktvärde användes uppskattningen från Naturskyddsföreningen om att betong genererar cirka 750 kg CO₂ per ton. Utöver detta beräknades även den potentiella koldioxidlagringen i hybridstommens limträ element. Här användes en uppskattning från Svenskt Trä om att limträ binder cirka 750 kg CO₂e /m³. Med detta värde kunde den totala koldioxidlagring för hybridstommen uppskattas.

2.5.2 LCA med One Click LCA

Två byggnadsmodeller skapades i programmet One Click LCA, en med betongstomme och en med hybridstomme (trä och betong). Syftet med analysen var att beräkna mängden koldioxidekvivalenter ”CO₂e” för respektive stommsystem under hela dess livslängd, med undantag för livcykelfaser ”B1-B5”, då dessa var svåra att uppskatta exakt.

För att genomföra en noggrann analys krävde programmet att flera indata fyllas i. Bland dessa fanns grundläggande uppgifter såsom byggnadstyp (nybyggnation), användningsområde (kontorshus), plats (Johanneberg, Göteborg), samt skede i byggprocessen (schematisk design). Även vanliga uppgifter om byggnaden som: bruttoarea, antal våningar och stomtyp. Vidare angavs specifika uppgifter såsom

miljöcertifieringsnivå, där ”BREEAM SE” valdes med målnivån ”Silver”. Som beräkningsstandard tillämpades (EN15804 +A2), vilket inkluderar hela livscykeln från vagga till grav. För parametrar relaterade till material och energi användes programmets rekommenderade standardvärden. Dessa inkluderar teknisk livslängd för materialen, elprofil för Sverige, samt indata för byggkostnader. Samtliga parametrar valdes i enlighet med svenska förhållanden enligt One click LCA.

För att beräkna miljöpåverkan från byggnadsmaterial krävdes mängder i enhet av kubikmeter eller kg, vilket redan hade tagits fram genom tidigare handberäkningar. Vid materialval valdes både platsgjuten och prefabricerad betong i kvalitet C35/45, vilket är en vanlig betongtyp i Sverige. Detta inkluderade även armeringsjärn som en del av betongen. För limträ-balkar, bjälklag, pelare valdes ”Limträ 430 kg/m³”, vilket motsvarar densiteten för limträklass GL30c. En ytterligare komponent som ingår i beräkningen är fönster, vilka senare används i samband med analyser för energianvändning under driftfasen. Även ytterväggsdetaljer, såsom isolering, vindskydd och gipsskivor togs med i beräkningen.

För den årliga energiförbrukningen, både för uppvärmning och el, valdes alternativet ”Elektricitet, Sverige”. Beräkningen av den årliga energiförbrukningen genomfördes manuellt med hänsyn till de standardvärde för lokaler som motsvarar ”93,5 kWh/m²” enligt Energimyndigheten.

För den årliga vattenförbrukningen användes ett standardvärde för dagligt vattenbehov per person i lokaler enligt Energikontor Syd, vilket motsvarar ”50 liter / person / dag”. Handberäkningar i Mathcad utfördes för att bestämma den totala mängden vatten som förbrukas i ett kontorshus under ett år.

Båda byggnadernas livslängd valdes till 50 år, enligt rekommendation från IVL svenska miljöinstitutet (2024) för LCA beräkningar av lokaler och kontorshus. När byggnaderna når slutet av sin livslängd och rivs, antas att 90 % av betongen i båda stommar återvinnas, medan resten 10 % deponeras. För träkomponenterna i hybridstommen antas den största delen gå till energiåtervinning.

3 Stommaterialens egenskaper och miljöpåverkan

Detta kapitel beskriver egenskaper hos de två vanligaste stommaterialen inom byggbranschen trä och betong. Vidare presenteras miljöpåverkan och klimatdeklarerationer inom byggsektorn.

3.1 Trä som stommaterial

Trä är ett av de äldsta och mest traditionella byggmaterial som människan har använt i enkla och låga konstruktioner genom historien. Under de senaste åren har trä fått en ökad användning i avancerade byggprojekt, främst på grund av att ändrade byggnormer år 1994. Denna förändring gjorde det möjligt att använda trä i högre konstruktioner, vilket tidigare inte var tillåtet. Eftersom trä är ett hållbart och miljövänligt byggmaterial har intresset ökat för att hitta lösningar på de utmaningar som uppstår vid byggande av höga träkonstruktioner (Al-Emrani m.fl., 2020).

3.1.1 Fördelar med materialet trä

Miljövänlighet

Miljöpåverkan är en central fråga i dagens byggande. Trä har visat sig ha stora miljöfördelar jämfört med andra byggmaterial som betong och stål. Studierna visar att trä binder koldioxid från atmosfären, vilket bidrar till att motverka växthuseffekten och minska klimatpåverkan (Svenskt Trä, 2025).

I en livscykelanalys (LCA), där miljöpåverkan för material bedöms från råvaruutvinning till avfallshantering, visade resultatet att trä har den lägsta miljöpåverkan jämfört med andra byggmaterial, vilket tyder på att trä är det mest klimatsmarta alternativet vid val av byggmaterial (Rundvirke industrier, 2025).

Förnybarhet

Trä är en förnyelsebar råvara som kan återskapas naturligt tack vare skogsvårdslagens som innebär: “för varje avverkat träd ersätts med minst två nya”, vilket möjliggör en hållbar tillgång till träresurser. Å andra sida kräver trä betydligt mindre energi vid tillverkning jämfört med betong. Dessutom träkomponenter, såsom trägolv och

fönsterkarmar kan återanvändas i nya konstruktioner, vilket bidrar till minskad miljöpåverkan vid produktion av nya byggmaterial (Svenskt Trä, 2025).

Flexibilitet

Trä är lättare och snabbare att bygga jämfört med andra byggnadsmaterial. Trä är starkt och har hög hållfasthet i förhållande till sin låga vikt, vilket underlättar både transport och montering på byggarbetsplatsen. Dessutom kan träkonstruktioner enkelt anpassas och byggas om vid framtida behov. Dessa egenskaper möjliggör en effektiv prefabricering, vilket i sin tur leder till kortare byggtid och lägre kostnader på byggarbetsplatsen (Johansson, 2024).

3.1.2 Nackdelar med materialet trä

Fuktkänslighet

Trä är ett hygroskopiskt material, vilket betyder att det kan ta upp och avge fukt. När den relativa fuktigheten är hög kommer trä att absorbera och lagra fukten i form av fritt och bundet vatten. När den relativa fuktigheten sedan sjunker, torkas träet och krymps. Krympningen i sin tur kan orsaka torksprickor och deformationer i materialet, vilket försämrar dess hållfasthet och livslängd. Dessutom kan mögel och röta uppstå vid långvarigt höga fuktnivåer, vilket både minskar hållfastheten och kan påverka hälsan negativt. Det är därmed nödvändigt att hålla den relativa fuktigheten under 70–75 % enligt rekommendationer. Ett effektivt sätt för att undvika fuktproblem i träets är att hålla materialet torrt och skyddat från vattenexponering (Segerkvist, 2022).

Brännbarhet

Brandskydd är en kritisk aspekt som bör beaktas vid utformning av träkonstruktioner, eftersom brand kan försämra både hållfasthetsegenskaper och beständighet hos materialet. Materialet trä är brännbart och generellt mer känsligt för brand än exempelvis stål eller betong, vilket gör att säkerhetskraven på material och ytskikt blir högre ju högre byggnaden är. Brandmotståndet beror främst på trämateriallets tjocklek, ju tunnare materialet är desto sämre brandmotstånd. Det finns även andra faktorer

som påverkar förbränningens omfattning och hastighet, såsom materialets densitet och fuktkvot (Svenskt Trä, 2021).

För att förbättra träets brandskydd och fördröja bränningen kan vissa åtgärder vidtas. Till exempel kan träet behandlas med speciella kemikalier, vilket bromsar antändningen och minskar hastigheten på brandspridningen. En annan vanlig åtgärd är att täcka träet med obrännbara material, som gipsskivor i innerväggar eller mineralull. Dessa åtgärder bidrar till ökad brandsäkerhet i träkonstruktioner (Svenskt Trä, 2017).

Akustik

Att dämpa buller och störande ljud är avgörande för att uppnå en god och trivsamt inomhusmiljö. Undersökningar enligt Naturvårdsverket (2013), har visat att höga ljudnivåer kan leda till flera hälsoproblem, såsom stress och koncentrationssvårigheter. Därför är akustiken en viktig faktor att beakta vid utformningen av en byggnadsstomme.

De akustiska egenskaperna i träbyggnader skiljer sig från exempelvis betongbyggnader. Eftersom trä är ett lätt material med relativt låg styvhet är det mer känsligt för vibrationer och har dessutom sämre ljudisolerande egenskaper, särskilt vid låga frekvenser. Detta ställer höga krav vid utformningen av träkonstruktioner, särskilt när det gäller hantering av luftljud, såsom trafikbuller samt stegljud från exempelvis fotsteg. Bland de effektiva åtgärder för att minska buller är att öka konstruktionens massa per ytenhet samt att använda dubbelväggar med ljudisolering. Även utformningen av detaljer och kopplingar mellan byggnadsdelar kan påverka ljudmiljön i byggnaden. Att beklä träväggar med ljuddämpande material, exempelvis gipsskivor och mineralull är också en effektiv lösning för att förbättra ljudkomfort i träbyggnader (Östman, 2008).

3.2 Betong som stommateriäl

Betong är ett av de mest använda byggnadsmaterialen i världen, med en historia som sträcker sig tillbaka till cirka 500 f.Kr. Dess mångsidighet har gjort den till ett attraktivt val i allt från broar och hamnar till bostadshus och andra infrastrukturprojekt. Den främsta anledningen till att betong är så vanligt

förekommande material inom byggbranschen är dess långa livslängd, breda användningsområden samt att materialet kräver lite underhåll (Betongföreningen, 2025).

Betong består huvudsakligen av naturliga råvaror såsom krossat bergmaterial (sten, sand och grus) samt bindemedel och vatten. Det vanligaste bindemedlet är cement, som i sin tur tillverkas av kalksten. För att minska betongens miljöpåverkan används idag alternativa bindemedel, såsom slagg och flygaska, vilka ersätter delar av cement (Svensk Betong, u.å.).

Trots att cement endast utgör omkring 15 % av betongens totala volym, står den för omkring 95 % av materialets klimatpåverkan (Rise, u.å.). Cement tillverkas genom att kalksten upphettas till mycket höga temperaturer, vilket kräver stora mängder energi och ger upphov till betydande utsläpp av koldioxid. Enligt Rise står cementproduktion i Sverige för ungefär 4 % av landets totala utsläpp av växthusgaser.

Betongkonstruktioner kan utföras på två olika sätt: platsgjuten betong och prefabricerad betong. Vid platsgjutning transporteras färsk betong till byggarbetsplatsen, där den pumpas in i formar med armering. Prefabricerad betong tillverkas däremot i fabrik, där byggnadsdelar som väggar och bjälklag formas och härdas innan de transporteras till byggarbetsplatsen för montering (Svensk Betong, u.å.). Enligt Rise produceras årligen cirka 13 miljoner ton betong i Sverige.

3.2.1 Fördelar med materialet betong

Beständighet

Betong är ett hållbart och beständigt byggmaterial som utmärker sig genom sin lufttäthet, vattentäthet, fukttålighet, brandsäkerhet samt motståndskraft mot mögel. Dessutom betongen är fullt återvinningsbar och kräver relativt lite underhåll (Svensk Betong, u.å.).

Akustik

Betongens tyngd gör den motståndskraftig mot kraftiga vindlaster och dess täta struktur ger utmärkt ljuddämpning, hög lufttäthet och färre vibrationer. Denna kombination av egenskaper bidrar till en behaglig inomhusmiljö och minskar behovet av extra bullerskydd (Svensk Betong, u.å.).

Energieffektivitet

Betong är ett byggmaterial med hög värmetröghet, vilket innebär att den effektivt kan lagra värme. Dess värmelagringsförmåga minskar energibehovet, eftersom materialet reagerar långsamt på temperaturförändringar, vilket bidrar till en stabil inomhustemperatur (Svensk Betong, u.å.).

Hållfasthet

En fördel med byggmaterialet betong är dess höga tryckhållfasthet och hög styvhet, vilket ger den förmågan att bära stora laster och klara långa spännvidder. Denna egenskap gör betongen till ett utmärkt material som kan användas i en mängd olika konstruktioner, även i höga byggnader (Svensk Betong, u.å.).

Tillgänglighet

Betongens råvaror hämtas i stor utsträckning inom Sverige, vilket minskar transportavstånd. Ballast, som utgör en stor del av betongens volym, hämtas från lokala täkter, vilket i sin tur bidrar till lägre miljöpåverkan. Eftersom betongfabriker finns spridda över hela landet kan både platsbyggnad och prefabricerad betong levereras med korta transportavstånd till byggarbetsplatser (Svensk Betong, u.å.).

Fuktkänslighet

Betong är ett hållbart och fukttåligt material som varken ruttnar eller möglar. Under härdningen binds en del vatten kemiskt, medan överskottsvatten gradvis måste avdunsta för att skydda omkringliggande byggmaterial. En egenskap som utmärker betongen är dess täta struktur, vilket ger den ett effektivt skydd mot fukt och luftinträning. Tack vare betongens fukttålighet är den ett lämpligt val i bostäder och utsatta miljöer. Vid en översvämning eller läckage uppstår sällan allvarliga skador, till skillnad från känsligare material som trä. Med klimatförändringar i åtanke är betong ett robust och hållbart val för framtiden byggande (Svensk Betong, u.å.).

Brandmotståndskraft

Betong är ett mycket brandsäkert material eftersom det varken brinner, ryker eller frigör giftiga gaser, samtidigt kan den effektivt hindra eld från att spridas. Den täta och isolerande strukturen gör att betongen värms upp långsamt vid brand, vilket gör att konstruktionens bärighet bibehålls även vid höga temperaturer. Som effektiv skyddsbarriär mot brand skyddar betongväggar, tak och trappor både människor och byggnad, vilket kan minska kostnaderna för extra brandskyddssystem. Efter en brand har pågått påverkas betongen i regel inte av släckvatten, utan behöver oftast tid för att torkas innan återuppbyggnad kan påbörjas. Dessa egenskaper gör att betong uppfyller höga krav på brandsäkerhet och kan leda till lägre försäkringskostnader (Svensk Betong, u.å.).

Resurseffektivitet

Betong har naturlig förmåga att återvinnas och återanvändas i nya konstruktioner. Dessa långa livslängd och minimala underhållsbehov gör det ett resurseffektivt byggmaterial. Krossad betong kan återanvändas i infrastrukturprojekt och även som ballast i ny betong för att minska behovet av nya råmaterial. Vidare tas restbetong till vara i enklare byggprodukter för att minska spill (Svensk Betong, u.å.).

3.2.2 Nackdelar med materialet betong

Miljöpåverkan

Betong har länge förknippats med hög miljöpåverkan, men det är inte betongen i sig som är det största miljöboven utan cementproduktionen. Enligt Naturskyddsföreningen (2022) kan produktionen av ett ton cement ge upphov till 700-800 kg CO₂. Den största delen av utsläppen kommer från koldioxiden som frigörs ur kalkstenen vid upphettning, men även användningen av fossila bränslen i processen bidrar till en betydlig stor utsläpp.

Egentyngd

Betong är ett tungt byggmaterial, vilket påverkar konstruktionens bärförmåga. Vid dimensionering måste man ta hänsyn till betongens egenvikt, vilket kan begränsa den totala lastkapaciteten. Detta kan leda till att bärförmåga i vissa fall kan behöva

underskattas för att säkerställa en stabil och hållbar konstruktion (Al-Emrani m.fl., 2020).

Lång byggtid

Betongkonstruktioner kräver lång byggtid, särskilt när konstruktioner behöver formas och gjutas på byggarbetsplatsen. Denna process kan förlänga projektets genomförande avsevärt och orsaka trafikproblem samt störa omgivningen. Dessutom kan platsgjutna betongkonstruktioner leda till höga byggkostnader, eftersom de kräver omfattande formarbete, lång härdningstid och extra arbetskraft (Al-Emrani m.fl., 2020).

Sprickbildning & draghållfasthet

Betong har låg draghållfasthet, vilket är en betydande utmaning i betongkonstruktioner. När betongen belastas kan dragpåkänningar leda till sprickbildning. För att undvika kollaps förstärks därför betongdelar nästan alltid med armeringsstål. Armeringen ökar både hållfasthet och stabilitet genom att ta upp dragkrafterna i konstruktionen efter att betongen spruckit. Dessa krafter överförs mellan stålet och betongen via vidhäftning (Al-Emrani m.fl., 2020).

3.3 Miljöpåverkan och klimatdeklaration inom byggsektorn

Detta avsnitt behandlar byggnaders klimatpåverkan med fokus på Sveriges klimatmål, livscykelanalyser ”LCA” samt regler och krav kopplade till klimatdeklarationer.

3.3.1 Sverige klimatmål

Enligt Boverket (2025) står Bygg- och anläggningssektorn för över 20 % av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser. År 2017 beslutade Sverige om ett klimatmål som innebär att landet senast år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, Boverket (2025). För att uppnå detta mål krävs förändringar inom byggsektorn, då den största klimatpåverkan kommer från valet av stommaterial samt energianvändningen under byggnaders drift (Naturvårdsverket, 2025).

Valet av stommaterial på flera faktorer, bland annat tekniska, ekonomiska och miljömässiga. Som tidigare nämnts är byggmaterialet trä ett klimatsmart alternativ då

det är förnybart och fungerar som en kolsänka. Betong däremot medför höga utsläpp, framför allt på grund av cementproduktionen. Ett effektivt sätt för att minska byggnaders klimatavtryck är således att begränsa användningen av betong och i stället använda mer hållbara material, som exempelvis trä. För att underlätta sådana materialval används ofta livscykelanalyser "LCA".

3.3.2 LCA

LCA ett verktyg som används för att beräkna miljöpåverkan, uttryckt i koldioxidekvivalenter "CO₂e", under hela byggnadens livslängd. Det vill säga från utvinning av råmaterial till rivning av byggnaden. LCA hjälper till att identifiera vilka faser som har störst klimatpåverkan och används som beslutsunderlag vid val av design och material i projekteringskedet (Boverket, 2024).

Enligt Boverket står produktskede "A1-A3" och driftenergifasen "B6" för den största delen av en byggnads totala klimatpåverkan. Med hjälp av tekniska framsteg inom energiproduktion har driften blivit allt mer energieffektiv, vilket innebär att byggskedet i framtiden förväntas utgöra den största miljöpåverkan. Se avsnitt Livscykelns faser nedan.



Figur 3. Illustration av en byggnads livscykel enligt LCA-principen (Boverket, 2024).

Enligt Figur 3 inleds byggnads livscykel med att utvinning av naturresurser. Dessa resurser transporteras sedan till fabriker för att omvandlas till byggmaterial, därefter levereras materialen till byggarbetsplatsen, där byggnaden uppförs. När byggnaden väl är färdigställd går den in i användningsskedet, där den driftas och underhålls för

att fungera optimalt under sin användningstid. När byggnaden når slutet av sin livslängd sker antingen renovering eller rivning, då tas material tillvara genom återbruk eller återvinning, beroende på skick och kvalitet (Boverket, 2024).

Livscykelns faser

Enligt Boverket delas en byggnads livscykel in i flera olika faser:

- **A1–3 Produktionskede:** Omfattar alla steg som behövs för att producera byggprodukter. Detta inkluderar utvinning av råmaterial, transport till fabrik, förädling samt tillverkning av byggmaterial.
- **A4–5 Byggproduktionsskede:** Omfattar transport av byggmaterial till byggarbetsplatsen samt själva uppförandet av byggnaden.
- **B1–7 Användningsskede:** Omfattar byggnadens användning, drift, underhåll och eventuella reparationer. Här ingår även faser såsom energi- och vattenförbrukning under hela användningstiden.
- **C1–4 Slutskede:** Omfattar byggnadens avslutande processer när byggnaden når slutet av sin livslängd, vilket omfattar rivning, transport av rivningsmaterial samt återanvändning, återvinning eller deponering.

3.3.3 Klimatdeklaration

En klimatdeklaration är ett dokument som redovisar en byggnads miljöpåverkan, med särskilt fokus på växthusgasutsläpp under byggskedet. Utsläppen anges i enheten kilogram koldioxidekvivalenter per kvadratmeter bruttoarea ”kg CO₂e/m²”. Syftet med deklarationen är att begränsa miljövtrycket från nybyggnation och därigenom främja ett mer hållbart byggande (iBinder, 2024).

Sedan den 1 januari 2022 gäller en ny förordning som innebär att byggherren är skyldig att lämna in en klimatdeklaration till Boverket, där klimatpåverkan från byggskedet ”A1-A5” ska redovisas i enheten ”kg CO₂e” (Boverket, 2024).

Från och med år 2028 kommer kravet att gälla alla nya byggnader större än 1 000 m² och år 2030 kommer detta krav omfatta samtliga nybyggnationer, oavsett storlek. Därför blir LCA ett allt viktigare verktyg för att uppfylla framtida regelverk och minska miljöpåverkan från byggnader (Boverket, 2025).

3.3.4 Bygghälskomponenter i klimatdeklaration

Boverket har definierat vilka byggnadsdelar som ska ingå i klimatdeklarationen.

Dessa delas in i tre huvudgrupper: bärande konstruktionsdelar, klimatskärm och icke bärande innerväggar.

- I. **Bärande konstruktioner:** Utgör byggnadens stomme och omfattar: platta på mark, balkar, pelare, bjälklag, bärande väggar och yttertak. Dessa element har störst påverkan på byggnadens totala klimatavtryck.
- II. **Klimatskärm:** Består av de yttre byggnadsdelarna som skyddar inomhusmiljön från yttre klimatförhållanden och buller. Det inkluderar bland annat fasadmaterial, fönster, ytterdörrar, vindskivor samt icke bärande ytterväggar. Dessa komponenter spelar en avgörande roll för byggnadens energieffektivitet.
- III. **Icke bärande Innerväggar:** Omfattar invändiga element som rumsavskiljande väggar, innertrappor, innerdörrar och innertak. Dessa komponenter har generellt lägre miljöpåverkan än stomme och klimatskärm.

Det finns vissa undantagna delar i byggnaden som inte behöver redovisas i klimatdeklarationen, eftersom dessa antingen bedöms ha liten klimatpåverkan eller är svåra att kvantifiera. Exempelvis installationer för el, VVS och ventilation. Även invändiga yttskikt, såsom parkettgolv samt komponenter under marken, som pålar, grundförstärkningar och byggnadsstabiliserande element. (Boverket, 2024).

4 Jämförelse mellan trä-, betong- och hybridstommar

I detta kapitel presenteras hybridstommar, där trä och betong kombineras i olika typer av stomlösningar. Utöver detta genomförs en jämförelse mellan trä-, betong- och hybridstommar, med fokus på de viktiga tekniska aspekter som stabilitet, brandsäkerhet, akustik och fuktskydd. Den insamlade informationen om materialens egenskaper ligger till grund för denna jämförelse.

4.1 Kombination av trä och betong i hybridstommar

Som tidigare nämnts, valet av stomme i en byggnad beror på flera faktorer, där ekonomi, miljöpåverkan och teknik spelar en avgörande roll. Traditionellt har betong varit det dominerande byggmaterialet inom byggbranschen, särskilt vid uppförandet av höga byggnader, tack vare sin goda bärförmåga, formbarhet och brandsäkerhet. Dock är betong också starkt förknippat med hög klimatpåverkan. Trä, å andra sidan, betraktas som ett mer miljövänligt alternativ eftersom det är ett förnybart material. Trots detta finns vissa utmaningar med trä som konstruktionsmaterial, framför allt när det gäller stabilitet, brandsäkerhet och akustiska egenskaper. Dessa faktorer gör att trä ofta inte är förstahandsvalet vid byggnation av höga hus. Trästommar rankas vanligtvis som det tredje alternativet efter betong och stål, vilket delvis beror på de tekniska begränsningarna och kostnaderna som är förknippade med att hantera dessa.

För att dra nytta av de positiva egenskaperna hos både trä och betong har hybridstommar blivit ett alltmer intressant alternativ. Genom att kombinera materialen kan man minska byggnadens totala miljöpåverkan, samtidigt som man uppnår högre stabilitet och bättre teknisk prestanda. Exempelvis kan en byggnad konstrueras med träbjälklag i kombination med betongkärna för att utnyttja träets lätta vikt och miljöfördelar, samtidigt som betongen bidrar med styvhet och brandsäkerhet. Denna typ av kombinationslösning har potential att bli ett hållbart och effektivt alternativ i framtidens byggande.

Som tidigare redovisats att en grundläggande förutsättning för att minska miljöpåverkan i byggbranschen är att begränsa användningen av betong, eftersom betongtillverkning är mycket energikrävande och genererar stora mängder koldioxid. Ett effektivt sätt att göra detta är att byta ut delar av betongstommen mot trä, i de delar av byggnaden där det är möjligt.

4.2 Olika stabiliseringsmetoder i hybridstommar

I rapporten Hybridkonstruktioner i trä och betong av Larsson (2023) presenteras fyra olika typer av hybridstommar som kombinerar trä och betong på olika sätt. Syftet med dessa konstruktioner är att dra nytta av träets låga klimatpåverkan och betongens strukturella stabilitet. Varje stomtyp är anpassad efter olika byggnadstyper och tekniska krav. Nedan följer en sammanfattning av de fyra identifierade stomtyperna redovisade i Figur 4.

Stomtyp 1 - Betong i bottenplan, trä ovanpå

Första stomtypen utgår från en bärande stomme i betong i de nedersta våningarna, där ovanliggande delar av byggnaden konstrueras i trä, vanligtvis i form av korslimmat trä (KL-trä). Denna lösning är vanlig i flerbostadshus där man vill uppnå god stabilitet och samtidigt kunna utnyttja bottenplanet till andra funktioner, som butik eller parkering. Att använda betong längst ner hjälper också till att hantera uppåtriktade krafter från byggnaden mot marken. Denna stomtyp lämpar sig för korta spännvidder.

Stomtyp 2 - Betongkärna med trästomme

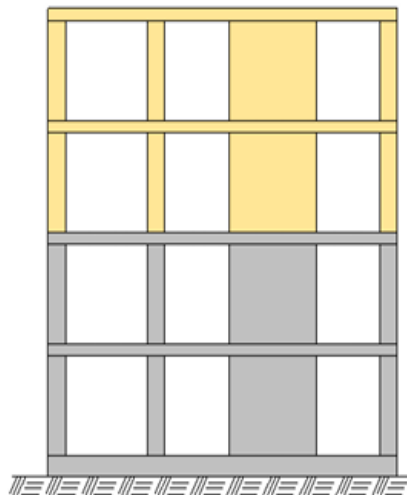
Den andra typen bygger på att betong används som stabiliserande väggar, särskilt runt trapphus och hissar, medan övriga delar består av pelare och balkar i limträ, tillsammans med bjälklag av KL-trä. Detta system möjliggör öppna planlösningar och används ofta i kontorsbyggnader.

Stomtyp 3 - Limträstomme med betongbjälklag

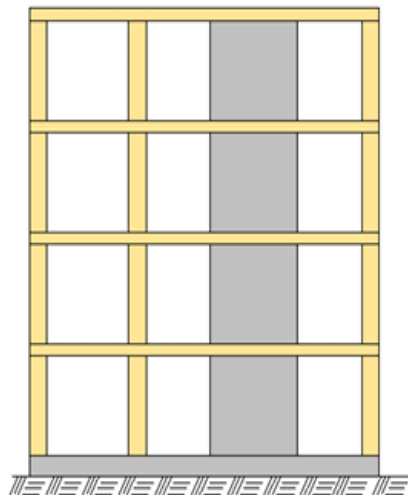
I den tredje varianten består stommen av ett pelardäcksystem i limträ, men här används håldäckselement i betong som bjälklag. Genom att kombinera dessa material kan man skapa långa spännvidder och minimera behovet av bärande väggar, vilket gör systemet särskilt lämpligt för byggnader som skolor.

Stomtyp 4 - Trästomme med betong i översta våningar

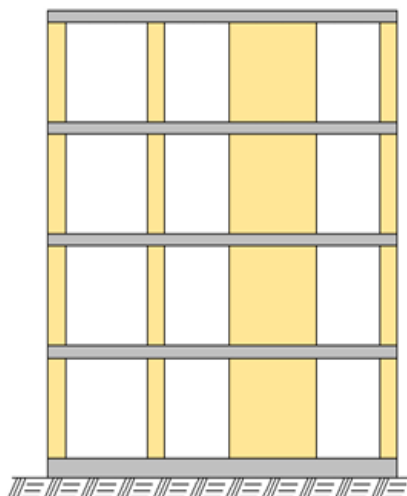
Sista stomtypen består främst av trä, men kompletteras med betongbjälklag i de översta våningarna. Denna lösning används för att förbättra byggnadens dynamiska egenskaper, till exempel för att minska svajningar vid exempelvis vindpåverkan, och passar därför bra för högre träbyggnader.



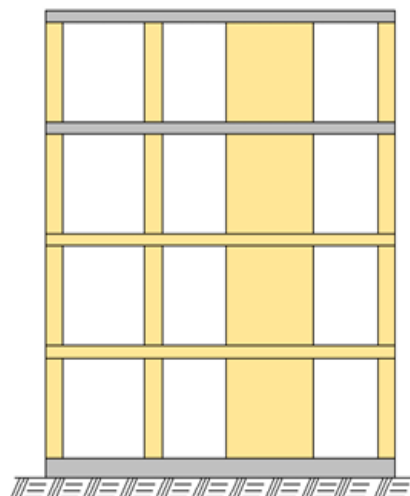
Stomtyp 1:
En träkonstruktion ovanpå en
betongkonstruktion.



System type 2:
Ett pelar-balk-system med bjälklag
i trä och stabiliserande väggar i
betong.



Stomtyp 3:
Ett pelar-balk-system i trä med
bjälklag i betong och stabiliserande
väggar i trä.



Stomtyp 4:
En träkonstruktion där ett eller flera
bjälklag är utbytta från trä till betong.

Figur 4. Olika typer av hybridstommar (Larsson, 2023).

4.3 Stabilitet i olika stomsystem

Stabilitet avser byggnadens förmåga att motstå yttre krafter utan att förlora sin bärförmåga. Detta avsnitt jämför stabilitet hos trä, betong och hybridstomsystem, med exempel från verkliga projekt som visar hur hybridstommar utformas och stabiliseras i praktiken.

4.3.1 Stabilitet hos trästommar

Alla byggnader, oavsett höjd, material eller stomtyp, måste stabiliseras för att klara yttre laster. I Sverige är vind den främsta orsaken till sådana laster, medan det i andra delar av världen även kan handla om exempelvis jordbävningar.

Stabiliseringssystemet i byggnaden måste uppfylla kraven i gällande standarder och klara av de största horisontella belastningarna utan att ge vika (Svenskt Trä, 2018).

Stabilisering av höga trähus

Till skillnad från andra byggmaterial, som har använts i århundraden, har höga trähus, särskilt över åtta till nio våningar trä fortfarande vissa begränsningar när det gäller stabilitet. Eftersom trä har använts i höga byggnader under en kortare period jämfört med andra material, finns det fortfarande behov av att utveckla och finjustera tekniker som kan möta de krav som ställs för att säkerställa byggnaders stabilitet (Svenskt Trä, 2018).

Träets låga egenvikt gör det särskilt viktigt att säkerställa att konstruktionen är tillräckligt stabil mot horisontella krafter. I höga trähus ligger den största utmaningen inte i stabiliseringssystemets styrka, utan snarare i dess styvhet. Om styvheten är otillräcklig kan vind orsaka stora sidoförflyttningar, vilket riskerar skador i byggnaden och påverka komforten negativt genom upplevd instabilitet. Enligt Svenskt Trä har byggnadens massa och dämpning också stor betydelse för hur dessa rörelser upplevs.

Svenskt Trä betonar att stabilisering av höga träbyggnader kräver åtgärder för att uppnå tillräcklig horisontell styvhet. I dag finns flera lösningar och metoder för att stabilisera träkonstruktioner. En vanlig strategi är att kombinera trä med andra

material för att öka både styrka och styvhet. Valet av stabiliseringssystem är centralt för att säkerställa att konstruktionen klarar de horisontella krafterna.

Exempel på stabiliseringsmetoder i höga trähus, som lyfts upp av Svenskt Trä:

- **Krysstag:** Krysstag kan tillverkas av trä, stål eller en kombination av båda. Genom att placera krysstag på flera våningsplan skapas vertikala strukturer som fungerar som fackverk och bidrar till stabiliteten.
- **Skivverkan:** Vid användning av skivverkan fungerar väggarna som bärande element som tar upp laster i sitt eget plan. I exempelvis flerbostadshus eller kontorsbyggnader med trästomme används ofta KL-trä (korslimmat trä) i väggarna för att uppnå denna funktion. En vanlig lösning är att kombinera trä med andra material i en hybridkonstruktion, för att på så sätt dra nytta av olika materials egenskaper.

Stabilisering av låga trähus

I trähus upp till fyra eller fem våningar sker stabilisering oftast genom skivverkan i väggar och bjälklag. Detta innebär att trä eller gipsskivor fästs på en stomme av träreglar, vilket ger tillräcklig styvhet för att motstå horisontella krafter. Svenskt trä hävdar att dessa byggnader krävs inte mer avancerade system för att uppnå tillräcklig stabilitet, eftersom lasterna är mindre och konstruktionen är lägre.

4.3.2 Stabilitet hos betongstommar

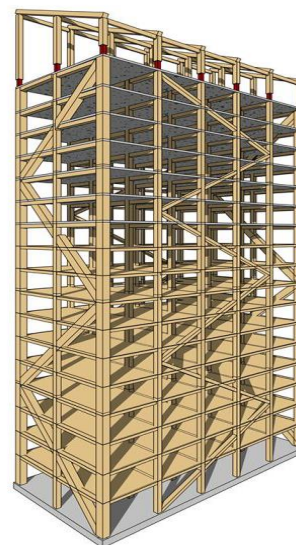
Byggsystem för höga hus i betong har använts och utvecklats sedan 1800, vilket har lett till att stabilitetsproblemen i dag inte är lika utmanande som i motsvarande träkonstruktioner. Under denna period har även beräkningsmetoder och tester av horisontell styvhet förbättrats märkbart. Betong är dessutom ett tungt material med naturlig motståndskraft mot vindlast, vilket gör att betongstommar generellt är mer stabila än trästommar och reducerar behovet av extra stabiliseringsåtgärder (Svenskt Trä, 2018). En vanlig metod för att stabilisera betongbyggnader är att använda momentstyva anslutningar mellan bärande pelare och balkar.

4.3.3 Stabilitet hos verkliga höga trähus

Stabilisering av Mjöstornet

Mjöstornet, beläget i Brumunddal i Norge, är ett av världens högsta trähus och ett exempel på hur det är möjligt att bygga högt i trä. Byggnaden är 81 meter hög, omfattar 18 våningsplan och har en total area på cirka 629 kvadratmeter. (Svenskt Trä, 2018).

För att stabilisera den höga träkonstruktionen har man valt att använda fyra stora diagonala limträstag på vardera kortsidan av byggnaden, samt sex stag på vardera långsidan. Tillsammans bildar dessa fyra vertikala fackverk som tar upp de horisontella lasterna från till exempel vindpåverkan och för dem vidare till grunden.



Figur 5. Mjöstornet stabilitetsystem (Abrahamsen, 2017).

Bjälklagen i de sju översta våningsplanen är utförda i betong, vilket fyller flera funktioner. Betongbjälklagen bidrar både till byggnadens totala styvhet och fungerar som skivor som fördelar de horisontella lasterna vidare till de vertikala fackverken. Dels ökar de byggnadens massa, vilket dämpar svajningar orsakade av vind, och förbättrar komforten för de boende. En ytterligare förmån med betongbjälklagen är deras förmåga att minska stegljud, vilket är en utmaning i höga träbyggnader.

I byggnadens fyra hörn har man även placerat massiva limträpelare med tvärsnitt på 1485 x 625 mm. Pelarna har som huvuduppgift att bära de vertikala lasterna och är särskilt viktiga för att ta upp axiella krafter från byggnadens kortsidor. Tillsammans med de diagonala limträstagen spelar hörnpelarna en avgörande roll för byggnadens stabilitet (Svenskt Trä, 2018).

Stabilisering av Brock Commons

Brock Commons är ett hybridhus som är beläget i Vancouver, Kanada, och består av 18 våningar. Byggnadens bärande system utgörs av pelare och bjälklag i korslimmat trä. Pelarnas tvärsnittsdimensioner ökar i storlek ju längre ner i byggnaden man kommer, med de största dimensionerna på bottenvåningen uppgående till 265 x 265 mm. (Svenskt Trä, 2018).

Till skillnad från Mjöstornet har pelarna i Brock Commons inte någon roll i byggnadens stabiliserande system, utan enbart avsedda att bära vertikala laster såsom egentygnd och nyttolaster. Detta har möjliggjort användning av mindre tvärsnittsdimensioner jämfört med konstruktioner där pelare även tar upp horisontella krafter.

Stabiliteten i Brock Commons säkerställs i stället genom två platsgjutna betongkärnor som löper genom byggnadens höjd. Dessa kärnor fungerar som styva element som tar upp horisontella laster, exempelvis från vindpåverkan, och för de vidare till grunden (Svenskt Trä, 2018).



Figur 6. Brock Commons med betongkärnor (Elkan, 2018).

Stabilisering av Cederhusen, Stockholm

Enligt Boverket (2021) kunde klimatpåverkan vid uppförandet av Cederhusen reduceras till cirka 60 % av motsvarande betonglösning. Projektet lyfts även av Svenskt Trä (2023) som ett framgångsrikt exempel på hur korslimmat trä kan användas effektivt i urbana miljöer.

Cederhusen i Stockholm är ett av Sveriges största bostadskvarter byggt i massivträ och omfattar fyra bostadshus på 10 - 13 våningar, där stommen kombinerar betong och korslimmat trä på ett



Figur 7. Cederhusen i Stockholm (Folkhem, 2025).

genomtänkt sätt för att möta både tekniska och miljömässiga krav (Svenskt Trä, 2023).

För att stabilisera byggnaderna har man valt att använda betong i de nedersta. Från tredje våningen och uppåt består stommarna av korslimmat trä, inklusive väggar, bjälklag och hisschakt. Den främsta anledningen till att hybridlösningen valdes var dels de utmanande markförhållandena, som krävde en lätt konstruktion, dels för att minska byggnadens klimatpåverkan, enligt Svenskt Trä.

Enligt Boverket har användning av trä i konstruktionen lett till en kraftig minskning av växthusgasutsläpp, och den lätta träkonstruktionen gjorde monteringen snabb och effektiv med färre tunga transporter.

4.4 Brandsäkerhet hos trä- och betongstommar

Trästommar ställer högre krav på både de bärande delarna och på skyddande skikt. Eftersom trä är brännbart och känsligt för antändning finns det en ökad risk att stommens bärförmåga och funktion försämras vid en brand som pågår under längre tid. Enligt Svenskt Trä (2014) finns det två effektiva metoder för att uppnå ett gott brandskydd i trästommar:

- Passivt brandskydd: Detta system innebär att de bärande delarna i stommen skyddas med obrännbara material, såsom gipsskivor och cellulosaisolering. Detta begränsar brandens påverkan på stommens funktion samtidigt som det förhindrar spridning av värme och gaser till andra delar av byggnaden.
- Aktivt brandskydd: Systemet består av sprinklers och temperatur- samt röksensorer som automatiskt aktiveras och sprutar vatten vid hög temperatur eller rökutveckling.

Ytterligare metoder för att öka brandsäkerheten i trästommar är att använda TCC-bjälklag "Timber Concrete Composite", som vanligtvis består av en träbalk i underdelen och en betongplatta ovanpå. TCC-bjälklag erbjuder en bättre brandsäkerhet än träbjälklag, eftersom betongskiktet effektivt förhindrar att brand och brandgaser från att tränga igenom och sprida sig till nästa våningsplan (Eurotec, 2022).

Betongstommar kräver däremot inte så avancerade brandskydds lösningar, enligt Svensk Betong (u.å.). Då betong är ett obrännbart material som även fungerar som ett effektivt skydd mot brand. Temperaturökningen i betong vid antändning är väldigt långsam, vilket gör att betongens hållfasthet och egenskaper inte påverkas vid brand. Enligt Boverket (2023) klassificeras betong som material i klass "A1", det vill säga den motstår brand effektivt.

Brandsäkerhetskrav

Boverket kräver att byggnader har tillräckligt brandskydd för att säkerställa bärförmåga och trygg utrymning. Kraven kan bli högre beroende på verksamhetsklass och byggnads höjd. Exempelvis betraktas höga kontorshus som verksamhetsklass "VK1", vilket medför att ett stort skyddsbehov. För att minimera risken för kollaps ställer PBL (Plan- och bygglagen) krav på att byggnadens stomme ska kunna upprätthålla sin funktion i minst 90 minuter "R90", om värmemängden understiger 800 MJ/m² (Boverket, 2024).

Dessutom krävs det att höga byggnader utrustas med brandskyddande trapphus. Enligt Boverket (2023) finns det två klasser av brandskydd i trapphus för höga byggnader:

- Tr2: För byggnader mellan 8 och 16 våningar,
- Tr1: För högre byggnader än 16 våningar.

Trapphusen ska utformas för att behålla sin bärförmåga, ska hindra inträngning av brand och brandgaser samt fungera som säkra utrymningsväg vid brand.

4.5 Akustik hos trä- och betongstommar

För trästommar blir akustiken en mer komplex utmaning, eftersom buller kan lätt spridas i byggnaden. Detta beror på att trä är ett lätt material, vilket medför sämre ljudisolering jämfört med exempelvis betong. I kapitel 3 föreslogs flera åtgärder för att förbättra ljudisoleringen i trästommar, exempelvis genom användning av dubbelväggar, gipsskivor och akustisk mineralull. Dessa lösningar hanterar främst luftljudsisolering.

När det gäller stegljudsisolering behöver trästommar extra lösningar, till exempel:

- Att använda KL-trä “bjälklag uppbyggd av korslimmat trä” är en effektiv metod för att dämpa stegljud. Bjälklaget kan anpassas i tjocklek utifrån ljudkrav och spännvidd. Plattbjälklag är den enklaste varianten av KL-trä, består av massiva träplattor som kompletteras med ljudisolerande material, såsom gips och spånskivor för bättre ljudisolering. Bjälklaget förmåga att isolera ljud beror främst på dess utformning och dimensioner, tjockare bjälklag ger bättre reduktion av stegljud (Svenskt trä, 2017).
- En annan lösning är att använda TCC-bjälklag “Timber Concrete Composite”. Den ökade massan och styvheten minskar vibrationer, vilket gör att bjälklaget inte hamnar i svängning, samtidigt isoleras de störande ljud, såsom stegljud från människors rörelse. Detta bidrar till bättre inomhusmiljö (Eurotec, 2022).

Å andra sida framgår det enligt kapitel 3 att betongstomme är ett bra val när det gäller akustik och kräver dessutom färre ljuddämpande åtgärder jämfört med trästomme. Enligt Svensk Betong (u.å.) är det viktigt att stommens utformning och dimensioner anpassas noggrant enligt gällande ljudkrav för att uppnå en trivsamt inomhusmiljö. Detta görs idag med hjälp av tekniska utrustningar och avancerat datorprogram som kan beräkna ljudnivåer i olika delar av byggnaden.

Akustik krav

Boverket ställer flera krav på akustik och inomhusmiljö för en trygg och hälsosam inomhusmiljö. Kraven varierar beroende på byggnadens klass och användning, där de högsta kraven gäller för bostäder och verksamhetslokaler. Enligt “PBL” ska verksamheter av typen arbetslokaler uppfylla de grundläggande tekniska kraven för bullerskydd (Boverket, 2024).

För att uppfylla bullerskyddkraven används olika ljudklasser, där ljudklass C är minimikravet. Bostäder kan dock utformas med högre krav som ljudklass A eller B, för bättre ljuddämpning och komfort. För lokaler, som kontorshus, är ljudklass C oftast tillräcklig, enligt Boverket.

4.6 Fukt hos trä-, betong- och hybridstommar

Fukthalten i trästommar är en kritisk faktor eftersom den kan påverka stommens bärförmåga och beständighet. Enligt avsnitt 3.1.2 är träkomponenter känsliga för fukt, och förändringar i fuktnivån kan orsaka krympning och formändring i träet. Detta påverkar stommens egenskaper och livslängd negativt.

Betongstommar är däremot mer fukttåliga, då betong är ett fukttåligt material som kan bli vattenmättad under byggskedet utan att ta skada.

I hybridstommar där betong och trä kombineras uppstår ett fuktproblem när fuktig betong står i direkt kontakt med trä, till exempel vid anslutningar mellan träbjälklag och betongschakt eller mellan träpelare och betonggrund. I sådana fall finns det en stor risk att träet absorberar vatten från betongen, vilket kan leda till allvarliga försämringar av stommens hållfasthet. Det är därför viktigt att se till att betong och trä inte kommer i direkt kontakt med varandra. En effektiv åtgärd för att undvika fuktskador är att använda fuktisolerande material, såsom fuktspärr (Svenskt Trä, 2017). Att placera björknäver mellan trä och betong är också en traditionell metod som effektivt motverkar fukttransport, enligt Rudshult Byggnadsvård (u.å.).

5 Fallstudie: Modellering av två kontorshus

För att undersöka hur olika bärande system och materialval påverkar miljön har två teoretiska kontorshus i 13 våningar modellerats med hjälp av verktyget "Revit". Den ena byggnad har en traditionell betongstomme, medan den andra är utformad som en hybrid stomme, där betong och trä kombineras.

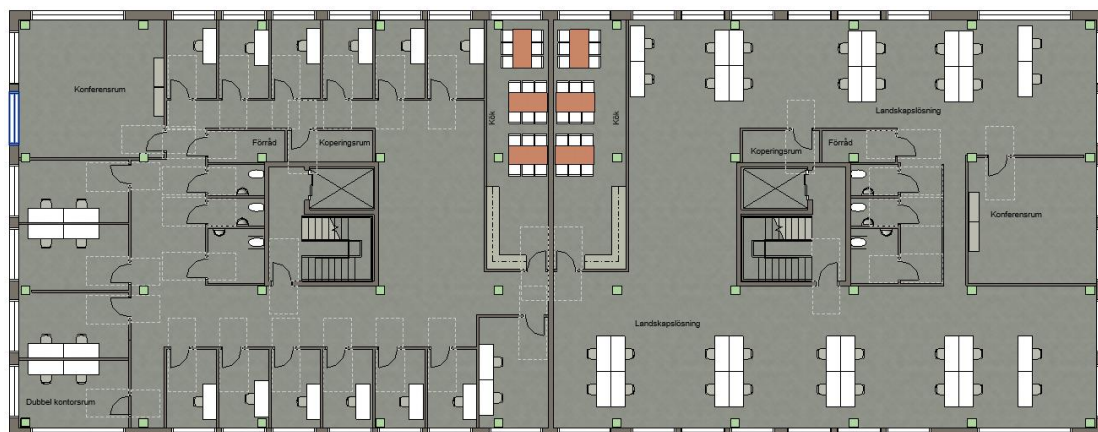
Analysen fokuserar på byggnadens bärande delar i respektive stomme, inklusive de stabiliserande betongkärnor och icke bärande ytterväggar. Invändiga komponenter som trappor, innerväggar och klimatskärmelement som dörrar inkluderas inte i analysen, då dessa komponenter antas vara likadana i både byggnader, vilket innebär att de bidrar med lika stor klimatpåverkan, och därmed inte påverkar resultatet. Analysen fokuserar därför i högre grad på stomsystemen i de två byggnader, där största miljömässiga skillnaden förväntas uppstå. Detta görs i syfte att beräkna hur mycket koldioxidutsläpp som kan undvikas under hela byggnadens livscykel om man väljer bygga med hybridstomme i stället för en ren betongstomme.

5.1 Modell 1: Byggnad med betongstomme

Den första modellen representerar en kontorsbyggnad med en traditionell betongstomme enligt pelardäcksystem. Byggnadens bärande delar består av betongpelare, betongbalkar samt håldäcksbjälklag, se Figur 8 och 9. Byggnaden stabiliseras genom två bärande betongkärnor. Dessa kärnor är uppbyggda för att ta upp byggnadens horisontella laster och bidra till stabilitet i både längs- och tvärriktning, medan de övriga bärande delar som pelare, balkar och bjälklag, har endast uppgift att bära vertikala laster som egentyngd och nyttiga laster.



Figur 8. Modell 1 – Visualisering av kontorshus med betongstomme, visat i två vyer.

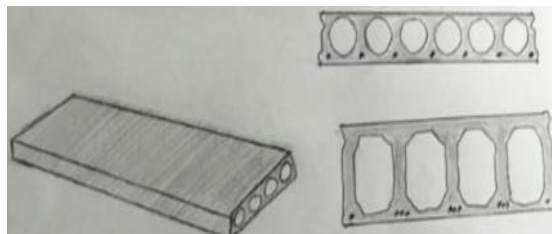


Figur 9. Planlösning för Modell 1 – betongstomme med två bärande betongkärnor för stabilisering.

5.1.1 Stomdelar och dess dimensioner

Bjälklag

I modell 1 används prefabricerad håldäckbjälklag mellan våningsplanen. Håldäckbjälklagen är förspända betongplattor med öppna kanaler längs bjälken. De har flera fördelar jämfört med vanliga massiva betongplattor, då de klarar långa spännvidder, vilket kan minska

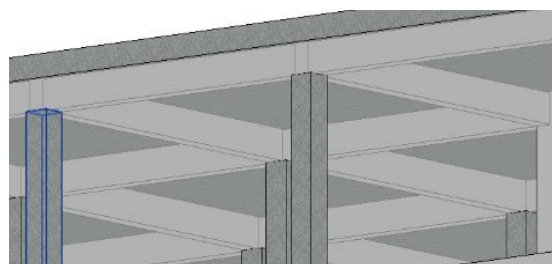


Figur 10. Prefabricerade håldäckbjälklag, (egen bild).

andelen av de övriga bärande element. Dessutom har de lägre egenvikt tack vare öppna kanalerna, vilket minskar betongmängden. Bjälklagens dimension väljs till **HD/F 120/270 mm**, baserat på standardmått och spännvidder för kontorsbyggnader, enligt Byggelement (u.å), se bilagor B1-B2.

Balkar

I modell 1 används rektangulära betongbalkar. Dessa balkar har till uppgift att föra ner de vertikala lasterna, såsom stommens egenvikt och nyttiga laster vidare till pelarna. Balkarna tillverkas i fabrik och transporteras därefter till byggarbetsplatsen. Balkarna utförs



Figur 11. Prefabricerade betongbalkar (ljus silver element).

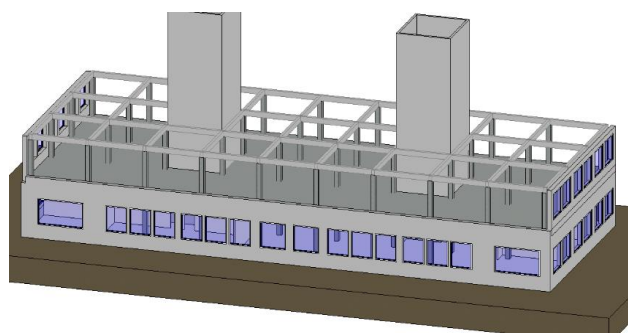
slakarmerade, vilket innebär att armeringsjärnen

inte är förspända. Anledning till att spännarmerade balkar inte väljs är att spännvidderna i modellen är måttliga. Balkarnas dimension väljs till **RB 250/400 mm**, baserat på standardmått enligt rekommendationer från Svensk Betong (u.å.) för de specifika spännvidderna som väljs i modellen, se bilagor B3-B4.

Pelare

I modell 1 används rektangulära prefabricerade betongpelare.

Pelarnas funktion är att föra ner vertikala laster till grunden. De placeras både längs fasaderna och i mittzonen för att ge en jämn och



Figur 12. visar placeringen av rektangulära betongpelare i byggnaden.

balanserad lastfördelning i byggnaden.

Pelarnas höjd är dimensionerade till att motsvara en rumshöjd. Denna höga grad av prefabricering och korta element

förenklar både transport och montering på byggarbetsplatsen.

Till pelarna väljs tre olika tvärsnittsdimensioner baserat på belastning och spännvidder:

- Våning 0–4: **RP 325/325 mm**

- Våning 5–9: **RP 275/275 mm**
- Våning 10–13: **RP 200/200 mm**

Dessa dimensioner har valts utifrån lastberäkningar i brottgränstillstånd, där hänsyn har tagits till laster som är relevanta för kontorsbyggnader. Se bilagor B6-B11. Anledningen till att 3 tvärsnittsdimensioner har valts är att belastningen varierar beroende på pelarens placering i byggnaden, exempelvis pelare i entré bär större last än pelare högre upp i byggnaden.

Betong kärnor

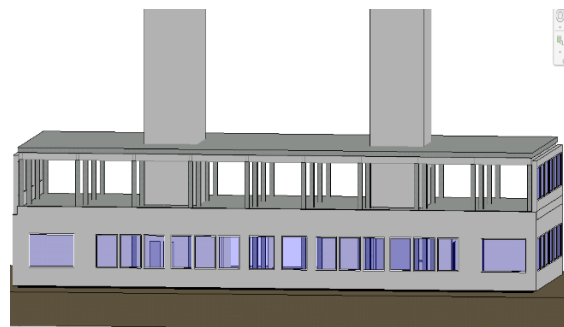
I modell 1 används två platsgjutna betongkärnor, som är placerade vid trapphusen och sträcker sig up mot vindplanet. Denna lösning är inspirerad av stabiliseringsprincipen i byggnaden Brock Commons Tallwood House, som tidigare beskrivits i avsnitt 4.3.3.

Kärnornas dimensioner har valts till

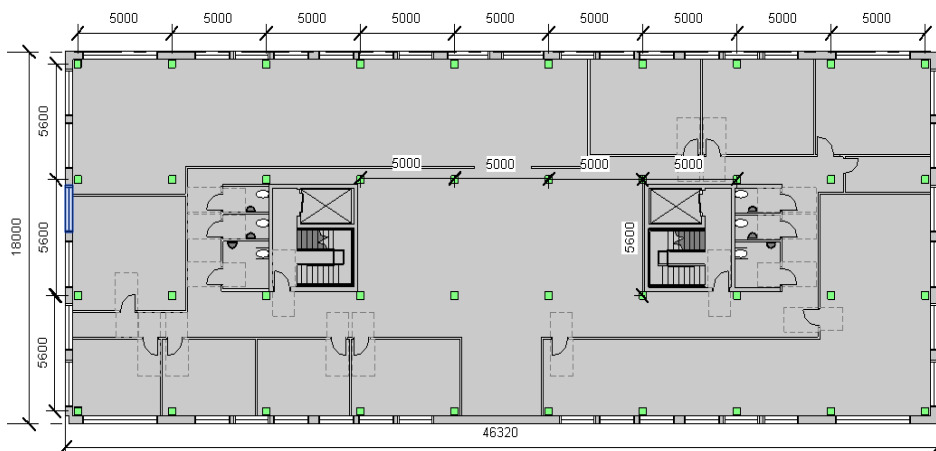
5,0 × 5,6 m. Dimensionerna är framtagna

enligt rekommendation från en arkitekt i en tidigare projekteringskurs.

Vägg tjockleken till schakten väljs till **200 mm**, vilket är ett vanligt standardmått för bärande innerväggar, se bilaga B5. Denna tjocklek klarar 13 våningar med normala laster, enligt Svensk Betong (u.å.)



Figur 13. 3D-vy av de två platsgjutna betongkärnorna i byggnaden.

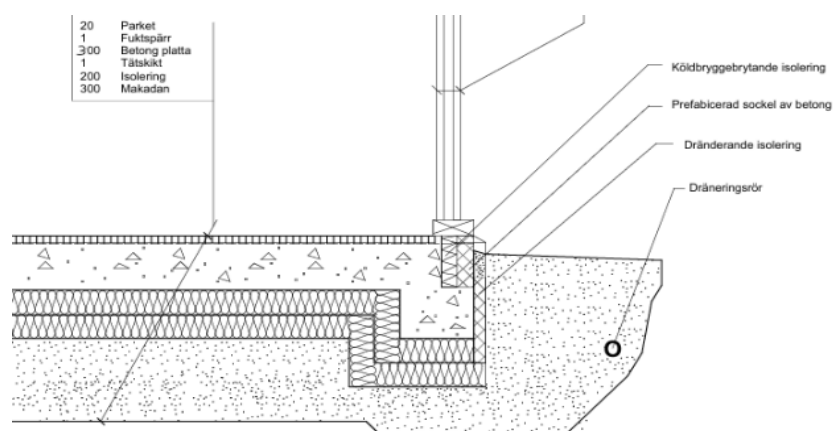


Figur 14. planritning av entréplanet som visar kärnornas placering.

Platta på mark

I modell 1 används en platsgjuten betongplatta, vilken är en vanlig metod som fungerar i alla marktyper. Platta på marks uppgift är att fördela byggnadens vertikala laster ner till undergrunden. Grundläggningen består huvudsakligen av armerad betong som gjuts på plats. Betongplattan täcks av flera skikt underifrån och även längs kanterna med material som isolering, fuktspärr och makadam. Dessa lager används för att isolera plattan och minska värmeförluster, samtidigt som de skyddar den mot fukt (Svenskt Trä, 2020).

Eftersom stommen i modell 1 är tung, väljs plattans tjocklek till **300 mm**, för att effektivt kunna hantera de vertikala lasterna i byggnaden. Se Figur 15.

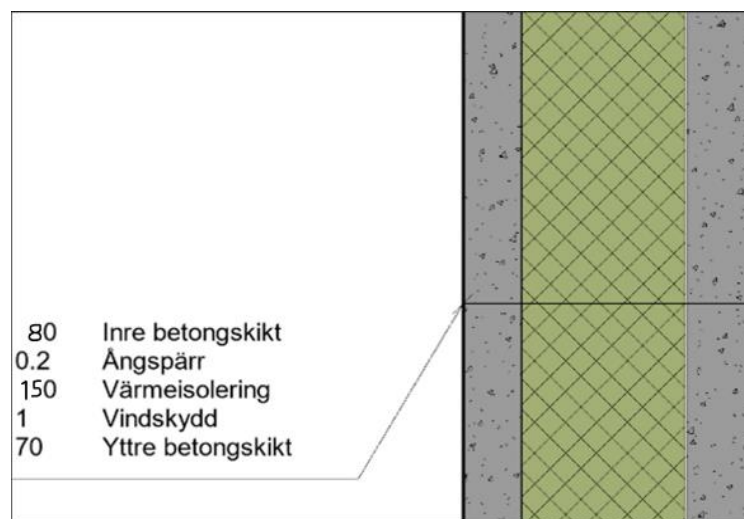


Figur 15. Platta på mark för modell 1, inklusive konstruktionsdetaljer.

Ytterväggar

I modell 1 används utfackningsväggar i betong för byggnadens fasader. Dessa väggar är utformade för att enbart bära sin egenvikt. Utfackningsväggar funktion är att skydda inomhusmiljön mot yttre påverkan såsom klimat och buller, samt att minska energiförluster genom byggnaden. En fördel med denna lösning är att väggarnas utseende och materialval kan anpassas fritt, vilket gör det lättare att utforma och designa till moderna fasader. Väggarna prefabriceras i fabrik och transporteras färdiga till byggarbetsplats för montering, vilket innebär kortare byggtid och lägre byggkostnader (Stomkom, 2024).

Väggjockleken väljs till 300 mm, därav **150 mm** av väggen är betongmaterial. (Strandberg och Laven, 2021). Se Figur 16.



Figur 16. Uppbyggnad av yttervägg i betongmodellen, inklusive skikt för isolering, ångspärr och vindskydd.

5.1.2 Insamlade projektdata

Tabell 1. Projektdata för betongmodellen.

Plats	Johanneberg, Göteborg
Byggnadstyp	Kontorshus
Antal våningar	13 våningar + entréplan
Byggnads Area	18 x 46,32 = 834 m ²
Total bruttoarea	834 x 14 = 11 673 m ²
Byggnadshöjd	45,8 m
Våningshöjd [normalplan]	3,2 m
Våningshöjd [entréplan]	4,2 m
Stomtyp	Pelardäcksystem
Livslängd	100 år
Snö zon	Göteborg
Nyttiga laster [Kontorshus]	2,5 kN/m ²
Snö last	1,8 kN/m ²
Antal personer per våning	60 st

5.1.3 Sammanställning av dimensioner och materialdata

Tabell 2. Dimensioner och materialdata för byggnadsdelar i betongmodellen.

Betongkvalitet	C 35/45
Betongdensitet	2400 kg/m ³
Cementdensitet	1450 kg/m ³
Typ av armering	K 500CT
Antal pelare per våningsplan	40 st
Antal balkar per våningsplan	66 st - 36 i x-riktning & 30 i y-riktning
Håldäckbjälklags [tjocklek]	270 mm
Håldäckbjälklags [håldiametern]	120 mm
Håldäckbjälklags [antal hål totalt i en våning]	90 st
Balkdimension I (b x h x l) [x-riktning]	(250 x 400 x 5000) mm
Balkdimension II (b x h x l) [y-riktning]	(250 x 400 x 5600) mm
Pelardimension I (b x h x l) [våning 13 - 10]	(200 x 200 x 2530) mm
Pelardimension II (b x h x l) [våning 9 - 5]	(275 x 275 x 2530) mm
Pelardimension III (b x h x l) [våning 4 - 1]	(325 x 325 x 2530) mm
Pelardimension III (b x h x l) [entréplan]	(325 x 325 x 3530) mm
Betongschakt dimension x-led (b x h x t)	(5000 x 45 800 x 200) mm
Betongschakt dimension y-led (b x h x t)	(5600 x 45 800 x 200) mm
Dimensionen på platta på mark (l x b x t)	46 920 x 18 600 x 300 mm
Ytterväggs tjocklek [endast betong]	150 mm

5.1.4 Beräkning av betongmängd i modellen

Tabell 3. Dimensioner och mängdberäkning i betongmodellen.

Element	Antal	Volym mm ³
Bjälklag	14	$18\,000 \times 46\,320 \times 270 - ((120^2 \times \pi / 4 \times 46\,320) \times 90 \text{ st})$
Balk I	36 x 14	250 x 400 x 5000
Balk II	30 x 14	250 x 400 x 5600
Pelare I	40 x 4	200 x 200 x 2530
Pelare II	40 x 5	275 x 275 x 2530
Pelare III	40 x 4	325 x 325 x 2530
Pelare entré	40 x 1	325 x 325 x 3530
Schakt	2	$2 \times (5000 \times 200 \times 45\,800) + 2 \times (5600 \times 45\,800 \times 200)$
Platta på mark	1	18 600 x 46 920 x 300
Yttervägg [0 - 13]	2	$150 \times (45\,800 \times 46\,320 + 18\,000 \times 46\,320)$

5.2 Modell 2: Byggnad med hybridstomme

Den andra modellen utgår från samma kontorsbyggnad och samma bärande system som den tidigare modellen, men här kombineras trä och betong i stommen. Stommens bärande delar är byggda i limträ och består av pelare, balkar och bjälklag.

Ytterväggarna är uppbyggda i trä med tillägg av skikt för ljud- och värmeisolering.

Byggnaden stabiliseras på samma sätt som betongmodellen, genom två bärande betongkärnor. Anledning till att betong används i dessa kärnor är att betongs tyngd och styvhet bidrar till ökad stabilitet i höga byggnader, särskilt vid hantering av vindlaster som är en stor utmaning i lätta konstruktioner. Den fungerar också som skydd mot brand då materialet i trapphus är obrännbart, vilket skapar en säker zon för utrymning vid en brand. Betong används även i grundläggningen ”platta på mark” vid entréplanet för att ge stabil grund och undvika fuktskador.



Figur 17. Visualisering av kontorshus med hybridstomme, visad i både fasadvy och 3D-planvy.

5.2.1 Stomdelar och dess dimensioner

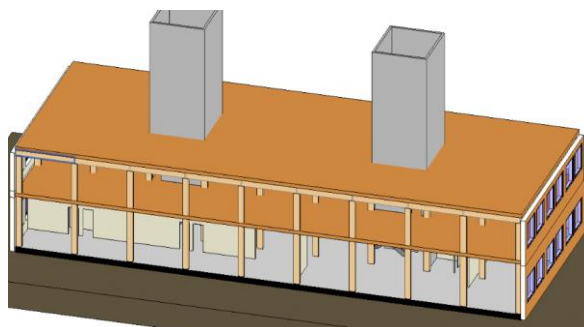
Bjälklag

I modell 2 används bjälklag av limträ. Limträ består av ett antal trälameller som limmas samman, vilket ger materialet hög hållfasthet och styvhet för att klara stora laster och långa

spännvidder. Valet av limträ beror även på dess miljöfördelar (Svenskt Trä, 2025).

Tvårsnittsdimensionen för bjälklaget väljs till

115 x 270 mm. Dimensionen är framtagen med hjälp av Svensk Trä digitala beräkningsverktyg för golvbjälklag inomhus, se bilaga B13. Beräkningen utgår från typiska belastningar enligt europeisk standard, med hänsyn till bjälklagets egentnygd och nyttig last. Materialets hållfasthetsklass är bestämd till **GL30c**, vilket är en standardklass inom svensk limträ tillverkning.



Figur 18. Bjälklag av limträ i hybridmodellen.

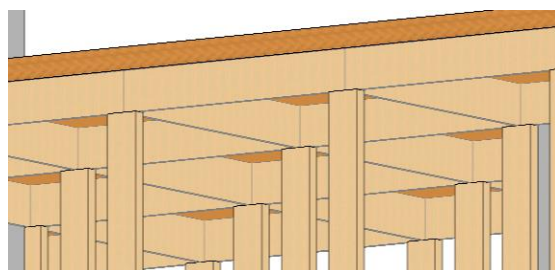
Balk

I modell 2 används limträbalkar med rektangulärt tvärsnitt. Dessa balkar är placerade mellan pelare och sträcker sig i planens längs och tvärriktning, vilket ger en jämn lastfördelning.

Balkens dimensioner har tagits fram genom handberäkningar baserade på den

maximala belastningen som en balk utsätts för, med hänsyn till laster som är relevanta för kontorsbyggnader, se bilaga B14. Dimensionen väljs till **78 x 540 mm** enligt

beräkningarna. Tvärsnittsmåttet är framtaget utifrån Svenskt Träs dimensioneringstabell för limträbalkar, där bredd och höjd beror på belastning och spännvidd. Materialets hållfasthetsklass väljs också till **GL30c**, vilket är en vanlig standard på den svenska marknaden.



Figur 19. Limträbalkar i hybridmodellen (horisontella element mellan pelarna).

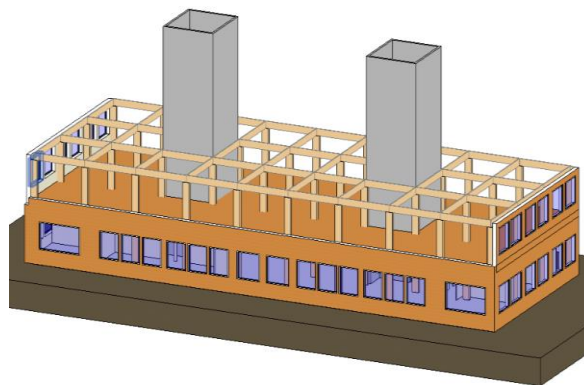
Pelare

I modell 2 används limträpelare med rektangulärt tvärsnitt. Pelarna placeras med 5 meter mellanrum i x-led och 5,6 meter i y-led. Pelarnas höjd är dimensionerade till att motsvara en rumshöjd och har till uppgift att föra vertikala laster ner till grunden.

Till pelarna väljs tre olika tvärsnittsdimensioner baserat på belastning och spännvidder:

- Våning 0–4: **140 x 630 mm**
- Våning 5–9: **140 x 360 mm**
- Våning 10–13: **140 x 225 mm**

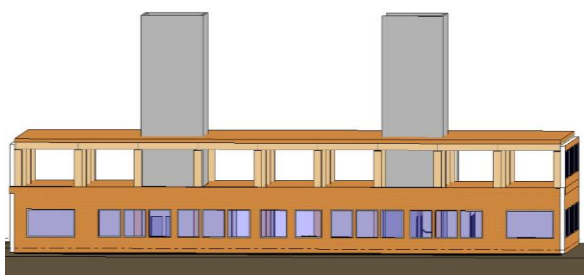
Den tryckande dimensionerande normalkraften i pelarna har tagits fram genom handberäkningar till den mest belastade pelare på varje våningsplan, med hänsyn till relevanta laster för kontorsbyggnader. Kapacitetsberäkningar har genomförts enligt Eurokod 5 med hjälp av boken ”Bärande konstruktioner del 2”, där knäckning i både styv och svag leden beaktades. Tvärsnittsmåtten är hämtade från Svenskt Träs standardtabeller för limträpelare. Hållfasthetsklassen till materialet väljs också till den vanlig standardklass **GL30c**. Se bilagor B16-B23.



Figur 20. Placering av limträpelare i hybridmodellen.

Betong kärnor

I modell 2 används samma stabiliseringssystem som i modell 1. Kärnornas funktion är att säkerställa stabilitet i byggnaden. Trapphusen fungerar dessutom som effektiva brandskydd och utrymningsvägar om en brand pågår. Material och dimensioner är precis densamma som i modell 1.

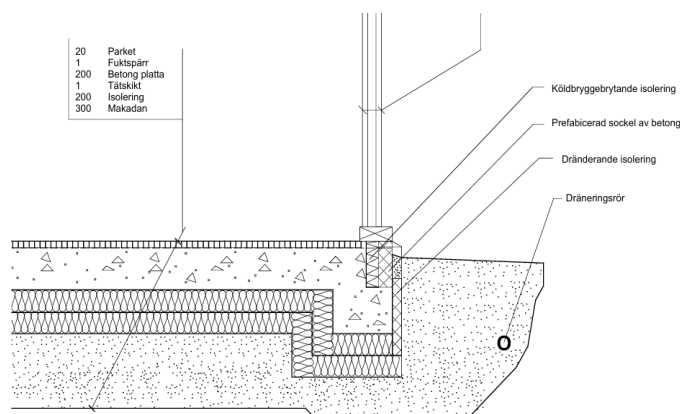


Figur 21. Betongkärnor i hybridmodellen.

Platta på mark

I modell 2 används samma grundläggningsmetod som i modell 1 en platsgjuten betongplatta. Plattan täcks noggrant med skyddande skikt och isoleringsmaterial för

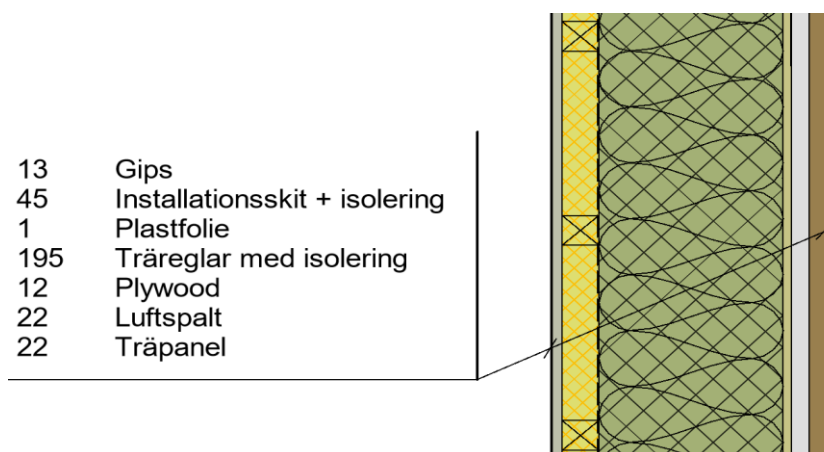
att förhindra fukttransport till trästomdelarna i byggnaden. Tjockleken på betongplattan väljs till **200 mm**, vilket är mindre än i betongmodellen. Anledningen till en tunnare platta är att hybridmodellen har lägre egenvikt jämfört med en betongstomme. Dimensionerna i detaljen är bestämda i samråd med en arkitekt i en tidigare projekteringskurs.



Figur 22. Platta på mark för modell 2, inklusive konstruktionsdetaljer.

Ytterväggar

I modell 2 används ytterväggar med ytterskikt av limträpanel. Dessa väggar är utformade för att enbart bära sin egenvikt. Väggens funktion är att skydda inomhusmiljön från yttre påverkan såsom klimat och störande ljud, samt att minska energiförluster genom byggnaden. Den totala väggstjockleken, inklusive alla skikt uppgår till 310 mm. Vid beräkningar av limträåtgång i hybridstommen har endast träpanelen inkluderats. Panelens tjocklek har valts till **22 mm** med hållfasthetsklass **GL30c**. Dessa dimensioner i detaljen är bestämda i samråd med en arkitekt i en tidigare projekteringskurs.



Figur 23. Uppbyggnad av yttervägg i hybridmodellen.

5.2.2 Insamlade projektdata

Tabell 4. Projektdata för hybridmodellen.

Plats	Johanneberg, Göteborg
Byggnadstyp	Kontorshus
Antal våningar	13 våningar + entréplan
Byggnads Area	18 x 46,32 = 834 m ²
Total bruttoarea	834 x 14 = 11 673 m ²
Byggnadshöjd	45,8 m
Våningshöjd [normalplan]	3,2 m
Våningshöjd [entréplan]	4,2 m
Stomtyp	Pelardäcksystem
Livslängd	100 år
Snö zon	Göteborg
Nyttiga laster [Kontorshus]	2,5 kN/m ²
Snö last	1,8 kN/m ²

5.2.3 Sammanställning av dimensioner och materialdata

Tabell 5. Dimensioner och materialdata för byggnadsdelar i hybridmodellen.

Limträ kvalitet	GL30c
Betongkvalitet	C 35/45
Limträ densitet	430 kg/m ³
Betongdensitet	2400 kg/m ³
Cementdensitet	1450 kg/m ³
Typ av armering	K 500CT
Bjälklags [tjocklek]	270 mm
Balkdimension I (b x h x l) [x-riktning]	(78 x 540 x 5000) mm
Balkdimension II (b x h x l) [y-riktning]	(78 x 540 x 5600) mm
Pelardimension I (b x h x l) [våning 13 - 10]	(140 x 225 x 2390) mm
Pelardimension II (b x h x l) [våning 9 - 5]	(140 x 360 x 2390) mm
Pelardimension III (b x h x l) [våning 4 - 1]	(140 x 630 x 2390) mm
Pelardimension III (b x h x l) [entréplan]	(140 x 630 x 3390) mm
Betongschakt dimension x-led (b x h x t)	(5000 x 45 800 x 200) mm
Betongschakt dimension y-led (b x h x t)	(5600 x 45 800 x 200) mm
Dimensionen på platta på mark (l x b x t)	46 940 x 18 620 x 200 mm
Ytterväggs tjocklek [limträ]	22 mm

5.2.4 Materialåtgång i byggnaden

Limträåtgång

Tabell 6. Dimensioner och mängdberäkning av limträ i hybridmodellen.

Element	Antal	Volym mm ³
Bjälklag	13	(18 000 x 46 320 x 270)
Balk I	36 x 14	78 x 540 x 5000
Balk II	30 x 14	78 x 540 x 5600
Pelare I	40 x 4	140 x 225 x 2390
Pelare II	40 x 5	140 x 360 x 2390
Pelare III	40 x 4	140 x 630 x 2390
Pelare entré	40 x 1	140 x 630 x 3390
Yttervägg [1 - 13]	2	22 x (45 800 x 46 320 + 18 000 x 46 320)

Betongåtgång

Tabell 7. Dimensioner och mängdberäkning av betong i hybridmodellen.

Element	Antal	Volym mm ³
Schakt	2	2 x (5000 x 200 x 45 800) + 2 x (5600 x 45 800 x 200)
Platta på mark	1	18 620 x 46 940 x 200
Bjälklag [vindsplan]	1	18 000 x 46 320 x 270 - ((120 ² x π / 4 x 46 320) x 90 st)

6 Resultat

I detta kapitel redovisas resultaten från jämförelsen mellan de studerade stomtyperna, med fokus på deras egenskaper och skillnader i tekniska krav. Därefter presenteras de beräknade materialmängderna för både betong- och hybridstommen, vilket omfattar betongåtgången i betongstommen samt både trä- och betongmängderna i hybridstommen. Dessa mängder utgör grunden för de efterföljande miljöanalyser.

Vidare redovisas resultaten från handberäkningar av klimatpåverkan under tillverkningsfasen, med fokus på utsläpp kopplade till cementproduktionen. För hybridstommen presenteras även resultaten för koldioxidlagring i limträ. Slutligen presenteras resultaten från en livscykelanalys (LCA) genomförd i verktyget ”One Click LCA”. Analysen omfattar byggnadens totala livscykel och ger en helhetsbild av klimatpåverkan för både hybrid- och betongstommen.

6.1 Jämförelsen mellan trä- och betongstomme

Detta avsnitt sammanfattar resultat från litteraturstudien avseende jämförelsen mellan trä- och betongstommar i byggnader som överstiger åtta våningar.

Tabell 8. Resultat vid jämförelsen mellan betong-och trästomme.

Egenskap	Trästomme	Betongstomme
Ljudisolering	Kräver extra åtgärder i bjälklag	Mycket god ljudisoleringsförmåga
Stabilitet	Kräver extra förstärkning (t.ex. betongkärna)	Mycket god, betongväggar och kärnor ger hög stabilitet
Miljöpåverkan	Lägre klimatpåverkan	Högre klimatpåverkan
Transport	Enklare transporter (låg vikt)	Mer krävande transporter (hög vikt)
Byggtid	Kortare byggtid	Längre byggtid
Spännvidd	Korta spännvidder	Långa spännvidder
Flexibilitet	Mycket god (lätt att bearbeta)	Mindre flexibilitet (svårt att bearbeta)
Uppvärmning	Låg termisk massa (ojämn inomhustemperatur, högre energibehov)	Hög termisk massa (jämn inomhustemperatur, lägre energibehov)
Brandmotstånd	Sämre brandmotstånd (kräver mer brandskydd)	Mycket gott brandmotstånd (A1-klassat material)
Resurseffektivitet	Mer resurseffektiv	Mindre resurseffektiv
Fuktkänslighet	Fuktkänslig, kräver noggrant fuktskydd	Tålig mot fukt
Hållfasthet	Hög draghållfasthet	Hög tryckhållfasthet
Beständighet	Kräver mer underhåll, lägre livslängd	Låg underhållsbehov, lång livslängd
Formbarhet	Lätt att bearbeta, hög formbarhet	Mindre bearbetningsbar, men mycket formbar i design
Bärförmåga	Lägre bärförmåga (klarar mindre laster)	Hög bärförmåga (klarar stora laster)

6.2 Skillnader i tekniska krav mella trä-, betong- och hybridstommar

Utifrån den genomförda litteraturstudien framträder tydliga skillnader i tekniska krav för trä-, betong- och hybridstommar inom områdena stabilitet, brandskydd, akustik och fuktsäkerhet.

Stabilitet

Betongstommar erbjuder generellt hög stabilitet, särskilt i höga byggnader, på grund av sin höga egenvikt och lång etablerad användning. Trästommar kräver däremot särskilda stabiliseringsåtgärder, såsom krysstag, skivverkan eller kombination med andra material, för att uppnå tillräcklig horisontell styvhet. Detta är särskilt viktigt i höga träbyggnader där vindlasten kan orsaka sidoflyttningar. Hybridstommar utnyttjar fördelarna hos båda materialen, träs låga vikt och betongens styvhet för att uppnå god stabilitet i byggnaden.

Brandskydd

Betong är ett obrännbart material och kräver därför färre brandskyddsåtgärder. Trästommar däremot kräver både passiva skyddssystem, exempelvis gipsskivor och isolering, samt aktiva skyddssystem som sprinklers. TCC-bjälklag har visat sig vara effektiv för att förbättra brandsäkerheten i träkonstruktioner. Hybridstommar kan, genom att utnyttja betongens egenskaper, minska behovet av omfattande brandskyddsåtgärder för trädelarna.

Akustik

Betongstommar har goda akustiska egenskaper på grund av materialets höga massa och densitet, vilket naturligt dämpar ljud. Trästommar kräver däremot kompletterande åtgärder för att uppnå goda ljudnivåer, särskilt vad gäller luftljud och stegljud. Exempel på sådana åtgärder är användning av KL-träbjälklag, TCC-bjälklag samt akustiskt isolerade material. Hybridstommar som kombinerar trä och betong erbjuder förbättrade akustiska egenskaper jämfört med rena trästommar, tack vare betonginslag som bidrar till bättre ljuddämpning.

Fuktsäkerhet

Betongstommar är motståndskraftiga mot fukt. Trästommar är däremot känsliga för fukt, vilket kan leda till krympning, formändring och försämrad bärförmåga. I hybridstommar kan fuktproblem uppstå i gränzoner där trä och betong möts, exempelvis vid anslutningar mellan träbjälklag och betongkärnor. För att motverka detta krävs fuktskyddande åtgärder, såsom fuktspärr eller användning av björknäver i anslutningszoner mellan materialen.

6.3 Stommaterialens mängder

I detta avsnitt redovisas de beräknade materialmängderna för respektive stomme, både i volymenhet (m³) och massa (ton).

6.3.1 Betongåtgång i betongstomme

Den totala betongvolymen som använts i betongstommen uppgår till **4 625 kubikmeter**, vilket motsvarar en uppskattad massa på cirka **11 100 ton**. Utifrån en antagen cementhalt på 15 procent av betongens volym, beräknas cementåtgång till cirka **1 665 ton**, motsvarande en volym på **1 148 kubikmeter**. Se Tabell 9.

Tabell 9. Betongåtgång i betongstomme.

Element	Volym (m ³)	Massa [ton]
Bjälklag	2 492	5 981
Balk I	252	605
Balk II	235	564
Pelare I	16	39
Pelare II	38	92
Pelare III	43	103
Pelare entré	15	36
Schakt	388	932
Platta på mark	262	628
Yttervägg [0–13]	884	2 121
Total betongåtgång	4 625	11 100
Uppskattat cementbehov	1 148	1 665

6.3.2 Betong- och träåtgång i hybridstomme

Träåtgång i hybridstomme

Den totala limträvolymen i hybridstommen uppgår till **3 343 kubikmeter**, vilket motsvarar en uppskattad massa på cirka **1 438 ton**. Se Tabell 10.

Tabell 10. Limträåtgång i hybridstommen.

Element	Volym [m ³]	Massa [ton]
Bjälklag	2926	1258
Balk I	106	45,6
Balk II	99	42,6
Pelare I	12	5,2
Pelare II	24	10,4
Pelare III	34	14,5
Pelare entré	12	5,1
Yttervägg [0–13]	130	56
Total limträåtgång	3 343	1 438

Betongåtgång i hybridstomme

Den totala betongåtgången i hybridstommen uppgår till **741 kubikmeter**, vilket motsvarar en beräknad massa på cirka **1 779 ton**. Med samma antagande om cementhalt som tidigare 15 procent beräknas cementbehovet till cirka **267 ton**, motsvarande en volym på **184 kubikmeter**. Se Tabell 11.

Tabell 11. Betongåtgång i hybridstommen.

Element	Volym [m ³]	Massa [ton]
Schakt	388	932
Platta på mark	175	420
Bjälklag [vindsplan]	178	427
Total betongåtgång	741	1 779 ton
Totalt cementbehov	184	267 ton

6.4 Miljöpåverkan - handberäkningar

Detta avsnitt redovisar de beräknade utsläppen av koldioxid vid produktion av cement i betongen för båda stommar. Dessutom presenteras mängden koldioxid som lagras i trädelarna i hybridstommen.

6.4.1 Klimatpåverkan från betongstommen

Den totala klimatpåverkan från betongstommen uppgår till cirka **1 248 800 kg CO₂**, vilket avser utsläpp från cementproduktionen i samband med uppförandet av stommen. Cementmängden uppgår till cirka **1 665 ton**, vilket motsvarar 15 procent av betongens totala massa. Som riktvärde har ett genomsnitt på **750 kg CO₂ per ton cement** använts. Se Tabell 12.

Tabell 12. koldioxidutsläpp för cementproduktion i betongstommen.

Mängdbetong [ton]	Mängdcement [ton]	Utsläpp totalt [kg CO ₂]
11 100	1 665	1 248 800

6.4.2 Klimatpåverkan från hybridstommen

Den totala klimatpåverkan från hybridstommen uppgår till cirka **200 120 kg CO₂**, vilket är utsläpp som orsakas av cementproduktion kopplad till betongsdelarna i hybridstommen. Cementmängden uppgår till cirka **267 ton**. Se Tabell 13.

Tabell 13. koldioxidutsläpp för cementproduktion i hybridstommen.

Mängdbetong [ton]	Mängdcement [ton]	Utsläpp totalt [kg CO ₂]
1 779	267	200 120

6.4.3 Koldioxidlagring i hybridstommen

Limträmaterialiet i hybridstommen fungerar som en kolsänka. Den totala mängden limträ uppgår till cirka **3 343 kubikmeter**, vilket motsvarar en lagring av **2 507 360 kg CO₂**. Detta är mängden koldioxid som träet har bundit under sin tillväxt och som förblir lagrad under byggnadens livslängd. Se Tabell 14.

Tabell 14. Koldioxidlagring i hybridstomme.

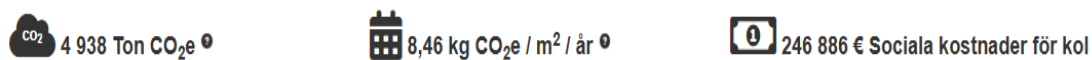
Volym limträ [m ³]	Lagring totalt [kg CO ₂]
3343	2 507 360

6.5 Miljöpåverkan enligt One click LCA

Detta avsnitt redovisar miljöpåverkan för respektive stomme under hela byggnaders livscykel. Tidigare beräkningar har enbart omfattat miljöpåverkan från cementproduktion och har inte tagit hänsyn till andra livscykelfaser, såsom transporter, drift eller rivning av byggnaden. För att inkludera dessa faser har programvaran "One click LCA" använts. Resultaten presenteras nedan.

6.5.1 Total miljöpåverkan för betongstommen

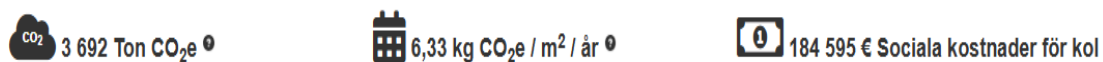
Den totala utsläppen för betongstommen uppgår till **4 938 ton CO₂e** under byggnadens livslängd. Analysen omfattar samtliga livscykelfaser med undantag för faserna B1-B5. Utsläppen motsvarar en klimatpåverkan på **8,46 CO₂e /m²/ år**. Denna påverkan medför en uppskattad samhällskostnad på **246 886 euro**. Se Figur 24.



Figur 24. Total klimatpåverkan och beräknade sociala kostnader för betongstommen.

6.5.2 Total miljöpåverkan för hybridstommen

Den totala utsläppen för hybridstommen uppgår till **3 692 ton CO₂e** under byggnadens livslängd. Detta motsvarar en klimatpåverkan på **6,33 CO₂e/m²/ år**. Denna påverkan medför en uppskattad samhällskostnad på **184 595 euro**. Klimatpåverkan för hybridstommen är ungefär **25 % lägre** jämfört med betongstommen. Se Figur 25.



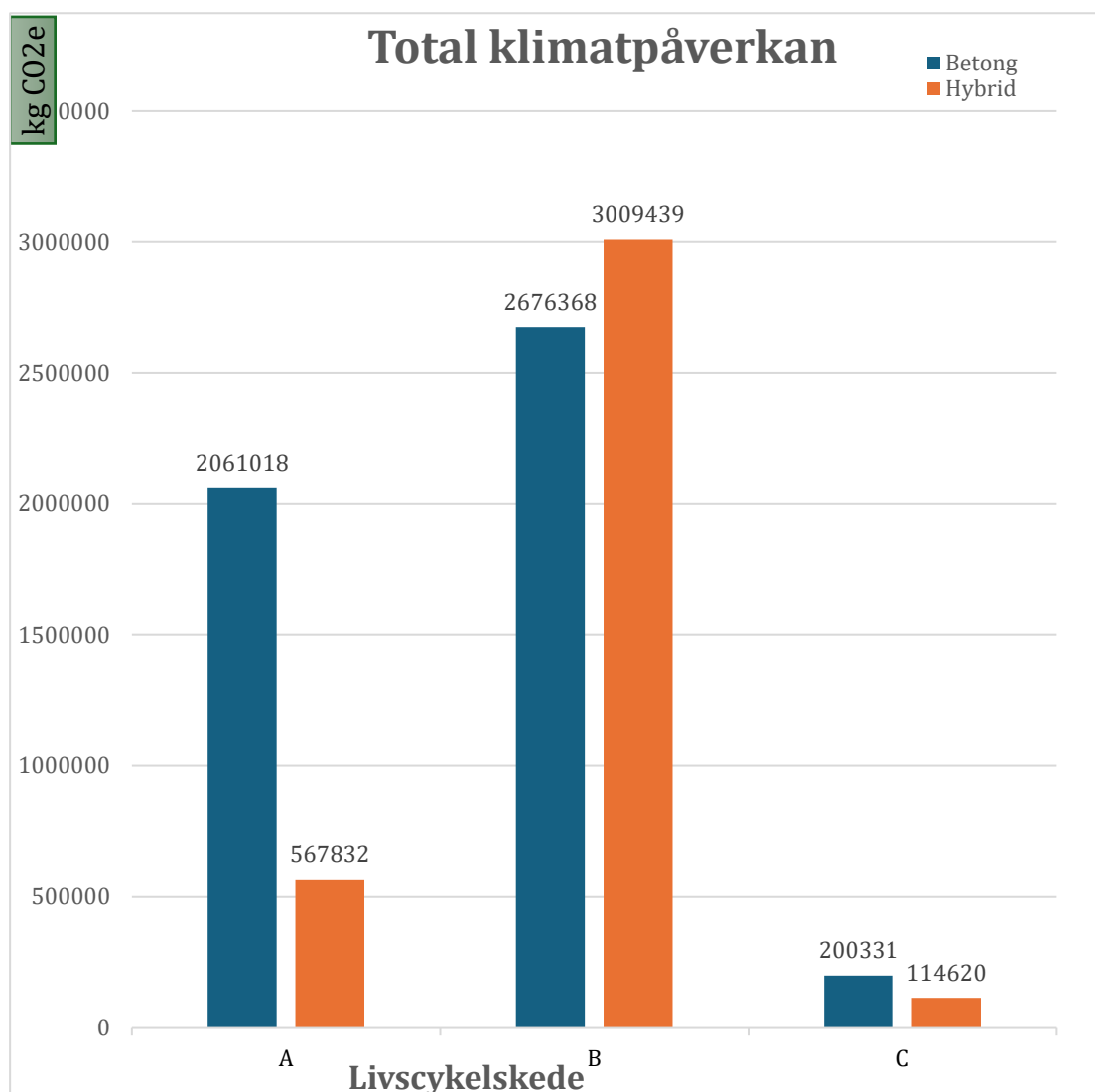
Figur 25. Total klimatpåverkan och beräknade sociala kostnader för hybridstommen.

6.5.3 Miljöpåverkan i bygg-, användnings och slutskede

Figur 26 visar den totala klimatpåverkan för betong- och hybridstommen, uppdelad på livcykelskedan A1-A5 (byggskede), B6-B7 (användningsskede) och C1- C4 (slutskede). Resultaten visar att hybridstommen har lägre klimatpåverkan i både byggskedet och slutskedet, medan påverkan under användningsskedet är högre.

Sammanfattningsvis är klimatpåverkan i byggskedet (A) för ett kontorshus med betongstomme cirka fyra gånger högre än för ett motsvarande hus med hybridstomme.

Under användningsskedet (B) orsakar hybridstommen däremot omkring 13 % högre koldioxidutsläpp. I slutskedet (C) är klimatpåverkan från betongstommen ungefär dubbelt så stor som från hybridstommen. Se Figur 26.



Figur 26. Miljöpåverkan för bygg-, användnings- och slutskede.

6.5.4 Klimatpåverkan per livscykelstadium

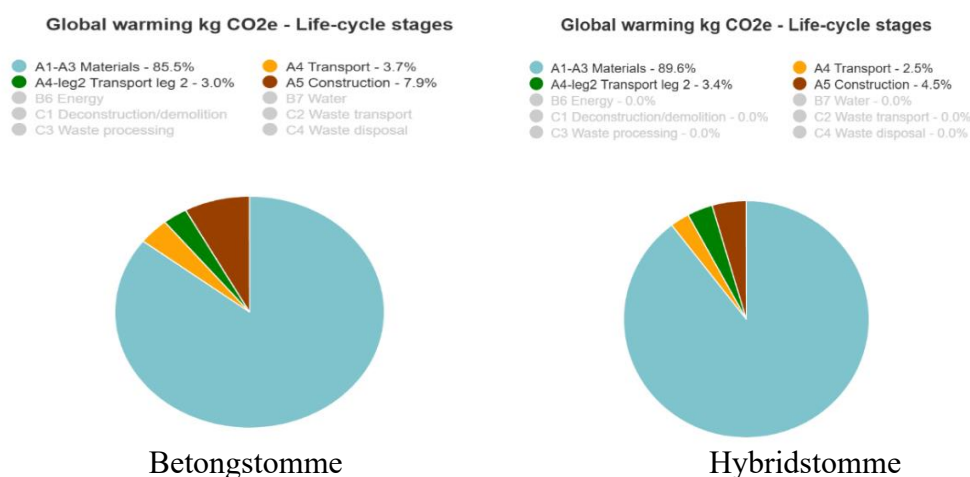
I detta avsnitt redovisas en mer detaljerad fördelning av klimatpåverkan för respektive stomme, uppdelad på livscykelstadierna byggskedet (A1-A5), användningsskedet (B6-B7) och slutskedet (C1-C4).

Klimatpåverkan i Byggskedet (A1-A5)

Produktskedet (A1-A3) står för den största andelen. För betongstommen utgör produktskedet **85,5 %** av den totala klimatpåverkan i byggskedet, medan motsvarande andel för hybridstommen är **89,6 %**. Produktionensskedet (A4- A5) står för **14,5 %**

av byggskedets klimatpåverkan i betongstommen och **10,4 %** i hybridstommen. Se Figur 27.

Tabell 15 visar mängden koldioxidutsläpp uppdelat per livscykelstadium för respektive stomme. Resultaten visar att miljöpåverkan från produktionskedet (A1-A3) för betongstommen är ungefär fyra gånger större än för hybridstommen. Även miljöpåverkan från byggproduktionsskedet (A4-A5) är cirka tre gånger större än för hybridstommen. Se Tabell 15.



Figur 27. Klimatpåverkan i byggskedet (A1–A5) för respektive stommsystem.

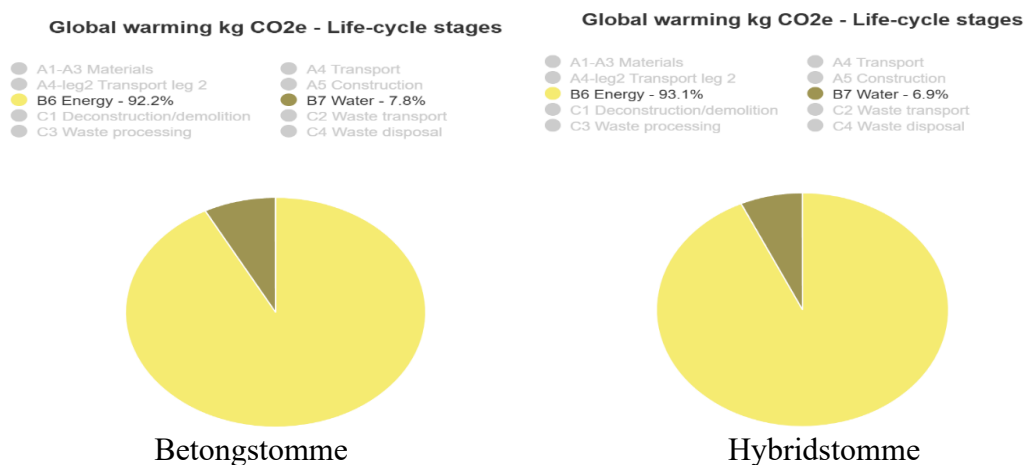
Tabell 15. Utsläpp av växthusgaser i byggskedet för respektive stommsystem.

Kategori	Betongstomme [kg CO ₂ e]	Hybridstomme [kg CO ₂ e]
A1-A3 Material	1 846 550	485 450
A4 Transport	52 150	20 883
A4-leg 2	69 808	16 837
A5 Konstruktion	92 511	44 662
A-skede totalt	2 061 018	567 832

Klimatpåverkan i Användningsskedet (B6-B7)

Resultaten visar att uppvärmningsfasen (B6) står för den största delen av klimatpåverkan under användningsskedet för båda stommar. För betongstommen utgör uppvärmningsfasen 92,2 % av den totala klimatpåverkan i användningsskedet, medan motsvarande andel för hybridstommen är 93,1 %. Vattenförbrukningsfasen (B7) står för 7,8 % av användningsskedets klimatpåverkan i betongstommen och 6,9 % i hybridstommen. Se Figur 28.

Tabell 16 visar mängden koldioxidutsläpp uppdelat per livscykelstadium för respektive stomme. Resultaten visar att miljöpåverkan från vattenförbrukningsfasen (B7) är samma hos både stommarna. Medan miljöpåverkan från uppvärmningsfasen (B6) för hybridstommen är cirka 13 % högre än för betongstomme. Se Tabell 16.



Figur 28. Klimatpåverkan i användningsfasen (B6–B7) för respektive stommsystem.

Tabell 16. Utsläpp av växthusgaser i användningsskedet för respektive stommtyp.

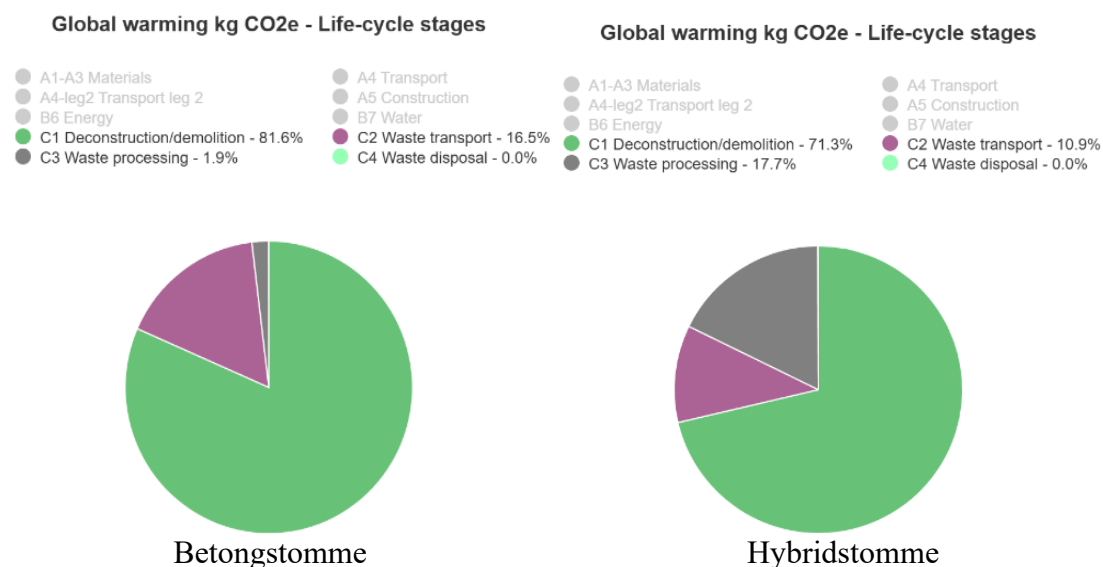
Kategori	Betongstomme [kg CO ₂ e]	Hybridstomme [kg CO ₂ e]
B6 Energiförbrukning	2 468 924	2 801 995
B7 Vattenförbrukning	207 444	207 444
B-skede totalt	2 676 368	3 009 439

Klimatpåverkan i Slutskedet (C1-C4).

Resultaten visar att rivningsfasen (C1) står för den största andelen av klimatpåverkan i slutskedet för båda stommarna. För betongstommen utgör rivningsfasen 81,6 % av den totala klimatpåverkan i slutskedet, medan motsvarande andel för hybridstommen är 71,3 %. Avfallstransporten (C2) är den näst största källan till utsläpp för betongstommen, där klimatpåverkan är betydligt högre jämfört med hybridstommen. Se Figur 29.

Sammanfattningsvis är faserna C1 och C2 mer klimatbelastande för betongstommen, medan avfallshantering (C3) och slutlig deponering (C4) utgör en större andel av

klimatpåverkan i hybridstommen. Rivningsfasens påverkan är ungefär dubbelt så stor för betongstommen som för hybridstommen, och påverkan från avfallstransporten är nästan tre gånger högre. Se Tabell 17.



Figur 29. Klimatpåverkan i slutskedet (C1–C4) för respektive stommsystem.

Tabell 17. Utsläpp av växthusgaser i slutskedet för respektive stommsystem.

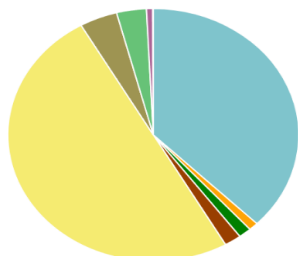
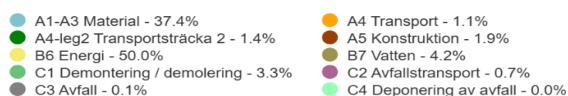
Kategori	Betongstomme [kg CO ₂ e]	Hybridstomme [kg CO ₂ e]
C1 Demontering	163 422	81 760
C2 Avfallstransport	33 137	12 526
C3 Avfallshantering	3 735	20 285
C4 Deponering av avfall	38	48
C-skede totalt	200 331	114 620

6.5.5 Omfattande miljöpåverkansanalys

Figur 30 visar procentuell fördelning av utsläpp i varje livscykel-fas, vilket ger en tydlig jämförelse av hur klimatpåverkan fördelar sig mellan de olika faserna för betong- respektive hybridstomme.

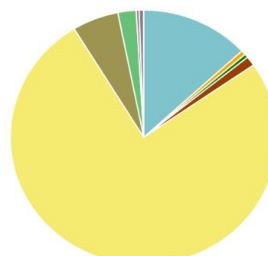
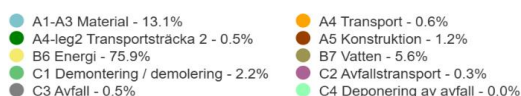
Resultaten visar att uppvärmningsfasen (B6) står för den största andelen av klimatpåverkan under byggnadens livslängd för båda stommarna. Produktskede (A1-A3) är den näst största källan till utsläpp, där miljöpåverkan är betydligt högre för betongstommen jämfört med hybridstommen.

Global uppvärmning kg CO₂e - Livscykelkedan



Betongstomme

Global uppvärmning kg CO₂e - Livscykelkedan



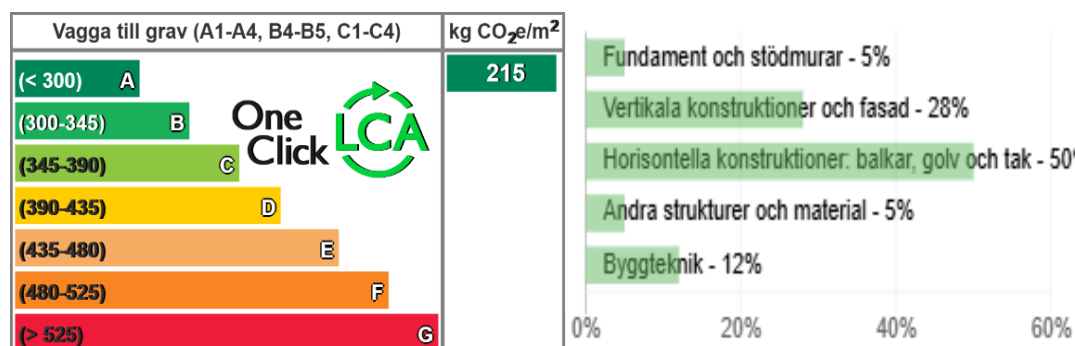
Hybridstomme

Figur 30. Fördelning av klimatpåverkan under hela livsyteln för respektive stomsystem.

6.5.6 LCA-klassificering och koldioxidutsläpp per byggnadsdel

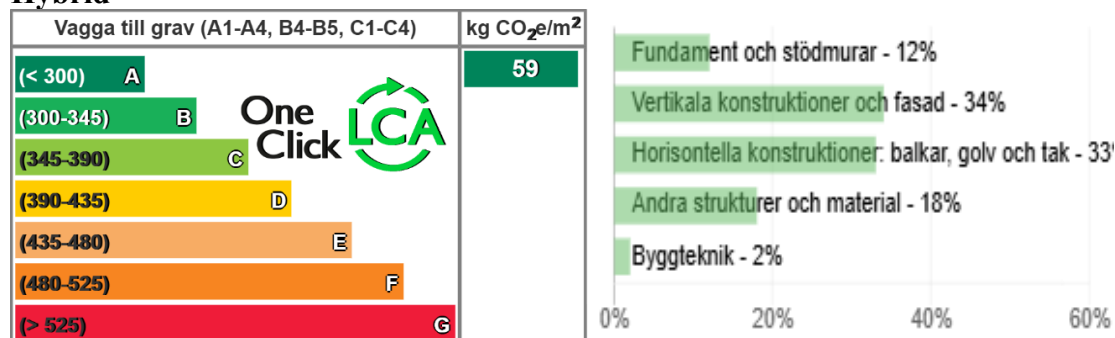
Resultaten nedan visar klimatpåverkan fördelat på byggnadsdelar, enligt One Click LCA klassificering.

Betong



Figur 31. One Click LCA-klassificering för betongstommen samt fördelning av koldioxidutsläpp per byggnadsdel.

Hybrid



Figur 32. One Click LCA-klassificering för hybridstommen samt fördelning av koldioxidutsläpp per byggnadsdel.

7 Diskussion

I detta kapitel diskuteras metodval samt resultaten från litteraturstudien och miljöanalys från fallstudien.

7.1 Metodens styrkor och begränsningar

Detta arbete bygger på en kombination av litteraturstudie, modellering, dimensionering, handberäkningar och livscykelanalys (LCA). Metodupplägget har varit lämpligt för att undersöka både tekniska och miljömässiga aspekter hos stommaterialen och stomtyperna, men vissa begränsningar bör lyftas fram.

Litteraturstudien gav en god översikt över materialens egenskaper och byggtkniska krav. Den var också viktig för att förstå sambanden mellan stomval och miljöpåverkan. En svaghet är att delar av informationen bygger på källor från branschorganisationer, vilket kan innebära en viss osäkerhet. För att motverka detta har flera olika källor använts och jämförts mot varandra.

Modelleringen i Revit och beräkningen av materialmängder gav ett bra underlag för LCA-analysen. Även om vissa byggnadsdelar, såsom ventilationsrum på vindsplanet samt invändiga komponenter som innerväggar, trappor och innerdörrar, inte inkluderades i beräkningen, påverkar detta inte jämförbarheten mellan stommarna. Eftersom dessa komponenter är identiska i båda modellerna och består av samma material, antas deras klimatpåverkan vara likvärdig, vilket innebär att den relativa skillnaden i resultat mellan stommarna förblir oförändrad.

Dimensioneringen av bärande delar utgick från standardvärden och gällande normer, vilket är en rimlig nivå för ett examensarbete. Mer detaljerade konstruktionsberäkningar, exempelvis för knutpunkter mellan balkar, bjälklag och pelare, hade kunnat ge ännu mer exakta materialmängder. Dessa detaljer bedömdes dock som försumbara i arbetet, då de antas påverka båda stommarna likvärdigt. Eftersom studien fokus låg på att jämföra skillnaden i miljöpåverkan snarare än fastställa exakta värden för varje enskild komponent, användes förenklade beräkningar i de delar där miljöpåverkan förväntades vara likvärdig i båda fallen.

Handberäkningarna av klimatpåverkan från cementproduktion fungerade som ett bra komplement till LCA-verktyget. Skillnaden mellan handberäkningen och resultatet från One Click LCA uppgick till cirka 32 %, vilket visar att manuella beräkningar inte ger en fullständig bild, men de gav ändå en bra uppfattning om storleksodningen och fungerade som en rimlighetskontroll.

Analysen i One klick LCA gav en god helhetsbild av miljöpåverkan under byggnadens livscykel. Samtidigt bygger verktyget på vissa standardiserade värden och antaganden, till exempel gällande återvinning och materialdata. Resultaten bör därför tolkas med viss försiktighet, särskilt vid jämförelse med specifika verkliga projekt där förutsättningarna kan skilja sig åt.

Sammanfattningsvis har metoden varit tillräckligt omfattande för att kunna besvara arbetets syfte och frågeställningar. Resultaten möjliggör en tydlig jämförelse mellan de olika stomtyperna, men det finns utrymme för att i framtiden använda mer detaljerade modeller och projektanpassade materialdata.

7.2 Tekniska skillnader i praktiken

Under arbetsgång blev det tydligt att valet av stommaterial påverkar byggnaden på flera plan, inte bara ur teknisk synvinkel, utan även ur praktisk och miljömässig synpunkt. Betong visade sig, inte oväntat, vara ett stabilt val för höga byggnader där krav på bärighet, brandsäkerhet och akustik är höga. Det märktes särskilt i de dimensioneringsberäkningar som gjordes, där betong tillät smalare bjälklag och högre fri rumshöjd.

Trä, å andra sidan, kräver mer i form av konstruktionshöjd för att klara av samma spännvidder. Det syntes tydligt i modellen av hybridstommen, där träelement krävde större höjd och därmed ledde till lägre fri rumshöjd. I praktiken kan det bli ett hinder, särskilt i kontorsbyggnader där tekniska installationer behöver få plats ovan undertak. Skulle man ha ett fast krav på en viss fri rumshöjd, hade hybridstommen behövt byggas högre totalt sett, något som påverkar både byggkostnad och möjlig byggvolym och därmed miljöpåverkan skulle bli högre.

7.3 Reflektion kring LCA och klimatpåverkan

Resultaten från LCA-verktyget visar tydligt att hybridstommen har en lägre klimatpåverkan över byggnadens livslängd. Minskningen på cirka 25% är inte obetydlig, särskilt med tanke på att byggsketorn står för en stor andel av de globala utsläppen. Att en stor andel av klimatpåverkan dessutom kommer från produktskedet (A1-A3) understrycker hur avgörande valet av stommaterial är.

En intressant iakttagelse är att hybridstommen visade något högre klimatpåverkan under användningsskedet. Det beror främst på ett högre energibehov för uppvärmning, troligen ett resultat av träets lägre värmetröghet jämfört med betong. Det visar att miljöpåverkan inte är statisk utan varierar över livscykeln, och att materialval påverkar mer än bara produktionen.

7.4 Övergripande reflektioner

Det går inte att säga att ett stommaterial är bättre än ett annat, det beror helt på sammanhanget. Betong erbjuder stabilitet och robusthet, medan hybrid kan ge tydliga klimatvinster. Men som alltid finns det kompromisser.

För att verkligen bygga hållbart krävs det att man ser till helheten: teknik, miljö, ekonomi och funktion måste vägas samman.

Det här arbetet har visat att det går att minska byggnaders klimatpåverkan genom att tänka mer flexibelt kring materialval. Samtidigt behövs tekniska behovs tekniska anpassningar för att göra dessa lösningar långsiktigt hållbara.

8 Slutsats

8.1 Tekniska skillnader och jämförelse mellan stomtyper

Jämförelsen visar att både betong- och trästommar har sina respektive fördelar och begränsningar, beroende på vilka tekniska och funktionella krav som ställs på byggnaden.

Betongstommen framstår som det mest lämpliga alternativet för höga byggnader där stabilitet, brandsäkerhet, akustik och långa spännvidder är avgörande. Dess tekniska egenskaper, som hög tryckhållfasthet, stor värmetröghet och god ljudisolering, bidrar till stabil och hållbar konstruktion över tid. Detta sker dock på bekostnad av hög klimatpåverkan samt längre byggtid, särskilt vid platsgjutning.

Hybridstommen, som kombinerar trä med betong, medför flera fördelar ur miljö- och resurseffektivitetsperspektiv. Den möjliggör kortare byggtid och erbjuder större flexibilitet i byggprocessen. Denna typ av stomlösning lämpar sig därför särskilt väl för låga till medelhöga byggnader där kraven på brandskydd och stabilitet är måttlig, och där klimatpåverkan och bygglogistik prioriteras. Det är dock tekniskt möjligt att bygga högt med hybridstommar av trä och betong, men detta kräver fler kompletterande åtgärder för att uppfylla krav på akustik, brandsäkerhet och stabilitet, vilket ofta medför ökade kostnader.

Slutsatsen är att valet mellan betong- och hybridstomme bör baseras på en helhetsbedömning av faktorer som byggnadens höjd, miljömål, tekniska krav och ekonomiska förutsättningar. Det finns därför inget entydigt bästa alternativ, båda stomlösningarna har sina fördelar och lämpar sig för olika typer av byggnadsprojekt inom hållbart byggande.

8.2 Miljöpåverkan och livscykelphasernas betydelse

Resultaten tyder på att hybridstommen har totalt cirka 25 % lägre klimatpåverkan än betongstommen. De totala utsläppen för hybridstommen uppgår till cirka 3 692 ton CO_{2e}, vilket motsvarar 6,33 kg CO_{2e}/ m²/ år, medan betongstommens utsläpp uppgår till cirka 4 938 ton CO_{2e}, motsvarande 8,46 kg CO_{2e}/ m²/ år.

Handberäkningarna av klimatpåverkan från cementproduktion (A1) visade utsläpp på cirka 1 249 ton CO₂ för betongstommen. Detta jämförs med resultatet från One Click LCA för hela produktskedet (A1-A3), som uppgår till 1847 ton CO₂.

Handberäkningen är därmed cirka 32 procent lägre än One Click LCA- resultatet.

Vid närmare analys av livcykelfaserna framgår det att byggskedet (A1-A5) är betydligt högre för betongstommen. För ett kontorshus med betongstomme är klimatpåverkan ungefär fyra gånger större än för motsvarande hybridstomme. Den största andelen utsläpp kommer från produktskedet (A1-A3), där cementproduktionen utgör en stor del av utsläppen. Även transport och byggproduktion (A4-A5) uppvisar högre utsläpp i betongstommen.

När det gäller användningsskedet (B6-B7), som totalt sett står för den största klimatpåverkan under byggnadens livslängd, visar resultaten att hybridstommen orsakar cirka 13 % högre koldioxidutsläpp jämfört med betongstommen. Skillnaden beror främst på uppvärmningsfasen som dominerar detta skede.

I slutskedet (C1-C4) är klimatpåverkan från betongstommen ungefär dubbelt så stor som från hybridstommen. Framför allt rivningsfasen (C1) och avfallstransport (C2) uppvisar betydligt högre utsläpp för betongstommen, medan avfallshantering (C3) och slutlig deponering (C4) utgör en större andel i hybridstommen.

Sammanfattningsvis visar analysen att hybridstommen är det mest miljövänliga alternativet i denna analys. Den ger lägre klimatpåverkan i både bygg- och slutskede och därmed bidra till att minska en byggnads totala klimatavtryck. Resultaten indikerar att minskad användning av betong, i kombination med ökad andel förnybara material som trä i bärande konstruktioner, bidrar till att minska byggnaders klimatavtryck.

9 Förslag till fortsatt studier

I fallstudien analyserades samtliga livscykel-faser för betong- respektive hybridstomme, förutom faserna B1-B5 (underhålls- och ombyggnadsfaser), eftersom dessa kräver detaljerad information om användning, underhållsplaner och materialens livslängd, vilket kan innebära omfattande analyser för att kvantifiera faserna exakt. Ett förslag till fortsatt studie är därför att undersöka hur faserna B1-B5 påverkar den totala klimatpåverkan i en livscykelanalys? Vilka skillnader i underhållsbehov och livslängd kan förväntas mellan betong- respektive hybridstomme, samt hur dessa faktorer i sin tur påverkar resultatet?

I detta examenarbete undersöks tre typer av stommar (trä, betong och hybrid) ur ett tekniskt och miljömässigt perspektiv. En möjlig fortsättning på studie skulle kunna vara att undersöka den sociala aspekten genom att besvara följande frågor:

Hur påverkas människors upplevelse av trygghet och välmående när de vistas i ett kontorshus där interiören domineras av trä, jämfört med ett kontor byggt helt i betong? Vilket fasadsmaterial ger ett bättre intryck hos människor som ser byggnaden från utsidan, särskilt med tanke på vad som anses vara attraktiv och modern design i stadsmiljö?

Utöver examenarbetets frågeställningar finns det mer avancerade konstruktionsfrågor som kan vara värda att undersöka. Exempelvis:

Hur kan anslutningar och förband mellan pelare, balkar och bjälklag utformas i en trästomme av samma typ som modell 2 (ett kontorshus med betongstomme)? Vilka byggtekniska metoder kan användas för att koppla samman de bärande trädelarna med betongkärnorna, med hänsyn till fuktproblem vid direktkontakt mellan materialen? Vilka förstärkningsbehov och utmaningar kan uppstå i de övre våningarna, där vindlaster och horisontella krafter har störst påverkan på stommens stabilitet?

10 Referenser

- Abrahamsen, R. (2017). Mjøstårnet - Construction of an 81 m tall timber building. Hämtad den 2025-03-25 från: <https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/mjostarnet/mjostarnet---construction-of-an-81-m-tall-timber-building.pdf>
- Al-emrani, M., Engström, B., Johansson, C. & Johansson, M. (2020). Litteraturbok. Betongkonstruktioner: Bärande konstruktioner Del 1.
- Al-emrani, M., Engström, B., Johansson, C. & Johansson, M. (2020). Litteraturbok. Träprodukter: Bärande konstruktioner Del 1.
- Betongföreningen. Materialet betong. Hämtad 2025-03-27 från: <https://betongforeningen.se/materialet-betong/>
- Boverket. (2021). Cederhusen i Stockholm. Hämtad 2025-04-26 från: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/utbilda/goda-exempel-pa-arbete-med-klim/cederhusen-i-stockholm/>
- Boverket. (2023). PBL kunskapsbanken. Brandklasser för golv, väggar tak, rörisolering och kablar. Hämtad 2025-04-28 från: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/brandklasserd-for-ytskikt/>
- Boverket. (2023). PBL kunskapsbanken. Brandskyddade trapphus, Tr1 och Tr2. Hämtad 2025-04-22 från: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/trapphus/>
- Boverket. (2024). Introduktion till livscykelanalys (LCA). Hämtad den 2025-04-01 från: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/>
- Boverket. (2024). PBL kunskapsbanken. Bullerskydd. Hämtad 2025-04-25 från: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/bullerskydd/>
- Boverket. (2024). Klimatdeklaration, byggdelar som ingår. Hämtad 2025-05-3 från: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/byggdelar-som-ingar/>

Boverket. (2024). Om klimatdeklaration. Hämtad 2025-05-2 från:
<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/>

Boverket. (2024). PBL kunskapsbanken. Krav på bärverks bärförmåga vid brand. Hämtad 2025-04-22 från: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/brandskydd/barformaga/barverk/>

Boverket. (2025). Klimatmålen och internationella åtaganden. Hämtad 2025-04-30 från: https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/oversiktsplan/allmanna-intressen/hansyn/miljo_klimat/klimatpaverkan/klimatmalen/

Boverket. (2025). Nytt regeringsuppdrag till Boverket om gränsvärden för byggnaders klimatpåverkan. Hämtad 2025-05-2 från:
<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/nyheter/nytt-regeringsuppdrag-till-boverket-om-gransvarden-for-byggnaders-klimatpaverkan/>

Boverket. (2025). Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn. Hämtad 2025-03-2 från: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>

Byggelement. (u.å.). Håldäck (HDF). Hämtad 2025-05-2 från:
<https://byggelement.se/produkter/bjalklag/haldack/>

BYGG.se. (u.å.). Stomsystem – så fungerar det. Hämtad 2025-04-9 från:
<https://bygg.se/stomsystem-sa-fungerar-det/>

Design by cement. (u.å.). Hur började vi inreda med betong? Hämtad 2025-03-9 från:
<https://designbycement.com/hur-borjade-vi-inreda-med-betong/>

Eurotec. (2022). Timber Concrete Composite (TCC) Systems. EXPERT KNOWLEDGE FOR USERS. Hämtad 2025-04-25 från:
https://www.eurotec.team/application/files/7516/5285/4436/HBV_TCC_Broschuere_EN_web.pdf

Elkan, M. (2018). Innovation in hybrid mass timber construction. Brock Commons Tallwood House Performance Overview. Hämtad den 2025-03-26 från:
<https://livinglabs.ubc.ca/sites/default/files/2022-08/%20Performance%20Overview%20%5B2018%5D.pdf>

Folkhem. (2025). Cederhusen. Hämtad den 2025-03-27 från: <https://folkhem.se/vara-bostader/genomforda-projekt-cederhusen>

Husbyggaren (2025). Träbaserade hybridkonstruktioner. Hämtad 2025-03-20 från: <https://www.husbyggaren.se/trabaserade-hybridkonstruktioner/>

Hållbarhetsguiden. (2018). Planetära gränser: så mycket tål jorden. Hämtad 2024-02-24 från: <https://hallbarhetsguiden.se/hallbarhet/planetara-granser-sa-mycket-tal-jorden/>

iBinder. (u.å.). Klimatdeklaration för byggnader. Hämtad 2025-04-30 från: <https://ibinder.com/sv/vart-erbjudande/miljokrav/klimatdeklaration/>

IVL Svenska Miljöinstitutet. (2024). Anvisningar för LCA-beräkningar av byggprojekt, version 2024-06. Hämtad 2025-05-24 från: <https://www.ivl.se/download/18.5c5c41c51900fcf63db278b3/1719484483034/Anvisningar%20f%C3%B6r%20LCA-ber%C3%A4kningar%20av%20byggprojekt%20version%202024-06%20-%2020240627.pdf>

Johansson, M. (2024). En framtid med trä: En framsynanalys för träindustrin med fokus på klimatavtryck, cirkularitet och konkurrenskraft. RISE Rapport 2024:74. Hämtad 2025-03-25 från: <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1908172/FULLTEXT01.pdf>

Larsson, C. (2023). Hybridkonstruktioner i trä och betong: Exempel, dynamiska utvärderingar och numeriska modeller (SBUF Rapport 13721). Skanska Sverige AB. Hämtad den 2025-03-5 från: [https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/75b30cf4-c01d-481f-b7c5-b92650c62f52/FinalReport/SBUF%2013721%20Slutrapport%20-%20lic%20Hybridkonstruktioner%20i%20tr%C3%A4%20och%20betong%20\(1\).pdf](https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/75b30cf4-c01d-481f-b7c5-b92650c62f52/FinalReport/SBUF%2013721%20Slutrapport%20-%20lic%20Hybridkonstruktioner%20i%20tr%C3%A4%20och%20betong%20(1).pdf)

Rise. (u.å.). Vanliga frågor om cement och betong. Katarina Malaga. Hämtad 2025-05-5 från: <https://www.ri.se/sv/vanliga-fragor-om-cement-och-betong>

Rudshult Byggnadsvård AB. (u.å.). Björknäver. Hämtad 2025-04-16 från: <https://www.rudshultbyggnadsvard.se/produkt/Bj%C3%B6rkn%C3%A4ver>

Rundvirke industrier. (u.å.). LCA-analyser, Trä är framtiden. Hämtad 2025-03-24 från: <https://www.rundvirkeindustrier.se/kvalitet-miljo/lca-analyser/>

Naturskyddsföreningen.(2022). Cement, klimat och miljö. Hämtad 2025-04-23 från: <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/cement-klimat-och-miljo/>

Naturvårdsverket. (2013). Hälsoeffekter av buller. Hämtad den 2025-03-12 från: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/buller/halsoeffekter-av-buller/>

Naturvårdsverket. (2025). Klimatet och bygg- och fastighetssektorn. Hämtad 2025-03-2 från:

<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimat-och-bygg--och-fastighetssektorn/>

Naturvårdsverket. (u.å.). Klimatanpassning. Hämtad 2024-02-24 från:

<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatanpassning/#E-1995209060>

Segerkvist. A. (2022). Fukthantering i träkonstruktioner under produktionsfasen.

Examensarbete. Hämtad 2025-03-27 från:

<https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=9087012&fileOid=9087026>

SO-rummet. (u.å.). Industriella revolutionen. Hämtad 2025-04-3 från: <https://www.so-rummet.se/kategorier/historia/det-langa-1800-talet/industriella-revolutionen>

SO-rummet. (u.å.). Sveriges industrialisering. Hämtad 2025-04-3 från:

<https://www.so-rummet.se/kategorier/sveriges-industrialisering>

Stomkom. (2024). Yttervägg konstruktion. Hämtad 2025-05-5 från:

<https://www.stomkom.se/yttervagg-konstruktion/>

Strandberg, B. & Laven, F. (2021). Litteraturbok. Betongväggar: Bygga Hus, Illustrerad bygglära.

Svensk betong. (u.å.). Balkar. Hämtad 2025-05-3 från:

<https://www.svenskbetong.se/om-betong/prefab/statik/balkar>

Svensk Betong. (u.å.). Beständighet. Hämtad 2025-03-28 från:

<https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/bestandighet>

Svensk Betong. (u.å.). Betongens egenskaper. Hämtad 2025-03-28 från:

<https://www.svenskbetong.se/om-betong/platsgjutet/betongens-egenskaper>

Svensk betong. (u.å.). Brand. Hämtad 2025-04-22 från:

<https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/brand>

Svensk betong. (u.å.). Dimensionering av väggelement. Hämtad 2025-05-4 från:

<https://www.svenskbetong.se/om-betong/prefab/statik/vaggar-massivvagg-v-och-sandwichvagg-w/dimensionering-av-vaggelement>

Svensk betong. (u.å.). Fukt och uttorkning. Hämtad 2025-04-16 från:

<https://www.svenskbetong.se/om-betong/platsgjutet/betongens-egenskaper/fukt-och-uttorkning>

Svensk Betong. (u.å.). Hållfasthet och slitstyrka. Hämtad 2025-03-28 från:

<https://www.svenskbetong.se/om-betong/platsgjutet/betongens-egenskaper/hallfasthet-och-slitstyrka>

Svensk betong. (u.å.). Ljud. Hämtad 2025-04-23 från:

<https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/ljud>

Svensk Betong. (u.å.). Naturligt material. Hämtad 2025-03-27 från:

<https://www.svenskbetong.se//om-betong/fakta-egenskaper/naturligt-material#>

Svensk Betong. (u.å.). Produktionsmetoder. Hämtad 2025-03-27 från:

<https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/produktionsmetoder>

Svensk Betong. (u.å.). Transporter. Hämtad 2025-03-29 från:

<https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/transporter>

Svensk betong. (u.å.). Återvinning & Återbruk. Hämtad 2025-04-22 från:

<https://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/atervinning-aterbruk>

Svenskt Trä. (2014). Brandsäkert byggande. Hämtad 2025-04-22 från:

<https://www.svenskttra.se/publikationer-start/tidningen-tra/2014-2/brandsakert-byggande/>

Svenskt Trä. (2017). Skydd av enskilda konstruktionsdelar. 2017-01-19. Hämtad 2025-04-5 från:

<https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/projektering-av-limtrakonstruktioner/limtra-och-brand/brandskydd-av-trakonstruktioner/skydd-av-enskilda-konstruktionsdelar/>

Svenskt Trä. (2017). Inverkan på de mekaniska egenskaperna för trä. Hämtad 2025-04-15 från: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/mekaniska-egenskaper1/inverkan-pa-de/>

Svenskt Trä. (2017). Bjälklag. 2017-07-07. Hämtad 2025-04-24 från:

<https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/bjalklag/>

Svenskt Trä. (2018). Stabilisering av Brock Commons. Hämtad 2025-04-25 från:

<https://www.svenskttra.se/publikationer-start/tidningen-tra/2018-3/stabiliseringssystem-for-flervaningshus/>

Svenskt Trä. (2018). Stabilisering av Mjøstårnet. Hämtad 2025-04-25 från:

<https://www.svenskttra.se/publikationer-start/tidningen-tra/2018-3/stabiliseringssystem-for-flervaningshus/>

Svenskt Trä. (2018). Stabiliseringssystem för flervåningshus. Hämtad 2025-04-25

från: <https://www.svenskttra.se/publikationer-start/tidningen-tra/2018-3/stabiliseringssystem-for-flervaningshus/>

Svenskt Trä. (2020). Platta på mark. Hämtad 2025-05-4 från:

<https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/grundlaggning/grundlaggning/platta-pa-mark/>

Svenskt Trä. (2021). Brandegenskaper. Hämtad 2025-03-31 från:

<https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/termiska-egenskaper/brandegenskaper/>

Svenskt Trä. (2023). Trä tar plats i staden - Cederhusen. Hämtad 2025-04-27 från:

<https://www.svenskttra.se/om-oss/aktuellt/2023/1/tra-tar-plats-i-staden-cederhusen/>

Svenskt Trä. (2025). Bygg klimatsmart. Hämtad 2025-03-25 från:

<https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/varfor-tra/bygg-klimatsmart/>

Svenskt Trä. (2025). Om limträ. Hämtad 2025-05-14 från:

<https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/om-limtra/>

Svenskt Trä. (2025). Varför trä? Hämtad 2025-03-24 från:

<https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/varfor-tra/>

Västsvenska Handelskammaren. (2024). Göteborgs kontorsmarknad. Hämtad 2025-

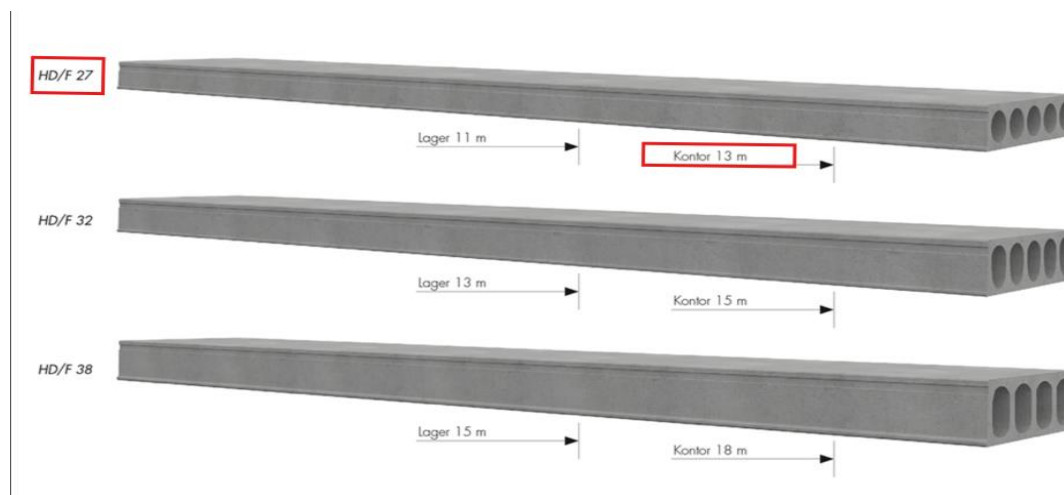
04-3 från: <https://www.vastsvenskahandelskammaren.se/artiklar/goteborgs-kontorsmarknad-2024/>

Östman, B. (2008). Akustik i träbyggnader. Trä guiden. Hämtad 2025-04-8 från:

<https://www.traguiden.se/globalassets/forskning/akustik/bygg-och-teknik/akustik-i-trabyggnader-bygg-o-teknik-4-08.pdf>

11 Bilagor

Dimensionering av håldäcksbjälklag:



Figur B1. Håldäckstyper HD/F med typiska spännvidder.

Källa: <https://byggelement.se/produkter/bjalklag/haldack/>

Håldäck, HD/F



Beteckning	Höjd, mm	Massa, c:a kg/m ²
HD/F 120/19	185	275
HD/F 120/20	200	255 - 330
HD/F 120/27	265	320 - 440
HD/F 120/32	320	385 - 400
HD/F 120/38	380	
HD/F 120/40	400	415 - 500
HD/F 120/50	500	610

Figur B2. Tekniska data för olika håldäckselement HD/F, inklusive höjd och massa.

Källa: <https://www.svenskbetong.se/om-betong/prefab/produktredovisning/komponenter-till-hus-och-anlaggning/dackelement>

Dimensionering av betongbalkar:

Tabell 9k Vanliga spännvidder för slakarmerade balkar

Balk- typ	Tvärsnittshöjd (cm)	Spännvidd								
		3	5	10	15	20	25	30	35	40
RB	30	■								
	40	■	■							
	50	■	■	■						
	60	■	■	■	■					
	70	■	■	■	■	■				
	80	■	■	■	■	■	■			

Figur B3. Vanliga spännvidder för slakarmerade balkar beroende på tvärsnittshöjd.

Källa: <https://www.svenskbetong.se/om-betong/prefab/statik/balkar>

Rektangulära balkar, RB och RB/F

Bredd/Höjd cm	Bredd/Höjd cm
20/40	25/50
20/50	25/60
20/60	25/70

Figur B4. Vanliga dimensioner (bredd/höjd) för rektangulära balkar.

Källa: <https://www.svenskbetong.se/om-betong/prefab/produktredovisning/komponenter-till-hus-och-anlaggning/balkar>

Dimensionering av betongschakt:

Tabell 9ab Antal våningar som en betongvägg klarar med ett bjälklag med massan 600 kg/m². Värdena gäller för väggens lastkapacitet i brottgränstillstånd. Bostadsrumshöjd=knäcklängd (max 3 meter). Antal våningar bostadslast

	Spännvidd		
	Vägg tjocklek	6 m	12 m
150 mm	12	6	
200 mm	16	8	
250 mm	20	10	

Figur B5. Antal våningar som en betongvägg med bjälklagslast 600 kg/m² klarar vid olika vägg tjocklekar och spännvidder. En 200 mm tjock vägg klarar en spännvidd 6 m för upp till 16 våningar.

Källa: <https://www.svenskbetong.se/om-betong/prefab/statik/vaggar-massivagg-v-och-sandwichagg-w/dimensionering-av-vaggelement>

Dimensionering av betongpelare:

Byggnads area	$A := 18 \text{ m} \cdot 46.32 \text{ m} = 833.76 \text{ m}^2$, Antal pelare = 40 st / våning
Nyttiglast	$N_{\text{nyttig}} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	
Snölast beräkning för Göteborg:		
$s_k := 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$, $\mu := 0.8$	Vid lutning 0-30 grader
$s_d := s_k \cdot \mu = 1.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$, $y_d := 1$	säkerhetsfaktor
Dimensionerande snölast i brottgränstillstånd	$S := s_d \cdot 1.5 \cdot y_d = 1.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	
$N_{\text{snö}} := S \cdot \frac{A}{40} = 37.519 \text{ kN}$	per pelare	
Massa= densitet*volym		
Egentyngd=massa*tyngdaccelration		
$\rho := 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	
1: Bjälklags egentyngd		
bjälklags tjocklek	$h_{\text{bjälklag}} := 270 \text{ mm}$	
bjälklags Area = byggnads area	$A = 833.76 \text{ m}^2$	
bjälklags Volym =	$V := A \cdot h_{\text{bjälklag}} = 225.115 \text{ m}^3$	
bjälklags massa =	$m_{\text{bjälklag}} := \rho \cdot V = (5.403 \cdot 10^5) \text{ kg}$	
bjälklags Egentyngd	$N_{\text{bjälklag}} := m_{\text{bjälklag}} \cdot g = (5.3 \cdot 10^3) \text{ kN}$	
bjälklags Egentyngd per pelare	$N_{\text{bjälklag.pelare}} := \frac{N_{\text{bjälklag}}}{40} = 132.503 \text{ kN}$	

Figur B6. Handberäkning i Mathcad av dimensionerande kraft som en betong pelare utsätts för.

2: balkarnas egentyngd

Vid valet av pelarens dimension, utgår vi från den pelaren som är mest belastad i byggnaden

$$\begin{array}{l} \text{Balk dimension:} \\ h_{balk} := 400 \text{ mm} \\ b_{balk} := 250 \text{ mm} \end{array} \quad \begin{array}{l} l_{balk.x} := 5.0 \text{ m} \\ l_{balk.y} := 5.6 \text{ m} \end{array}$$

$$\text{Balkens Area} \quad A_{balk} := h_{balk} \cdot b_{balk} = 0.1 \text{ m}^2$$

$$\text{Balkens Volym x-ritning} = \quad V_{balk.x} := A_{balk} \cdot l_{balk.x} = 0.5 \text{ m}^3$$

$$\text{Balkens massa x-ritning} = \quad m_{balk.x} := \rho \cdot V_{balk.x} = (1.2 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$\text{Balkens Egentyngd x-ritning} \quad N_{balk.x} := m_{balk.x} \cdot g = 11.772 \text{ kN}$$

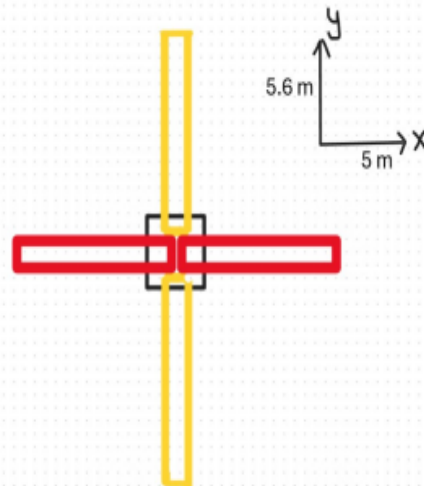
$$\text{Balkens Volym y-ritning} = \quad V_{balk.y} := A_{balk} \cdot l_{balk.y} = 0.56 \text{ m}^3$$

$$\text{Balkens massa y-ritning} = \quad m_{balk.y} := \rho \cdot V_{balk.y} = (1.344 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$\text{Balkens Egentyngd y-ritning} \quad N_{balk.y} := m_{balk.y} \cdot g = 13.185 \text{ kN}$$

Den mest belastad pelare bär upp en balks egentyngd i x-riktning och en balks egentyngd i y-riktning

$$N_{balk} := N_{balk.y} + N_{balk.x} = 24.957 \text{ kN}$$



Figur B7. Handberäkning i Mathcad av dimensionerande kraft som en betong pelare utsätts för.

Total normalbelastning per pelare:

$$N_{tot} := N_{bjällklag.pelare} + N_{balk} + N_{nyttig} \cdot \frac{A}{40} = 209.569 \text{ kN}$$

där $A = 833.76 \text{ m}^2$ byggnadsarea

En Pelare egentyngd

$$\rho \cdot A_{pelare} \cdot l_{pelare} \cdot g, \quad l_{pelare} := 3.2 \text{ m} - h_{balk} - h_{bjällklag} = 2.53 \text{ m}$$

Dimension I

$$b_{pelare} := 200 \text{ mm} \quad h_{pelare} := 200 \text{ mm} \quad A_{pelareI} := b_{pelare} \cdot h_{pelare} = 0.04 \text{ m}^2$$

$$\text{Pelare från våning 13 ner till 10} = N_{pelareI} := \rho \cdot A_{pelareI} \cdot l_{pelare} \cdot g = 2.383 \text{ kN}$$

I -Från våning 13 ner till 10 väljs pelare dimension för **200 x 200 mm**

$$\text{där Maximala kraft blir} \quad N_{tot.13.10} := N_{tot} \cdot 4 + N_{pelareI} \cdot 3 + N_{snö} = 882.945 \text{ kN}$$

Dimension II

$$b_{pelare2} := 275 \text{ mm} \quad h_{pelare2} := 275 \text{ mm} \quad A_{pelareII} := b_{pelare2} \cdot h_{pelare2} = 0.076 \text{ m}^2$$

$$\text{Pelarna tyngd från våning 9 ner till 5} = N_{pelareII} := \rho \cdot A_{pelareII} \cdot l_{pelare} \cdot g = 4.505 \text{ kN}$$

II -Från våning 9 ner till 5 väljs pelare dimension för **275 x 275 mm**

$$N_{tot.9.5} := N_{tot} \cdot 8 + 4 \cdot (N_{pelareI} + N_{pelareII}) + N_{snö} = (1.742 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Dimension III

$$b_{pelare3} := 325 \text{ mm} \quad h_{pelare3} := 325 \text{ mm} \quad A_{pelareIII} := b_{pelare3} \cdot h_{pelare3} = 0.106 \text{ m}^2$$

III -Från våning 5 ner till entreplan väljs pelare dimension för **325 x 325 mm**

Pelarna tyngd från våning 5 ner till entreplan =

$$N_{pelareIII} := \rho \cdot A_{pelareIII} \cdot l_{pelare} \cdot g = 6.292 \text{ kN}$$

$$N_{tot.5.0} := N_{tot} \cdot 13 + 4 \cdot (N_{pelareI} + N_{pelareII}) + 5 \cdot N_{pelareIII} + N_{snö} = (2.821 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Figur B8. Handberäkning i Mathcad för total normalbelastning och val av pelardimensioner i tre nivåer.

Home

Design of concrete column based on EC2 Swedish Annex

Concrete EC2

Section
 $h_w = 200$ mm
 $b_w = 200$ mm

Diameter
 $d_{sl} : \varnothing 12$ mm
 $d_{st} : \varnothing 8$ mm

Effective length
 $l = 2.50$ m

a) b) c) d) e) f) g)

Cover
 XC1
 Max vct_{ekv}: =0.90
 Life class: L100

Manual calculation

$c_{v,1} = 20$ mm
 $c_{v,2} = 20$ mm
 $c_{v,3} = 20$ mm
 $c_{v,4} = 20$ mm

2nd order moment calculation
 Stiffness method
 Curvature method

Imperfection
 a) Based on EC2
 b) $e_1 = 5$ mm

Settings
 : $A_{st,min}$
 $\alpha_{cc} : 1.00$

Effective creep
 $\Psi_{ef} = 1.49$

Material
 Concrete: C35/45 $f_{ck} = 35$ MPa
 Steel: K500C-T $f_{yk} = 500$ MPa

Ultimate loads
 $N_{Ed} = -883$ kN
 $M_{Edy} =$ kNm
 $M_{Edz} =$ kNm

$N_{Rdmax} = b_w h_w f_{cd} + A_{stot} f_{yd} = -1523$ kN

$n = \frac{N_{Ed}}{N_{Rdmax}} = 0.58 \leq 1.0$ 😊

$M_{Rdy} = F_{cd} \left(\frac{h_w}{2} - \frac{\lambda x}{2} \right) + F_{s2} \left(\frac{h_w}{2} - d_2 \right) - F_{s1} \left(\frac{h_w}{2} - d_1 \right) = 35.4$ kNm

$n = \frac{M_{Edy,fi}}{M_{Rdy}} = 0.5 \leq 1.0$ 😊

Biaxial bending

$\frac{\lambda z}{\lambda y} = 1 \leq 2.0$ and $\frac{\lambda y}{\lambda z} = 1 \leq 2.0$

$\frac{M_{Edz,fi}/b_w}{M_{Edy,fi}/h_w} = 1 \leq 0.2$ or $\frac{M_{Edy,fi}/h_w}{M_{Edz,fi}/b_w} = 1 \leq 0.2$

Biaxial bending shall be considered!

$a = 1.4$

$\left(\frac{M_{Edz,fi}}{M_{Rdz}} \right)^a + \left(\frac{M_{Edy,fi}}{M_{Rdy}} \right)^a = 0.76 \leq 1.0$ 😊

Cancel Calculate

Figur B9. Kontroll av pelarens bärförmåga för våningar [13-10], enligt Eurokod 2 i VM Civil.

Design of concrete column based on EC2 Swedish Annex

Section

$h_w = 275$ mm
 $b_w = 275$ mm

Diameter

$d_{sl} = \emptyset 12$ mm
 $d_{st} = \emptyset 8$ mm

Concrete EC2

Effective length
 $l = 2.50$ m

Cover

XC1

Max $v_{ct,ekv} = 0.90$

Life class: L100

$c_{v,1} = 25$ mm
 $c_{v,2} = 25$ mm
 $c_{v,3} = 25$ mm
 $c_{v,4} = 25$ mm

Manual calculation

$c_{v,1} = 20$ mm
 $c_{v,2} = 20$ mm
 $c_{v,3} = 20$ mm
 $c_{v,4} = 20$ mm

Settings

$A_{st,min}$

$\alpha_{cc} = 1.00$

Effective creep

$\varphi_{ef} = 1.49$

2nd order moment calculation

Stiffness method
 Curvature method

Imperfection

a) Based on EC2
 b) $e_i = 5$ mm

Material

Concrete: C35/45 $f_{ck} = 35$ MPa
Steel: K500C-T $f_{yk} = 500$ MPa

Ultimate loads

$N_{Ed} = 1742$ kN
 $M_{Edy} =$ kNm
 $M_{Edz} =$ kNm

$N_{Rdmax} = b_w h_w f_{cd} + A_{st} f_{yd} = -2355$ kN

$n = \frac{N_{Ed}}{N_{Rdmax}} = 0.74 \leq 1.0$ 😊

$M_{Rdz} = F_{cd} \left(\frac{b_w}{2} - \frac{\lambda x}{2} \right) + F_{s2} \left(\frac{b_w}{2} - d_2 \right) - F_{s1} \left(\frac{b_w}{2} - d_1 \right) = 53$ kNm

$n = \frac{M_{Edz,fi}}{M_{Rdz}} = 0.66 \leq 1.0$ 😊

Biaxial bending

$\frac{\lambda_z}{\lambda_y} = 1 \leq 2.0$ and $\frac{\lambda_y}{\lambda_z} = 1 \leq 2.0$

$\frac{M_{Edz,fi}/b_w}{M_{Edy,fi}/h_w} = 1 \leq 0.2$ or $\frac{M_{Edy,fi}/h_w}{M_{Edz,fi}/b_w} = 1 \leq 0.2$

Biaxial bending shall be considered!

$a = 1.57$

$\left(\frac{M_{Edz,fi}}{M_{Rdz}} \right)^a + \left(\frac{M_{Edy,fi}}{M_{Rdy}} \right)^a = 0.95 \leq 1.0$ 😊

Figur B10. Kontroll av pelarens bärförmåga för våningar [9-5], enligt Eurokod 2 i VM Civil.

Home

Design of concrete column based on EC2 Swedish Annex

Concrete EC2

Section
 $h_w = 325$ mm
 $b_w = 325$ mm

Diameter
 $d_{sl} : \varnothing 12$ mm
 $d_{st} : \varnothing 8$ mm

Effective length
 $l = 2.50$ m

Cover
 XC1
 Max vct_{ekv}: =0.90
 Life class: L100

Manual calculation

$c_{v,1} = 20$ mm
 $c_{v,2} = 20$ mm
 $c_{v,3} = 20$ mm
 $c_{v,4} = 20$ mm

$c_{v,1} = 25$ mm
 $c_{v,2} = 25$ mm
 $c_{v,3} = 25$ mm
 $c_{v,4} = 25$ mm

2nd order moment calculation
 Stiffness method
 Curvature method

Settings
 $A_{st,min}$
 $\alpha_{cc} : 1.00$

Imperfection
 a) Based on EC2
 b) $e_i = 5$ mm

Effective creep
 $\varphi_{ef} = 1.49$

Material
 Concrete: C35/45 $f_{ck} = 35$ MPa
 Steel: K500C-T $f_{yk} = 500$ MPa

Ultimate loads
 $N_{Ed} = -2821$ kN
 $M_{Eddy} =$ kNm
 $M_{Edz} =$ kNm

Biaxial bending
 $\frac{\lambda_z}{\lambda_y} = 1 \leq 2.0$ and $\frac{\lambda_y}{\lambda_z} = 1 \leq 2.0$
 $\frac{M_{Edz,fi}/b_w}{M_{Eddy,fi}/h_w} = 1 \leq 0.2$ or $\frac{M_{Eddy,fi}/h_w}{M_{Edz,fi}/b_w} = 1 \leq 0.2$
 Biaxial bending shall be considered!
 $a = 1.62$
 $(\frac{M_{Edz,fi}}{M_{Rdz}})^a + (\frac{M_{Eddy,fi}}{M_{Rdy}})^a = 0.95 \leq 1.0$

$N_{Rdmax} = b_w h_w f_{cd} + A_{st} f_{yd} = -3645$ kN

$n = \frac{N_{Ed}}{N_{Rdmax}} = 0.77 \leq 1.0$ 😊

$k_{\alpha 1} = 0.414$ mm
 $k_{\alpha 2} = 0.335$ mm

$M_{Rdy} = F_{cd1}(\frac{h_w}{2} - \frac{k_{\alpha 1} x_1}{2}) + F_{s2}(\frac{h_w}{2} - d_2) - F_{s1}(\frac{h_w}{2} - d_1) - F_{cd2}(\frac{h_w}{2} - \frac{k_{\alpha 2} x_2}{2}) = 92.2$ kNm

$n = \frac{M_{Eddy,fi}}{M_{Rdy}} = 0.61 \leq 1.0$ 😊

Buttons: Cancel Calculate

Figur B11. Kontroll av pelarens bärförmåga för våningar [4-0], enligt Eurokod 2 i VM Civil.

Källa: <https://www.vmcivil.se/Concrete/Betong-pelare.aspx>

Betonggång i betongstomme

Betong					
Element	Antal	Volym m ³	Mängd [m ³]	Betong densitet	Beräknad vikt [ton]
Bjälkag	14	178	2492	2400	5980.500
Balk I	504	0.50	252	2400	605
Balk II	420	0.56	235	2400	564
Pelare I	160	0.10	16	2400	39
Pelare II	200	0.19	38	2400	92
Pelare III	160	0.27	43	2400	103
Pelare entre	40	0.37	15	2400	36
Schakt	2	194	388.384	2400	932.122
Platta på mark	1	262	262	2400	628.353
Yttervägg	2	442	884	2400	2121.016
Total betonggång			4625		11100
Cement		1148		1450	1665

Figur B12. Sammanställning av betonggång per byggnadsdel inklusive volym, densitet och beräknad vikt. Tabellen är framtagen med hjälp av Excel.

Dimensionering av limträbjälklag:

Dimensioneringsresultat - Golvbjälklag inne Byggbeskrivningar Dimensionering

Uppgifter:

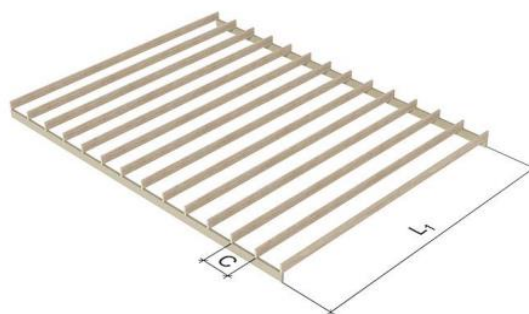
Datum: 2025-05-13, kl. 15:31

Belastningar:

Beräkningsnorm: Europeisk konstruktionsstandard - EKS12 (BFS 2022:4)
Egentyngd golvbjälklag: 0,60 kN/m² - Tungt träbjälklag (till exempel med dubbelgips och/eller klinker)
Lastkategori för nyttiglast: 2,50 kN/m² - Bostad, vistelselast (2,0 + 0,5¹) kN/m² (¹Flyttbara mellanväggar <= 1kN/m)

Utformning:

Antal upplag: 2 st
Längd [L₁]: 5600 mm
C-avstånd [C]: 600 mm



Resultat:

Golvbjälkar: Limträ 115×270 GL30c
Nyttjandegrad 34%, Deformation 14 mm (L/398)
Upplagsreaktioner 6,987 kN & 6,987 kN
Minsta upplagslängd (yttre) 30 mm

Figur B13. Dimensionering av golvbjälklag med limträ enligt EKS12.

Källa: <https://www.byggbeskrivningar.se/dimensionering/golvbjalklag-inne/>

Bjälklagsdimensionen är beräknad enligt rekommendationer från Svenskt Trä, via ett digitalt dimensioneringsverktyg. Dimensioneringen tar hänsyn till både egenvikt och nyttiga laster enligt standard.

Dimensionering av limträbalk:

Trä balk dimensioner

$$N_{snö} := 1.8 \frac{kN}{m^2} \quad N_{nyttig} := 2.5 \frac{kN}{m^2} \quad N_{trä.bjälklag} := 0.6 \frac{kN}{m^2} \quad A = 833.76 \text{ m}^2$$

$$N_{tot} := A \cdot (N_{snö} + N_{nyttig} + N_{trä.bjälklag}) = (4.085 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Belastning per balk

Antal balkar: 66 st 36 st i x-led 30 i y-led

$$N_{balk} := \frac{N_{tot}}{66} = 61.9 \text{ kN}$$

balkens spännvidd $l_{balk} := 5.6 \text{ m}$

Belastning (kN/m)

$$N_{balk} := \frac{N_{balk}}{l_{balk}} = 11.054 \frac{kN}{m}$$

Balk tvärsnitts dimension väljs till:

$b := 78 \text{ mm}$ $h := 540 \text{ mm}$ enligt rekommenderat tabell nedan

Figur B14. Handberäkning av last per limträbalk.

Belastning (kN/m)	Spännvidd L (m)					
	5	6	7	8	9	10
2	42 x 315	56 x 360	56 x 405	66 x 450	66 x 495	78 x 495
3	56 x 315	56 x 405	56 x 450	66 x 495	78 x 495	78 x 585
4	56 x 360	56 x 405	66 x 450	78 x 495	78 x 585	90 x 585
5	56 x 405	56 x 450	66 x 495	78 x 540	90 x 585	90 x 630
6	56 x 405	66 x 450	78 x 495	78 x 585	90 x 630	90 x 675
7	56 x 450	66 x 495	78 x 540	78 x 585	90 x 630	90 x 720
8	66 x 805	66 x 495	90 x 540	90 x 585	90 x 675	90 x 720
9	66 x 450	78 x 495	78 x 585	90 x 630	90 x 675	90 x 765
10	66 x 450	78 x 495	78 x 585	90 x 630	90 x 720	115 x 720
12	66 x 495	78 x 540	90 x 585	90 x 675	115 x 720	115 x 765

Figur B15. Rekommenderade limträdimensioner utifrån spännvidd och linjelast.

Källa: <https://www.svensktra.se/bygg-med-tra/om-limtra/dimensioneringshjalp/>

Dimensionering av limträpelare:

Byggnads area	$A := 18 \text{ m} \cdot 46.32 \text{ m} = 833.76 \text{ m}^2$
Antal pelare = 40 st	
Nyttiglast	$N_{nyttig} := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Snölast beräkning för Göteborg:	
$s_k := 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$, $\mu := 0.8$ Vid lutning 0-30 grader
$s_d := s_k \cdot \mu = 1.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$, $y_d := 1$ säkerhetsfaktor
Dimensionerande snölast i brottgränstillstånd	$S := s_d \cdot 1.5 \cdot y_d = 1.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
$N_{snö} := S \cdot \frac{A}{40} = 37.519 \text{ kN}$	[per pelare]
Massa= densitet*volym	
Egentyngd=massa*tyngdacceleration	
Limträ densitet	$\rho := 430 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ för GL30c, enligt Trä Guiden , $g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
1: Bjälklags egentyngd	
$h_{bjälklag} := 270 \text{ mm}$	
för tunga trä bjälklag är tyngd per area	$q_{bjälklag} := 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Bjälklags Egentyngd	$Q_{bjälklag} := q_{bjälklag} \cdot A = 500.256 \text{ kN}$
Bjälklags Egentyngd per pelare	$N_{bjälklag.pelare} := \frac{Q_{bjälklag}}{40} = 12.506 \text{ kN}$
2: Balkarnas egentyngd	
Vid valet av pelarens dimension, utgår vi från den pelaren som är mest belastad i byggnaden	
Balk dimension:	$h_{balk} := 540 \text{ mm}$ $l_{balk.x} := 5.0 \text{ m}$ $b_{balk} := 78 \text{ mm}$ $l_{balk.y} := 5.6 \text{ m}$

Figur B16. Handberäkning i Mathcad av dimensionerande kraft som en limträ pelare utsätts för.

Balkens Area: $A_{balk} := h_{balk} \cdot b_{balk} = 0.042 \text{ m}^2$ $\rho = 430 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ limträ

Balkens Volym x-ritning = $V_{balk.x} := A_{balk} \cdot l_{balk.x} = 0.211 \text{ m}^3$

Balkens massa x-ritning = $m_{balk.x} := \rho \cdot V_{balk.x} = 90.558 \text{ kg}$

Balkens Egentyngd x-ritning $N_{balk.x} := m_{balk.x} \cdot g = 0.888 \text{ kN}$

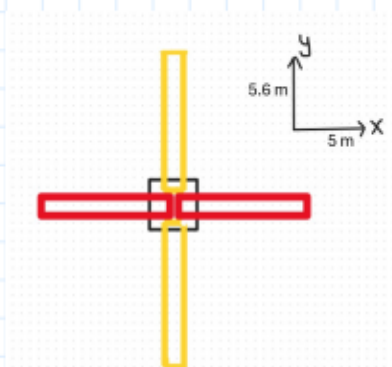
Balkens Volym y-ritning = $V_{balk.y} := A_{balk} \cdot l_{balk.y} = 0.236 \text{ m}^3$

Balkens massa y-ritning = $m_{balk.y} := \rho \cdot V_{balk.y} = 101.425 \text{ kg}$

Balkens Egentyngd y-ritning $N_{balk.y} := m_{balk.y} \cdot g = 0.995 \text{ kN}$

Den mest belastade pelare bär upp en last som motsvarar en balks egentyngd i x-riktning och en balks egentyngd i y-riktning

$$N_{balk} := N_{balk.y} + N_{balk.x} = 1.883 \text{ kN}$$



Total normalbelastning per pelare:

$$N_{tot} := N_{bjälklag.pelare} + N_{balk} + N_{nyttig} \cdot \frac{A}{40} = 66.5 \text{ kN}$$

$$N_{vån13} := N_{bjälklag.pelare} + N_{balk} + N_{nyttig} \cdot \frac{A}{40} + N_{snö} = 104.019 \text{ kN}$$

En Pelare egentyngd: $\rho \cdot A_{pelare} \cdot l_{pelare} \cdot g$,

$\rho = 430 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ för limträ av klass GL30c

Figur B17. Handberäkning i Mathcad av dimensionerande kraft som en limträ pelare utsätts för.

Dimesion I

Pelare dimensioner: $b_{pelare} := 140 \text{ mm}$
 $h_{pelare} := 225 \text{ mm}$
 $l_{pelare} := 3.2 \text{ m} - h_{balk} - h_{bjälklag} = 2.39 \text{ m}$

$$A_{pelareI} := b_{pelare} \cdot h_{pelare} = 0.032 \text{ m}^2$$

Pelare från våning 13 ner till 10 = $N_{pelareI} := \rho \cdot A_{pelareI} \cdot l_{pelare} \cdot g = 0.318 \text{ kN}$

I -Från våning 13 ner till 10 väljs pelare dimension för **140 x 225 mm**

där Maximala kraft blir $N_{tot.13.9} := N_{tot} \cdot 4 + N_{pelareI} \cdot 3 + N_{snö} = 304.471 \text{ kN}$

Dimesion II

II -Från våning 9 ner till 5 väljs pelare dimension för **140 x 360 mm**

Pelare dimensioner: $b_{pelareII} := 140 \text{ mm}$
 $h_{pelareII} := 360 \text{ mm}$

Pelarna tyngd från våning 9 ner till 6 = $A_{pelareII} := b_{pelareII} \cdot h_{pelareII} = 0.05 \text{ m}^2$

$$N_{pelareII} := \rho \cdot A_{pelareII} \cdot l_{pelare} \cdot g = 0.508 \text{ kN}$$

$$N_{tot.9.5} := N_{tot} \cdot 8 + 4 \cdot (N_{pelareI} + N_{pelareII}) + N_{snö} = 572.82 \text{ kN}$$

Dimesion III

III -Från våning 4 ner till entreplan väljs pelare dimension för **140 x 630 mm**

Pelare dimensioner: $b_{pelareIII} := 140 \text{ mm}$
 $h_{pelareIII} := 630 \text{ mm}$

Pelarna tyngd från våning 5 ner till entre = $A_{pelareIII} := b_{pelareIII} \cdot h_{pelareIII} = 0.088 \text{ m}^2$

$$N_{pelareIII} := \rho \cdot A_{pelareIII} \cdot l_{pelare} \cdot g = 0.889 \text{ kN}$$

$$N_{tot.5.0} := N_{tot} \cdot 13 + 4 \cdot (N_{pelareI} + N_{pelareII}) + 5 \cdot N_{pelareIII} + N_{snö} = 909.765 \text{ kN}$$

Figur B18. Handberäkning i Mathcad för total normalbelastning och val av pelardimensioner i tre nivåer.

Beräkning av Nomralkraftskapacitet

TräPelare dimension				
Limträ	GL32c	$h_{våning} := 3.2 \text{ m}$	$h_{balk} := 540 \text{ mm}$	$h_{bjällklag} := 270 \text{ mm}$
Pelare längd blir:		$L := h_{våning} - h_{balk} - h_{bjällklag} = 2.39 \text{ m}$		
Pelare I				
Vi ansätter pelarens tvärsnitts dimension till			$b := 140 \text{ mm}$	
			$h := 225 \text{ mm}$	
$A := b \cdot h = 0.032 \text{ m}^2$				
-Knäckning i veka leden	$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}}$	$i_z := \frac{b}{\sqrt{12}} = 40.415 \text{ mm}$		
Slankhet i z-riktning	$\lambda_z := \frac{L}{i_z} = 59.137$			
-Knäckning i styva leden	$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}}$	$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} = 64.952 \text{ mm}$		
Slankhet i y-riktning	$\lambda_y := \frac{L}{i_y} = 36.796$			
Den relativa slankheten i y och z riktning				
$E_{0.05} := 10.8 \text{ GPa}$	$f_{c0k} := 24.5 \text{ MPa}$	enligt Trägruiden		
$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.558$	$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.897$	$\parallel > 0.3$	vilket betyder slanka	
$k_{mod} := 0.8$	för medellång lastvaraktighet med klimatklass 1	$\gamma_M := 1.25$	för limträ	
$f_{c,0d} := \frac{f_{c0k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 15.68 \text{ MPa}$				

Figur B19. Dimensionering och kapacitetskontroll av träpelare med hänsyn till knäckning, slankhet och tryckkapacitet enligt Eurokod.

$$\beta_c := 0.1 \quad \text{limträ}$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.668$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0.932$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.964$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.844$$

$$N_{Rdy} := A \cdot f_{c,0d} \cdot k_{c,y} = 476.368 \text{ kN}$$

$$N_{Rdz} := A \cdot f_{c,0d} \cdot k_{c,z} = 416.688 \text{ kN}$$

Pelare II

Vi antar pelarens tvärsnitts dimension till

$$b := 140 \text{ mm}$$

$$h := 360 \text{ mm}$$

$$A := b \cdot h = 0.05 \text{ m}^2$$

-Knäckning i veka leden $i_z := \frac{b}{\sqrt{12}} = 40.415 \text{ mm}$

Slankhet i z-riktning $\lambda_z := \frac{L}{i_z} = 59.137$

-Knäckning i styva leden $i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} = 103.923 \text{ mm}$

Slankhet i y-riktning $\lambda_y := \frac{L}{i_y} = 22.998$

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.349$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.897 \quad \blacksquare > 0.3 \quad \text{vilket betyder slanka}$$

$$k_{mod} := 0.8 \quad \text{för medellång lastvaraktighet med klimatklass 1}$$

$$\gamma_M := 1.25 \quad \text{för limträ}$$

Figur B20. Dimensionering och kapacitetskontroll av träpelare med hänsyn till knäckning, slankhet och tryckkapacitet enligt Eurokod.

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0.563$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0.932$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.994$$

$$k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.844$$

$$N_{Rd} := A \cdot f_{c,0d} \cdot k_{c,y} = 785.921 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} := A \cdot f_{c,0d} \cdot k_{c,z} = 666.701 \text{ kN}$$

Pelare III

Vi antar pelarens tvärsnitts dimension till

$$b := 140 \text{ mm}$$

$$h := 630 \text{ mm}$$

$$A := b \cdot h = 0.088 \text{ m}^2$$

-Knäckning i veka leden

$$i_z := \frac{b}{\sqrt{12}} = 40.415 \text{ mm}$$

Slankhet i z-riktning

$$\lambda_z := \frac{L}{i_z} = 59.137$$

-Knäckning i styva leden

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} = 181.865 \text{ mm}$$

Slankhet i y-riktning

$$\lambda_y := \frac{L}{i_y} = 13.142$$

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.199$$

$\ll 0.3$ vilket är oslank, dvs ej risk för knäckning

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.897$$

$\gg 0.3$ vilket är slank

Figur B21. Dimensionering och kapacitetskontroll av träpelare med hänsyn till knäckning, slankhet och tryckkapacitet enligt Eurokod.

$$k_{mod} := 0.8 \quad \text{för medellång lastvaraktighet med klimatklass 1} \quad \gamma_M := 1.25 \quad \text{för limträ}$$

$$k_y := 0.5 \cdot \left(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 0.932$$

$$k_{c,y} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0.917 \quad k_{c,z} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.844$$

$$N_{Rdy} := A \cdot f_{c,0d} \cdot k_{c,y} = (1.269 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad N_{Rdz} := A \cdot f_{c,0d} \cdot k_{c,z} = (1.167 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Figur B22. Dimensionering och kapacitetskontroll av träpelare med hänsyn till knäckning, slankhet och tryckkapacitet enligt Eurokod.

Tillverkningsortiment för limträpelare och limträbalkar tillverkade i Sverige

Tabell 4 Tillverkningsortiment för limträpelare och limträbalkar tillverkade i Sverige, i hållfasthetsklasser, som gäller från och med den 8 augusti 2015.

Bredd b (mm)	42	56	66	78	90	115	140	160	165	190	215
Höjd h (mm)											
90	GL28hs	GL28hs	GL28hs	GL28hs	GL30h	GL30h	GL30h		GL30h	GL30h	GL30h
115						GL30h	GL30h		GL30h	GL30h	GL30h
135	GL28hs	GL28hs	GL28hs	GL28hs	GL30h	GL30h	GL30h		GL30h	GL30h	GL30h
140							GL30h				
160								GL30h			
165									GL30h		
180	GL28cs	GL28cs	GL28cs	GL28cs	GL30c	GL30c	GL30c	GL30c	GL30c	GL30c	GL30c
225	GL28cs	GL28cs	GL28cs	GL28cs	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
270	GL28cs	GL28cs	GL28cs	GL28cs	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
315	GL28cs	GL28cs	GL28cs	GL28cs	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
360	GL28cs*	GL28cs	GL28cs	GL28cs	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
405	GL28cs*	GL28cs	GL28cs	GL28cs	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
450		GL28cs	GL28cs	GL28cs	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
495		GL28cs*	GL28cs	GL28cs	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
540		GL28cs*	GL28cs*	GL28cs	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
585			GL28cs*	GL28cs	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
630			GL28cs*	GL28cs*	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
675				GL28cs*	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
720				GL28cs*	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
765				GL28cs*	GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
810					GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
855					GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
900					GL30c	GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
945						GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
990						GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
1 035						GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
1 080						GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
1 125						GL30c	GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
1 170							GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
1 215							GL30c		GL30c	GL30c	GL30c
1 260							GL30c		GL30c	GL30c	GL30c

Figur B23. Standardmått för limträpelare som tillverkas i Sverige.

Källa: <https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/fakta-om-limtra/fakta-om-limtra/limtraprodukter/raka-limtraelement/#raka-limtraelement-lagersortiment>

Materialmängd beräkning:

Hybrid					
Element	Antal	Volym m ³	Mängd [m ³]	Limträ densitet	Beräknad vikt [ton]
Bjälkag	13	225	2926	430	1258
Balk I	504	0.21	106	430	45.6
Balk II	420	0.24	99	430	42.6
Pelare I	160	0.08	12	430	5.2
Pelare II	200	0.12	24	430	10.4
Pelare III	160	0.21	34	430	14.5
Pelare entre	40	0.30	12	430	5.1
Yttervägg	2	65	130	430	56
			3343		
Total trä åtgång		2507361	3343	430	1438
Betong					
Element	Antal	Volym m ³	Mängd [m ³]	Betong densitet	Beräknad vikt [ton]
Schakt	2	194	388	2400	932
Platta på mark	1	175	175	2400	420
bjälkag, vindplan	1	178	178	2400	427
Total betongåtgång			741	2400	1779

Figur B24. Sammanställning av materialåtgång i hybridbyggnaden- inklusive volym, densitet och beräknad vikt. Tabellen är framtagen med hjälp av Excel.

Energi och vattenförbrukning

Energiförbrukning:	
$A_{brutto} := 11673 \text{ m}^2$	Brutto area till byggnaden
$E := 93.5 \frac{kW}{m^2} h$	Energianvändningen för lokaler, enligt energimyndigheten
$W := A_{brutto} \cdot E = (1.091 \cdot 10^3) \text{ MW h}$	
Den årliga Energiförbrukning i kontorshuset blir:	1091 MWh
Vattenförbrukning:	
$A_{brutto} := 11673 \text{ m}^2$	vatten användningen i lokaler, enligt Energikontor Syd
$V_{vatten.person} := 50 \text{ liter}$ per person per dag	
$n := 60 \cdot 14 = 840$	Total Antal personer i kontorshuset
$V_{vatten.tot.år} := V_{vatten.person} \cdot 840 \cdot 365 = (1.533 \cdot 10^7) \text{ liter}$	
$\rho_{vatten} := 1000 \frac{kg}{m^3}$	
$m_{vatten} := V_{vatten.tot.år} \cdot \rho_{vatten} = (1.533 \cdot 10^7) \text{ kg}$	
Den årliga Vattenförbrukning i kontorshuset blir:	15 330 000 kg

Figur B25. Beräkning av årlig energi- och vattenförbrukning för kontorshuset.

-Källa: <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/ny-energistatistik-for-byggnader/>

-Källa: <https://energikontorsyd.se/l/kunskapsbank/49538#>

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR KONSTRUKTIONSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025
www.chalmers.se



CHALMERS