

# CHALMERS



## Nyckeltal för ekologiska fotavtryck för stommar i flerbostadshus

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Byggingenjör*

ANITA OSHALIM  
MALIN STJERNEMAN

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Avdelningen för Konstruktionsteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2013  
Examensarbete 2013:83



EXAMENSARBETE 2013:83

# Nyckeltal för ekologiska fotavtryck för stommar i flerbostadshus

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Byggingenjör

ANITA OSHALIM

MALIN STJERNEMAN

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
*Avdelningen för Konstruktionsteknik*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, 2013



Nyckeltal för ekologiska fotavtryck för stommar i flerbostadshus  
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*  
*Byggingenjör*

ANITA OSHALIM  
MALIN STJERNEMAN

©ANITA OSHALIM, MALIN STJERNEMAN, 2013

Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik,  
Chalmers tekniska högskola 2013:83

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Omslag: Footprint, ClipArt, Microsoft Word

Chalmers Reproservice  
Göteborg 2013



Nyckeltal för ekologiska fotavtryck för stommar i flerbostadshus  
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Byggingenjör*

ANITA OSHALIM

MALIN STJERNEMAN

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

Den accelererande klimatförändring som idag pågår beror av mänskliga aktiviteter och byggsektorn står för en betydande del av samhällets miljöbelastning. Koldioxid är en växthusgas som påverkar miljön i stor utsträckning. Ett sätt att minska utsläppen är att få företag och kunder inom byggbranschen att bli uppmärksamma på möjligheter att bygga miljövänligt genom att satsa på en långsiktig hushållning med naturresurser. Genom att genomföra livscykelanalyser för olika produkter och jämföra deras resultat kan den för miljön mest fördelaktiga produkten väljas.

Rapporten syftar till att, för flerbostadshus, jämföra stomsystem av trä, stål respektive betong för att finna användbara och jämförbara nyckeltal för ekologiska fotavtryck, i form av koldioxidekvivalenter ( $\text{CO}_2\text{e}$ ). Studien har begränsats till att endast omfatta livscykelfaserna fram till byggnadens produktionsstart på byggarbetsplatsen.

För att erhålla nyckeltal för stomalternativens miljöbelastning utförs för vardera alternativ en lastnedräkning och en miljöbelastningsberäkning med hänsyn till tillverkning av material, grundförhållande på tomten, transportsätt och transportavstånd.

Resultaten visar på att trästommen orsakar en mindre mängd koldioxidutsläpp än både stål- och betongstommen och är därför det ur ekologiskt perspektiv det mest miljövänliga materialet vid byggnation av flerbostadshus. Resultaten visar även att val av transportsätt är en viktig aspekt.

Nyckelord: livscykelanalys, koldioxidekvivalenter, flerbostadshus, stommar.

Key indicator of ecological footprint of structural systems in multifamily buildings

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

ANITA OSHALIM

MALIN STJERNEMAN

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Structural Engineering

Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

The building sector accounts for a significant part of society's environmental impact. Carbon dioxide affects the environment to a great extent. One way to reduce emissions of carbon dioxide is to make people involved in the construction industry aware of how to build environmentally friendly by investing in a long-term management of natural resources. By comparing different life cycle analyzes and their results more environmentally friendly options can be chosen.

This report aims to compare structural systems of wood, steel and concrete, in multifamily buildings, to find useful and comparable indicators of ecological footprints, in the form of carbon dioxide equivalents (CO<sub>2</sub>e). This study has been restricted to only include lifecycle phases from beginning to the start of production on the building site.

To obtain indicators of carbon dioxide emissions of each structural system, a calculation of cumulative loads and a calculation of environmental impact are performed with respect to material production, condition of ground at site, ways and distance of transportation.

The results show that the wooden structural system causes a smaller amount of carbon dioxide emissions compared to the steel and concrete structural system. The results also show that the choice of way of transportation is an important aspect.

Key words: life cycle analysis, carbon dioxide emissions, multifamily buildings, frameworks.



# Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte	1
1.2 Metod	1
1.3 Avgränsning	2
2 STOMSYSTEM	3
2.1 Produktionsmetoder och material för stommar	3
2.1.1 Trästommar	3
2.1.2 Stålstommar	4
2.1.3 Betongstommar	4
2.2 Grundläggning	4
2.3 Framställning av material	5
2.3.1 Trä	5
2.3.2 Stål	5
2.3.3 Betong	6
2.4 Fukt	7
2.4.1 Trä	7
2.4.2 Stål	8
2.4.3 Betong	8
2.5 Brandskydd	8
2.5.1 Trä	9
2.5.2 Stål	10
2.5.3 Betong	11
2.6 Akustik	11
2.6.1 Trä	12
2.6.2 Stål	13
2.6.3 Betong	13
3 MODELLERING AV STOMMARNÄ	14
3.1 Trä	14
3.2 Stål	15
3.3 Betong	15
3.3.1 Dimensionering av betongpelare	16
3.4 Grundläggning	16
3.5 Lastnedräkning	17
<b>CHALMERS, Bygg- och miljöteknik, Examensarbete 2013:83</b>	<b>III</b>

4	MILJÖBELASTNING	18
4.1	Livscykelanalys (LCA)	18
4.2	Tidigare genomförda studier	19
4.2.1	LCA of Concrete and Steel Building Frames	19
4.2.2	LCA of Concrete and Wooden Building Frames	21
4.3	Stommaterialens påverkan på miljöbelastning	23
4.4	Nyckeltal	24
4.5	Beräkning av miljöbelastning	24
5	RESULTAT	26
5.1	Trästommen	26
5.2	Stålstommen	27
5.3	Betongstommen	28
5.4	Jämförelse av nyckeltal	30
6	DISKUSSION	33
7	SLUTSATS	34

REFERENSER

BILAGOR

## Förord

Denna rapport utgör en del av ett examensarbete om 15 högskolepoäng per student inom ramen för byggingenjörsprogrammet på 180 högskolepoäng, vid Chalmers tekniska högskola, institutionen för bygg- och miljöteknik på avdelningen för konstruktionsteknik. Arbetet har genomförts i samarbete med teknikkonsultföretaget WSP, vilka bidrog med idén till examensarbetet.

Vi vill tacka alla som varit oss behjälpliga under examensarbetet. Stort tack till vår handledare Peder Bodén, civilingenjör på WSP för all hjälp med arbetet och ditt engagemang. Tack Henrik Carlsson, avdelningschef på WSP, för möjligheten att genomföra examensarbetet i samarbete med er på WSP. Tack Ulf Liljenroth, expert på WSP:s miljöavdelning, för all hjälp med miljödelen.

Vi vill även tacka vår handledare på Chalmers, Mario Plos, docent och avdelningschef på bygg- och miljöteknik, avdelningen för konstruktionsteknik, för allt stöd och all hjälp med rapporten och examensarbetet.

Göteborg juni 2013

Anita Oshalim

Malin Stjerneman



# 1 Inledning

Det råder inte längre något tvivel om att den accelererande klimatförändring som idag pågår beror av mänskliga aktiviteter. Vår konsumtion påverkar jordens balans och påskyndar förändringarna. Mängden växthusgaser ökar i atmosfären, vilket leder till att temperaturen på jorden ökar och den förstärkta växthuseffekten är ett faktum.

Byggsektorn står för en betydande del av samhällets miljöbelastning. Koldioxid är en växthusgas som påverkar miljön i stor utsträckning. Ett sätt att minska utsläppen är att få företag och kunder inom byggbranschen att bli uppmärksamma på möjligheter att bygga miljövänligt genom att satsa på en långsiktig hushållning med naturresurser.

Att ha ett livscykelperspektiv är viktigt för att sektorn skall kunna minska utsläppen. För att få en helhetsbild över en produkts potentiella miljöbelastning kan en livscykelanalys utföras. En komplett livscykelanalys består av en undersökning av vilka konsekvenser produkten har på miljön från vaggan till graven, det vill säga allt ifrån uttag av råvaran via materialtillverkning, produktion, transport och drift till rivning och slutligt omhändertagande (Naturvårdsverket, 1996). Genom att genomföra livscykelanalyser för olika produkter och jämföra deras resultat kan den för miljön mest fördelaktiga produkten väljas.

## 1.1 Syfte

Rapporten syftar till att, för flerbostadshus, jämföra stomsystem av trä, stål respektive betong för att finna användbara och jämförbara nyckeltal för ekologiska fotavtryck. För enkelhetens skull presenteras de ekologiska fotavtrycken i form av koldioxidekvivalenter (CO<sub>2</sub>e).

## 1.2 Metod

För att erhålla användbara och jämförbara nyckeltal för ekologiska fotavtryck hos likvärdiga flerbostadshus med olika stommaterial görs en jämförande studie av tre stomsystem med huvudbärverk av trä, stål respektive betong. Projektet innebär att utifrån av WSP tillhandahållna konstruktionshandlingar, från ett pågående projekt i bostadsområdet Amhult i Göteborg, modellera stomsystem för ett av husen i trä, stål respektive betong i programmet Tekla Structures (TEKLA®, 2013). Därefter görs för vardera stomalternativ en lastnedräkning och en beräkning av miljöbelastning. Miljöbelastningen för respektive stomalternativ beräknas för ett antal olika varianter av produktionsmetoder, transportsätt och transportavstånd. Beräkningarna utförs i programmet MathCad Prime (PTC, 2013).

Inledningsvis genomförs en litteraturstudie för att inhämta kunskap från liknande studier, med avseende att jämföra miljöbelastningen från flerbostadshus med stommar av olika material, och för att hämta kunskap om genomförandet av en komplett livscykelanalys. Litteratur söks på bibliotek och genom sökning på internet, dels via databasen Summon, som är kopplad till Chalmers bibliotek, och dels via Google. En genomgång av "Tekla web tutorials" utförs online, innan modelleringen påbörjas (TEKLA®, 2013).

### **1.3 Avgränsning**

Rapporten avgränsas till att för flerbostadshus endast jämföra tre stomalternativ i trä, stål respektive betong. I rapporten jämförs ett par tidigare genomförda studier av miljöbelastning av stomsystem i flerbostadshus och en komplett livscykelanalys beskrivs. Vid beräkning av de studerade objektens miljöbelastning begränsas analysen dock till att endast omfatta miljöpåverkan i form av koldioxidekvivalenter. Vidare omfattas endast livscykel faserna fram till starten av byggnadens produktion på byggarbetsplatsen. Med andra ord omfattas tillverkning av material och stomelement liksom transporterna till byggarbetsplatsen. Därmed utelämnas byggplatsproduktionen och drift- och rivningsfaserna.

## 2 Stomsystem

Stommens uppgift är att bära upp de laster som förekommer hos byggnaden, såsom egentygder, klimat- och nyttiga laster. Lasterna bärs upp av vertikala bärverk, antingen väggar eller pelare, och horisontella bärverk, antingen balkar, plattor eller bjälklag. På grund av sidolaster, som till exempel vindlaster eller excentrisk belastning, kräver byggnaden stomstabiliserande element, exempelvis skivor, ramar eller inspända pelare, till vilka de horisontella bärverken leder lasten. Byggnadens höjd är avgörande för stomstabiliseringens omfattning (Berg, 2007).

Förutom att ha tillräcklig bärförmåga måste stommen också klara av vissa funktionskrav. Bjälklagen måste vara styva nog för att undvika att stora nedböjningar och svikt uppstår, vilka kan skada anslutande byggnadsdelar. Att vistas i en byggnad där stora nedböjningar och svikt förekommer upplevs dessutom av många som obehagligt. Ljudutbredningen måste begränsas så att ljudnivån i byggnaden ej överskrider tillåtna värden. Dessutom måste stommen vara dimensionerad för att vid brand ha tillräcklig bärförmåga under den tid respektive brandklass erfordrar (Berg, 2007).

Valet av stomme och material beror bland annat på byggnadens framtida funktion, önskad flexibilitet i planlösning, produktionsmetod, grundförhållanden på tomten, planerad byggtid och kostnad. De vanligast förekommande materialen för stommar är trä, stål och betong. En stomme består dock sällan enbart utav ett material, utan fler material förekommer i viss mån (Berg, 2007).

### 2.1 Produktionsmetoder och material för stommar

Två förekommande produktionsmetoder är platsbygge eller prefabricering. Vid platsbygge kan förvaring av material på byggarbetsplatsen vara nödvändig, vilket medför större risk för skador på materialet, såsom påkörning eller att det utsätts för väder. Vid förvaring av material på byggarbetsplatsen uppstår dessutom en risk för stöld av material. Vid prefabricering sker tillverkningen i kontrollerade miljöer, vilket ökar kvalitetssäkerheten. Prefabricerade stommar levereras antingen som komponenter eller som volymelement, vilka snabbt kan lyftas på plats (Söderling, 2012). Att en del av byggtiden sker i fabrik minskar montagetiden på byggarbetsplatsen, vilket i vissa fall kan medföra lägre kostnader (Moelven, 2013).

#### 2.1.1 Trästommar

Trästommar är mycket vanliga i småhus men sällsynta i flerbostadshus. Att det finns så få flerbostadshus med trästommar jämfört med stål- eller betongstommar beror på att det från 1880-talet fram till 1994 var förbjudet att bygga högre än två våningar i trä på grund av brandrisken. Förbudet hävdades då kraven för brandsäkerhet omdefinierades till att inte längre vara materialberoende utan funktionsberoende, vilket möjliggjorde användandet av trä som stommaterial. Sedan dess har byggandet av flerbostadshus med trästommar ökat (Näringsdepartementet, 2004).

Ett par fördelar med trästommar är dess lätta vikt i förhållande till dess hållfasthet, vilket är gynnsamt för grundläggningens omfattning och att de kan prefabriceras till

hög grad. Trästommar har även nackdelar, speciellt gällande brand och fukt. Träets brännbarhet är en olämplig egenskap ur brandskyddssynpunkt, vilket gör att brandskyddsåtgärder kan behöva vidtas för att säkerställa stommens funktion vid brand. Dock kan träets agerande vid brandförlopp anses vara av fördel då förloppet är förutsägbart och förkolning skyddar materialets inre (Svenskt trä, 2013). En trästomme som utsätts för fukt kan krympa eller svälla på grund av fuktvariationer och det finns risk att mögel och röta bildas. Det är därför viktigt att träet skyddas på ett sådant sätt att exponering av fukt förhindras eller att träet ges möjlighet att torka ut (Berg, 2007).

### **2.1.2 Stålstommar**

Stålstommar förekommer ofta i höghus på grund av sin lätta vikt i förhållande till sin bärförmåga, men även lägre hus kan med fördel byggas med stålstomme. I flerbostadshus består dock bjälklaget oftare av betong än av stålprofiler. På grund av dess lätta vikt kan behovet av grundläggning reduceras. Andra fördelar med stommar av stål är att de kan prefabriceras till hög grad, de är mindre fuktkänsliga jämfört med trä och att en stor del av bärverksdelarna ofta kan återanvändas vid slutet av en byggnads livstid. Nackdelar med stålstommar är att de kan behöva rost- eller brandskyddas och att de har god värmeledningsförmåga, vilket innebär att isoleringsarbetet måste utföras noggrant för att undvika värmeförluster (Berg, 2007).

### **2.1.3 Betongstommar**

Betong är det vanligast förekommande stommaterialet i flerbostadshus. Fördelar med betong är bland annat dess höga tryckhållfasthet, dess fuktökänslighet, dess goda ljudisoleringsförmåga och dess goda värmelagringskapacitet, vilken gör att värmeenergi kan lagras vid en temperaturhöjning och avges vid en temperatursänkning. Nackdelar är den låga draghållfastheten som endast är ca tio procent av tryckhållfastheten, vilket innebär att armering krävs för att säkerställa bärförmågan, dess värmeledningsförmåga och dess tunga vikt, vilket ökar grundläggningens omfattning. Dess vikt kan dock i vissa fall anses fördelaktig då lätta byggnader kan behöva stabiliseras mot lyftning på grund av horisontalkrafter (Berg, 2007).

## **2.2 Grundläggning**

Grundens uppgift är att föra byggnadens laster ner i marken på ett sådant sätt att grundläggningen får tillräcklig bärförmåga och så att sättningar begränsas. Då grundläggningsarbeten ofta är mycket kostsamma är det viktigt att från början välja rätt metod. Framtida problem som kan uppkomma kan vara dyra att åtgärda. Vilken sorts grundläggning som ska användas bestäms av markens och undergrundens beskaffenhet och byggnadens tyngd. En byggnad grundläggs med antingen källare, kryprumsgrund eller med platta på mark. För flerbostadshus är källargrund och platta på mark de vanligaste alternativen. Vanliga metoder för grundläggning är pålning, grundläggning till fast undergrund eller flytande grundläggning. Vanliga material för pålar är trä, stål och betong. Pålning kan ske med antingen spetsburna pålar, friktions-



eller kohesionspålar. De två senare går tillsammans under benämningen mantelburna pålar. Spetsbärande pålarna används där det är möjligt att med pålarna nå fast botten, antingen berggrund eller jordlager med tillräcklig hållfasthet för att klara av lasterna. Då det är långt till fast botten används mantelburna pålar, vilka bär laster genom friktion mellan pålens mantelyta och jorden eller leran (Petersson, 2010).

## **2.3 Framställning av material**

### **2.3.1 Trä**

Trämateriäl tillverkas genom avverkning och bearbetning av träd. Timmer från olika geografiska lägen transporteras med lastbilar till sågverksområdet, där en mellanlagring för varje träslag sker före inmätning. Därefter skickas stockarna vidare till en mätstation, som med hjälp av mätrammar fördelar virket efter längd, diameter och kvalitet. Ytterligare en mellanlagring av det fördelade timret följer för att sedan lyfta in det till timmerrännan för avlägsnande av rotben nertill på stockarna. Stockens grovlek, kvalitet och pilhöjd mäts av en 3D-mätram, som är kopplad till en stockrundvridare som i sin tur vrider stocken i rätt sågläge innan den skickas vidare till sågstation. I sågstationen klyvs stocken itu och fördelas till två kantverk (SkogsSverige, 2012).

### **2.3.2 Stål**

Framställning av stål kräver råjärn i form av malm eller skrot. För att erhålla önskade egenskaper tillsätts legeringsämnen. Viktiga beståndsdelar i stålets tillverkningsprocess är kol och kalk. Kol används som reduktionsmedel och omvandlar järnoxider till järn. Kalk är en slaggbildare som bidrar till att rena smältan från svavel och fosfor. Förvandlingen från malm till järn sker i de stora järnverkens masugnar, där syret avlägsnas ur de oxidiska järnmineralerna med hjälp av koks. Råjärnet som transporteras vidare till stålverken innehåller förutom järn också fyra–fem procent kol och mindre halter av andra ämnen. I Sverige finns två olika sätt att tillverka stål beroende på vilken råvara som används, järnmalm eller skrot (Stålguiden, 2013). Om stålet produceras från skrot förbrukas mer elenergi och mindre fossila bränslen i processen (Ekvall, 2006).

Vid järnmalmbaserad framställning används huvudsakligen råjärn, men även en del skrot tillsätts, ungefär 20 procent av tillsatsen. Kolhalten i råjärnet tas bort med hjälp av syrgas i en LD-konverter. Därefter tillsätts legeringsämnen för att ge stålet önskade egenskaper, exempelvis hårdhet, slitstyrka, seghet och korrosionsbeständighet. Det smälta stålet gjuts sedan i en så kallad stränggjutning och skickas vidare till efterbehandling, där stålets egenskaper kan förändras bland annat genom kylning, glödning och härdning. För att få till önskad form och egenskaper bearbetas och förädlas stålet ytterligare. Detta sker genom varmvalsning och efterföljande kallbearbetning eller smidning (Jernkontoret, 2013).

För smältning av stålskrotet vid skrotbaserad tillverkning används ljusbågsugnar som kräver el-energi. Därefter renas råstålet i en AOD-konverter. Processen fortsätter därefter på samma sätt som vid järnmalmsbaserad tillverkning. Den energi som krävs

för att smälta skrotet är, beräknat i kWh per ton producerat stål, endast en femtedel av den energi som krävs för malmbaserad ståltillverkning (Jernkontoret, 2013).

### 2.3.3 Betong

Betong består av ungefär 75 procent ballast och 25 procent cement (Burström, 2006). För att förbättra vissa egenskaper hos betongen, till exempel frostbeständighet och gjutbarhet, kan tillsatsmedel adderas. Betong i sig är inte miljöskadligt men cementtillverkningen orsakar stora utsläpp av koldioxid och andra försurande oxider (Gillberg, 1999).

Cement, vars beståndsdelar utgörs av krossat kalksten och lera, är ett hydrauliskt bindemedel som hårdnar när det blandas med vatten. För att framställa cement finmåls kalksten tillsammans med lera och bränns därefter i roterugnar i form av torrpulver (torrmetoden) eller slam (våtmetoden). Numera används torrmetoden oftare eftersom den är mindre energikrävande. Materialet tappas sedan ut från ugnen och kyls, vilket medför att materialet får formen av små kulor, vilket kallas cementklinkers. Cement erhålls genom att blanda cementklinkers med gips, ca 5 procent. Detta för att reglera cementens bindning (Burström, 2006).

Ballast består av naturliga bergarter som används vid betongtillverkning. Dessa produceras antingen ur grustag eller genom krossning av berg. Kornstorleken varierar och därför används olika beteckningar för olika frakturer av ballast, sand ( $\leq 4$  mm), fingrus ( $\leq 8$  mm) eller sten ( $> 8$  mm) (Burström, 2006).

De vanligaste tillsatsmaterialen som används i betong är silikastoft, flygaska och mald granulerad masugnsslagg. I Sverige används huvudsakligen silikastoft, men flygaskan har börjat bli ett intressant alternativ inom byggsektorn (SBUF, 2013). Silikastoft består av amorf kiseloxid, som framställs vid tillverkning av legeringsämnen till stål, och är ett reaktivt material som förbättrar betongens sammanhållning och stabilitet. Flygaska är en mineralprodukt som erhålls som restprodukt vid tillverkning av el- och värmeproduktion, och består i huvudsak av den icke brännbara mineraliska delen av kolen (Burström, 2006).

I en betongblandare blandas delmaterialen väl tills massan är homogen. Det dröjer ett par timmar innan betongen börjar stelna, det vill säga till cementens bindning startar. Under denna tid skall betongen placeras i formar och bearbetas noggrant, så att inga luftporer eller håligheter förekommer i betongen, vilket skulle försämra materialets egenskaper. För att minska viskositeten och få en mer lättflytande massa används i regel vibrering, antingen formvibrering eller stavvibrering. Därefter måste betongen skyddas mot uttorkning för att behålla de önskade egenskaperna som skapades i början av tillverkningen. Härdning av betong sker genom en reaktion mellan cement och vatten vilket försvåras om betongen uttorkas (Burström, 2006). Prefabricerad betong tillverkas och gjuts till element i formar med armeringsstänger av stål i en betongfabrik, medan platsgjuten betong transporteras som en flytande massa med en betongbil till byggplatsen där den sedan gjuts (Gillberg, 1999).

## 2.4 Fukt

Byggnader utsätts konstant för fuktbelastningar, både utvändigt och invändigt. De huvudsakliga fuktkällorna är regn (särskilt slagregn), vind, snö, fuktig utomhusluft, byggfukt, markfukt, läckage från installationer och inomhusfukt som människan själv alstrar (Burström, 2006). Fukthalten i byggnader är avgörande för hur fort mögel och mikroorganismer växer, vilka i värsta fall kan ge väldigt stora skador på konstruktioner och dessutom påverka människors hälsa (Fuktsäkra byggnader, 2013). Fuktrörelsen som uppstår vid variationer i fukthalt kan leda till sprickbildning eftersom material sväller upp vid uppfuktning och krymper när det torkas ut (Burström, 2006).

Fukt transporteras på tre olika sätt, genom diffusion, konvektion eller kapillärsugning. Drivkraften bakom diffusion är en skillnad i ånghalt mellan två punkter, vilket medför att vattenånga diffunderar från den högre ånghalten till den lägre. Beroende på vilken ångpermeabilitet eller diffusionsmotstånd ett material har, bestäms storleken på fuktflödet. Fuktkonvention innebär att vattenånga transporteras med luften, vilken flödar från en högre temperatur till en lägre. Detta kan i vissa fall medföra att stora mängder fukt transporteras. Kapillärsugning är ett transportsätt där fukten transporteras i vätskefas. Drivkraften är att fukten transporteras från ett område med hög koncentration till ett område med lägre koncentration. Materialets kapillaritet, som är beroende av porstrukturen, och fuktens ytspänningsförmåga är avgörande för hur mycket fukt som kan transporteras kapillärt. En del material är kapillärbrytande, vilket innebär att kapillärsugning är förhindrad (Fuktsäkra byggnader, 2013).

### 2.4.1 Trä

Trä är ett organiskt material, vilket innebär att det ingår i det naturliga kretsloppet och att det kan angripas av mikroorganismer. För att detta ska kunna ske krävs det en fuktig miljö. Fuktmängden i trämaterial beskrivs antingen med fuktkvot eller fukthalt och anges i procent. Fuktkvot anger andelen fukt i en given träbit, mätt i kilogram vatten per kilogram torr vikt. Fukthalten anger förhållandet mellan vattnets vikt i kilogram och trästyckets vikt i kubikmeter. Vattenupptagningskapaciteten hos cellväggen i trämaterial är begränsad till 30 procent fuktkvot, vilket kallas fibermättnadspunkten och den mängd fukt som då finns i materialet kallas bunden fukt. Då fuktkvoten är uppnådd samlas fukten i cellernas hålrum och benämns fri fukt (SkogsSverige, 2012).

För att skydda träet mot olika skadeangrepp är det av stor vikt att låta materialet lufttorka efter sågning, till minst 20 procent fuktkvot (SkogsSverige, 2012). Vid uttorkning avlägsnas först den fria fukten och därefter den bundna. När virket torkar och fuktkvoten ligger under fibermättnadspunkten påverkas träets egenskaper, såsom hållfasthet, hårdhet och elasticitet, då krympning eller svällning kan uppträda. På grund av träets anisotropa egenskaper sväller eller krymper det olika mycket i olika riktningar (Svenskt trä, 2013).

Träförstörande svampar som röta, mögel och blånad lever av den näring som finns i träet men kräver en fuktig miljö för att ha möjlighet att utvecklas (Svenskt trä, 2013). Det är främst rötsvampar som utgör en fara för träbyggnader i och med att de förorsakar hållfasthetssänkningar. Mögel- och blånadsangrepp ger upphov till

färgförändringar och besvärande lukt (Jeppsson, 1989). För att minimera risken för svampangrepp bör den relativa luftfuktigheten inomhus inte överskrida 75 procent. Förutom den relativa luftfuktigheten är utomhustemperatur avgörande för om och hur snabbt en mögelskada kan uppstå (Svenskt trä, 2013).

## 2.4.2 Stål

Stål klarar väldigt höga fuktbelastningar. Tillskillnad från andra konstruktionsmaterial binder stålet inte fukt, vilket hämmar risken att i byggnader orsaka allergier och andra hälsoproblem. Materialet befinner sig i kemisk obalans när det utsätts för fukt. Om det dessutom får reagera med syret i luften leder det till korrosion. Materialet rostar inte vid torr luft men om den relativa luftfuktigheten överskrider 70 procent börjar stålet rosta konstant utan att vara vått.

Rostangrepp uppkommer i två steg, rödrost och gravrost. Rödrost är ljust rödbrunt och kan avlägsnas med slipning. Om detta inte görs övergår rödrost till gravrost som är mörkbrun till färgen. Denna rost är hygroskopisk och kan vid förekomst av fukt medföra att angreppet går till djupet vilket i sin tur leder till minskad hållfasthet hos det angripna föremålet. I förhållande till järn har rost en större volym, vilket innebär att det kan leda till sprängverkan om rosten kommer in i håligheter i konstruktioner (Burström, 2007).

För att skydda stålet mot korrosion kan mindre ädla ämnen appliceras på eller i kontakt med stålet, vilket gör att dessa ämnen korroderar istället för stålet. Ett annat sätt att skydda stålet är att skapa ett tätt skikt som förhindrar att stålet reagerar med syret eller andra föroreningar i luften (Stålbyggnadsinstitutet, 2013).

## 2.4.3 Betong

Betong är ett hygroskopiskt material, vilket innebär att materialet kan uppta och avge fukt beroende på den omgivande luftens fuktighet. Materialet sväller när det tar upp fukt och krymper när fukten avtar. Dessa krymprorelser kan resultera i sprickor hos oarmerad betong. Fuktproblem uppstår då fuktig betong kommer i kontakt med andra fuktkänsliga material, exempelvis organiska beläggingsmaterial som plastmattor eller fuktkänsliga målarfärger. Dessa material kan vid alltför hög fukthalt brytas ned och bidra till emissioner. Risk för mögelbildning föreligger om organiska material ligger i direkt kontakt med en fuktig betongyta (Gillberg, 1999). Problemet kan undvikas om fukten i betongen begränsas till en nivå så att materialet som ligger i direkt kontakt inte tar skada. Uttorkningstiden varierar bland annat med betongens tjocklek, cementtyp och torkklimat (Svensk betong, 2013).

Användningen av snabbtorkande och självtorkande betonger ökats. Dessa betongtyper har en kortare uttorkningstid på grund av dess höga betongkvalitet (Gillberg, 1999).

## 2.5 Brandskydd

För att förhindra att brand i flerbostadshus sprider sig indelas byggnaden i brandceller. Vanligtvis utgör varje lägenhet och trapphuset separata brandceller. Byggnadsmaterial

och konstruktionsdelar som utgör del av bärande stomme kan behöva brandskyddas för att klara av att behålla bärförmågan under en viss utrymningstid, vilken specificeras av respektive brandklass. Brandklasserna är samlade i grupper om material, konstruktioner och byggnader. (Paroc, 2013).

Vilken brandklass en byggnad dimensioneras efter, där Br0 är den brandklass som ställer högst krav, beror på typ av byggnad (bostad, kontor, fabrik eller annan typ av byggnad), vilken typ av aktivitet som ska äga rum i byggnaden, hur många personer som samtidigt kan antas vistas i byggnaden, antal våningsplan och hur stor byggnaden är (Paroc, 2013).

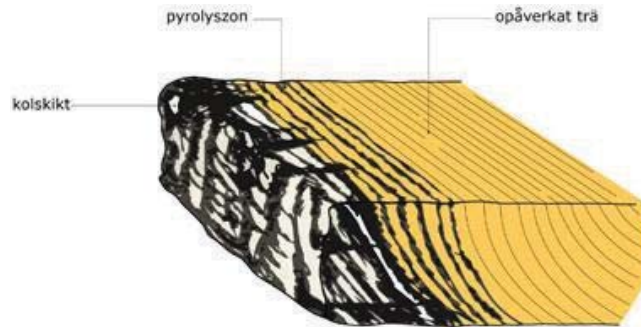
Konstruktionsdelar, som tak, väggar och golv, klassificeras utifrån brandmotstånd och funktionskrav med beteckningarna R, E, I, M och en siffra. R betecknar lastbärande kapacitet, vilken är den tid en byggnadsdel klarar av att bära lasten under ett normalt brandförlopp. E betecknar integritet, vilket är den tid en byggnadsdel behåller sin täthet vid normalt brandförlopp. I står för isolering och betecknar den tid det tar för den kalla sidan av en byggnadsdel att uppnå en viss temperatur, vanligen en ökning med 140°C. M står för mekanisk påverkan och betecknar motstånd mot stötblastningar, vilket krävs för brandväggar. Den slutliga siffran anger hur många minuter byggdelen står emot branden innan kriteriernas gränsvärde överskrids. En byggdel som betecknas med REI 60 står emot brand i 60 minuter med avseende på lastbärande kapacitet, integritet och isoleringsförmåga (Paroc, 2013).

Ytterväggar i flerbostadshus erfordrar brandklassificering EI 60. För enbart avskiljande väggar i flerbostadshus med två till fyra våningar erfordras REI 60 respektive EI 60. För flerbostadshus med fem till åtta våningar erfordras REI 90 respektive EI 90. Bjälklag erfordrar REI 60 i hus med två till åtta våningar (Svenskt trä, 2013).

Material brandklassificeras utifrån hur de reagerar på brand. Ur brandskyddssynpunkt delas byggnadsmaterial in i tre olika kategorier, obrännbar, svårtantändlig eller brännbar (Paroc, 2013).

### 2.5.1 Trä

Trä är ett brännbart material och kan kräva brandskydd om det skall användas som bärande konstruktionsdelar. Materialets egenskaper såsom dimension, ytråhet, densitet och fuktkvot är avgörande för hur snabbt förbränningen utvecklas. En finfördelad och mycket tunn träskiva brinner snabbare än en med grövre dimensioner. Träet börjar brinna vid en ytemperatur på 300-400°C. När materialet brinner eller utsätts för hög värme startar den termiska nedbrytningen. Den långsamma nedbrytningen, där H<sub>2</sub>O och CO<sub>2</sub> bildas, pågår tills temperaturen når ungefär 200°C. Vid en temperatur på mellan 280 - 500°C bildas brännbara gaser som antänder om tillräckligt med syre finns i luften. Vid denna temperatur bildas även träkol. Då temperaturen överstiger 500°C börjar träkol att glöda och förbrännas med samma hastighet som det bildades. Kolskiktet hjälper till att bibehålla stabiliteten hos trä under brand, då det skyddar träets inre, vilket visas i Figur 1 (Svenskt trä, 2013).



Figur 1: Kolskiktet skyddar träets inre (Svenskt trä, 2013).

Beroende på värmeutvecklingen ökar eller avtar branden. Inledningsvis utvecklas mycket värme men utvecklingen avtar när ytan förkolnas. Tiden för förkolningen är beroende av träets dimensioner (tjocklek). Förkolningshastigheten ligger på mellan 0,6-1,0 mm/minut vid fullt utvecklade brand. När materialet innanför kolskiktet börjar påverkas av den förhöjda temperaturen börjar träet att plasticeras, det vill säga deformationerna ökar. Innanför pyrolyszonen, som är den zon där plasticeringen sker, har träet i stort sett normal temperatur och de flesta egenskaper är opåverkade. Detta är orsaken till att träet vid brand behåller sin bärförmåga under lång tid (Svenskt trä, 2013).

Då träet förses med brandskyddsmedel förändras dess egenskaper, såsom tid till antändning, flamspridning samt värme- och rökutveckling. Dessutom förlängs tiden till övertändning, vilken i vissa fall förhindras helt. Brandskyddsmedel tillsätts genom impregnering eller bestrykning av en färg. Impregneringen ger ett mer varaktigt och tåligt skydd än färgen, vilken sväller upp vid brand och på så sätt skyddar träytan. Brandskyddsmedlen är oorganiska, vattenlösliga salter och bör därför inte användas i fuktiga miljöer. För att i flerbostadshus uppnå erforderligt brandmotstånd i träväggar kan dessa kompletteras med en extra gips- eller plywoodskiva på vardera sida av väggen. Träbjälklag kan kompletteras genom att undertaket förses med dubbla gipsskivor och att utrymmet mellan bjälkarna fylls med stenullsisolering (Svenskt trä, 2013).

## 2.5.2 Stål

Stål är ett obrännbart material men har andra mindre lämpliga egenskaper. Materialet upphettas lätt och sprider värme relativt snabbt. Värmeutvecklingen i en stålkonstruktion är beroende av stålprofilens dimensioner. Hållfastheten och elasticitetsmodulen för stål avtar när det utsätts för värme och vid 450 – 500°C har hållfastheten halverats. När temperaturen nått 700°C är hållfastheten i praktiken noll. Detta innebär att bärförmågan avtar och krypfenomen börjar uppträda. I oskyddade konstruktioner kan temperaturen vid brand uppnå 1000°C, vilket reducerar böjmotståndet med 95 procent. Då stålet upphettas utvidgas det, vilket leder till att konstruktionen kan bli instabil eller att den rasar. För att skydda stålkonstruktionen kan den kläs in i gips eller annan brandsäker beklädnad (Norgips, 2012). Genom att bygga in stålstommen i väggar och bjälklag kan behovet av separat brandskydd undvikas helt eller kraftigt reduceras, vilket är kostnadsbesparande (Berg, 2007).

### 2.5.3 Betong

Betong klassas som ett obrännbart material, då det har god motståndskraft mot brand. Betong behöver i allmänhet inte brandskyddas. Vid en alltför hög temperatur kommer vattnet, som bands kemiskt när betongen hårdnade, att lämna betongen, vilket leder till en viss nedbrytning. I vissa fall kan förångningen ske snabbt vilket kan leda till att täcksiktet spjälkas av. Om temperaturen fortsätter att öka kommer armeringsstålet efter en viss tid att förlora sin hållfasthet, varvid konstruktionen deformeras (Gillberg, 1999).

## 2.6 Akustik

Ljud är fysikaliskt sett variationer i lufttryck. Då ljud (lufttrycksvågor) från en källa träffar ett föremål utsätts föremålet för varierande tryck och sätts på så vis i svängning. Föremålet bidrar därmed till vidare spridning av ljudet. Olika sätt för ljud att transporteras är genom luft, direkttransmission, flaktransmission eller stegljud. Luftljud transporteras direkt från ljudkällan till mottagaren genom luften. Direkttransmission innebär att ljud sprids från ett utrymme till ett annat genom en skiljekonstruktion. All ljudöverföring som ej sker genom skiljekonstruktionen, exempelvis ljud som sprids genom anslutande väggar eller bjälklag, innertak, kanaler eller otätheter, samlas under begreppet flanktransmission. Stegljud uppstår i bjälklag då människor går omkring på dessa (Svenskt trä, 2013).

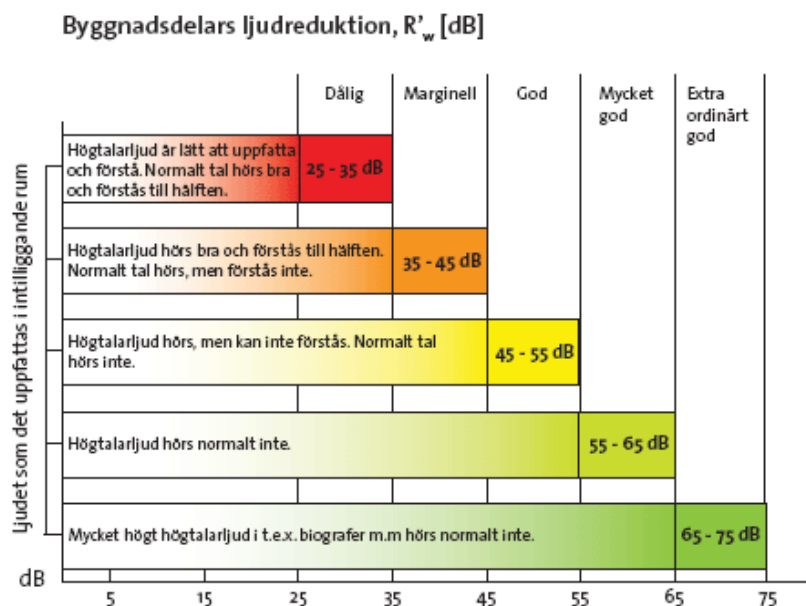
Bostäders ljudstandard bedöms i klasserna A-D, där A motsvarar den högsta standarden och C motsvarar miniminivån för nybyggda bostäder enligt Boverkets byggregler, BBR. Klass D kan accepteras i äldre byggnader där bevarandaspekterna väger tyngre än störningsfriheten hos de boende. Skillnaden i ljudtrycksnivå mellan varje klass är 4 dB. I Tabell 1 redovisas definitionerna av respektive ljudklass (Isover, 2013).

Tabell 1: Definition av ljudklasser (Isover, 2013)

Ljudklass A:	Motsvarar mycket goda ljudförhållanden.
Ljudklass B:	Motsvarar tydligt bättre ljudförhållanden än ljudklass C. Bör tillämpas om god boendemiljö efterfrågas.
Ljudklass C:	Ger tillfredsställande ljudförhållanden för en majoritet av de boende och kan tillämpas som minimikrav enligt Boverkets föreskrifter.
Ljudklass D:	Motsvarar ljudförhållanden som är avsedda att tillämpas när ljudklass C av särskilda skäl inte kan uppnås. Exempelvis kan det handla om varsam renovering, som omöjliggör uppfyllandet av ljudklass C. Ljudklass C ska alltid eftersträvas där så är möjligt, tekniskt och ekonomiskt.

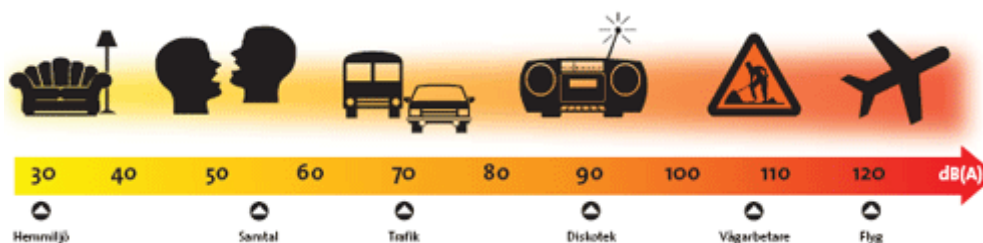
Beroende på ett rums beskaffenhet har ljudet en viss efterklangstid. Det innebär att ljudet från en ljudkälla fortfarande hörs en tid efter att källan tystnat, vanligen mellan någon tiondels- till några sekunder. Definitionen av begreppet efterklangstid är den tid det tar för ljudnivån i rummet att minska 60dB från det att ljudkällan tystnat. Genom att beklä rummet med ljuddämpande material i tak och på väggar kan efterklangstiden reduceras (Svenskt trä, 2013). Nedan i Figur 2 visas hur ljud i intilliggande rum

uppfattas vid olika värden på en byggnadsdels ljudreduktion. Ljudklass C motsvarar en luftljudsreduktion på ca 53 dB.



Figur 2: Byggnadsdelars ljudreduktion (Isover, 2013).

Önskad efterklangstid varierar beroende på verksamheten i rummet. I hemmet kan rum med kort efterklangstid vara att föredra då de av många människor upplevs som mer behagliga än rum med lång efterklangstid, vilka kan upplevas som bullriga. I en föreläsningssal är en något längre efterklangstid att föredra för att talaren ska höras tydligt i hela salen, dock ej så lång att ljudet inte hinner klinga ut mellan orden (Svenskt trä, 2013). Nedan i Figur 3 visas aktiviteter som motsvarar olika ljudnivåer.



Figur 3: Aktivitetens ljudnivåer angivna i dB (Isover, 2013).

### 2.6.1 Trä

Tillräcklig ljudisolering kan i lägenhetsskiljande väggar av trä uppnås genom tillägg av en extra gipsskiva på vardera sida av väggen (Isover, 2007). För att i bjälklag uppnå tillräcklig ljudisolering kan golvet förses med mjuk beläggning eller med en takboard som dämpar stegljud, bjälklaget fyllas med mineralull och undertaket separeras från bjälklaget så att ett luftrum skapas (Berg, S. 2007).



## **2.6.2 Stål**

Ljudisolering i lägenhetsskiljande väggar i byggnader med stålstomme kan uppnås genom dubbla stålreglar, dubbel isolering och dubbla gipsskivor på vardera sida av väggen (Isover, 2007). För att ljudisolera bjälklag med stålprofiler kan en TRP-plåt monteras under profilerna, bjälklaget fyllas med isolering och dubbla gipsskivor läggas på båda sidor bjälklaget. Bjälklag med stålprofiler är dock ovanliga vid byggnation av flerbostadshus.

## **2.6.3 Betong**

Betongens täthet och tyngd ger materialet goda ljudabsorberande egenskaper när det gäller luftljud, men förmågan att dämpa stegljud är liten. Detta kan i bjälklag åtgärdas genom att placera mjuka stegljudsmattor mellan golv och betongbjälklag. Lägenhetsskiljande väggar klarar normalt ljudkraven utan extra ljudisolering (Gillberg, 1999).

### 3 Modellering av stommarna

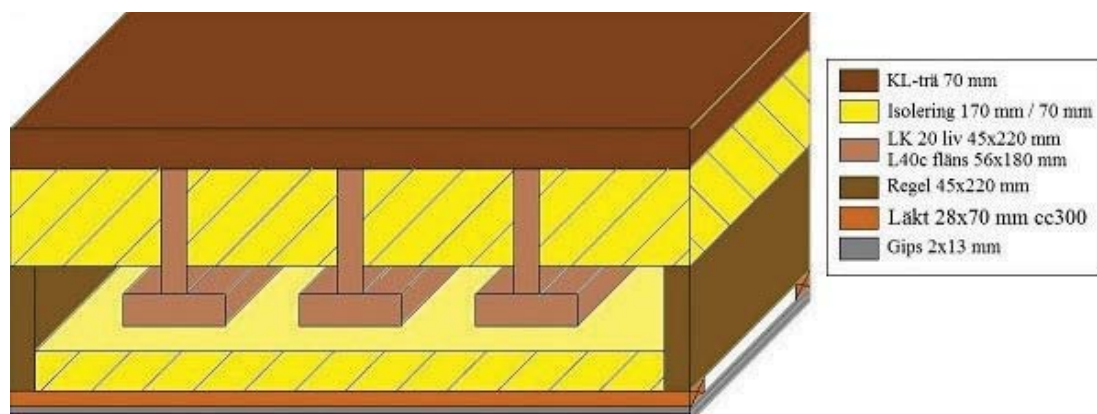
I Amhult på Hisingen i Göteborg byggs ett nytt bostadsområde med flerbostadshus, för vilka teknikkonsultföretaget WSP har dimensionerat stommen och tagit fram konstruktionshandlingar. I det här projektet används ett av husen som fallstudie.

Byggnaden har fem våningsplan, ett källarplan och ett garageplan. Samtliga alternativ förutsätts ha källarplan och garageplan med betong som stommaterial, varför endast våningsplan ovan marknivå studeras, eftersom jämförelsen inte påverkas av källar- och garageplanen. Enligt konstruktionshandlingarna är golvarean per våningsplan 410 m<sup>2</sup> och den sammanlagda balkongarean 36 m<sup>2</sup> per våningsplan. Den ursprungliga stommen består av betongbjälklag, bärande betonginnerväggar, betongpelare inne i byggnaden och stålpelare längs fasaden. Byggnadens grundläggning består av grundbalkar, 34 plintar och sex pålplattor med betongfyllda stålrörspålar. Ordinarie ritningar finns i bilaga 1.

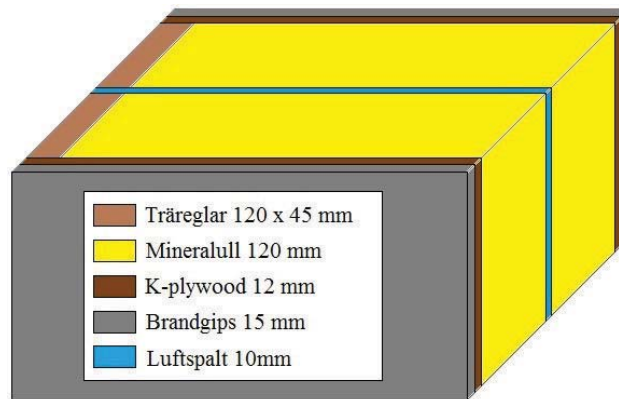
I det här projektet modelleras i Tekla Structure (TEKLA®, 2012) ett stomsystem med vardera trä, stål och betong som huvudsakligt stommaterial, baserat på husets form i originalritningarna. Ett stomsystem består dock inte enbart av ett av materialen, utan fler material förekommer i alla alternativ.

#### 3.1 Trä

I förslaget med trästomme, framtaget av David Rönnqvist på Martinsons, byts betongbjälklaget ut mot ett träbjälklag, vilket visas i Figur 4. De lägenhetsskiljande betongväggarna ersätts av träregelväggar med dubbla regler 120 x 45 mm. Väggarna bekläms med en 16 mm plywoodskiva och en 15 mm brandgipsskiva på vardera sida av väggen. Väggens uppbyggnad visas i Figur 5. För bäring tillkommer även stålpelare VKR 100x100x5 och träbalkar L40c, vilkas dimensioner Peder Bodén, WSP, har beräknat, se bilaga 1.



Figur 4: Snitt av träbjälklag, bredd 1202mm, djup 300mm.

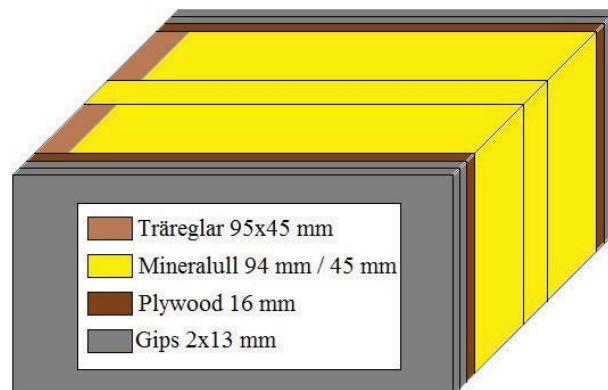


Figur 5: Snitt av vägg; bredd 600 mm, höjd 2520 mm.

### 3.2 Stål

Enligt ett av Peder Bodén, WSP, framtaget förslag till stålstommen, vilket visas i bilaga 1, byts det ordinarie bjälklaget ut mot ett håldäcksbjälklag av betong av typen HD/f 120/27. Betonginnerväggarna ersätts av bärverk med stålpelare VKR 120x120x8 på de tre nedersta planen, VKR 120x120x5 på de två övre planen och en väggkonstruktion med dubbla träreglrar 95 x 45 mm. Inomhus ligger på pelarna både HSQ- och VKR 120x120x6,3-balkar. I fasaden ligger IPE220-balkar och vid balkongerna ligger HSQ-balkar på samma sorts pelare som i innerväggarna.

För att klara ljudkraven görs en 50 mm pågjutning av betong på bjälklaget. De lägenhetsskiljande väggarna bekläs med två 13 mm gipsskivor och en 16 mm plywoodskiva på vardera sida. Väggens uppbyggnad visas i Figur 6. Vindkryss av typ VKR 100x100x6,3 placeras ut enligt ritning i bilaga 1.



Figur 6: Snitt av vägg; bredd 600 mm, höjd 2520 mm.

### 3.3 Betong

Betongstommen består av ett 250 mm tjockt betongbjälklag, vars undre hälft består av prefabricerade plattbärlagselement och vars övre hälft platsgjuts, och 200 mm tjocka innerväggar av betong. Armeringen i bjälklagen ingår ej explicit i modellen då det ansågs alltför tidskrävande att lägga in. Istället har vikten av armeringen uppskattats

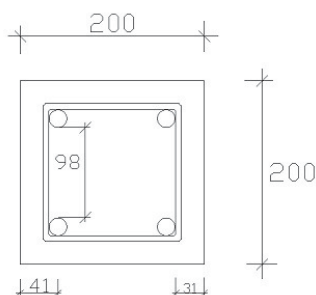
till 12 kg/m<sup>2</sup> för bjälklaget. Inomhus finns två betongpelare med tvärsnittsmått 200x200 mm. De ordinarie stålpelarna i fasaden byts ut mot betongpelare, vilka dimensioneras enligt avsnitt 3.3.1 nedan.

### 3.3.1 Dimensionering av betongpelare

Då originalbyggnaden har stålpelare längs fasaden dimensioneras betongpelarna till betongalternativet, dock endast med avseende på brottgränstillstånd. De dimensioneras ej för bruksgränstillstånd. Dock beaktas krypning genom ett effektivt kryptal, vilket beror av långtidslasten och behövs för beräkning av nominell böjstyvhet.

Från modellen i Tekla Structure hämtas stommens egenvikt som belastar pelarna på bottenplan. Ett preliminärt tvärsnitt och armering ansätts för pelaren och lösningen itereras fram. De variabla laster som beaktas är snölast, vindlast och nyttig last. Lastkombinationer med vardera last som huvudlast ställs upp och dimensionerande moment och tvärkraft beräknas.

Lastfallet där vind är huvudlast blir dimensionerande för både tvärkraft och moment. Beräkningarna resulterar i ett tvärsnitt med måtten 200x200 mm med fyra längsgående armeringstänger med diameter 16 mm och tvärarmeringsbyglar med diameter 6 mm med 114 mm mellanrum, vilket visas i Figur 7. För fullständig beräkning, se bilaga 2.



Figur 7: Betongpelarens tvärsnitt [mm].

## 3.4 Grundläggning

För respektive stomsystem jämförs två typer av grundläggning. Vid goda markförhållanden förutsätts byggnaden kunna grundläggas på packad sprängbotten med grundplatta och grundsulor. Grundplattans tjocklek antas vara 150 mm och för att underlätta beräkningsgången fördelas grundsulornas totala volym jämnt under hela grundplattan, vilket resulterar i en "grundsuleplatta" med 100 mm tjocklek.

Vid sämre markförhållanden, där pålning krävs, förutsätts att byggnaden grundläggs med pålplintar och grundplatta. Även här antas grundplattans tjocklek vara 200 mm och pålplintarnas volym vara jämnt fördelad under grundplattan, vilket resulterar i en "pålplintsplatta" med 100 mm tjocklek. Alla pålar antas vara 20 meter långa, av betong C45/55 och av samma typ, SP1, vilken har tvärsnittsmåtten 235x235 mm och är armerad med 4 längsgående armeringsstänger med diameter 16 mm.

### 3.5 Lastnedräkning

För att kunna dimensionera och jämföra behovet av grundläggning för respektive stomalternativ görs en lastnedräkning för vardera materialval. I lastnedräkningen försummas vindlasten. Mått, areor och volymer, som behövs för att beräkna de laster som förekommer i byggnaden, hämtas dels från modellerna och dels från konstruktionshandlingarna. I Tabell 2 nedan sammanfattas resultaten av lastnedräkningarna och för grundläggningen erforderligt antal grundpelare. För fullständig beräkningsgång se bilaga 3.

Tabell 2: Ytlast och erforderligt antal grundpålar för respektive stomme.

	Trästommen	Stålstommen	Betongstommen
Ytlast	30,5 kN/m <sup>2</sup>	57,8 kN/m <sup>2</sup>	70 kN/m <sup>2</sup>
Antal pålar	18	30	36

## 4 Miljöbelastning

Bygg- och fastighetssektorn står för en betydande del av Sveriges miljöpåverkan. År 2005 stod sektorn för 16 procent av den totala mängden utsläpp av växthusgaser i landet. En stor bidragande faktor till dessa utsläpp är sektorns energianvändning, vilken motsvarar 10 procent av landets totala energianvändning då byggnadens uppvärmning exkluderas och 28 procent då uppvärmning inkluderas (Toller et al, 2009). För att nå det av regeringen uppsatta miljömålet “begränsad klimatpåverkan”, vilket innebär att “halten koldioxid i atmosfären ska stabiliseras på en nivå som innebär att mänsklig påverkan på klimatsystemet inte blir farlig” (Naturvårdsverket, 2013), är det viktigt att sektorn strävar efter att minska sin påverkan. Ett sätt att analysera och jämföra miljöpåverkan av olika produkter och aktiviteter är att genomföra livscykelanalyser för dem.

### 4.1 Livscykelanalys (LCA)

Livscykelanalys är en metod som används för att beräkna en byggnads miljöbelastning under samtliga faser i dess livscykel. De effekter på miljön som i första hand beaktas är ekologiska konsekvenser, såsom växthuseffekten och försurning. Vilken effekt som beaktas beror på analysens syfte. En livscykelanalys kan även användas till att se vilka av byggnadens faser som ger störst bidrag till miljöbelastningen (Brunklaus, 2002).

ISO, International Organization for Standardization, har genom ISO 14040:2006 och ISO 14044:2006 tagit fram en standard för genomförandet av livscykelanalyser. I standarden finns beskrivet hur mål och omfattning definieras genom att en frågeställning skapas och avgränsning och funktionell enhet för jämförbara resultat definieras. Vidare beskrivs hur ingående data för utsläpp, energi- och materialförbrukning samlas och hur datan transformeras till miljöeffekter. Slutligen beskrivs hur livscykelanalysen tolkas, redovisas, kritiskt granskas och begränsas (Brunklaus, 2002).

För en komplett livscykelanalys ska en byggnads samtliga faser beaktas, vilket innefattar faserna råmaterialutvinning, tillverkning av material, transport, produktion, drift, underhåll, rivning, materialåtervinning och deponering. Analysen kan avgränsas genom valet av systemgräns. För jämförbarhet av livscykelanalyser är valet av systemgräns betydande. Två begrepp på vanliga systemgränser för analys av byggnader är “vagga-till-grind” och “vagga-till-grav”. Det förstnämnda begreppet avser endast faserna fram till och med färdig byggnad, medan det sistnämnda avser byggnadens samtliga faser fram till och med rivning, materialåtervinning och deponering. Beroende på livscykelanalysens syfte är valet av data av stor vikt. Vid bedömning av en specifik byggnad krävs att datan är specifik från de industrier som utnyttjas. Vid bedömning av byggnader generellt, krävs att genomsnittlig data används. För att resultaten ska vara jämförbara krävs att de presenteras på ett likvärdigt sätt. Det enklaste sättet att presentera resultaten är i form av absoluta mängder utsläpp. I denna form kan resultaten bestå av många parametrar. För att minska mängden parametrar i resultaten kan mängden utsläpp översättas till miljöeffekter, t.ex. bidrag till växthuseffekt, försurning eller koldioxidekvivalenter, vilka innefattar flertalet parametrar (Brunklaus, 2002).

## 4.2 Tidigare genomförda studier

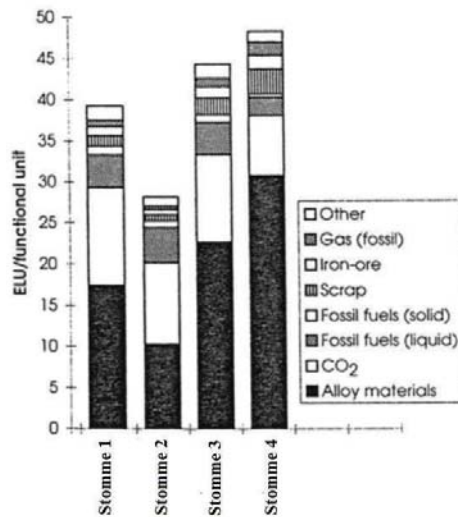
Det finns många studier som behandlar livscykelanalyser av stommar med olika material och olika typer av byggnader. Nedan sammanfattas ett par studier som behandlar stommar hos flerbostadshus och resultaten av dessa studier.

### 4.2.1 LCA of Concrete and Steel Building Frames

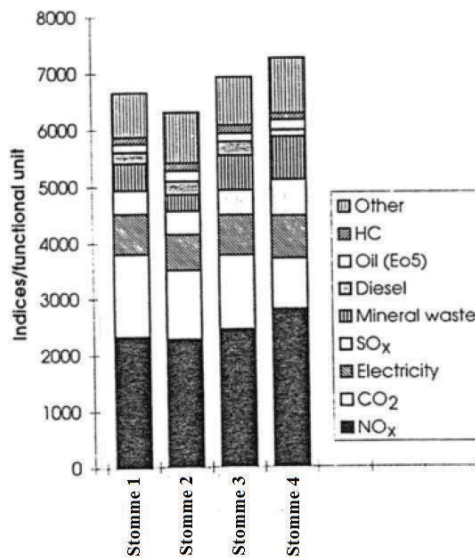
Tidskriftsartikeln *LCA of Concrete and Steel Building Frames* (Jönsson, 1998) analyserar och jämför med LCA-metodik betong- och stålstommar hos flerbostadshus, med för uppfyllande av funktionskrav tillkommande material. Två betongstommar, en platsgjuten och en prefabricerad, en stål-betongstomme och en stål-stålstomme behandlas. Den funktionella enheten definieras som en genomsnittlig kvadratmeter golvyta under byggnadens livstid, vilken är 50 år. Systemgränsen för analyserna är vagga till grav, det vill säga miljöbelastning från byggnadens hela livslängd studeras. Utvalda parametrar som bidrar till miljöbelastning är råmaterialanvändning, energianvändning, emissioner till luft, emissioner till vatten och avfallsgenerering. Dessa parametrar presenteras med avseende på användning av fossilt bränsle, CO<sub>2</sub>, elektricitet, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, legeringsämnen och avfall, vilka väger olika tungt beroende på vilken bedömningsmetod som används.

De bedömningsmetoder som används är Environmental Priority Strategies (EPS), Environmental Theme Method och Ecological Scarcity Method. EPS-metoden presenterar miljöpåverkan i enheten ELU per funktionell enhet, där ELU står för Environmental Load Unit, vilken visar samhällets betalningsvilja för att undvika eller åtgärda en miljöpåverkan till ett referenstillstånd, inom områdena biologisk mångfald, naturresurser, ekosystemens produktionskapacitet, mänsklig hälsa och estetiska värden. Metoden viktat legeringsmaterial, CO<sub>2</sub> och emissioner och användning av fossila bränslen högt. Environmental Theme Method syftar till att omvandla inventeringsdata till miljöproblembidrag, som exempelvis bidrag till växthuseffekten eller försurning, vilka därefter viktas mot varandra och anges i enheten index per funktionell enhet. Metoden viktat NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, elektricitet och SO<sub>x</sub> högt. Ecological Scarcity Method beskriver miljöpåverkan utifrån ekologisk knapphet av tillgångar och anges i enheten ecopoints per funktionell enhet, vilken definieras som förhållandet mellan total och kritisk miljöpåverkan inom ett geografiskt definierat område. Metoden viktat NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, emissioner pga. metaller och farligt avfall högt.

Beroende på vilken bedömningsmetod som används erhålls olika värden på miljöbelastningen per funktionell enhet. Bedömningsmetoderna har olika enhet på miljöbelastning, vilket innebär att resultaten endast är direkt jämförbara inom respektive metod. Tidskriftsartikeln presenterar resultat från många olika delar av byggnadens livscykel. De resultat, för vardera bedömningsmetod, som berör tillverkningsfasen presenteras nedan, EPS-metoden i Figur 8, Environmental Theme Method i Figur 9 och Ecological Scarcity Method i Figur 10. I figureerna nedan betecknar stomme 1 en platsgjuten betongstomme, stomme 2 en prefabricerad betongstomme, stomme 3 en stål-betong-stomme och stomme 4 en stål-stål-stomme.

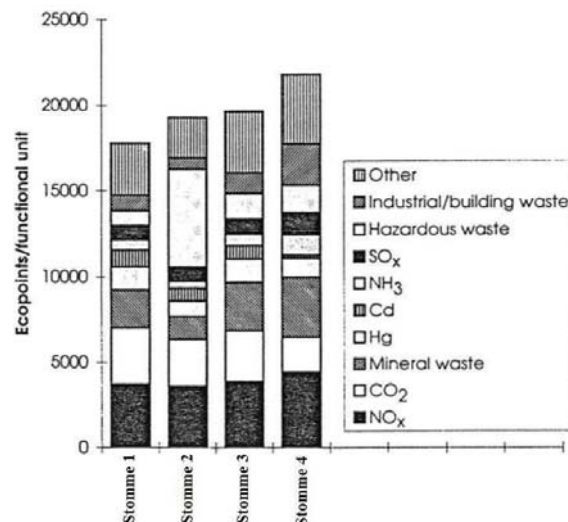


Figur 8: Miljöbelastning för respektive stomme utvärderad med EPS-metoden (Jönsson, 1998).



Figur 9: Miljöbelastning för respektive stomme utvärderad med Environmental Theme Method (Jönsson, 1998).





Figur 10: Miljöbelastning för respektive stomme utvärderad med Ecoscarcity Method (Jönsson, 1998)

Resultaten visar på att miljöbelastning per funktionell enhet, beräknad enligt samtliga metoder, är högst för stål-stålstommen tätt följt av stål-betongstommen och lägst för betongstommarna. Environmental Theme Method och Ecological Scarcity Method visar båda på att skillnaderna mellan stålstommar och betongstommar är relativt liten. Dessa metoder visar även på att skillnaden mellan platsgjuten och prefabricerad betongstomme är relativt liten, men enligt den förra har den platsgjutna stommen högre miljöbelastning än den prefabricerade, vilket är tvärtemot resultaten från den senare. Även resultaten från EPS-metoden tyder på att den prefabricerade betongstommen har lägre miljöbelastning än de två andra stommarna.

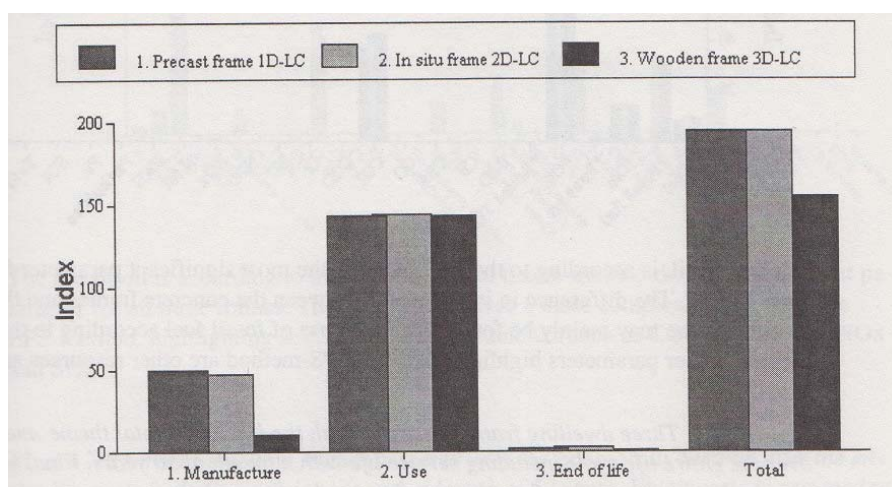
Resultaten av rapportens analyser över byggnadens hela livscykel visar på att energiförbrukningen står för den överlägset största andelen av den totala miljöbelastningen. Valet av stommaterial står dock endast för en liten del av energiförbrukningens miljöbelastning. Produktion av byggnaden, från vagga till grind, genererar en andel som är ungefär lika stor som den andel som genereras av underhåll och värmeförluster genom ytterväggar. Rivning och avfallshantering står för en andel som är förhållandevis liten jämfört med de övriga andelarna (Jönsson, 1998).

#### 4.2.2 LCA of Concrete and Wooden Building Frames

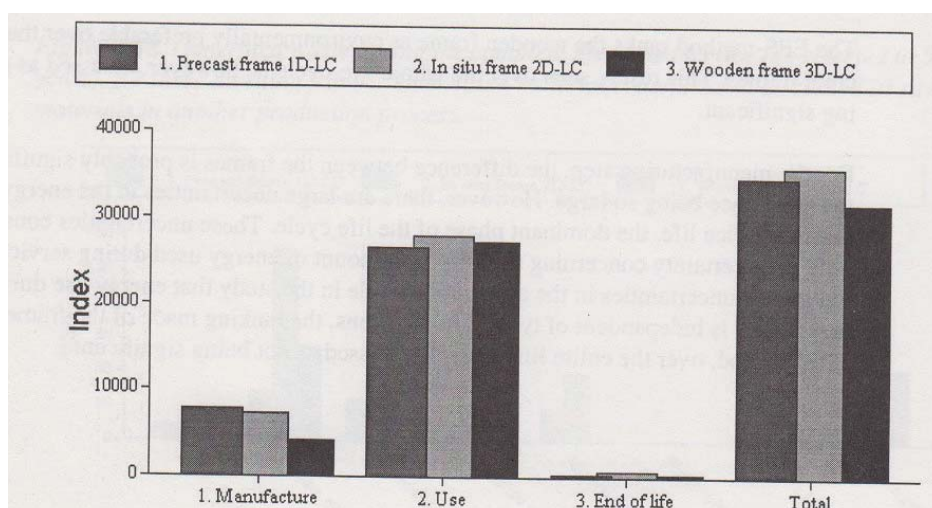
Rapporten LCA of Building Frame Structures - Environmental Impact over the Lifetime Cycle of Wooden and Concrete Frames (Björklund, 1997) analyserar och jämför med LCA-metodik, på samma sätt som i avsnitt 4.2.1, betong- och trästommar, med för uppfyllande av funktionskrav tillkommande material, hos flerbostadshus. En trästomme och två betongstommar, en platsgjuten och en prefabricerad, behandlas. Betongstommarna är desamma som i avsnitt 4.2.1. Den funktionella enheten definieras som en genomsnittlig kvadratmeter golvyta under byggnadens livstid, vilken är 50 år. Systemgränsen för analyserna är vagga till grav. Utvalda parametrar som bidrar till miljöpåverkan är råmaterialanvändning, energianvändning, emissioner till luft, emissioner till vatten och avfallsgenerering. Dessa parametrar presenteras med avseende på användning av fossilt bränsle, CO<sub>2</sub>, elektricitet, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, lösta

material och avfall, vilka väger olika tungt beroende på vilken bedömningsmetod som används. De bedömningsmetoder som används är Environmental Priority Strategies (EPS), Environmental Theme Method och Ecological Scarcity Method. För beskrivning av respektive metod, se avsnitt 4.2.1.

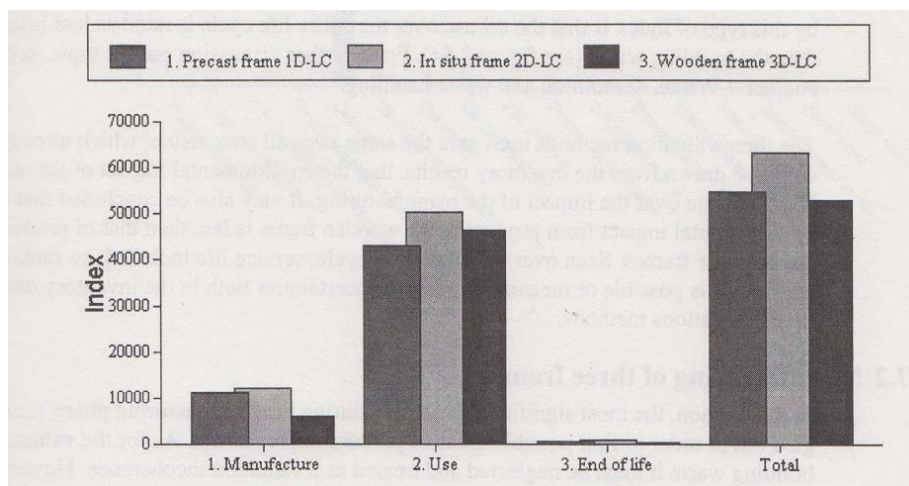
Rapporten presenterar resultat från många olika delar av byggnadens livscykel. Resultat för vardera bedömningsmetod presenteras nedan, EPS-metoden i Figur 11, Environmental Theme Method i Figur 12 och Ecological Scarcity Method i Figur 13. I figurerna nedan motsvarar den vänstra stapeln en prefabricerad betongstomme, den mittersta motsvarar en platsgjuten betongstomme och den högra motsvarar en trästomme. Miljöpåverkan presenteras i EPS-metoden i enheten ELU/funktionell enhet, i Environmental Theme Method i enheten index/funktionell enhet och i Ecological Scarcity Method i enheten ecopoints/funktionell enhet.



Figur 11: Miljöbelastning per stomme utvärderad över hela livscykeln med EPS-metoden (Björklund, 2007).



Figur 12: Miljöbelastning per stomme utvärderad över hela livscykeln med Environmental Theme Method (Björklund, 2007).



Figur 13: Miljöbelastning per stomme utvärderad över hela livscykeln med Ecoscarcity Method (Björklund, 2007).

Resultaten visar på att miljöpåverkan över byggnadens hela livslängd, beräknad enligt samtliga metoder, är högst för betongstommarna och lägst för trästommen, men skillnaderna mellan de tre stomalternativen är små. Resultaten från EPS-metoden visar på att trästommen har lägre miljöpåverkan än båda betongstommarna, vilka har ungefär lika hög miljöpåverkan. Även enligt Environmental Theme Method erhålls liknande resultat, men skillnaderna är mindre. Dock visar dessa resultat på att den platsgjutna betongstommen har något högre miljöpåverkan än den prefabricerade. Enligt Ecological Scarcity Method visar resultaten på att den platsgjutna betongstommen har mycket högre miljöpåverkan än både den prefabricerade betongstommen och trästommen, vilka har nästan lika stor miljöpåverkan. Samtliga bedömningsmetoder visar på att bruksstadiet står för den överlägset största andelen av den totala miljöbelastningen och att miljöpåverkan under tillverkningsfasen är större för betongstommarna än för trästommen. Då underlaget till analyserna och bedömningsmetoderna innehåller vissa osäkerheter kan ingen generell slutsats dras om vilken stomme som har lägst total miljöpåverkan (Björklund, 1997).

### 4.3 Stommaterialens påverkan på miljöbelastning

Valet av stommaterial kan idag anses ha liten betydelse om man ser till hela byggnadens livslängd, då stommens miljöpåverkan är mycket mindre än miljöpåverkan från driften. Driftfasen är normalt den längsta fasen hos en byggnad och även den fasen som bidrar mest till miljöbelastningen. Detta på grund av att den största delen av en byggnads energiförbrukning sker under driftfasen. Om man däremot endast ser till byggnadens färdigställande har valet av stommaterial desto större betydelse. Enligt Henrik Carlsson, WSP, kommer dock den av driften orsakade energianvändningen, för till exempel värme och varmvatten, förväntas minska i framtiden, i och med ökandet av passivhusbyggande, till en nivå motsvarande energiåtgången för framställning av betongen i ett betonghus. Detta innebär att då driftfasens andel av byggnadens totala energianvändning minskar kommer andelen för tillverkningsfasen att öka, vilket tyder på att val av stomme kommer att ha en större betydelse i framtiden.

Förutom att framställning av de olika materialen påverkar miljön i olika grad kan materialvalet påverka precisionen vid utförandet och kvaliteten hos byggnaden, vilket i sin tur kan påverka exempelvis lufttätheten i byggnaden och därmed energiförbrukningen. Ju längre en byggnads livstid är desto viktigare är det att beakta faktorer som påverkar energiförbrukningen under driftfasen. Miljöbelastningen under driftfasen påverkas mycket av vilken sorts elektricitet och värme som används (Ekvall, 2006).

Valet av stommaterial har även betydelse för vilka åtgärder som måste vidtas för att åstadkomma erforderlig ljudisolering och brandskydd (Ekvall, 2006). Stommens värmelagrande förmåga kan minska energibehovet, men för att kunna analysera det måste hänsyn tas till hela byggnaden och inte bara till stommen. Det bör eftersträvas att stommar byggs så att behovet av energiförbrukning under driftfasen blir så litet som möjligt, t.ex. genom att undvika värmeförluster genom ytterväggar och möjliggöra värmelagring i stommen (Björklund, 1997).

## 4.4 Nyckeltal

Nyckeltal är ett mått som är användbart vid jämförelser av olika slag. Exempelvis kan företag använda sig av nyckeltal för att bedöma sina produkter eller tjänster. Företag som angivit nyckeltal för sina produkter eller tjänster kan jämföras med andra företag. På så vis ökas drivkraften hos företagen att förbättra dessa.

Nyckeltalens enhet varierar beroende på vilket resultat som söks och inom vilket område studien utförts. Det är därför viktigt att nyckeltalen vid jämförelser har samma enhet. Vid beräkning av miljöbelastningar hos byggnader anges nyckeltalens enhet ofta i miljöbelastning per m<sup>2</sup> golvyta, där miljöbelastning kan anges som antingen absolut mängd utsläpp, exempelvis koldioxidutsläpp, kväveutsläpp, eller som miljöeffekt, såsom global uppvärmning, övergödning eller försurning.

De nyckeltal som beräknats i den här studien anges i kg CO<sub>2e</sub> per kvadratmeter golvyta.

## 4.5 Beräkning av miljöbelastning

För att jämföra de stommar som modelleras i examensarbetet beräknas miljöbelastningen för var och en. På grund av projektets begränsade omfattning har systemgränsen "vagga-till-grind" satts. Den energianvändning som medräknas gäller dock endast stadier fram till och med att materialet är klart att användas på byggarbetsplatsen, inklusive den energi som genereras på grund av transporter dit. Den energi som genereras vid produktion av byggnaden medräknas ej. För beräkning av materialens och transporternas miljöbelastning används tabellerade värden från databasen Ecoinvent, se bilaga 4. Värdena är angivna i enheten GWP (Global warming potential) och kan variera nationer emellan, då olika nationers energimix varierar, men Ecoinvent värden kan anses vara representativa för länder i Europa. Materialvärdena inkluderar all påverkan från utvinning av råmaterial och tillverkningsprocesser fram till och med att materialet är klart att användas. Värdena för transporter till byggplatsen anges som en separat faktor.

Varje materials miljöbelastning beräknas utifrån olika fall gällande vilken grundläggning som används, platta på mark eller pålgrundläggning, hur materialet transporteras till byggarbetsplatsen, med lastbil, på järnväg eller med båt, och hur långt transportavståndet är.

## 5 Resultat

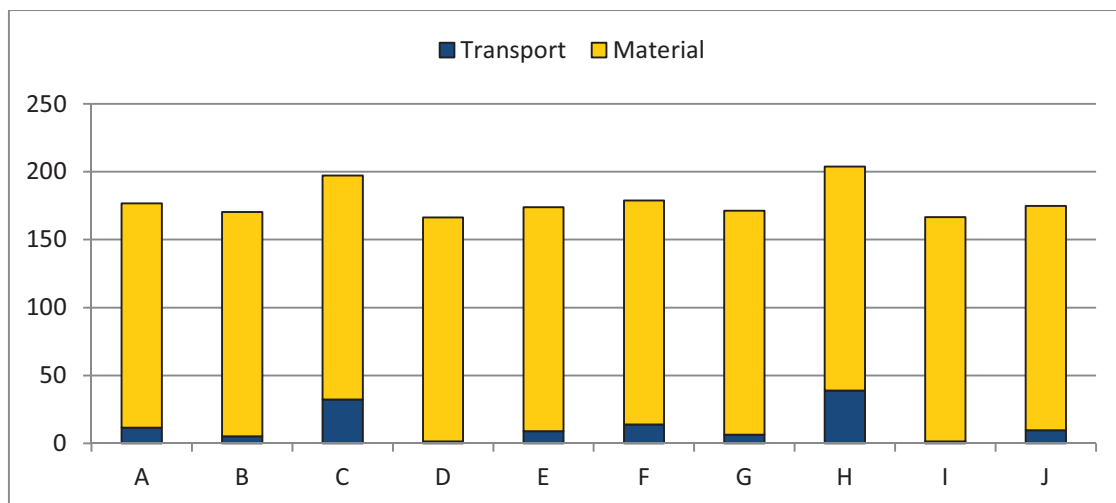
I respektive kapitel nedan redovisas resultaten för de olika stommarnas miljöbelastning. För fullständig beräkningsgång se bilaga 5.

### 5.1 Trästommen

Vid beräkning av miljöbelastning för materialen i trästommen antas att grundplattan platsgjuts medan pålarna prefabriceras. Gällande transporter antas att lång transport motsvarar 800 km och närtransport motsvarar för trä 250 km och för betong 50 km. Närtransporten antas för trä ske antingen på järnväg eller med lastbil och för betong endast med lastbil. Den platsgjutna betongen antas endast transporteras 50 km med lastbil, då långa transporter med betongbil är orimlig. I Tabell 3 nedan sammanfattas resultaten av beräkningarna av mängd koldioxidutsläpp och nyckeltal. Figur 14 visar förhållandet mellan koldioxidutsläpp orsakade av transport och materialtillverkning för de olika alternativen.

Tabell 3: Resultat av miljöbelastningsberäkning för trästommen (ton CO<sub>2e</sub>).

Grundförhållande	Transportavstånd	Transportsätt	Transport (ton)	Totalt (ton)	Nyckeltal (ton/m <sup>2</sup> )
Platta på mark	Långt	A. Båt	11,6	176,7	0,086
		B. Järnväg	5,2	170,3	0,083
		C. Lastbil	32,2	197,3	0,096
	Nära	D. Järnväg	1,3	166,4	0,081
		E. Lastbil	8,9	174,1	0,085
Pålgrund	Långt	F. Båt	13,8	197,5	0,096
		G. Järnväg	6,2	189,9	0,093
		H. Lastbil	38,8	222,6	0,108
	Nära	I. Järnväg	1,4	185,2	0,090
		J. Lastbil	9,7	193,5	0,094



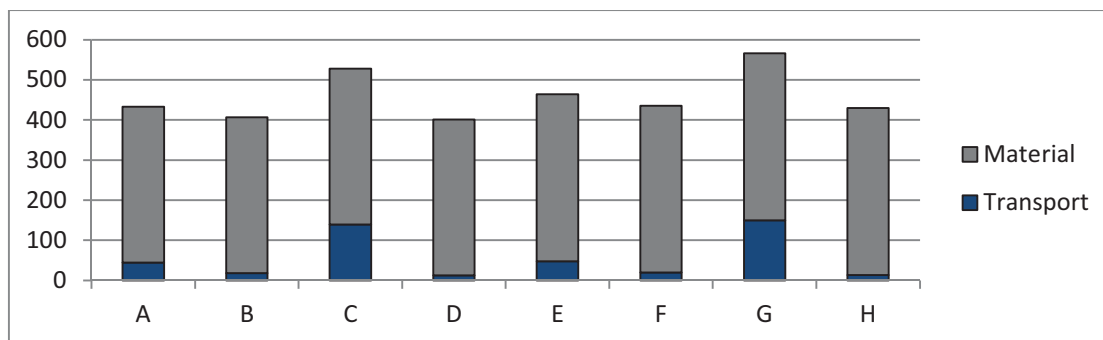
Figur 14: Diagram över förhållandet mellan transport och material.

## 5.2 Stålstommen

Vid beräkning av miljöbelastning för materialen i stålstommen antas att bjälklagen, balkongerna och pålarna är prefabricerade medan pågjutningarna på bjälklagen och grundplattan platsgjuts. Gällande transporter antas att lång transport motsvarar 800 km och närtransport motsvarar 50 km. Vid närtransport antas att all transport sker med lastbil. Den platsgjutna betongen antas alltid transporteras 50 km med lastbil, då långa transporter med cementbil är orimlig. I Tabell 4 nedan sammanfattas resultaten av beräkningarna av mängd koldioxidutsläpp och nyckeltal. Figur 15 visar förhållandet mellan koldioxidutsläpp orsakade av transport och materialtillverkning för de olika alternativen.

Tabell 4: Resultat av miljöbelastningsberäkning för stålstommen (ton CO<sub>2</sub>e).

Grundförhållande	Transportavstånd	Transportsätt	Transport (ton)	Totalt (ton)	Nyckeltal (ton/m <sup>2</sup> )
Platta på mark	Långt	A. Båt	44,2	432,9	0,2112
		B. Järnväg	18,0	406,7	0,1984
		C. Lastbil	139,2	527,9	0,2575
	Nära	D. Lastbil	12,3	400,9	0,1956
Pålgrund	Långt	E. Båt	47,7	463,5	0,2261
		F. Järnväg	19,5	435,3	0,2123
		G. Lastbil	149,9	565,8	0,2760
	Nära	H. Lastbil	13,4	429,1	0,2093



Figur 15: Diagram över förhållandet mellan transport och material.

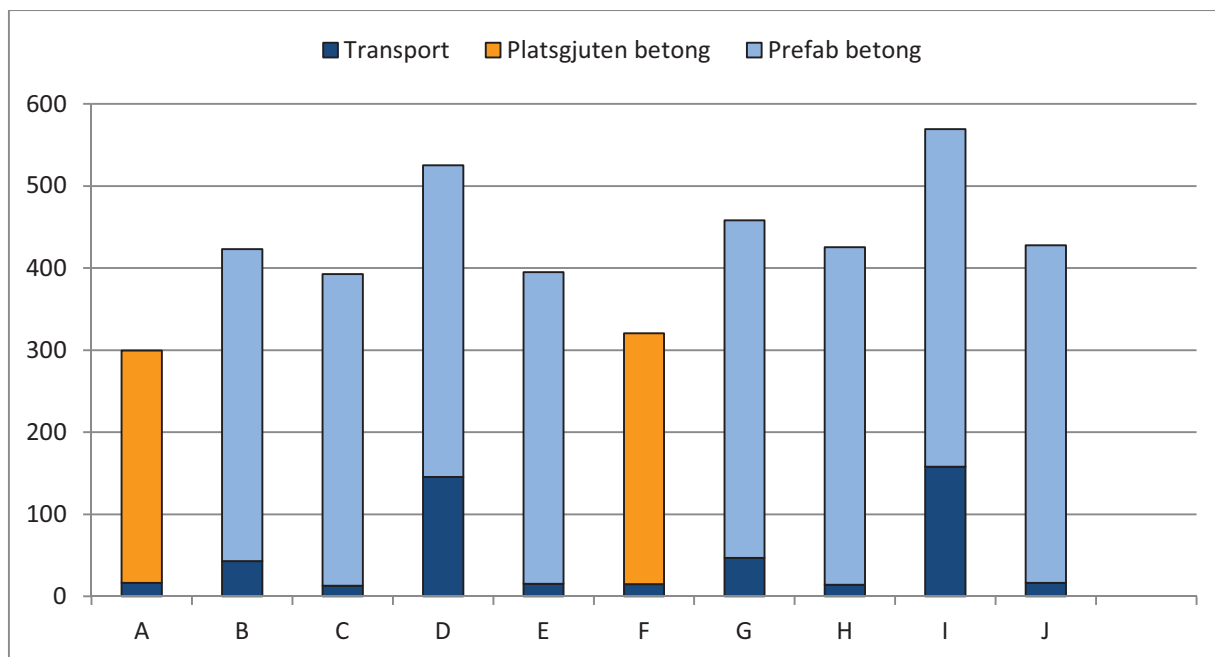
### 5.3 Betongstommen

Vid beräkning av miljöbelastning för materialen i betongstommen antas antingen att alla delar i byggnaden platsgjuts eller att alla delar prefabriceras förutom grundplattan och halva bjälklaget. Gällande transporterna antas att lång transport motsvarar 800 km och närtransport 50 km. Närtransporten antas alltid ske med lastbil. Den platsgjutna betongen antas alltid transporteras 50 km med lastbil, då långa transporter med cementbil är orimlig. Miljöbetongen antas väga lika mycket som den vanliga betongen. I Tabell 5 och Tabell 6 nedan sammanfattas resultaten av beräkningarna av koldioxidutsläpp och nyckeltal. Figur 16 och Figur 17 visar förhållandet mellan koldioxidutsläpp orsakade av transport och materialtillverkning.

Tabell 5. Resultat av miljöbelastningsberäkning för betongstommen av vanlig betong (ton CO<sub>2e</sub>).

Grundförhållande	Produktion	Transportavstånd	Transportsätt	Transport (ton)	Totalt (ton)	Nyckeltal (ton/m <sup>2</sup> )
Platta på mark	Platsgjutet	Nära	A. Lastbil	16,5	298,2	0,1455
			B. Båt	43,2	422,9	0,2063
	Prefab	Långt	C. Järnväg	13,1	392,9	0,1917
			D. Lastbil	145,4	525,2	0,2562
			E. Lastbil	15,3	395,2	0,1928
Pålgrund	Platsgjutet	Nära	F. Lastbil	15,3	322,2	0,1572
			G. Båt	46,9	458,1	0,2235
	Prefab	Långt	H. Järnväg	14,3	425,5	0,2076
			I. Lastbil	158,2	569,4	0,2778
			J. Lastbil	16,5	427,7	0,2086

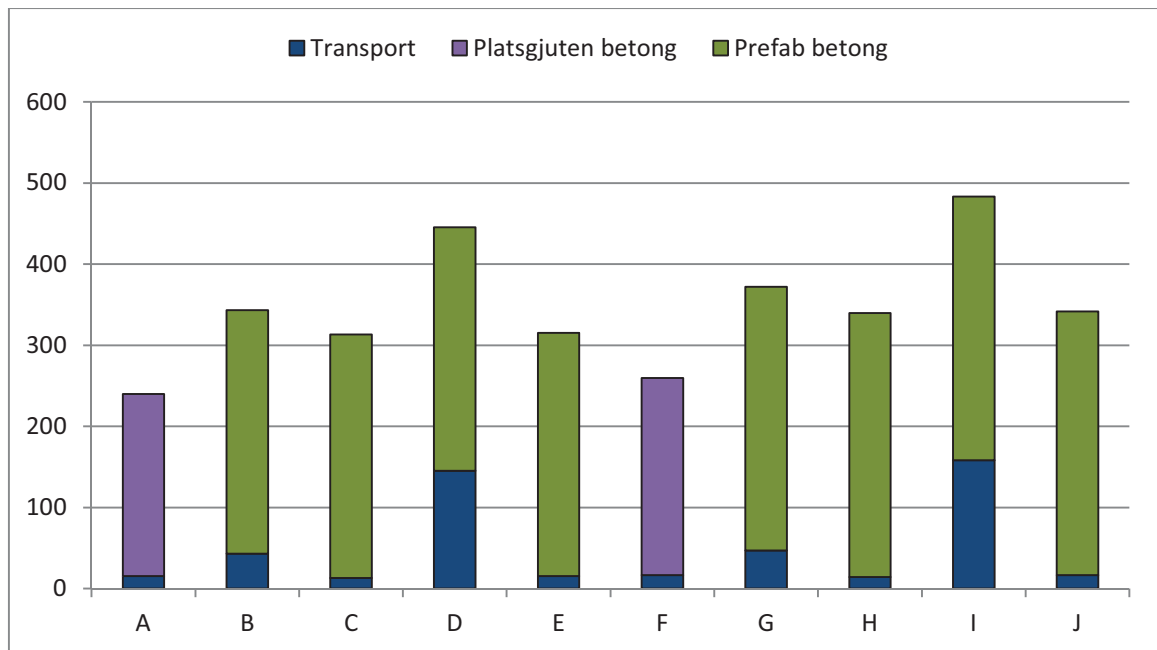




Figur 16: Diagram över förhållandet mellan transport och material.

Tabell 6: Resultat av miljöbelastningsberäkning för betongstommen av miljöbetong (ton CO<sub>2e</sub>).

Grundförhållande	Produktion	Transportavstånd	Transportsätt	Transport (ton)	Totalt (ton)	Nyckeltal (ton/m <sup>2</sup> )
Platta på mark	Platsgjutet	Nära	A. Lastbil	15,3	240,1	0,1171
	Prefab	Långt	B. Båt	43,2	343,3	0,1675
			C. Järnväg	13,1	313,3	0,1528
			D. Lastbil	145,4	445,6	0,2173
			E. Lastbil	15,3	315,8	0,1539
Pålgrund	Platsgjutet	Nära	F. Lastbil	16,5	259,5	0,1267
	Prefab	Långt	G. Båt	46,9	372,2	0,1816
			H. Järnväg	14,3	339,6	0,1656
			I. Lastbil	158,2	483,5	0,2358
			J. Lastbil	16,5	341,8	0,1667



Figur 17: Diagram över förhållandet mellan transport och material.

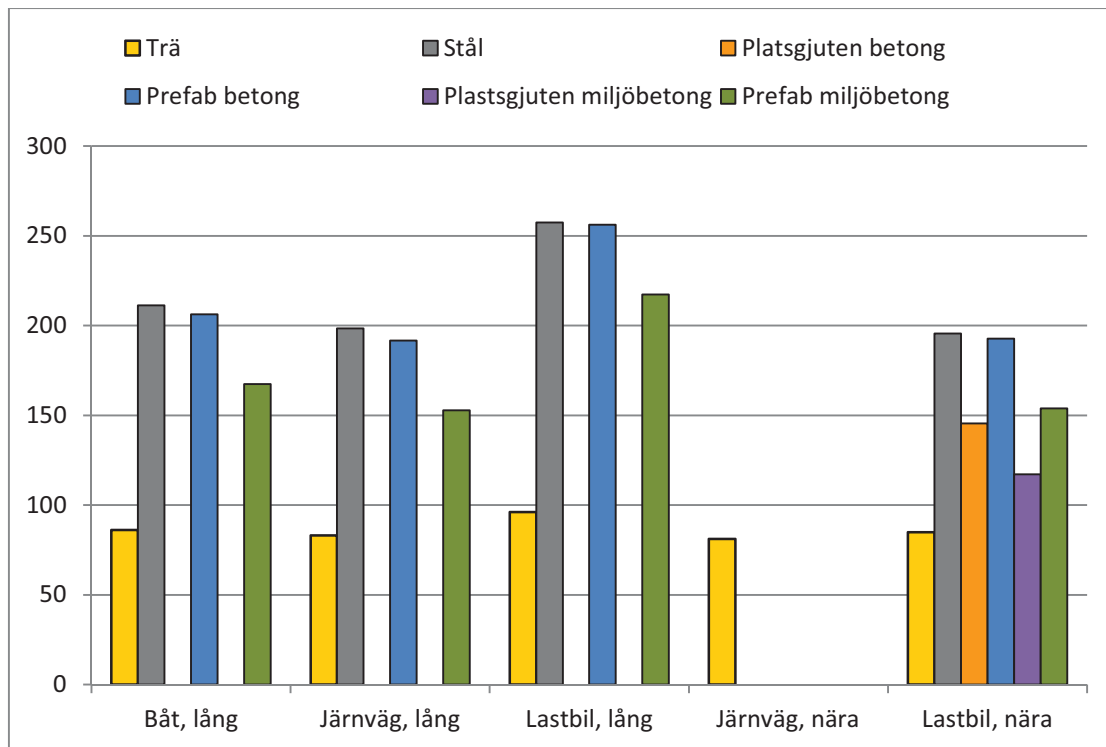
## 5.4 Jämförelse av nyckeltal

I detta avsnitt jämförs resultaten av miljöbelastningen för de olika stomalternativen i en sammanfattande tabell, se Tabell 7, utgående från grundläggningsförhållande, produktionsmetod, transportavstånd och transportsätt.

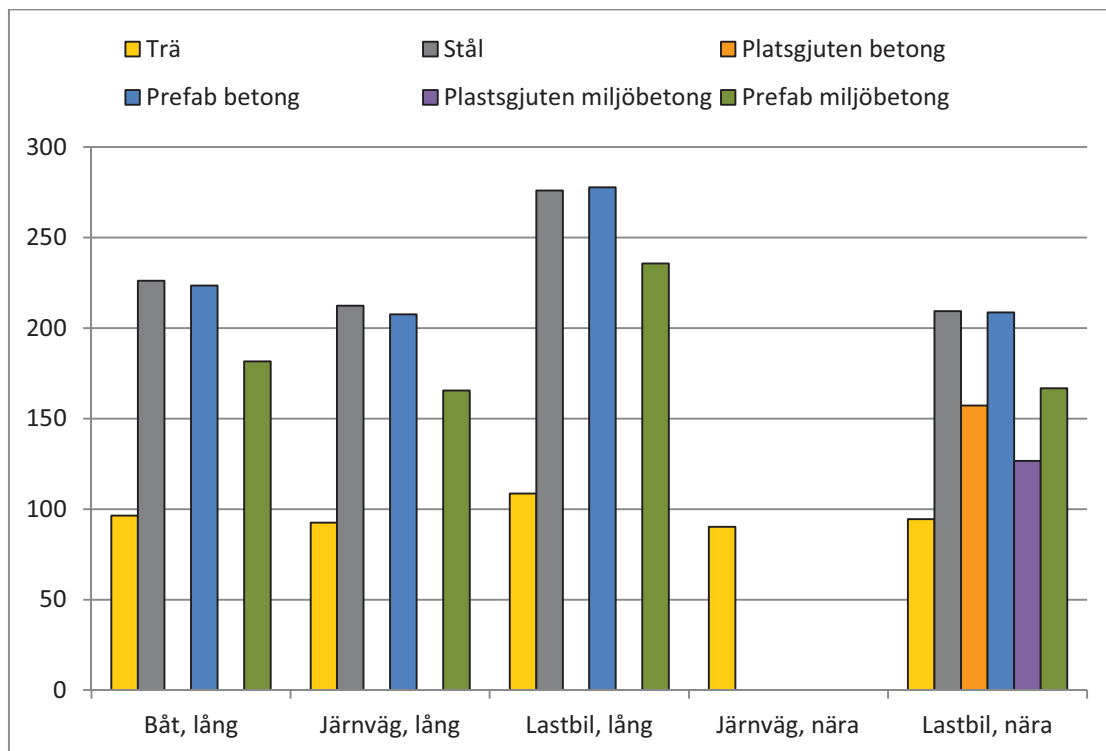
Tabell 7: Sammanställning av samtliga resultat för miljöbelastningsberäkningarna [kg CO<sub>2</sub>e].

Grundläggning	Produktion	Transportavstånd	Transport sätt	Trä (kg CO <sub>2</sub> e)	Stål (kg CO <sub>2</sub> e)	Betong (kg CO <sub>2</sub> e)	Miljöbetong (kg CO <sub>2</sub> e)
Platta På mark	Prefab	Långt	A1. Båt	86,2	211,2	206,3	167,5
			B1. Järnväg	83,1	198,4	191,7	152,8
			C1. Lastbil	96,1	257,5	256,2	217,3
		Nära	D1. Järnväg	81,2			
			E1. Lastbil	84,9	195,6	192,8	153,9
	Platsgjutet	Nära	E1. Lastbil			145,5	117,1
Pålgrund	Prefab	Långt	A2. Båt	96,4	226,1	223,5	181,6
			B2. Järnväg	92,6	212,3	207,6	165,6
			C2. Lastbil	108,6	276,0	277,8	235,8
		Nära	D2. Järnväg	90,3			
			E2. Lastbil	94,4	209,3	208,6	166,7
	Platsgjutet	Nära	E2. Lastbil			157,2	126,7

Skillnaderna mellan miljöbelastningarna för respektive stomalternativ beroende på erforderlig grundläggning visas i två diagram, se Figur 18 och Figur 19. Beteckningarna i figurerna nedan motsvarar beteckningarna i Tabell 7 under kolumnen transportsätt.



Figur 18: Resultat av nyckeltal för stommar vid goda grundförhållanden [kg CO<sub>2</sub>e].



Figur 19: Resultat av nyckeltal för stommar vid sämre grundförhållanden [kg CO<sub>2</sub>e].

## 6 Diskussion

Resultaten visar på att trä är det miljövänligaste alternativet med hänsyn till koldioxidutsläpp. Stål och prefabricerad vanlig betong skiljer sig ytterst lite åt, vilket gör att ingen generell slutsats kan dras om vilket material som är bättre än det andra. Dessa resultat är mycket lika de resultat som presenteras i de tidigare genomförda studierna.

Miljöbelastningen från miljöbetongen är något lägre än miljöbelastningen från både den vanliga betongen och från stålet. Att miljöbelastningen från träalternativet är så mycket mindre än miljöbelastningen från de övriga alternativen beror främst på träets lätta vikt, vilken påverkar utsläppen från transport, då de beräknas per ton och km. Resultaten visar även på att platsgjuten betong orsakar en mindre mängd koldioxidutsläpp än vad prefabricerad betong gör, vilket till största del beror på att platsgjuten betong aldrig transporteras längre avstånd.

Nyckeltalen för respektive material beror till stor del på val av transportsätt. De erhållna resultaten visar på att lastbilstransport orsakar större mängder koldioxidutsläpp än transport med båt eller på järnväg, mellan vilka skillnaderna är små, vid långt transportavstånd. Noterbart är att transporten utgör mellan 20 och 33 procent av det totala koldioxidutsläppet vid lång transport med lastbil. En av anledningarna till de skillnader av miljöbelastningarna som uppstår transportsätten emellan är att bränsleförbrukningen för lastbilstransport är högre än för transport med båt eller järnvägstransport.

Skillnaden i miljöbelastning, beroende på grundläggningens omfattning, ligger för respektive material på 20-40 ton CO<sub>2</sub>e, där pågrundläggning ger störst miljöbelastning. För trä är dock skillnaden endast upp till 6 ton CO<sub>2</sub>e.

Resultaten av miljöbelastningsberäkningarna påverkas av för livscykelanalysen vald systemgräns. Om systemgränsen skulle innefattat livscykelns alla faser skulle energianvändningen under driftfasen påverkat resultaten, då den utgör en mycket stor del av miljöbelastningen under en byggnads livstid, vilket resultaten av de tidigare genomförda studierna visar på.

Valet av stommaterial påverkas bland annat av grundförhållanden på tomten, vilka funktionskrav som ställs på byggnaden, vilka material som erfordras för att uppfylla dessa krav, på vilket sätt materialet transporteras och transportens avstånd. Valet grundas utöver på miljöaspekten även på ekonomiska och sociala aspekter, vilka dock inte beaktats i denna rapport. Dessa aspekter är viktiga och skulle kunna studeras vidare i framtida examensarbeten.

## 7 Slutsats

För att byggbranschen ska kunna minska sina koldioxidutsläpp bör resultat från olika livscykelanalyser utgöra en grund vid val av material och transport.

De slutsatser som kan utläsas av resultaten i den här rapporten är att:

- Trä är det ur ekologiskt perspektiv mest miljövänliga materialet vid byggnation av flerbostadshus, jämfört med stål- eller betongstommar.
- Val av transportsätt är en viktig aspekt.
- Transport med järnväg orsakar lägre miljöbelastning än transport med båt eller med lastbil.
- Genom att utöka systemgränsen och därmed inkludera fler faser i livscykelanalysen kan resultat av miljöbelastningen under en längre del av byggnadens livstid erhållas. Detta vore intressant att behandla i framtida studier.
- Att studera miljöpåverkan i ett bredare perspektiv, genom att beakta fler effekter på miljöpåverkan som exempelvis försurning eller övergödning, är ytterligare ett intressant område för framtida studier.
- Även andra byggnadstyper såsom kontors- och industribyggnader är intressanta vid genomförande av livscykelanalyser och skulle kunna behandlas i framtida studier.

## Referenser

- Berg, S. (2007) *Stommar av betong, trä och stål och byggnadens klimatskydd*. Stockholm: Lärnö AB.
- Björklund, T. & Tillman, A-M. (1997) *LCA of Building Frame Structures - Environmental Impact over the Lifetime Cycle of Wooden and Concrete Frames*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- Brunklaus, B. & Baumann, H. (2002) *Vad innebär ett ökat träbyggande i Sverige för miljön?*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. (ESA-rapport 2002:6).
- Burström, G. (2007) *Byggnadsmaterial*. Andra upplagan. Danmark: Narayana Press.
- Ekvall, T. (2006) *Miljöaspekter på val av stommaterial i byggnader*. Göteborg: IVL Svenska Miljöinstitutet AB. (IVL Rapport B1663).
- Fuktsäkra byggnader. (2013) Fuktttransport. *Fuktsäkra byggnader*.  
<http://www.fuktsakerhet.se/sv/fukt/fukttransp/Sidor/default.aspx>. (2013-04-24).
- Gillberg, B. et al. (1999) *Betong och miljö*. Trelleborg: Berling Skogs.
- Isover. (2013) Akustik. *Isover*.  
<http://www.isover.se/konstruktionsl%C3%B6sningar/bbr/akustik>. (2013-06-02).
- Isover. (2007) *IsoverBoken*. Billesholm: Isover.
- Isover. (2013) Ljudisolering i praktiken. *Isover*.  
<http://www.isover.se/konstruktionsl%C3%B6sningar/bbr/ljudisolering+i+praktiken>  
(2013-06-02)
- Jeppsson, K-H. (1989) *Skydda träet mot rötsvampar och insekter – Rekommendationer för användning av impregnerat virke*. Lund: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Jernkontoret. (2013) Processer. *Jernkontoret*.  
<http://www.jernkontoret.se/stalindustrin/staltillverkning/processer/index.php>  
(2013-03-25).
- Jönsson, Å., Björklund, T., & Tillman, A.-M. (1998) LCA of Concrete and Steel Building Frames. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 3, nr 4, ss. 216-224.
- Moelven. (2013) I spetsen för framtidens byggteknik - Goda rum. Kil: Moelven.
- Norgips. (2012) *Brandskydd av bärande stålkonstruktioner*. Örebro: Norgips. (Dok.Nr: NSAB 10-009).
- Berg, S. (2007) *Stommar av betong, trä och stål och byggnadens klimatskydd*. Stockholm: Lärnö AB.
- Naturvårdsverket. (1996) *Livscykelanalyser LCA*. Stockholm: Naturvårdsverket Förlag.
- Näringsdepartementet. (2004) *Mer trä i byggandet*. Stockholm: Regeringskansliet. (Ds 2004:1).
- Paroc. (2012) *Brandklassificering*. Paroc Group.  
<http://www.paroc.se/knowhow/brand/brandklassificering>. (2013-05-24).
- Petersson, B-Å. (2010) *Husbyggnadsteknik*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- CHALMERS**, *Bygg- och miljöteknik*, Examensarbete 2013:83

- Promat. (2006) *Brandisolering av bärande stålkonstruktioner med PROMATECT®*. Stockholm: Promat.
- PTC. (2013) *Products*. <http://www.ptc.com/product/mathcad/> (2013-06-01).
- SBUF. (2013) *SBUF informerar - Egenskaper för självkompakterande betong med flygaska*. Stockholm: SBUF.
- Science Partner. (2013) Allmänt om fukt. *Science Partner*. <http://www.sp.se/sv/index/services/moist/general/Sidor/default.aspx>. (2013-04-24).
- SIS. (2006) *Miljöledning - Livscykelanalys - Krav och vägledning*. Swedish Standard Institute. (ISO 14044:2006).
- SIS. (2006) *Miljöledning - Livscykelanalys - Principer och struktur*. Swedish Standard Institute. (ISO 14040:2006).
- SkogsSverige. (2012) Fakta om. *SkogsSverige - Det du vill veta om skog*. <http://skogssverige.se/node/38281>. (2013-05-24).
- SkogsSverige. (2012) Trä och fukt. *SkogsSverige - Det du vill veta om skog*. <http://skogssverige.se/node/38326>. (2013-06-01). Ekvall, T. (2006) *Miljöaspekter på val av stommaterial i byggnader*. Göteborg: IVL Svenska Miljöinstitutet AB. (IVL Rapport B1663).
- Stålbyggnadsinstitutet. (2013) *Korrosion*. Stockholm: Stålbyggnadsinstitutet.
- Stålguiden. (2013) Framställning av stål. *Stålguiden*. <http://www.stålguiden.se/framstallning-av-stal.html> (2013-03-25).
- Svensk betong. (2013) Betong påverkas inte av fukt. *Svensk betong*. <http://www.svenskbetong.se/betongens-egenskaper/fukt.html> (2013-06-05).
- Svenskt trä. (2013) Brandegenskaper. *TräGuiden*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1115>. (2013-03-21).
- Svenskt trä. (2013) Definitioner. *TräGuiden*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1024>. (2013-04-23).
- Svenskt trä. (2013) Formförändringar. *TräGuiden*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1129> (2013-06-05).
- Svenskt trä. (2013) Fuktkvot och mätning. *TräGuiden*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1086> (2013-06-05).
- Svenskt trä. (2013) Funktioner och ljudstandarder. *TräGuiden*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1026&contextPage=1018>. (2013-06-02).
- Svenskt trä. (2013) Generell beskrivning av lättbyggnadsteknik. *TräGuiden*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1324>. (2013-05-24).
- Svenskt trä. (2013) Generellt om akustik och ljud. *TräGuiden*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1019>. (2013-04-23).
- Svenskt trä. (2013) Tekniska och ekonomiska skäl. *TräGuiden*. <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=849>. (2013-06-01).



- Svenskt trä. (2013) Träskydds egenskaper. *TräGuiden*.  
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=6694>. (2013-06-05).
- Söderling, (2012) Building techniques. *Swedish Wood*.  
[http://www.swedishwood.com/facts\\_about\\_wood/building\\_with\\_wood/building\\_techniques](http://www.swedishwood.com/facts_about_wood/building_with_wood/building_techniques). (2013-03-20).
- TEKLA® (2012) *Tekla web tutorials*. <http://www.tekla.com/>. (2013-01-20).
- Toller, S. (2007) *Bygg- och fastighetssektorns miljöpåverkan*. Karlskrona: Boverket.

# **Bilagor**

Bilaga 1: Ritningar

Bilaga 2: Dimensionering av betongpelare

Bilaga 3: Lastnedräkning

Bilaga 4: Miljöbelastningskoefficienter

Bilaga 5: Beräkning av miljöbelastning

# Bilaga 1

## Ritningar

1. Originalplan
2. Orginalsektion - långsida
3. Orginalritning - kortsida
4. Planritning - trästomme
5. Planritning - stålstomme













## Bilaga 2

### Dimensionering av betongpelare

Referens av sidor, ekvationer, tabeller och figurer i marginal hänvisar om inget annat anges till:  
Al-Emrani et al, (2011) *Bärande konstruktioner del 1*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola  
Al-Emrani et al, (2011) *Bärande konstruktioner del 2*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola

# 1. Ingångsvärden

## 1.1 Husets dimensioner

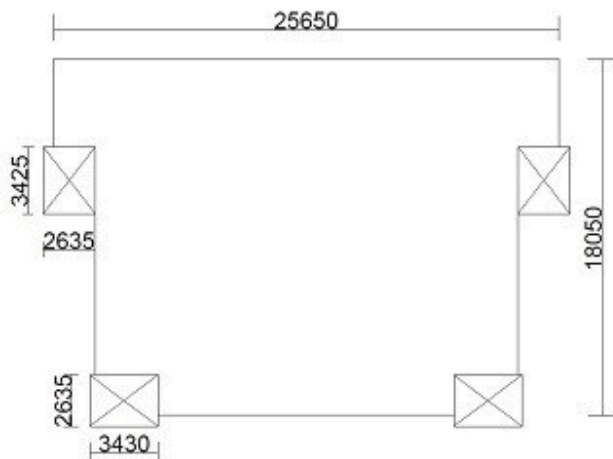
Höjd  $h_{\text{hus}} := 14.64 \text{ m}$

Bredd  $b_{\text{hus}} := 18.05 \text{ m}$

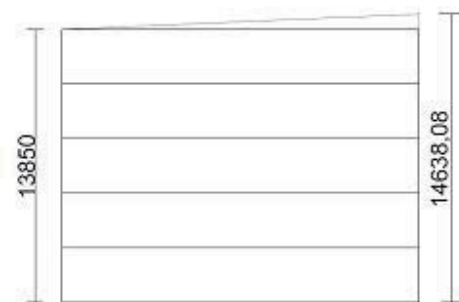
Golvarea  $a_{\text{plan}} := 410 \text{ m}^2$

Taklutning  $\alpha_{\text{tak}} = 2.5^\circ$

Takhöjd  
(Pelarnas längd)  $l := 2.52 \text{ m}$



Figur 1. Plan



Figur 2. Sektion

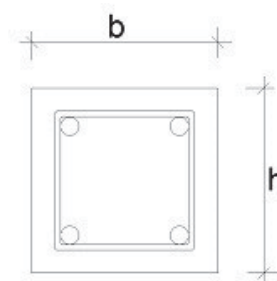
## 1.2 Preliminärt tvärsnitt på betongpelaren

Bredd  $b := 200 \text{ mm}$

Höjd  $h := 200 \text{ mm}$

Avstånd från övre armeringens  
tyngdpunkt till tvärsnittets underkant  $d := 151 \text{ mm}$

Tvärsnittets area  $A := b \cdot h = 0.04 \text{ m}^2$



Figur 3. Pelarens tvärsnitt

Tröghetsmoment  $I := \frac{b \cdot h^3}{12} = (1.333 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^4$

Tröghetsradie  $i := \sqrt{\frac{I}{A}} = 0.058 \text{ m}$  Ekv. B11-10

Slankhetstal  $\lambda := \frac{l}{i} = 43.648$  Ekv. B11-10

### 1.3 Betong

Antag betong C30/37.

Karakteristisk tryckhållfasthet  $f_{ck} := 30 \text{ MPa}$  Tabell B2.1

Partialkoefficient för betong  $\gamma_c := 1.5$  Sid. B37

Dimensionerande tryckhållfasthet  $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 20 \text{ MPa}$  Ekv. B2-3

Medeltryckhållfasthet cylinder  $f_{cm} := 38 \text{ MPa}$  Tabell B2.1

Elasticitetsmodulens medelvärde  $E_{cm} := 33 \text{ GPa}$  Tabell B2.3

Partialkoefficient för lasteffekt av betong  $\gamma_{cE} := 1.2$  Sid. B44

Dimensionerande elasticitetsmodul  $E_{cd} := \frac{E_{cm}}{\gamma_{cE}} = 27.5 \text{ GPa}$  Ekv. B2-15

Livslängd: L50

Maximalt vattencementtal  $v_{ct_{max}} := 0.50$

Medeltryckhållfasthet kub  $f_{cm.cube} := f_{cm} \cdot 1.2 \cdot 1.1 = 50.16 \text{ MPa}$  Ekv. B2-2

Med hjälp av  $f_{cm.cube}$  fås enligt figur B4.30:  $v_{ct} := 0.50$   $v_{ct} \leq v_{ct_{max}}$  OK!

### 1.3 Armering

Antag armering B500B.

Antag antal armeringsstänger	$n_{\text{drag}} := 4 \text{ st}$	
Antag armeringens diameter	$\phi_{\text{drag}} := 12 \text{ mm}$	
Armeringens preliminära area	$A_s := n_{\text{drag}} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_{\text{drag}}^2}{4} = (4.524 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^2$	
Tröghetsmoment för armering	$I_s := A_s \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right)^2 = (1.177 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^4$	
Karakteristisk flytgräns	$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$	Tabell B2.11
Partialkoefficient för armeringsstål	$\gamma_s := 1.15$	Ekv. B2-25
Dimensionerande flytgräns	$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$	Ekv. B2-25
Elasticitetsmodul stål	$E_s := 200 \text{ GPa}$	Ekv. B2-26
Dimensionerande flyttöjning	$\epsilon_{yd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.002$	Ekv. B2-29a
Minsta tvärarmeringsmängd	$\rho_{\text{tvär.min}} := 0.000876$	Tabell B6.1
Relativ fuktighet, inomhusmiljö, uppvärmd lokal:	$RH := 50 \%$	Byggformler och tabbeller s. 81
Omkrets av tvärsnitt som utsätts för uttorkning	$u := 2 \cdot b + 2 \cdot h = 0.8 \text{ m}$	Ekv. B2-19
Tvärsnittets nominella tjocklek	$h_0 := \frac{2 \cdot A}{u} = 0.1 \text{ m}$	

I formeln sätts  $h_0$  in i mm och  $f_{cm}$  i MPa       $h_0 := 100$      $f_{cm} := 43$

$$\varphi_{RH} := \left( 1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0.1 h_0^{\frac{1}{3}}} \cdot \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.7} \right) \cdot \left( \frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.2} = 1.855 \quad \text{Ekv. B2-23}$$

Faktor som beaktar betongens hållfasthetsklass       $\beta_{fcm} := 2.56$       Tabell B2-9

Faktor som beaktar betongens ålder vid pålastning       $\beta_{t0} := 0.48$       Figur B2-20

Slutligt kryptal       $\varphi_{final} := \varphi_{RH} \cdot \beta_{fcm} \cdot \beta_{t0} = 2.279$

## 2. Laster

### 2.1 Permanenta laster

Laster som belastar pelarna på bottenplan:

Takplan:  $G_{pt} := 3027.283 \text{ kN}$

Ett våningsplan:  $G_{pv} := 3770.107 \text{ kN}$

Summa:  $G := G_{pt} + G_{pv} \cdot 4 = 18107.711 \text{ kN}$

Last per kvadratmeter:  $g := \frac{G}{a_{plan}} = 44.165 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Reduktionsfaktor för egentynngd:  $\gamma_g := 1.35$

Tabell K1.5

### 2.1 Variabla laster

#### 2.1.1 Snölast

Snözon Göteborg  $s_k := 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Formkoefficient för snölast  $\mu_{1.snö} := 0.8$

Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix C"

Snölast  $s := s_k \cdot \mu_{1.snö} = 1.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

för taklutning  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$

Säkerhetsfaktor för snölast  $\gamma_{q.snö} := 1.5$

Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix C"

Reduktionsfaktorer för snölast vid sekundär last

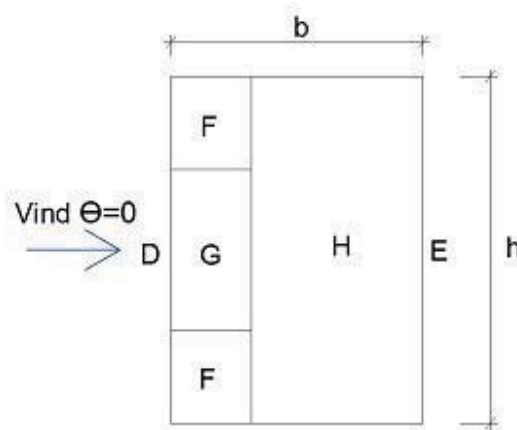
Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix A"

Brottgränstillstånd  $\Psi_{0.snö} := 0.6$

Bruksgränstillstånd  $\Psi_{2.snö} := 0.1$

## 2.1.2 Vindlast

Vindhastighet, referens GBG	$v_b := 25 \frac{m}{s}$	Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix D3"
Byggnadshöjd	$z := h_{hus} = 14.64 \text{ m}$	
Terrängkategori III: Bostadsområde, förortsterräng		Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix D2"
Exponeringsfaktor	$c_e := 2.0$	Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix D2"
Luftens densitet	$\rho := 1.25 \frac{kg}{m^3}$	Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix D2"
Normalt hastighetstryck	$q_b := 0.5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0.391 \frac{kN}{m^2}$	Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix D2"
Topphastighetstryck	$q_p := c_e \cdot q_b = 0.781 \frac{kN}{m^2}$	Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix D2"
Tryckkoefficienter		Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix D6"
Förhållande mellan husets höjd och bredd	$\frac{h_{hus}}{b_{hus}} = 0.811$	(använd värden för h/b=1)



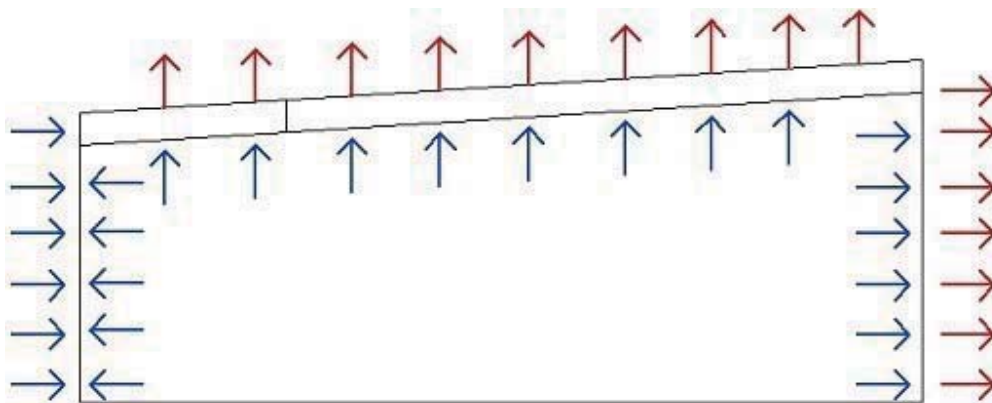
Figur 4. Tryckzoner

### Intern tryckkoefficient

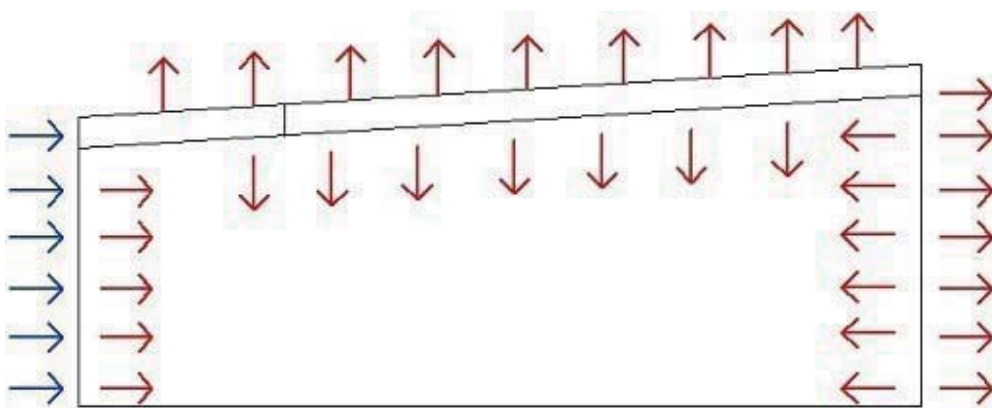
Ur tabell: vid övertryck  $c_{pi_o} := 0.2$

Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix D4"

vid undertryck  $c_{pi_u} := -0.3$



Figur 5. Övertryck inomhus, vindlast på vänster gavel. Blått=tryck, rött=drag.



Figur 5. Undertryck inomhus, vindlast på vänster gavel. Blått=tryck, rött=drag.

Interpolering för  $h/d=0.811$  mellan 0.25 och 1 ger följande:

Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix D6"

För ytterväggar:

Vindriktning  $\theta=0^\circ$

Extern tryckkoefficient D:  $c_{pe_{D,0}} := 0.7712$

E:  $c_{pe_{E,0}} := -0.4424$



Vindriktning  $\theta=180^\circ$

Extern tryckkoefficient D:  $cpe_{E,180} := -0.4424$

E:  $cpe_{D,180} := 0.7712$

För tak:

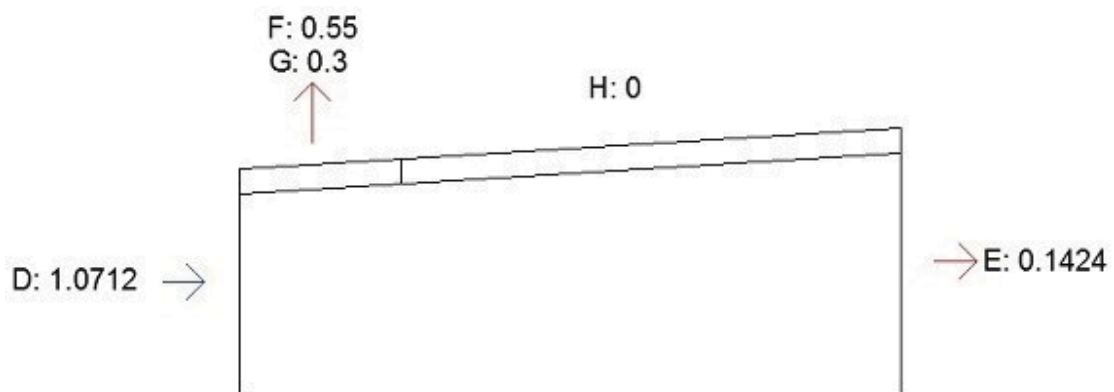
Vindriktning  $\theta=0^\circ$

Extern tryckkoefficient F:  $cpe_{F,0} := -0.85$

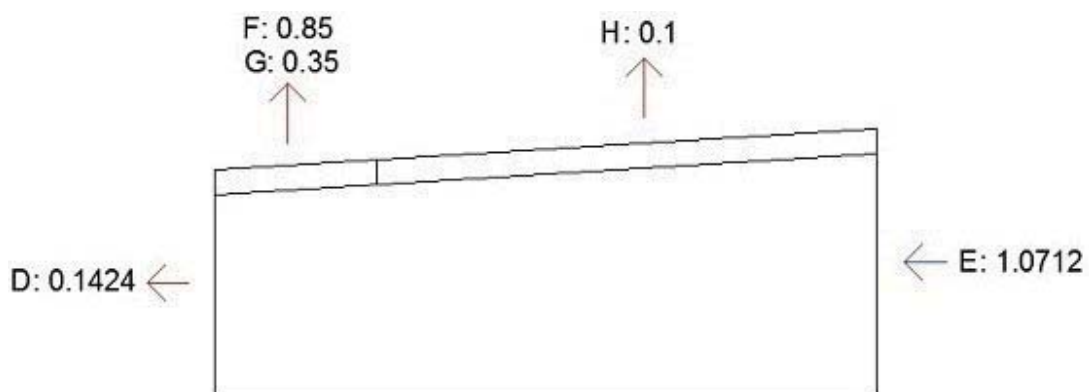
G:  $cpe_{G,0} := -0.6$

H:  $cpe_{H,0} := -0.3$

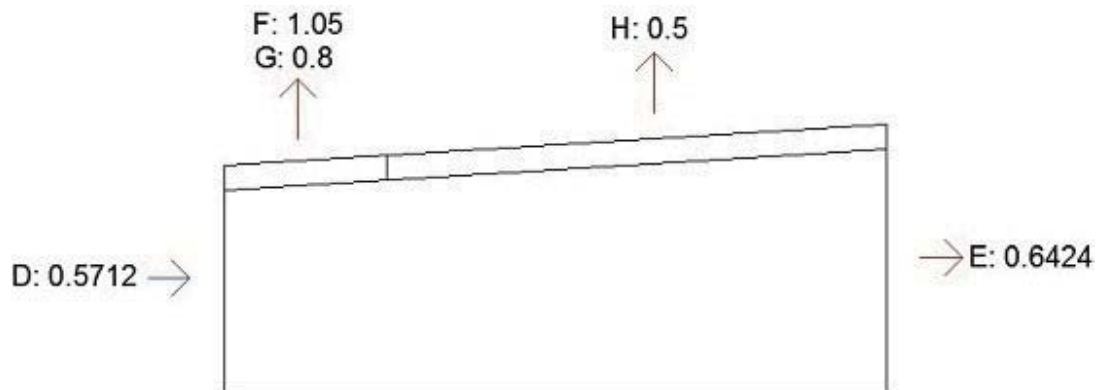
Resultanter



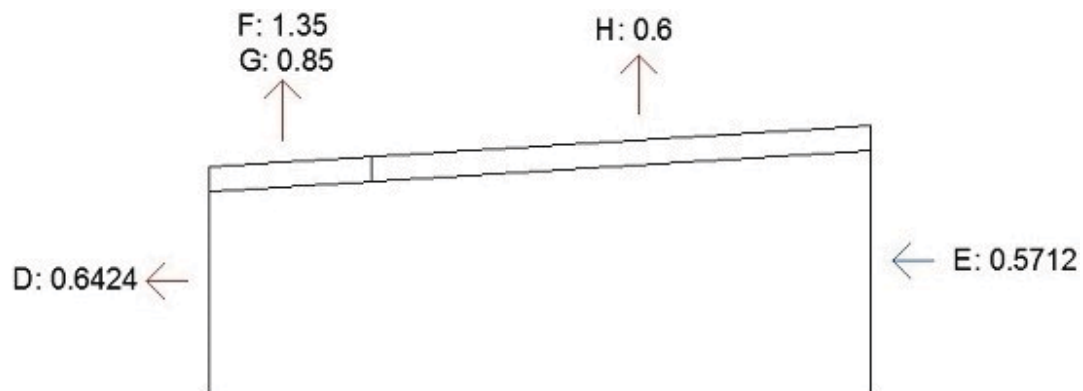
Figur 6. Resultande tryckkoefficienter vid undertryck och vindriktning  $0^\circ$ .



Figur 7. Resultande tryckkoefficienter vid undertryck och vindriktning  $180^\circ$ .



Figur 8. Resultande tryckkoefficienter vid övertryck och vindriktning  $0^\circ$ .



Figur 9. Resultande tryckkoefficienter vid övertryck och vindriktning  $180^\circ$ .

Undertryck blir dimensionerande i båda vindriktningarna. (det högsta värdet på extern tryckkoefficient)  $c_{pi} := 0.3$

Externa tryckkoefficienter

- D:  $c_{pe_{D,180}} := 0.1424$
- E:  $c_{pe_{E,180}} := 1.0712$
- F:  $c_{pe_{F,180}} := -1.15$
- G:  $c_{pe_{G,180}} := -0.65$
- H:  $c_{pe_{H,180}} := -0.4$

Vindlast  $w := (c_{pe_{D,0}} + c_{pi}) \cdot q_p = 0.837 \frac{kN}{m^2}$  Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix D1"

Säkerhetsfaktor för vindlast:  $\gamma_{q,vind} := 1.5$  Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix A"

Reduktionsfaktor för vindlast vid sekundär last Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix A"

Brottngränstillstånd  $\Psi_{0,vind} := 0.3$

Bruksgränstillstånd  $\Psi_{2,vind} := 0$

### 2.1.3 Nyttiga laster

Allmänna ytor  $q_{k,allmän} := 2.0 \frac{kN}{m^2}$  Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix B"

Area plan  $a_{plan} = 410 m^2$

Balkonger  $q_{k,balkong} := 4.0 \frac{kN}{m^2}$  Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix B"

Balkongarea per plan  $a_{balkong} := 36 m^2$

Säkerhetsfaktor för nyttiga laster  $\gamma_{q,nyttig} := 1.5$  Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix A"

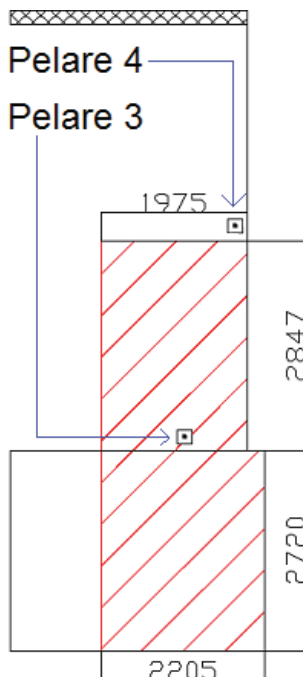
Reduktionsfaktorer för nyttiga laster vid sekundär last Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix A"

Brottngränstillstånd  $\Psi_{0,nyttig} := 0.7$

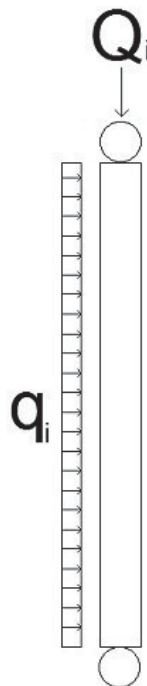
Bruksgränstillstånd  $\Psi_{2,nyttig} := 0.3$

### 3. Beräkning av pelare

Endast en pelare kontrolleras för dimensionering. Enligt Hans Erik Johansson, WSP, belastas pelare 3 mest av alla pelare i huset. Pelare 3 står i fasad vid de främre balkongerna. Förenkling av beräkningarna görs genom att pelare 4 antas inte existera.



Figur 10. Lastupptagningsområde



Figur 11. Pelaren och på den verkande laster

Allmän area i området  $a_{\text{allmän}} := 1.975 \text{ m} \cdot 2.847 \text{ m} = 5.623 \text{ m}^2$

Balkongarea i området  $a_{\text{balkong}} := 2.205 \text{ m} \cdot 2.720 \text{ m} = 5.998 \text{ m}^2$

Nyttig last som punktlast  $Q_{\text{k.nyttig.3}} := q_{\text{k.allmän}} \cdot a_{\text{allmän}} + q_{\text{k.balkong}} \cdot a_{\text{balkong}} = 35.236 \text{ kN}$

Nyttig last som utbredd last  $q_{\text{k.nyttig.a}} := \frac{Q_{\text{k.nyttig.3}}}{(a_{\text{allmän}} + a_{\text{balkong}})} = 3.032 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Knäcklängd  $l = 2.52 \text{ m}$

Nationell parameter  $\theta_0 := 0.005$

Sid. B351

Reduktionsfaktor för konstruktionshöjd

$$\alpha_h := \frac{2}{\sqrt{1}} \cdot m^{\frac{1}{2}} = 1.26 \quad \left( m^{\frac{1}{2}} \text{ för att få ett enhetslöst tal.} \right) \quad \text{Ekv. B11-4}$$

Reduktionsfaktor för samverkande konstruktionsdelar  $m := 11 \text{ st}$

$$\alpha_m := \sqrt{0.5 \left( 1 + \frac{1}{m} \right)} = 0.739 \quad \text{Ekv. B11-5}$$

Initiallutning  $\theta_i := \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 0.005 \quad \text{Ekv. B11-3}$

Initiell excentricitet  $e_i := \theta_i \cdot \frac{1}{2} = 0.006 \text{ m} \quad \text{Ekv. B11-6}$

Minsta excentricitet hos normalkraft

$$e_{\min} := \frac{h}{30} = 0.007 \text{ m} \quad \text{Ekv. B11-7}$$

## 3.1 Brottgränstillstånd

Lastkombinering grundformel:

$$\gamma_g \cdot g_i + \gamma_{q,1} \cdot q_1 + \sum \gamma_{q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot q_i \quad \text{Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix A"}$$

### 3.1.1 Snö som huvudlast

Vertikal last

$$Q_{d,s,s} := \gamma_g \cdot g + \gamma_{q,snö} \cdot s + \gamma_{q,nyttig} \cdot \Psi_{0,nyttig} \cdot Q_{k,nyttig,a} = 64.607 \frac{kN}{m^2}$$

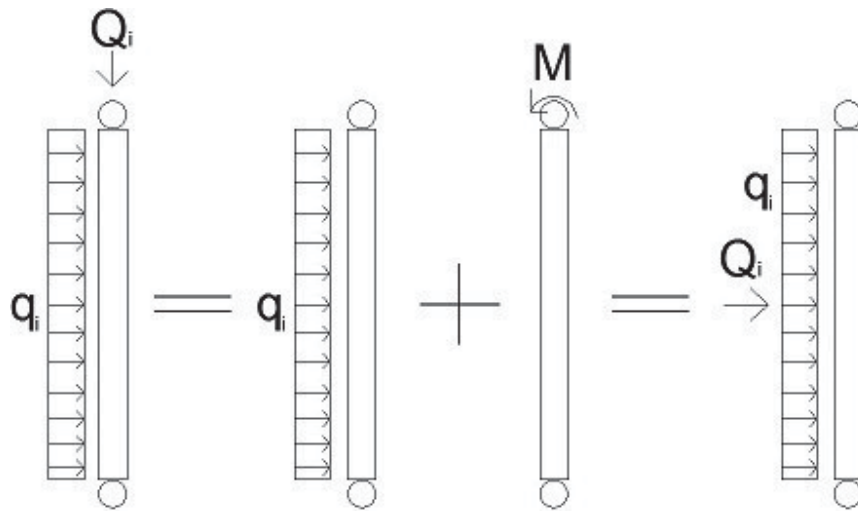
$$Q_{d,v,s} := Q_{d,s,s} \cdot (a_{\text{allmän}} + a_{\text{balkong}}) = 750.759 \text{ kN}$$

Horisontell last

Längden på lastupptagningsområdets fasad är 5.567m.

$$Q_{d,h,s} := \gamma_{q,vind} \cdot \Psi_{0,vind} \cdot w \cdot 5.567 \text{ m} = 2.096 \frac{kN}{m}$$

Dimensionerande tvärkraft i pelarens ände



Figur 12. Vertikallasten görs om till horisontell last via moment.

$$V_{Ed,s} := \frac{Q_{d,v,s} \cdot e_{min}}{1} + q_{d,h,s} \cdot \frac{1}{2} = 4.628 \text{ kN}$$

Total avsiktlig excentricitet

$$e_0 := \frac{\left( q_{d,h,s} \cdot \frac{l^2}{8} \right) + (Q_{d,v,s} \cdot e_{min})}{Q_{d,v,s}} = 0.009 \text{ m}$$

Sid. B356

Första ordningens moment

$$M_{0Ed,s} := Q_{d,v,s} \cdot (e_0 + e_i) = 11.07 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Ekv. B11-8

Andra ordningens moment

Krökningsfördelningsfaktor  $\beta_{krök} := 1.23$

Fig. B11.13

Effektivt kryptal (itereras, se beräkning avsnitt 4.2)

$$\varphi_{ef,s} := 0.6487$$

$$t_1 := \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} \cdot (MPa)^{\frac{-1}{2}} = 1.225$$

$$t_2 := \frac{Q_{d,v,s}}{f_{cd} \cdot A} \cdot \frac{\lambda}{170} = 0.241$$

Ekv. B11-15

Nominell böjstyvhet

$$EI := \frac{t_1 \cdot t_2}{1 + \varphi_{ef,s}} E_{cd} \cdot I + E_s \cdot I_s = 891.626 \text{ m}^2 \cdot \text{kN} \quad \text{Ekv. B11-15}$$

Knäcklast  $N_B := \frac{\pi^2 \cdot EI}{l^2} = (1.386 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad \text{Ekv. K2-5}$

Dimensionerande moment

$$M_{Ed,s} := \left( 1 + \frac{\beta_{krök}}{\frac{N_B}{Q_{d,v,s}} - 1} \right) \cdot M_{0Ed,s} = 27.169 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Ekv. B11-16}$$

### 3.1.2 Vind som huvudlast

Vertikal last

$$q_{d,s,v} := \gamma_g \cdot g + \gamma_{q,snö} \cdot \Psi_{0,snö} \cdot s + \gamma_{q,nyttig} \cdot \Psi_{0,nyttig} \cdot q_{k,nyttig,a} = 63.887 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{d,v,v} := q_{d,s,v} \cdot (a_{allmän} + a_{balkong}) = 742.392 \text{ kN}$$

Horisontell last

$$q_{d,h,v} := \gamma_{q,vind} \cdot w \cdot 5.5675 \text{ m} = 6.989 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Dimensionerande tvärkraft

Vertikallasten görs om till horisontell last via moment.

$$V_{Ed,v} := \frac{Q_{d,v,v} \cdot e_{\min}}{l} + q_{d,h,v} \cdot \frac{l}{2} = 10.77 \text{ kN}$$

Total avsiktlig excentricitet

$$e_0 := \frac{\left( q_{d,h,v} \cdot \frac{l^2}{8} \right) + (Q_{d,v,v} \cdot e_{\min})}{Q_{d,v,v}} = 0.014 \text{ m} \quad \text{Sid. B356}$$

Första ordningens moment

$$M_{0Ed.v} := Q_{d.v.v} \cdot (e_0 + e_i) = 14.849 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Ekv. B11-8}$$

Andra ordningens moment

$$\text{Krökningsfördelningsfaktor} \quad \beta_{krök} := 1.23 \quad \text{Fig. B11.13}$$

$$t_1 := \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} \cdot (MPa)^{\frac{-1}{2}} = 1.225 \quad t_2 := \frac{Q_{d.v.v}}{f_{cd} \cdot A} \cdot \frac{\lambda}{170} = 0.238 \quad \text{Ekv. B11-15}$$

$$\text{Effektivt kryptal (itereras, se beräkning avsnitt 4.2)} \quad \varphi_{ef.v} := 0.5217$$

Nominell böjstyvhet

$$EI := \frac{t_1 \cdot t_2}{1 + \varphi_{ef.v}} E_{cd} \cdot I + E_s \cdot I_s = 938.476 \text{ m}^2 \cdot \text{kN} \quad \text{Ekv. B11-15}$$

$$\text{Knäcklast} \quad N_B := \frac{\pi^2 \cdot EI}{l^2} = (1.459 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad \text{Ekv. K2-5}$$

Dimensionerande moment

$$M_{Ed.v} := \left( 1 + \frac{\beta_{krök}}{\frac{N_B}{Q_{d.v.v}} - 1} \right) \cdot M_{0Ed.v} = 33.782 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Ekv. B11-16}$$

### 3.1.3 Nyttig last som huvudlast

Vertikal last

$$q_{d.s.n} := \gamma_g \cdot g + \gamma_{q.snö} \cdot \Psi_{0.snö} \cdot s + \gamma_{q.nyttig} \cdot q_{k.nyttig.a} = 65.251 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{d.v.n} := q_{d.s.n} \cdot (a_{allmän} + a_{balkong}) = 758.248 \text{ kN}$$



Horisontell last

$$Q_{d.h.n} := \gamma_{q.vind} \cdot \Psi_{0.vind} \cdot w \cdot 5.5675 \text{ m} = 2.097 \frac{kN}{m}$$

Dimensionerande tvärkraft

Vertikallasten görs om till horisontell last via moment.

$$V_{Ed.n} := \frac{Q_{d.v.n} \cdot e_{min}}{1} + Q_{d.h.n} \cdot \frac{1}{2} = 4.648 \text{ kN}$$

Total avsiktlig excentricitet

$$e_0 := \frac{\left( Q_{d.h.n} \cdot \frac{l^2}{8} \right) + (Q_{d.v.n} \cdot e_{min})}{Q_{d.v.n}} = 0.009 \text{ m}$$

Sid. B356

Första ordningens moment

$$M_{0Ed.n} := Q_{d.v.n} \cdot (e_0 + e_i) = 11.164 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Ekv. B11-8

Andra ordningens moment

$$\text{Krökningsfördelningsfaktor} \quad \beta_{krök} := 1.23$$

Fig. B11.13

$$t_1 := \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} \cdot (MPa)^{\frac{-1}{2}} = 1.225 \quad t_2 := \frac{Q_{d.v.n}}{f_{cd} \cdot A} \cdot \frac{\lambda}{170} = 0.243$$

Ekv. B11-15

$$\text{Effektivt kryptal (itereras, se beräkning avsnitt 4.2)} \quad \varphi_{ef.n} := 0.6431$$

Nominell böjstyvhet

$$EI := \frac{t_1 \cdot t_2}{1 + \varphi_{ef.n}} E_{cd} \cdot I + E_s \cdot I_s = 900.433 \text{ m}^2 \cdot \text{kN}$$

Ekv. B11-15

$$\text{Knäcklast} \quad N_B := \frac{\pi^2 \cdot EI}{l^2} = (1.399 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Ekv. K2-5

Dimensionerande moment

$$M_{Ed.n} := \left( 1 + \frac{\beta_{krök}}{\frac{N_B}{Q_{d.v.n}} - 1} \right) \cdot M_{0Ed.n} = 27.404 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Ekv. B11-16

### 3.1.4 Resultat

Maximal tvärkraft  $V_{Ed} := \max(V_{Ed.s}, V_{Ed.v}, V_{Ed.n}) = 10.77 \text{ kN}$

Maximalt moment  $M_{Rd} \geq M_{Ed}$

Ansätt  $M_{Rd} := \max(M_{Ed.s}, M_{Ed.v}, M_{Ed.n}) = 33.782 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Momentet och tvärkraft blir dimensionerande då vindlast är huvudlast.

## 3.2 Bruksgränstillstånd

Lastkombinering grundformel:

Ur "Laster enligt Eurocode, Appendix A"

$$g_i + \sum \Psi_{0,j} \cdot q_j$$

Vindlastens reduktionsfaktor är noll, därför försummas det horisontella bidraget.

$$q_b := g + \Psi_{2.snö} \cdot s + \Psi_{2.nyttig} \cdot q_{k.nyttig.a} = 45.195 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_b := q_b \cdot (a_{allmän} + a_{balkong}) = 525.183 \text{ kN}$$

Momentet pga långtidslast  $M_1 := Q_b \cdot (e_0 + e_i) = 7.733 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Effektivt kryptal  $\varphi_{ef.s} := \frac{M_1}{M_{Ed.s}} \cdot \varphi_{final} = 0.6486$

Ekv B7-80

$$\varphi_{ef.v} := \frac{M_1}{M_{Ed.v}} \cdot \varphi_{final} = 0.5217$$

$$\varphi_{ef.n} := \frac{M_1}{M_{Ed.n}} \cdot \varphi_{final} = 0.6431$$

## 3.3 Armering

### 3.3.1 Dragkraftsarmering

Antag  $d := 151 \text{ mm}$   $z := 0.9 \cdot d = 0.136 \text{ m}$

Armeringens area  $A_s := \frac{M_{Rd}}{f_{yd} \cdot z} = (5.717 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^2$  Ekv. B4-12

Välj armeringens diameter  $\phi_{drag} := 16 \text{ mm}$

Area en armeringsstång  $A_{arm} := \pi \cdot \frac{\phi_{drag}^2}{4} = (2.011 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^2$

Antal stänger  $n_{drag} := \frac{A_s}{A_{arm}} = 2.844 \text{ st}$  Välj 2 stänger i "underkant" och 2 i "överkant"

### 3.3.2 Tvärkraftsarmering

Antag trycksträvans lutning  $\theta_{tvär} := 45^\circ$

Antag vertikala byglar  $\alpha_{tvär} := 90^\circ$

Maximalt centrumavstånd mellan byglar

$s_{l,max} := 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot(\alpha_{tvär})) = 113.25 \text{ mm}$  Ekv. B6-26

Minst antal byglar

$n_{tvär} := \frac{l}{s_{l,max}} = 22.252 \text{ st}$  välj  $n_{tvär} := 22 \text{ st}$

Tvärarmeringens draghållfasthet

$f_{ywd} := f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$

$\rho_{tvär} := \rho_{tvär,min} = 0.000876$  Tabell B6.1

$b_{tvär} := b = 200 \text{ mm}$

Area en armeringsstång

$$A_{s.tvär.i} := \rho_{tvär} \cdot s_{l,max} \cdot b_{tvär} \cdot \sin(\alpha_{tvär}) = (1.984 \cdot 10^{-5}) \text{ m}^2 \quad \text{Ekv. B6-25}$$

Diameter armeringsstång

$$\phi_{tvär} := \sqrt{\frac{A_{s.tvär.i} \cdot 4}{\pi}} = 5.026 \text{ mm} \quad \text{välj} \quad \phi_{tvär} := 6 \text{ mm}$$

Kontroll av tvärkraftskapacitet

$$A_{s.tvär} := A_{s.tvär.i} \cdot n_{tvär}$$

$$n := 0.9 \cdot d \cdot \frac{\cot(\theta_{tvär})}{s_{l,max}} = 1.2 \quad \text{Sid. B196}$$

$$N_{Ed} := \max(Q_{d.v.s}, Q_{d.v.v}, Q_{d.v.n}) = 758.248 \text{ kN}$$

med avseende på livtryckbrott:

$$\text{Tryckspänning} \quad \sigma_{cp} := \frac{N_{Ed}}{A} = 18.956 \text{ MPa} \quad \text{Ekv. B6-15}$$

Inverkan av tryckande normalkraft

$$\alpha_{cw} := 1.25 \quad 0.25 \cdot f_{cd} < \sigma_{cp} < 0.5 \cdot f_{cd} \quad \text{Sid. B196}$$

Nationell parameter  $f_{ck} := 35$

$$\nu_1 := 0.6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0.516 \quad \text{Ekv. B6-19}$$

$$V_{Rd.l} := \alpha_{cw} \cdot b_{tvär} \cdot 0.9 \cdot d \cdot \nu_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\cot(\theta_{tvär}) + \tan(\theta_{tvär})} = 175.311 \text{ kN} \quad \text{Ekv. B6-19}$$

med avseende på skjuvglidbrott:

$$V_{Rd.s} := n \cdot f_{ywd} \cdot A_{s.tvär} = 227.745 \text{ kN} \quad \text{Ekv. B6-21}$$

$$V_{Ed} = 10.77 \text{ kN} \quad V_{Rd.l} \geq V_{Ed} \quad V_{Rd.s} \geq V_{Ed} \quad \text{OK!}$$

### 3.3.3 Armeringens inplacering

Täckande betongskikt med hänsyn till vidhäftning

$$c_{\min.b} := \phi_{\text{drag}} = 16 \text{ mm}$$

Ekv. B4-25

Täckande betongskikt med hänsyn till korrision

$$c_{\min.dur} := 25 \text{ mm}$$

Ur "Diverse utdrag för kursen  
Bärande konstruktioner  
BMT015 2008"

Minsta täckande betongskikt

$$c_{\min} := \max(c_{\min.b}, c_{\min.dur}) = 25 \text{ mm}$$

Nominellt mått på täckande betongskikt

$$\text{Tolerans } \Delta c_{\text{dev}} := 10 \text{ mm}$$

Ekv. B4-26

$$c_{\text{nom}} := c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}} = 35 \text{ mm}$$

Ekv. B4-24

Minsta fria avstånd mellan stängerna,  $c_{\text{mellan}}$

Nationella parametrar  $k_1 := 1.0$

Sid. B121

$$k_2 := 5 \text{ mm}$$

Antag största ballast  $d_g := 32 \text{ mm}$

$$c_{\text{mellan}} := \max(k_1 \cdot \phi_{\text{drag}}, d_g + k_2, 20 \text{ mm}) = 37 \text{ mm}$$

Ekv. B4-27

Tvärsnittets bredd

$$b := c_{\text{mellan}} + 2 \phi_{\text{drag}} + 2 \phi_{\text{tvär}} + 2 c_{\text{nom}} = 151 \text{ mm}$$

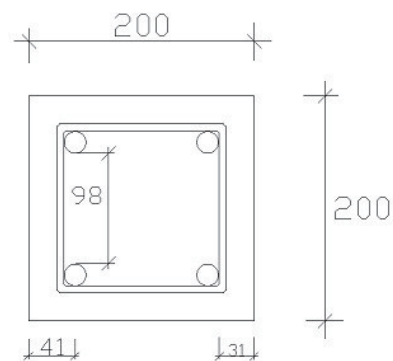
Tvärsnittets höjd

$$h := d + \frac{\phi_{\text{drag}}}{2} + \phi_{\text{tvär}} + c_{\text{nom}} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{välj } b := 200 \text{ mm}$$

$$\text{och } h := 200 \text{ mm}$$

(för kvadratisk tvärsnitt)



Figur 13. Pelarens tvärsnitt

## 4. Kontroll av tvärsnittet

Kontroll av slankhet

$$n := \frac{Q_{d.v.n}}{A \cdot f_{cd}} = 0.948$$

Grovt värde på gränsvärdet

$$\lambda_{lim} := \frac{10.8}{\sqrt{n}} = 11.093$$

Ekv. B11-11

Pelarens slankhet

$$\lambda = 43.648$$

$\lambda \geq \lambda_{lim}$  Pelaren är slank, vilket antagits vid beaktande av andra ordningens moment.

# Bilaga 3

Lastnedräkning och beräkning av grundläggning

# 1. Ingångsvärden

## 1.1 Beteckningar

Antal	$n$
Area	$a$
Bredd	$b$
Bärförmåga	$f$
Centrumavstånd	$c$
Djup	$d$
Egenvikt, punktlast	$g$
Egenvikt, utbredd last	$G$
Formfaktor	$\mu$
Höjd	$h$
Last, punktlast	$Q$
Last, utbredd	$q$
Längd	$l$
Reduktionsfaktor	$\psi_0$
Snölast, karakteristiskt värde	$s_k$
Tjocklek	$t$
Volym	$v$

## 1.2 Index

Armering	$arm$
Balkonger	$ba$
Betong	$btg$



Bjälklag	<i>bj</i>
Bottenplan	<i>b.plan</i>
Dimensionerande	<i>d</i>
Fasad	<i>fasad</i>
Gips	<i>gips</i>
Grundplatta	<i>gp</i>
Grundplatta, inkl plintar	<i>gpl</i>
Grundplatta, inkl sulor	<i>gs</i>
Grundpålar	<i>gp</i>
HSQ-balk	<i>hsq</i>
Huset	<i>hus</i>
Inne	<i>inne</i>
Innerväggar, ej bärande	<i>i</i>
Innerväggar, lägenhetsskiljande	<i>i.ls</i>
IPE220-balk	<i>ipe</i>
Isolering	<i>iso</i>
KL-trä	<i>KL</i>
LK20	<i>LK20</i>
L40c	<i>L40c</i>
Läkt	<i>läkt</i>
Nyttig last	<i>n</i>
Pelare	<i>p</i>
Plywood	<i>ply</i>
Pågjutning	<i>pg</i>

Reglar	$r$
Snölast	$snö$
Stål	$steel$
Tak	$t$
Takplan	$t.plan$
Tillägg för beläggning och installationer	$x$
Trä	$trä$
VKR-balk	$vkr$
Våningsplan	$plan$
Väggar	$vägg$

### 1.3 Byggnadens geometri

Areor

Bjälklag  $a_{bj} := 410 \text{ m}^2$

Balkonger, 4 st  $a_{ba} := 36 \text{ m}^2$

Takhöjd, pelarnas höjd  $h := 2.52 \text{ m}$

Totalt antal meter lägenhets-  
skiljande väggar  $l_{vägg} := 57.6 \text{ m}$

Grundplatta, inkl sulor

Tjocklek  $h_{gs} := 0.25 \text{ m}$

Grundplatta, inkl plintar

Tjocklek  $h_{gpl} := 0.3 \text{ m}$

### 1.4 Egenvikter

Nedan presenteras de för samtliga alternativ gemensamma parametrarna.  
Parametrar som gäller för ett specifikt material presenteras under respektive kapitel.

### 1.4.1 Ytvikter (per m<sup>2</sup>)

Tak	$g_t := 0.6 \frac{kN}{m^2}$
Ej bärande inner- väggar	$g_i := 0.5 \frac{kN}{m^2}$
Balkonger	$g_{ba} := 6 \frac{kN}{m^2}$
Armering balkong	$g_{ba.arm} := 0.12 \frac{kN}{m^2}$

### 1.4.2 Total vikt per våning (punktlaster)

Tak	$G_t := g_t \cdot a_{bj} = 246 \text{ kN}$
Innerväggar, ej bärande	$G_i := g_i \cdot a_{bj} = 205 \text{ kN}$
Balkonger	$G_{ba} := (g_{ba} + g_{ba.arm}) \cdot a_{ba} = 220.3 \text{ kN}$

## 1.5 Snölast

Snözon: Göteborg

Karakteristiskt värde	$s_k := 1.5 \frac{kN}{m^2}$
Formfaktor	$\mu_{snö} := 0.8$
Reduktionsfaktor	$\psi_{0.snö} := 0.6$
Snölast, utbredd	$q_{snö} := s_k \cdot \mu_{snö} = 1.2 \frac{kN}{m^2}$
Snölast, punktlast	$Q_{snö} := q_{snö} \cdot a_{bj} = 492 \text{ kN}$

## 1.6 Nyttiga laster

På generell yta  $q_{n.a} := 2 \frac{kN}{m^2}$

Balkonger  $q_{n.ba} := 4 \frac{kN}{m^2}$

Reduktionsfaktor  $\psi_{0.n} := 0.7$

Summering nyttiga laster

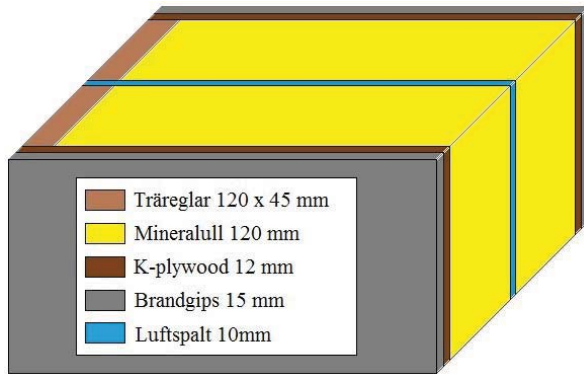
Ett våningsplan  $Q_{n1} := q_{n.a} \cdot a_{bj} + q_{n.ba} \cdot a_{ba} = 964 \text{ kN}$

Alla våningsplan  $Q_n := Q_{n1} \cdot 5 = 4820 \text{ kN}$

## 2. Trä

### 2.1 Dimensioner

#### 2.1.1 Lägenhetsskiljande innerväggar



Figur 1. Snitt av vägg, bredd 600 mm, höjd 2520 mm. (Bilden ej skalenlig på höjden).

#### Reglar, trä

Tvärsnittsbredd  $b_r := 45 \text{ mm}$

Tvärsnittshöjd  $h_r := 120 \text{ mm}$

Centrumavstånd  $c_r := 600 \text{ mm}$

Total volym  $v_r := \frac{2 \cdot b_r \cdot h_r \cdot h}{c_r} \cdot l_{v\ddot{a}gg} = 2.613 \text{ m}^3$

#### Isolering

Tjocklek  $t_{iso} := 120 \text{ mm}$

Total volym  $v_{iso} := \frac{2 \cdot (t_{iso} \cdot (c_r - b_r)) \cdot h}{c_r} \cdot l_{v\ddot{a}gg} = 32.224 \text{ m}^3$

#### Plywood

Bredd  $b_{ply} := 600 \text{ mm}$

Total area  $a_{ply} := \frac{2 \cdot b_{ply} \cdot h}{c_r} \cdot l_{v\ddot{a}gg} = 290.304 \text{ m}^2$

Gips

Bredd

$$b_{gips} := 600 \text{ mm}$$

Total area

$$a_{gips} := \frac{2 \cdot 2 \cdot b_{gips} \cdot h}{c_r} \cdot l_{vägg} = 580.6 \text{ m}^2$$

Antal pelare per våning

$$n_{p.trä} := 39$$

Balkar

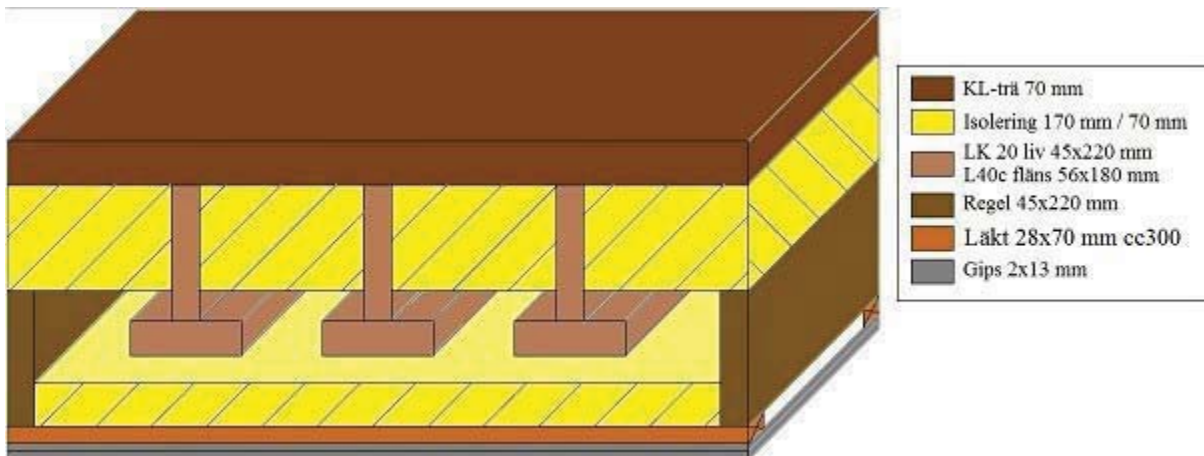
Inomhus

$$l_{balk.inne} := 90 \text{ m}$$

I fasad

$$l_{balk.fasad} := 40.7 \text{ m}$$

## 2.1.2 Bjälklag



Figur 2. Snitt av bjälklag, bredd 1202 mm och djup 300 mm.

Bredd i x-led

$$b_{bjx} := 1202 \text{ mm}$$

Bredd i z-led

$$b_{bjz} := 300 \text{ mm}$$

KL-trä

Area

$$a_{KL} := a_{bj} = 410 \text{ m}^2$$

LK20

Längd

$$l_{LK20} := b_{bjz} = 0.3 \text{ m}$$

Total längd (3st)

$$l_{3.LK20} := \frac{3 \cdot l_{LK20}}{b_{bjx} \cdot b_{bjz}} \cdot a_{bj} = 1023.295 \text{ m}$$

L40c

Längd  $l_{L40c} := b_{bjz} = 0.3 \text{ m}$

Total längd (3st)  $l_{3.L40c} := \frac{3 \cdot l_{L40c}}{b_{bjx} \cdot b_{bjz}} \cdot a_{bj} = 1023.295 \text{ m}$

Isolering, 170 mm

Bredd  $b_{iso.170} := b_{bjx} - 3 \cdot 45 \text{ mm} = 1.067 \text{ m}$

Djup  $d_{iso.170} := 300 \text{ mm}$

Tjocklek  $t_{iso.170} := 170 \text{ mm}$

Total volym  $v_{iso.170} := \frac{b_{iso.170} \cdot d_{iso.170} \cdot t_{iso.170}}{b_{bjx} \cdot b_{bjz}} \cdot a_{bj} = 61.9 \text{ m}^3$

Reglar, trä (2st)

Tvärsnittsbredd  $b_{r.bj} := 2 \cdot 45 \text{ mm}$

Tvärsnittshöjd  $h_{r.bj} := 220 \text{ mm}$

Längd  $l_{r.bj} := b_{bjz} = 0.3 \text{ m}$

Centrumavstånd  $c_{r.bj} := b_{bjx} = 1.202 \text{ m}$

Total volym  $v_{r.bj} := \frac{b_{r.bj} \cdot h_{r.bj} \cdot l_{r.bj}}{b_{bjx} \cdot b_{bjz}} \cdot a_{bj} = 6.8 \text{ m}^3$

Läkt

Tvärsnittsbredd  $b_{läkt} := 70 \text{ mm}$

Tvärsnittshöjd  $h_{läkt} := 28 \text{ mm}$

Längd  $l_{läkt} := b_{bjx} = 1.202 \text{ m}$

Centrumavstånd  $c_{läkt} := b_{bjz} = 0.3 \text{ m}$

Total volym  $v_{läkt} := \frac{b_{läkt} \cdot h_{läkt} \cdot l_{läkt}}{c_{läkt} \cdot b_{bjx}} \cdot a_{bj} = 2.679 \text{ m}^3$

Isolering, 70 mm

Bredd  $b_{iso.70} := b_{bjx} - b_{r.bj} = 1.112 \text{ m}$

Djup  $d_{iso.70} := b_{bjz} = 0.3 \text{ m}$

Tjocklek  $t_{iso.70} := 70 \text{ mm}$

Total volym  $v_{iso.70} := \frac{b_{iso.70} \cdot d_{iso.70} \cdot t_{iso.70}}{b_{bjx} \cdot b_{bjz}} \cdot a_{bj} = 26.551 \text{ m}^3$

Gips

Total area  $a_{gips.bj} := a_{bj} = 410 \text{ m}^2$

## 2.2 Egenvikter

Lägenhetsskiljande innerväggar

Reglar, trä C14

Egenvikt utbredd  $g_r := 3.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Egenvikt, punktlast  $G_r := g_r \cdot v_r = 9.1 \text{ kN}$

Isolering

Egenvikt utbredd  $g_{iso} := 0.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Egenvikt, punktlast  $G_{iso} := g_{iso} \cdot v_{iso} = 9 \text{ kN}$

Plywood

Egenvikt utbredd  $g_{ply} := 0.058 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Egenvikt, punktlast  $G_{ply} := g_{ply} \cdot a_{ply} = 16.8 \text{ kN}$

Gips, 15 mm (Gyproc)

Egenvikt utbredd  $g_{gips} := 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Egenvikt, punktlast  $G_{gips} := g_{gips} \cdot a_{gips} = 69.7 \text{ kN}$



Summering av egenvikter per våning  $G_{i.ls} := G_r + G_{ply} + G_{iso} + G_{gips} = 104.7 \text{ kN}$

## Pelare

Egenvikt, en pelare  $G_{p.trä1} := 0.36 \text{ kN}$

Egenvikt, alla pelare på ett plan  $G_{p.trä} := G_{p.trä1} \cdot n_{p.trä} = 14 \text{ kN}$

## Balkar

L40c, LT 78x360mm

Egenvikt  $g_{balk.fasad} := 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Antal meter  $l_{balk.fasad} = 40.7 \text{ m}$

L40c, LT 115x360mm

Egenvikt  $g_{balk.inne} := 0.197 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Antal meter  $l_{balk.inne} = 90 \text{ m}$

Summering av egenvikter per våning  $G_{balk.trä} := g_{balk.fasad} \cdot l_{balk.fasad} + g_{balk.inne} \cdot l_{balk.inne}$

$$G_{balk.trä} = 22.614 \text{ kN}$$

## Bjälklag

KL-trä

Egenvikt utbredd  $g_{KL} := 0.278 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Egenvikt, punktlast  $G_{KL} := g_{KL} \cdot a_{KL} = 114 \text{ kN}$

Isolering, 170 mm

Egenvikt utbredd  $g_{iso.170} := 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Egenvikt, punktlast  $G_{iso.170} := g_{iso.170} \cdot v_{iso.170} = 18.6 \text{ kN}$

LK20

Egenvikt utbredd  $g_{LK20} := 0.048 \frac{kN}{m}$

Egenvikt, punktlast  $G_{LK20} := g_{LK20} \cdot l_{3.LK20} = 49.1 \text{ kN}$

L40c

Egenvikt utbredd  $g_{L40c} := 0.048 \frac{kN}{m}$

Egenvikt, punktlast  $G_{L40c} := g_{L40c} \cdot l_{3.L40c} = 49.1 \text{ kN}$

Reglar, trä C14

Egenvikt utbredd  $g_r := 3.5 \frac{kN}{m^3}$

Egenvikt, punktlast  $G_{r.bj} := g_r \cdot v_{r.bj} = 23.6 \text{ kN}$

Läkt, C14

Egenvikt utbredd  $g_{läkt} := 3.5 \frac{kN}{m^3}$

Egenvikt, punktlast  $G_{läkt} := g_{läkt} \cdot v_{läkt} = 9.4 \text{ kN}$

Isolering, 70 mm

Egenvikt utbredd  $g_{iso.70} := 0.5 \frac{kN}{m^3}$

Egenvikt, punktlast  $G_{iso.70} := g_{iso.70} \cdot v_{iso.70} = 13.3 \text{ kN}$

Gips 13 mm (Gyproc)

Egenvikt utbredd  $g_{gips.bj} := 0.09 \frac{kN}{m^2}$

Egenvikt, punktlast  $G_{gips.bj} := g_{gips.bj} \cdot a_{gips.bj} = 36.9 \text{ kN}$

Beläggning och installationer

$$G_{pg.x} := 0.25 \frac{kN}{m^2} \cdot a_{bj} = 102.5 \text{ kN}$$

Summering av egenvikter per våning

$$G_{bj} := G_{KL} + G_{iso.170} + G_{LK20} + G_{L40c} + G_{r.bj} + G_{läkt} + G_{iso.70} + G_{gips.bj} + G_{pg.x} = 416.467 \text{ kN}$$

## 2.3 Summering av egenvikter

Per plan

$$\text{Takplan} \quad G_{t.plan} := G_t + G_{bj} = 662.5 \text{ kN}$$

$$\text{Ett våningsplan} \quad G_{plan} := G_{bj} + G_i + G_{i.ls} + G_{ba} + G_{p.trä} + G_{balk.trä} = 983.1 \text{ kN}$$

$$\text{Bottenplan} \quad G_{b.plan} := G_i + G_{i.ls} + G_{p.trä} + G_{balk.trä} = 346.3 \text{ kN}$$

$$\text{Hela huset} \quad G_{hus} := G_{t.plan} + G_{plan} \cdot 4 + G_{b.plan} = 4941.3 \text{ kN}$$

## 2.4 Lastkombinering

Dimensionerande last (punktlast) enligt

$$\text{Eurokod formel 6.10a} \quad Q_{d.610a} := 1.35 \cdot G_{hus} + 1.5 \cdot (\psi_{0.snö} \cdot Q_{snö} + \psi_{0.n} \cdot Q_n) = 12174.5 \text{ kN}$$

Eurokod formel 6.10b

$$\text{Snö som huvudlast} \quad Q_{d.610b.snö} := 1.2 \cdot G_{hus} + 1.5 \cdot Q_{snö} + 1.5 \cdot \psi_{0.n} \cdot Q_n = 11728.5 \text{ kN}$$

$$\text{Nyttig som huvudlast} \quad Q_{d.610b.n} := 1.2 \cdot G_{hus} + 1.5 \cdot Q_n + 1.5 \cdot \psi_{0.snö} \cdot Q_{snö} = 13602.3 \text{ kN}$$

$$\text{Dimensionerande lastkombination} \quad Q_{d.trä} := \max(Q_{d.610a}, Q_{d.610b.snö}, Q_{d.610b.n}) = 13602.3 \text{ kN}$$

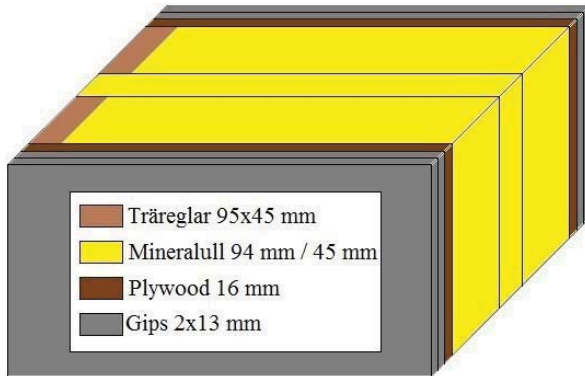
Lastkombinationen 6.10b blir dimensionerande för fallet där nyttig last är huvudlast.

$$\text{Dimensionerande last (utbredd last)} \quad q_{d.trä} := \frac{Q_{d.trä}}{(a_{bj} + a_{ba})} = 30.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## 3. Stål

### 3.1 Dimensioner

#### 3.1.1 Lägenhetsskiljande innerväggar



Figur 2. Snitt av vägg, bredd 600 mm, höjd 2520 mm. (Bilden ej skalenlig på höjden).

#### Reglar, trä

Tvärsnittsbredd	$b_r := 45 \text{ mm}$
Tvärsnittshöjd	$h_r := 95 \text{ mm}$
Centrumavstånd	$c_r := 600 \text{ mm}$
Tvärsnittsarea, per meter	$a_r := \frac{2 \cdot b_r \cdot h_r \cdot h}{c_r} = 0.036 \text{ m}^2$
Total volym	$v_r := a_r \cdot l_{v\ddot{a}gg} = 2.1 \text{ m}^3$

#### Isolering

Tjocklek, skikt 1	$t_{iso.1} := 45 \text{ mm}$
Tjocklek, skikt 2	$t_{iso.2} := 95 \text{ mm}$
Area, per meter	$a_{iso} := \frac{(t_{iso.1} \cdot c_r + 2 \cdot t_{iso.2} \cdot (c_r - b_r)) \cdot h}{c_r} = 0.556 \text{ m}^2$
Total volym	$v_{iso} := a_{iso} \cdot l_{v\ddot{a}gg} = 32 \text{ m}^3$

#### Plywood

Bredd	$b_{ply} := 600 \text{ mm}$
-------	-----------------------------

Tjocklek  $t_{ply} := 16 \text{ mm}$

Area, per meter  $a_{ply} := \frac{2 \cdot b_{ply} \cdot t_{ply} \cdot h}{c_r} = 0.081 \text{ m}^2$

Total volym  $v_{ply} := a_{ply} \cdot l_{vägg} = 4.6 \text{ m}^3$

Gips

Bredd  $b_{gips} := 600 \text{ mm}$

Area, per meter  $a_{gips} := \frac{2 \cdot 2 \cdot b_{gips} \cdot h}{c_r} \cdot l_{vägg} = 580.6 \text{ m}^2$

Pelare

Antal per våning  $n_p := 36$

## 3.2 Egenvikter

Lägenhetsskiljande innerväggar

Reglar, trä C14

Egenvikt utbredd  $g_r := 3.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Egenvikt, punktlast  $G_r := g_r \cdot v_r = 7.2 \text{ kN}$

Isolering

Egenvikt utbredd  $g_{iso} := 0.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Egenvikt, punktlast  $G_{iso} := g_{iso} \cdot v_{iso} = 9 \text{ kN}$

Plywood

Egenvikt utbredd  $g_{ply} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Egenvikt, punktlast  $G_{ply} := g_{ply} \cdot v_{ply} = 23.2 \text{ kN}$

Gips, 13 mm (Gyproc)

$$\text{Egenvikt utbredd} \quad g_{gips} := 0.09 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Egenvikt, punktlast} \quad G_{gips} := g_{gips} \cdot a_{gips} = 52.3 \text{ kN}$$

$$\text{Summering av egenvikter per våning} \quad G_{i.ls} := G_r + G_{ply} + G_{iso} + G_{gips} = 91.7 \text{ kN}$$

Pelare

$$\text{Egenvikt, en pelare} \quad G_{p1} := 0.683 \text{ kN}$$

$$\text{Egenvikt, alla pelare på ett plan} \quad G_p := G_{p1} \cdot n_p = 24.6 \text{ kN}$$

Balkar

IPE220

$$\text{Egenvikt} \quad g_{ipe} := 0.26 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Antal meter} \quad l_{ipe} := 38.5 \text{ m}$$

VKR

$$\text{Egenvikt} \quad g_{vkr} := 0.18 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Antal meter} \quad l_{vkr} := 8.26 \text{ m}$$

HSQ2

$$\text{Egenvikt} \quad g_{hsq} := 0.95 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Antal meter} \quad l_{hsq} := 60.35 \text{ m}$$

$$\text{Summering av egenvikter per våning} \quad G_{balk} := g_{ipe} \cdot l_{ipe} + g_{vkr} \cdot l_{vkr} + g_{hsq} \cdot l_{hsq} = 68.8 \text{ kN}$$

Bjälklag HD/F

$$\text{Egenvikt betong} \quad g_{bj} := 4.57 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Egenvikt armering} \quad g_{bj.arm} := 0.06 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Egenvikt, punktlast} \quad G_{bj} := (g_{bj} + g_{bj.arm}) \cdot a_{bj} = 1898.3 \text{ kN}$$

Pågjutning

$$\text{Egenvikt utbredd} \quad g_{pg} := 1.25 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Beläggning och installationer} \quad g_{pg.x} := 0.25 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Egenvikt, punktlast} \quad G_{pg} := (g_{pg} + g_{pg.x}) \cdot a_{bj} = 615 \text{ kN}$$

### 3.3 Summering av egenvikter

Per plan

$$\text{Takplan} \quad G_{t.plan} := G_t + G_{bj} = 2144.3 \text{ kN}$$

$$\text{Ett våningsplan} \quad G_{plan} := G_{bj} + G_{pg} + G_{balk} + G_i + G_{i.ls} + G_p + G_{ba} = 3123.7 \text{ kN}$$

$$\text{Bottenplan} \quad G_{b.plan} := G_{balk} + G_i + G_{i.ls} + G_p = 390.1 \text{ kN}$$

$$\text{Hela huset} \quad G_{hus} := G_{t.plan} + G_{plan} \cdot 4 + G_{b.plan} = 15029.3 \text{ kN}$$

### 3.4 Lastkombinering

Dimensionerande last (punktlast) enligt

$$\text{Eurokod formel 6.10a} \quad Q_{d.610a} := 1.35 \cdot G_{hus} + 1.5 \cdot (\psi_{0.snö} \cdot Q_{snö} + \psi_{0.n} \cdot Q_n) = 25793.4 \text{ kN}$$

Eurokod formel 6.10b

$$\text{Snö som huvudlast} \quad Q_{d.610b.snö} := 1.2 \cdot G_{hus} + 1.5 \cdot Q_{snö} + 1.5 \cdot \psi_{0.n} \cdot Q_n = 23834.2 \text{ kN}$$

$$\text{Nyttig som huvudlast} \quad Q_{d.610b.n} := 1.2 \cdot G_{hus} + 1.5 \cdot Q_n + 1.5 \cdot \psi_{0.snö} \cdot Q_{snö} = 25708 \text{ kN}$$

$$\text{Dimensionerande lastkombination} \quad Q_{d.steel} := \max(Q_{d.610a}, Q_{d.610b.snö}, Q_{d.610b.n}) = 25793.4 \text{ kN}$$

Lastkombinationen 6.10a blir dimensionerande, där valet av huvudlast ej har betydelse.

$$\text{Dimensionerande last (utbredd last)} \quad q_{d.steel} := \frac{Q_{d.steel}}{(a_{bj} + a_{ba})} = 57.8 \frac{kN}{m^2}$$

## 4. Betong

### 4.1 Dimensioner

Lägenhetsskiljande innerväggar

Tjocklek  $t_{v\ddot{a}gg} := 200 \text{ mm}$

Volym  $v_{i.ls} := l_{v\ddot{a}gg} \cdot t_{v\ddot{a}gg} \cdot h = 29 \text{ m}^3$

Pelare

Antal per våning	I fasad	Inomhus
Bottenplan	$n_{p.b.plan.fasad} := 11$	$n_{p.b.plan.inne} := 2$
Övriga plan	$n_{p.plan.fasad} := 20$	$n_{p.plan.inne} := 2$

Bjälklag

Tjocklek  $h_{bj} := 0.25 \text{ m}$

### 4.2 Egenvikter

Lägenhetsskiljande innerväggar

Betong

Egenvikt utbredd  $g_{i.ls.btg} := 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Egenvikt, punktlast  $G_{i.ls.btg} := g_{i.ls.btg} \cdot v_{i.ls} = 696.7 \text{ kN}$

Armering

Egenvikt utbredd  $g_{i.ls.arm} := 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Egenvikt, punktlast  $G_{i.ls.arm} := g_{i.ls.arm} \cdot \frac{v_{i.ls}}{t_{v\ddot{a}gg}} = 17.4 \text{ kN}$

Summering av egenvikter

$$G_{i.ls} := G_{i.ls.btg} + G_{i.ls.arm} = 714.1 \text{ kN}$$

Pelare

Fasadpelare

Egenvikt, punktlast  $g_{p.fasad} := 2.57 \text{ kN}$



Inomhuspelare

$$\text{Egenvikt, punktlast} \quad g_{p.inne} := 3.9 \text{ kN}$$

Summering av egenvikter

$$\text{Bottenplan} \quad G_{p.b.plan} := g_{p.fasad} \cdot n_{p.b.plan.fasad} + g_{p.inne} \cdot n_{p.b.plan.inne} = 36.1 \text{ kN}$$

$$\text{Våningsplan} \quad G_{p.plan} := g_{p.fasad} \cdot n_{p.plan.fasad} + g_{p.inne} \cdot n_{p.plan.inne} = 59.2 \text{ kN}$$

Bjälklag

Betong

$$\text{Egenvikt, utbredd} \quad g_{bj.btg} := 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Egenvikt, punktlast} \quad G_{bj.btg} := g_{bj.btg} \cdot h_{bj} \cdot a_{bj} = 2460 \text{ kN}$$

Armering

$$\text{Egenvikt utbredd} \quad g_{bj.arm} := 0.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Egenvikt, punktlast} \quad G_{bj.arm} := g_{bj.arm} \cdot a_{bj} = 49.2 \text{ kN}$$

Beläggning och installationer

$$\text{Egenvikt utbredd} \quad g_{bj.x} := 0.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Egenvikt, punktlast} \quad G_{bj.x} := g_{bj.x} \cdot a_{bj} = 102.5 \text{ kN}$$

Summering av egenvikter

$$G_{bj} := G_{bj.btg} + G_{bj.arm} + G_{bj.x} = 2611.7 \text{ kN}$$

## 4.3 Summering av egenvikter

Per plan

$$\text{Takplan} \quad G_{t.plan} := G_t + G_{bj} = 2857.7 \text{ kN}$$

$$\text{Ett våningsplan} \quad G_{plan} := G_{bj} + G_{i.ls} + G_i + G_{p.plan} + G_{ba} = 3810.4 \text{ kN}$$

$$\text{Bottenplan} \quad G_{b.plan} := G_i + G_{i.ls} + G_{p.b.plan} = 955.2 \text{ kN}$$

Hela huset

$$G_{hus} := G_{t.plan} + G_{plan} \cdot 4 + G_{b.plan} = 19054.4 \text{ kN}$$

## 4.4 Lastkombinering

Dimensionerande last (punktlast) enligt

$$\text{Eurokod formel 6.10a} \quad Q_{d.610a} := 1.35 \cdot G_{hus} + 1.5 \cdot (\psi_{0.sn\ddot{o}} \cdot Q_{sn\ddot{o}} + \psi_{0.n} \cdot Q_n) = 31227.2 \text{ kN}$$

Eurokod formel 6.10b

$$\text{Sn\ddot{o} som huvudlast} \quad Q_{d.610b.sn\ddot{o}} := 1.2 \cdot G_{hus} + 1.5 \cdot Q_{sn\ddot{o}} + 1.5 \cdot \psi_{0.n} \cdot Q_n = 28664.3 \text{ kN}$$

$$\text{Nyttig som huvudlast} \quad Q_{d.610b.n} := 1.2 \cdot G_{hus} + 1.5 \cdot Q_n + 1.5 \cdot \psi_{0.sn\ddot{o}} \cdot Q_{sn\ddot{o}} = 30538.1 \text{ kN}$$

Dimensionerande  
lastkombination

$$Q_{d.btg} := \max(Q_{d.610a}, Q_{d.610b.sn\ddot{o}}, Q_{d.610b.n}) = 31227.2 \text{ kN}$$

Lastkombinationen 6.10a blir dimensionerande, dar valet av huvudlast ej har betydelse.

$$\text{Dimensionerande last (utbredd last)} \quad q_{d.btg} := \frac{Q_{d.btg}}{(a_{bj} + a_{ba})} = 70 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## 5. Beräkning av grundläggning

### 5.1 Grundplattan

Grundplatta vid platta på mark

Betong

$$g_{g.btg} := 24 \frac{kN}{m^3} \cdot h_{gs} = 6 \frac{kN}{m^2}$$

Beläggning och installationer

$$g_{g.x} := 0.25 \frac{kN}{m^2}$$

Armering

$$g_{g.arm} := 0.12 \frac{kN}{m^2}$$

Summering av egenvikter

$$g_{gs} := g_{g.btg} + g_{g.x} + g_{g.arm} = 6.37 \frac{kN}{m^2}$$

Grundplatta vid platta på mark

Betong

$$g_{g.btg} := 24 \frac{kN}{m^3} \cdot h_{gpl} = 7.2 \frac{kN}{m^2}$$

Beläggning och installationer

$$g_{g.x} := 0.25 \frac{kN}{m^2}$$

Armering

$$g_{g.arm} := 0.12 \frac{kN}{m^2}$$

Summering av egenvikter

$$g_{gpl} := g_{g.btg} + g_{g.x} + g_{g.arm} = 7.57 \frac{kN}{m^2}$$

Bärförmåga per påle

$$f := 900 \text{ kN}$$

### 5.2 Grundpålar

Erfordrat antal pålar

$$n_{gp.trä} := \frac{(q_{d.trä} + g_{gpl}) \cdot a_{bj}}{f} = 17.3$$

Stål

$$n_{gp.steel} := \frac{(q_{d.steel} + g_{gpl}) \cdot a_{bj}}{f} = 29.8$$

Betong

$$n_{gp.btg} := \frac{(q_{d.btg} + g_{gpl}) \cdot a_{bj}}{f} = 35.3$$

## Bilaga 4

### Miljöbelastningskoefficienter

Värdena på klimatpåverkan för olika material i tabellerna nedan omfattar all påverkan, från utvinning av råmaterial och tillverkningsprocesser, fram till att materialen är färdiga att användas i byggprocessen. Klimatpåverkan från transporter från tillverkningsenheten till byggsplatsen är inte beaktad.

Värdena varierar mellan tillverkningsenheter och kan

Produkt	Klimatpåverkan GWP, kg CO2 ekv./kg	Källa
Spånskiva (fossil del)	0,54	Inventory of Carbon & Energy (ICE)
Plywood (fossil del)	0,45	Inventory of Carbon & Energy (ICE)
Sågat virke (fossil del)	0,23	Inventory of Carbon & Energy (ICE)
Laminerat virke, limträ (fossil del)	0,42	Inventory of Carbon & Energy (ICE)
Stengolv, marmor	0,21	Inventory of Carbon & Energy (ICE)
OSB (oriented strand board) (fossil del)	0,45	Inventory of Carbon & Energy (ICE)
Stenull, isolering	1,20	Inventory of Carbon & Energy (ICE)
Glasull, isolering	1,35	Inventory of Carbon & Energy (ICE)

Material	Klimatpåverkan GWP, kg CO2 ekv./kg	Källa
Stål & järn	1,55	Inventory of Carbon & Energy (ICE), medelvärdet olika typer av
Armeringsjärn	1,20	stålprodukter inom EU
Aluminium	8,24	Inventory of Carbon & Energy (ICE), armeringsstål inom EU
Betong, prefabricerad	0,21	Ecoinvent
Betong, prefabricerad miljöbetong	0,16	Uppskattning
Glutbetong, platsgjuten	0,12	Uppskattning Färdigbetong
Glutbetong, platsgjuten miljöbetong	0,09	Uppskattning Färdigbetong

Utsläppen på betong kan variera men vanligt är att densiteten ligger mellan 2 300-2 400 kg/m<sup>3</sup>

Glas	1,09	Ecoinvent
PIR Isolering	4,14	Ecoinvent
Asfalt	0,06	Ecoinvent
Grus	0,004	Ecoinvent
Gips	0,29	Ecoinvent
Kakel, Keramik	0,78	Ecoinvent
PVC	3,10	Ecoinvent
Koppar	7,51	Ecoinvent
Målning, vattenburen färg	2,72	Ecoinvent
PE, polyeten	2,67	Ecoinvent
PC, polycarbonat	7,79	Ecoinvent
Gummi	2,85	Inventory of Carbon & Energy (ICE)
Linoleum	1,21	Inventory of Carbon & Energy (ICE)
Sällad jord	0,02	Inventory of Carbon & Energy (ICE)

Ecoinvent, <http://www.ecoinvent.ch/>  
ICE, University of Bath; UK

	Kg CO2 ekv/tonkm
Transport, lastbil	0,155
Transport, järnväg	0,014
Transport, båt	0,046

## Bilaga 5

Beräkning av miljöbelastning

# 1. Ingångsvärden

## 1.1 Beteckningar

Egenvikt	<i>g</i>
Klimatpåverkan	<i>GWP</i>
Koldioxidutsläpp	<i>C</i>
Massan	<i>m</i>

## 1.1 Index

Armering	<i>arm</i>
Balk	<i>ba</i>
Balkong	<i>bk</i>
Betong	<i>btg</i>
Bjälklag	<i>bj</i>
Bottenplan	<i>bp</i>
Båt	<i>b</i>
Fasad	<i>f</i>
Gips	<i>gips</i>
Grund	<i>g</i>
Grundplatta	<i>p2</i>
Håldäcksbjälklag	<i>h</i>
Inne	<i>in</i>
Innevägg	<i>inne</i>



Isolering	<i>iso</i>
Järn	<i>jä</i>
Järnväg	<i>j</i>
Lastbil	<i>lb</i>
Långtransport	<i>l</i>
Närtransport	<i>n</i>
Pelare	<i>pe</i>
Platsgjuten betong	<i>pg</i>
Platta	<i>p</i>
Plywood	<i>ply</i>
Prefabricerad	<i>pf</i>
Pågjutning	<i>pa</i>
Påle	<i>pl</i>
Pålgrundläggning	<i>p1</i>
Reglar	<i>r</i>
Stål	<i>s</i>
Total	<i>tot</i>
Transport	<i>t</i>
Trä	<i>tr</i>
Våningsplan	<i>vp</i>

### 1.3 Klimatpåverkan

Koldioxidutsläpp  $C$  i kg för ett material är produkten av GWP och  $m$ , där GWP står för Green house Warming Potential och  $m$  för massan av materialet.

Allmän formel för koldioxidutsläpp:  $C := GWP_i \cdot m_i$  GWP [kg CO2 ekv./kg material]

$m$  [kg]

Transport, lastbil  $GWP_{t.lb} := 0.155 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{kg \cdot km}$

Transport, järnväg  $GWP_{t.j} := 0.014 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{kg \cdot km}$

Transport, båt  $GWP_{t.b} := 0.046 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{kg \cdot km}$

Betong, prefabricerad  $GWP_{btg} := 0.21 \frac{kg}{kg}$

Miljöbetong, prefabricerad  $GWP_{mi.btg} := 0.16 \frac{kg}{kg}$

Gjutbetong, platsgjuten  $GWP_{btg.pg} := 0.12 \frac{kg}{kg}$

Miljöbetong, platsgjuten  $GWP_{mi.btg.pg} := 0.09 \frac{kg}{kg}$

Armeringsjärn  $GWP_{arm} := 1.20 \frac{kg}{kg}$

Stål & järn  $GWP_{s.jä} := 1.55 \frac{kg}{kg}$

Reglar  $GWP_r := 0.23 \frac{kg}{kg}$

Isolering  $GWP_{iso} := 1.35 \frac{kg}{kg}$

Plywood	$GWP_{ply} := 0.45 \frac{kg}{kg}$
Gips	$GWP_{gips} := 0.29 \frac{kg}{kg}$
Kl-trä	$GWP_{KL} := 0.42 \frac{kg}{kg}$
Isolering, stenull	$GWP_{iso.sten} := 1.20 \frac{kg}{kg}$
LK20	$GWP_{LK20} := 0.42 \frac{kg}{kg}$
L40c	$GWP_{L40c} := 0.42 \frac{kg}{kg}$
Läkt, C14	$GWP_{läkt} := 0.23 \frac{kg}{kg}$
Area, hus	$A_{hus} := 5 \cdot 410 \text{ m}^2 = (2.05 \cdot 10^3) \text{ m}^2$

## 1.4 Vikter

Massan multipliceras med antal våningar. För grundpelare multipliceras massan med antal pelare.

Betong:	$g_{btg} := 2400 \frac{kg}{m^3}$
Armering:	$g_{arm} := 12 \frac{kg}{m^2}$
Prefabricerat bjälklag:	$g_{bj.pf} := 457 \frac{kg}{m^2}$
Armering i prefabricerat bjälklag:	$g_{arm.bj.pf} := 6 \frac{kg}{m^2}$
Armering i grundpålar:	$g_{arm.g.pe} := 6.316 \frac{kg}{m}$

Betongpelar fasad (1st):	$g_{btg.pe.f} := 257 \text{ kg}$
Betongpelare inomhus (1st):	$g_{btg.pe.in} := 390 \text{ kg}$
Armering betongpelare (1st):	$g_{arm.pe} := 19.5 \text{ kg}$
Stålpelare per plan:	$g_{pe.s} := 68.3 \text{ kg} \cdot 36 = (2.459 \cdot 10^3) \text{ kg}$
Stålbalkar per plan:	$g_{ba.s} := 6883 \text{ kg}$
Träreglar:	$g_r := 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Isolering, 95/45:	$g_{iso} := 28 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Plywood, stål:	$g_{ply.s} := 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Plywood, trä:	$g_{ply.tr} := 5.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
Gips 13 mm (Gyproc):	$g_{gips.13} := 9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
Gips 15 mm (Gyproc)	$g_{gips.15} := 12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
KL-trä:	$g_{KL} := 27.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
Isolering, 170mm:	$g_{iso.170} := 30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
LK20:	$g_{LK20} := 4.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
L40c:	$g_{L40c} := 4.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

Reglar, trä C14:	$g_{r.bj} := 350 \frac{kg}{m^3}$
Läkt, C14:	$g_{läkt} := 350 \frac{kg}{m^3}$
Isolering, 70mm:	$g_{iso.70} := 50 \frac{kg}{m^3}$
Balkonger betong:	$m_{btg.bk} := g_{btg} \cdot 0.25 \text{ m} \cdot 36 \text{ m}^2 \cdot 4 = (86.4 \cdot 10^3) \text{ kg}$
Armering:	$m_{arm.bk} := g_{arm} \cdot 36 \text{ m}^2 \cdot 4 = (1.728 \cdot 10^3) \text{ kg}$
Pålgrundläggning:	$m_{pl.g} := g_{btg} \cdot 0.3 \text{ m} \cdot 410 \text{ m}^2 = (295.2 \cdot 10^3) \text{ kg}$
Armering för pålplatta:	$m_{arm.p} := g_{arm} \cdot 410 \text{ m}^2 = (4.92 \cdot 10^3) \text{ kg}$
Grundplatta:	$m_{g.p} := g_{btg} \cdot 0.25 \text{ m} \cdot 410 \text{ m}^2 = (246 \cdot 10^3) \text{ kg}$
Armering för plattan:	$m_{arm.p} := g_{arm} \cdot 410 \text{ m}^2 = (4.92 \cdot 10^3) \text{ kg}$
Pelare, trä:	$m_{pe.tr} := 1400 \text{ kg}$
Balkar, trä:	$m_{ba.tr} := 2261.4 \text{ kg}$

#### 1.4.1 Vikter för trästomme

Grundpelare (18st):	$m_{g.pe.tr} := g_{btg} \cdot 0.235^2 \text{ m}^2 \cdot 20 \text{ m} \cdot 18 = (47.714 \cdot 10^3) \text{ kg}$
Armering:	$m_{arm.g.pe.tr} := g_{arm.g.pe} \cdot 20 \text{ m} \cdot 18 = (2.274 \cdot 10^3) \text{ kg}$
Reglar, vägg:	$m_{r.tr} := g_r \cdot 2.6 \text{ m}^3 \cdot 5 = (4.55 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Isolering:  $m_{iso.tr} := g_{iso} \cdot 32.2 \text{ m}^3 \cdot 5 = (4.508 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Plywood:  $m_{ply.tr} := g_{ply.tr} \cdot 290.304 \text{ m}^2 \cdot 5 = (8.419 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Gips 15 mm:  $m_{gips.tr} := g_{gips.15} \cdot 580.6 \text{ m}^2 \cdot 5 = (3.484 \cdot 10^4) \text{ kg}$

KL-trä:  $m_{KL} := g_{KL} \cdot 410 \text{ m}^2 \cdot 5 = (5.699 \cdot 10^4) \text{ kg}$

Isolering, 170 mm:  $m_{iso.170} := g_{iso.170} \cdot 61.9 \text{ m}^3 \cdot 5 = (9.285 \cdot 10^3) \text{ kg}$

LK20:  $m_{LK20} := g_{LK20} \cdot 1023.295 \text{ m} \cdot 5 = (2.456 \cdot 10^4) \text{ kg}$

L40c:  $m_{L40c} := g_{L40c} \cdot 1023.295 \text{ m} \cdot 5 = (2.456 \cdot 10^4) \text{ kg}$

Reglar, trä C14:  $m_{r.bj} := g_{r.bj} \cdot 6.8 \text{ m}^3 \cdot 5 = (1.19 \cdot 10^4) \text{ kg}$

Läkt, C14:  $m_{läkt} := g_{läkt} \cdot 2.679 \text{ m}^3 \cdot 5 = (4.688 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Isolering, 70 mm:  $m_{iso.70} := g_{iso.70} \cdot 26.551 \text{ m}^3 \cdot 5 = (6.638 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Gips 13 mm:  $m_{gips.bj} := g_{gips.13} \cdot 410 \text{ m}^2 \cdot 5 = (1.845 \cdot 10^4) \text{ kg}$

Stålpelare, trä:  $m_{pe.tr.s} := m_{pe.tr} \cdot 5 = (7 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Balkar, trä:  $m_{ba.tr} := m_{ba.tr} \cdot 5 = (11.307 \cdot 10^3) \text{ kg}$

## 1.4.2 Vikter för Stålstomme

Grundpelare (30st):  $m_{g.pe.s} := g_{btg} \cdot 0.235^2 \text{ m}^2 \cdot 20 \text{ m} \cdot 30 = (79.524 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Armering:  $m_{arm.g.pe.s} := g_{arm.g.pe} \cdot 20 \text{ m} \cdot 30 = (3.79 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Håldäcksbjälklag:  $m_{h.bj} := g_{bj.pf} \cdot 410 \text{ m}^2 \cdot 5 = (936.85 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Armering:  $m_{arm.h.bj} := g_{arm.bj.pf} \cdot 410 \text{ m}^2 \cdot 5 = (12.3 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Pågjutning bjälklag:  $m_{pa.bj} := g_{btg} \cdot 0.05 \text{ m} \cdot 410 \text{ m}^2 \cdot 5 = (246 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Pelare stål:  $m_{pe.s} := g_{pe.s} \cdot 5 = (12.294 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Reglar:  $m_{r.s} := g_r \cdot 2.1 \text{ m}^3 \cdot 5 = (3.675 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Isolering:  $m_{iso.s} := g_{iso} \cdot 32 \text{ m}^3 \cdot 5 = (4.48 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Plywood:  $m_{ply.s} := g_{ply.s} \cdot 4.6 \text{ m}^3 \cdot 5 = (11.5 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Gips:  $m_{gips.s} := g_{gips.13} \cdot 580.6 \text{ m}^2 \cdot 5 = (26.127 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Balkar stål:  $m_{ba.s} := g_{ba.s} \cdot 5 = (34.415 \cdot 10^3) \text{ kg}$

## 1.4.3 Vikter för betongstomme

Grundpelare (36st):  $m_{g.pe.btg} := g_{btg} \cdot 0.235^2 \text{ m}^2 \cdot 20 \text{ m} \cdot 36 = (95.429 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Armering:  $m_{arm.g.p.b} := g_{arm.g.pe} \cdot 20 \text{ m} \cdot 36 = (4.548 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Pelare bottenplan betong:  $m_{btg.pe.bp} := g_{btg.pe.f} \cdot 11 + g_{btg.pe.in} \cdot 2 = (3.607 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Armering:  $m_{arm.pe.bp} := g_{arm.pe} \cdot 13 = 253.5 \text{ kg}$

Pelare våningsplan betong:  $m_{btg.pe.vp} := (g_{btg.pe.f} \cdot 20 + g_{btg.pe.in} \cdot 2) \cdot 4 = (23.68 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Armering:  $m_{arm.pe.vp} := g_{arm.pe} \cdot 22 \cdot 4 = (1.716 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Bjälklag betong:  $m_{btg.bj} := g_{btg} \cdot \frac{0.25 \text{ m}}{2} \cdot 410 \text{ m}^2 \cdot 5 = (615 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Armering:  $m_{arm.bj} := g_{arm} \cdot \frac{410 \text{ m}^2}{2} \cdot 5 = (12.3 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Bjälklag platsgjuten betong:  $m_{btg.pg} := g_{btg} \cdot \frac{0.25 \text{ m}}{2} \cdot 410 \text{ m}^2 \cdot 5 = (615 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Armering:  $m_{arm.pg} := g_{arm} \cdot \frac{410 \text{ m}^2}{2} \cdot 5 = (12.3 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Inneväggar betong:  $m_{btg.inne} := g_{btg} \cdot 0.2 \text{ m} \cdot 2.52 \text{ m} \cdot 57.6 \text{ m} \cdot 5 = (348.365 \cdot 10^3) \text{ kg}$

Armering:  $m_{arm.inne} := g_{arm} \cdot 2.52 \text{ m} \cdot 57.6 \text{ m} \cdot 5 = (8.709 \cdot 10^3) \text{ kg}$

## 1.5 Transport

För beräkning av miljöbelastning orsakad av transport beaktas två fall, lång- och närtransport. För betong- och stålstomme antas sträckan vara 80 respektive 5 mil. För trästomme antas det vara 80 respektive 25 mil. För platsgjuten betong försummas långtransport.

$$S_l := 800 \text{ km}$$

$$S_n := 50 \text{ km}$$

$$S_{n.tr} := 250 \text{ km}$$



## 2. Trä

### 2.1 Summering av massan

#### Summering av massa per material vid pålgrundläggning

$$m_{tot.btg.tr.p1} := m_{btg.bk} + m_{g.pe.tr} = (1.341 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$m_{tot.pg.btg.tr.p1} := m_{pl.g} = (2.952 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$m_{tot.arm.tr.p1} := m_{arm.bk} + m_{arm.p} + m_{arm.g.pe.tr} = (8.922 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Summering av massa per material vid grundpålatta

$$m_{tot.btg.tr.p2} := m_{btg.bk} = (8.64 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$m_{tot.pg.btg.tr.p2} := m_{g.p} = (2.46 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$m_{tot.arm.tr.p2} := m_{arm.bk} + m_{arm.p} = (6.648 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Summering av massa för bjälklaget

$$m_{tot.bj.tr} := m_{KL} + m_{LK20} + m_{L40c} + m_{r.bj} + m_{läkt} = (1.227 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$m_{tot.bj.övr} := m_{iso.170} + m_{iso.70} + m_{gips.bj} = (3.437 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

#### Summering av massa för lägenhetsskjiandeväggar

$$m_{tot.inne.tr} := m_{r.tr} + m_{ply.tr} = (1.297 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$m_{tot.inne.övr} := m_{iso.tr} + m_{gips.tr} = (3.934 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

## 2.2 Miljöbelastning

### Koldioxidutsläpp för trästomme med pågrundläggning

$$C_{btg.tr.p1} := GWP_{btg} \cdot m_{tot.btg.tr.p1} = (2.816 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{btg.pg.tr.p1} := GWP_{btg.pg} \cdot m_{tot.pg.btg.tr.p1} = (3.542 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{arm.tr.p1} := GWP_{arm} \cdot m_{tot.arm.tr.p1} = (1.071 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{tot.tr.p1} := C_{btg.tr.p1} + C_{btg.pg.tr.p1} + C_{arm.tr.p1} = (7.429 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för trästomme med grundplatta

$$C_{btg.tr.p2} := GWP_{btg} \cdot m_{tot.btg.tr.p2} = (1.814 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{btg.pg.tr.p2} := GWP_{btg.pg} \cdot m_{tot.pg.btg.tr.p2} = (2.952 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{arm.tr.p2} := GWP_{arm} \cdot m_{tot.arm.tr.p2} = (7.978 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.tr.p2} := C_{btg.tr.p2} + C_{btg.pg.tr.p2} + C_{arm.tr.p2} = (5.564 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för lägenhetsskjiandevägg

$$C_{r.tr} := GWP_r \cdot m_{r.tr} = (1.047 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{iso.tr} := GWP_{iso} \cdot m_{iso.tr} = (6.086 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{ply.tr} := GWP_{ply} \cdot m_{ply.tr} = (3.788 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{gips.tr} := GWP_{gips} \cdot m_{gips.tr} = (1.01 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{tot.lgh.v\u00e4gg.tr} := C_{r.tr} + C_{iso.tr} + C_{ply.tr} + C_{gips.tr} = (2.102 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsl\u00e4pp f\u00f6r bj\u00e4lklaget, pelare och balkar

$$C_{KL} := GWP_{KL} \cdot m_{KL} = (2.394 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{iso.170} := GWP_{iso.sten} \cdot m_{iso.170} = (1.114 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{LK20} := GWP_{LK20} \cdot m_{LK20} = (1.031 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{L40c} := GWP_{L40c} \cdot m_{L40c} = (1.031 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{r.bj} := GWP_r \cdot m_{r.bj} = (2.737 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l\u00e4kt} := GWP_{l\u00e4kt} \cdot m_{l\u00e4kt} = (1.078 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{iso.70} := GWP_{iso.sten} \cdot m_{iso.70} = (7.965 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{gips.bj} := GWP_{gips} \cdot m_{gips.bj} = (5.351 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{pe.tr.s} := GWP_{s.j\u00e4} \cdot m_{pe.tr.s} = (1.085 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{ba.tr} := GWP_{L40c} \cdot m_{ba.tr} = (4.749 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.bj.pe.ba.tr} := C_{KL} + C_{iso.170} + C_{LK20} + C_{L40c} + C_{r.bj} + C_{l\u00e4kt} + C_{iso.70} + C_{gips.bj} + C_{pe.tr.s} + C_{ba.tr}$$

$$C_{tot.bj.pe.ba.tr} = (8.844 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för transport med båt - pålgrundläggning

$$C_{l.tr.btg.b.p1} := GWP_{t.b} \cdot S_l \cdot (m_{tot.btg.tr.p1} + m_{tot.arm.tr.p1} + m_{tot.bj.tr} + m_{tot.inne.tr} + m_{ba.tr} + m_{pe.tr.s})$$

$$C_{l.tr.btg.b.p1} = (1.093 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{n.tr.övr.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.bj.övr} + m_{tot.inne.övr}) = 571.305 \text{ kg}$$

$$C_{n.tr.pg.btg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot m_{tot.pg.btg.tr.p1} = (2.288 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för transport med båt - grundplatta

$$C_{l.tr.btg.b.p2} := GWP_{t.b} \cdot S_l \cdot (m_{tot.btg.tr.p2} + m_{tot.arm.tr.p2} + m_{tot.bj.tr} + m_{tot.inne.tr} + m_{ba.tr} + m_{pe.tr.s})$$

$$C_{l.tr.btg.b.p2} = (9.09 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tr.övr.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.bj.övr} + m_{tot.inne.övr}) = 571.305 \text{ kg}$$

$$C_{n.tr.pg.btg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot m_{tot.pg.btg.tr.p2} = (1.907 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för transport med järnväg - pålgrundläggning

$$C_{l.tr.btg.j.p1} := GWP_{t.j} \cdot S_l \cdot (m_{tot.btg.tr.p1} + m_{tot.arm.tr.p1} + m_{tot.bj.tr} + m_{tot.inne.tr} + m_{ba.tr} + m_{pe.tr.s})$$

$$C_{l.tr.btg.j.p1} = (3.326 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tr.övr.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.bj.övr} + m_{tot.inne.övr}) = 571.305 \text{ kg}$$

$$C_{n.tr.pg.btg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot m_{tot.pg.btg.tr.p1} = (2.288 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n1.tr.btg.j.p1} := GWP_{t.j} \cdot (S_{n.tr} \cdot (m_{tot.bj.tr} + m_{tot.inne.tr} + m_{ba.tr})) = 514.403 \text{ kg}$$

$$C_{n2.tr.btg.j.p1} := GWP_{t.j} \cdot S_n \cdot (m_{tot.btg.tr.p1} + m_{tot.arm.tr.p1} + m_{tot.pg.btg.tr.p1} + m_{pe.tr.s}) = 311.665 \text{ kg}$$

$$C_{ntot.tr.btg.j.p1} := C_{n1.tr.btg.j.p1} + C_{n2.tr.btg.j.p1} = 826.068 \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för transport med järnväg - grundplatta

$$C_{l.tr.btg.j.p2} := GWP_{t.j} \cdot S_l \cdot (m_{tot.btg.tr.p2} + m_{tot.arm.tr.p2} + m_{tot.bj.tr} + m_{tot.inne.tr} + m_{ba.tr} + m_{pe.tr.s})$$

$$C_{l.tr.btg.j.p2} = (2.767 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tr.övr.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.bj.övr} + m_{tot.inne.övr}) = 571.305 \text{ kg}$$

$$C_{n.tr.pg.btg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot m_{tot.pg.btg.tr.p2} = (1.907 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n1.tr.btg.j.p2} := GWP_{t.j} \cdot S_n \cdot (m_{tot.bj.tr} + m_{tot.inne.tr} + m_{ba.tr}) = 514.403 \text{ kg}$$

$$C_{n2.tr.btg.j.p2} := GWP_{t.j} \cdot S_n \cdot (m_{tot.btg.tr.p2} + m_{tot.arm.tr.p2} + m_{tot.pg.btg.tr.p2} + m_{pe.tr.s}) = 242.234 \text{ kg}$$

$$C_{ntot.tr.btg.j.p2} := C_{n1.tr.btg.j.p2} + C_{n2.tr.btg.j.p2} = 756.636 \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för transport med lastbil - pålgrundläggning

$$C_{l.tr.btg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_l \cdot (m_{tot.btg.tr.p1} + m_{tot.arm.tr.p1} + m_{tot.bj.tr} + m_{tot.inne.tr} + m_{ba.tr})$$

$$C_{l.tr.btg.lb.p1} = (3.596 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{n.tr.övr.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.bj.övr} + m_{tot.inne.övr}) = 571.305 \text{ kg}$$

$$C_{n.tr.pg.btg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot m_{tot.pg.btg.tr.p1} = (2.288 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n1.tr.btg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot (S_{n.tr} \cdot (m_{tot.bj.tr} + m_{tot.inne.tr} + m_{ba.tr})) = (5.695 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n2.tr.btg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot (S_n \cdot (m_{tot.btg.tr.p1} + m_{tot.arm.tr.p1} + m_{tot.pg.btg.tr.p1} + m_{pe.tr.s})) = (3.451 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{ntot.tr.btg.lb.p1} := C_{n1.tr.btg.lb.p1} + C_{n2.tr.btg.lb.p1} = (9.146 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för transport med lastbil - grundplatta

$$C_{l.tr.btg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_l \cdot (m_{tot.btg.tr.p2} + m_{tot.arm.tr.p2} + m_{tot.bj.tr} + m_{tot.inne.tr} + m_{ba.tr}) = (2.976 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{n.tr.övr.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.bj.övr} + m_{tot.inne.övr}) = 571.305 \text{ kg}$$

$$C_{n.tr.pg.btg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot m_{tot.pg.btg.tr.p2} = (1.907 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n1.tr.btg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot (S_{n.tr} \cdot (m_{tot.bj.tr} + m_{tot.inne.tr} + m_{ba.tr})) = (5.695 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n2.tr.btg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot (S_n \cdot (m_{tot.btg.tr.p2} + m_{tot.arm.tr.p2} + m_{tot.pg.btg.tr.p2} + m_{pe.tr.s})) = (2.682 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{ntot.tr.btg.lb.p2} := C_{n1.tr.btg.lb.p2} + C_{n2.tr.btg.lb.p2} = (8.377 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

### Totalt koldioxidutsläpp orsakad av transport - på grundläggning

$$C_{l.tot.b.tr.p1} := C_{l.tr.btg.b.p1} + C_{n.tr.pg.btg.lb.p1} + C_{n.tr.övr.lb.p1} = (13.789 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.j.tr.p1} := C_{l.tr.btg.j.p1} + C_{n.tr.pg.btg.lb.p1} + C_{n.tr.övr.lb.p1} = (6.186 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tot.j.tr.p1} := C_{ntot.tr.btg.j.p1} + C_{n.tr.övr.lb.p1} = (1.397 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.lb.tr.p1} := C_{l.tr.btg.lb.p1} + C_{n.tr.pg.btg.lb.p1} + C_{n.tr.övr.lb.p1} = (38.82 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tot.lb.tr.p1} := C_{ntot.tr.btg.lb.p1} + C_{n.tr.övr.lb.p1} = (9.717 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Totalt koldioxidutsläpp orsakad av transport - grundplatta

$$C_{l.tot.b.tr.p2} := C_{l.tr.btg.b.p2} + C_{n.tr.pg.btg.lb.p2} + C_{n.tr.övr.lb.p2} = (11.568 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.j.tr.p2} := C_{l.tr.btg.j.p2} + C_{n.tr.pg.btg.lb.p2} + C_{n.tr.övr.lb.p2} = (5.244 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tot.j.tr.p2} := C_{ntot.tr.btg.j.p2} + C_{n.tr.övr.lb.p2} = (1.328 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.lb.tr.p2} := C_{l.tr.btg.lb.p2} + C_{n.tr.pg.btg.lb.p2} + C_{n.tr.övr.lb.p2} = (32.24 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tot.lb.tr.p2} := C_{ntot.tr.btg.lb.p2} + C_{n.tr.övr.lb.p2} = (8.948 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Totalt koldioxidutsläpp - pågrundläggning

$$C_{tot.tr.l.b.p1} := C_{l.tot.b.tr.p1} + C_{tot.lgh.vägg.tr} + C_{tot.bj.pe.ba.tr} + C_{tot.tr.p1} = (197.544 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.tr.l.j.p1} := C_{l.tot.j.tr.p1} + C_{tot.lgh.vägg.tr} + C_{tot.bj.pe.ba.tr} + C_{tot.tr.p1} = (189.94 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.tr.l.lb.p1} := C_{l.tot.lb.tr.p1} + C_{tot.lgh.vägg.tr} + C_{tot.bj.pe.ba.tr} + C_{tot.tr.p1} = (222.575 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.tr.n.j.p1} := C_{n.tot.j.tr.p1} + C_{tot.lgh.vägg.tr} + C_{tot.bj.pe.ba.tr} + C_{tot.tr.p1} = (185.152 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.tr.n.lb.p1} := C_{n.tot.lb.tr.p1} + C_{tot.lgh.vägg.tr} + C_{tot.bj.pe.ba.tr} + C_{tot.tr.p1} = (193.472 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

Totalt koldioxidutsläpp - grundplatta

$$C_{tot.tr.l.b.p2} := C_{l.tot.b.tr.p2} + C_{tot.lgh.vägg.tr} + C_{tot.bj.pe.ba.tr} + C_{tot.tr.p2} = (176.67 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.tr.l.j.p2} := C_{l.tot.j.tr.p2} + C_{tot.lgh.vägg.tr} + C_{tot.bj.pe.ba.tr} + C_{tot.tr.p2} = (170.347 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.tr.l.lb.p2} := C_{l.tot.lb.tr.p2} + C_{tot.lgh.vägg.tr} + C_{tot.bj.pe.ba.tr} + C_{tot.tr.p2} = (197.343 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.tr.n.j.p2} := C_{n.tot.j.tr.p2} + C_{tot.lgh.vägg.tr} + C_{tot.bj.pe.ba.tr} + C_{tot.tr.p2} = (166.43 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.tr.n.lb.p2} := C_{n.tot.lb.tr.p2} + C_{tot.lgh.vägg.tr} + C_{tot.bj.pe.ba.tr} + C_{tot.tr.p2} = (174.051 \cdot 10^3) \text{ kg}$$



### 3. Stål

#### 3.1 Summering av massan

##### Summering av massa per material vid pålgrundläggning

$$m_{tot.btg.s.p1} := m_{btg.bk} + m_{h.bj} + m_{g.pe.s} = (1.103 \cdot 10^6) \text{ kg}$$

$$m_{tot.pg.btg.s.p1} := m_{pa.bj} + m_{pl.g} = (5.412 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$m_{tot.arm.s.p1} := m_{arm.bk} + m_{arm.h.bj} + m_{arm.g.pe.s} + m_{arm.p} = (2.274 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

##### Summering av massa per material vid grundplatta

$$m_{tot.btg.s.p2} := m_{btg.bk} + m_{h.bj} = (1.023 \cdot 10^6) \text{ kg}$$

$$m_{tot.pg.btg.s.p2} := m_{pa.bj} + m_{g.p} = (4.92 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$m_{tot.arm.s.p2} := m_{arm.bk} + m_{arm.h.bj} + m_{arm.p} = (1.895 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

##### Den totala massan för stål

$$m_{tot.s} := m_{pe.s} + m_{ba.s} = (4.671 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

##### Den totala massan för lägenhetsskiljandeväggar

$$m_{tot.s.inne.tr} := m_{r.s} + m_{ply.s} = (1.518 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$m_{tot.s.inne.övr} := m_{iso.s} + m_{gips.s} = (3.061 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

## 3.2 Miljöbelastning

### Koldioxidutsläpp för stålstomme med pålgrundläggning

$$C_{btg.s.p1} := GWP_{btg} \cdot m_{tot.btg.s.p1} = (2.316 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{btg.pg.s.p1} := GWP_{btg.pg} \cdot m_{tot.pg.btg.s.p1} = (6.494 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{arm.s.p1} := GWP_{arm} \cdot m_{tot.arm.s.p1} = (2.729 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{tot.s.p1} := C_{btg.s.p1} + C_{btg.pg.s.p1} + C_{arm.s.p1} = (3.238 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för stålstomme med grundplatta

$$C_{btg.s.p2} := GWP_{btg} \cdot m_{tot.btg.s.p2} = (2.149 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{btg.pg.s.p2} := GWP_{btg.pg} \cdot m_{tot.pg.btg.s.p2} = (5.904 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{arm.s.p2} := GWP_{arm} \cdot m_{tot.arm.s.p2} = (2.274 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{tot.s.p2} := C_{btg.s.p2} + C_{btg.pg.s.p2} + C_{arm.s.p2} = (2.967 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för övriga material

$$C_s := GWP_{s.jä} \cdot m_{tot.s} = (7.24 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{r.s} := GWP_r \cdot m_{r.s} = 845.25 \text{ kg}$$

$$C_{iso.s} := GWP_{iso} \cdot m_{iso.s} = (6.048 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{ply.s} := GWP_{ply} \cdot m_{ply.s} = (5.175 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{gips.s} := GWP_{gips} \cdot m_{gips.s} = (7.577 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Total koldioxidutsläpp för övriga material

$$C_{tot.s.övr} := C_s + C_{r.s} + C_{iso.s} + C_{ply.s} + C_{gips.s} = (9.204 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsläpp för transport med båt - pålgrundläggning

$$C_{l.btg.b.s.p1} := GWP_{t.b} \cdot S_l \cdot m_{tot.btg.s.p1} = (40.582 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.pg.btg.lb.b.s.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.pg.btg.s.p1} + m_{tot.s.inne.tr} + m_{tot.s.inne.övr}) = (4.549 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.b.s.p1} := GWP_{t.b} \cdot S_l \cdot (m_{tot.s} + m_{tot.arm.s.p1}) = (2.556 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsläpp för transport med båt - grundplatta

$$C_{l.btg.b.s.p2} := GWP_{t.b} \cdot S_l \cdot m_{tot.btg.s.p2} = (37.656 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.pg.btg.lb.b.s.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.pg.btg.s.p2} + m_{tot.s.inne.tr} + m_{tot.s.inne.övr}) = (4.168 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.b.s.p2} := GWP_{t.b} \cdot S_l \cdot (m_{tot.s} + m_{tot.arm.s.p2}) = (2.416 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsläpp för transport med järnväg - pålgrundläggning

$$C_{l.btg.j.s.p1} := GWP_{t.j} \cdot S_l \cdot m_{tot.btg.s.p1} = (1.235 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{n.pg.btg.lb.j.s.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.pg.btg.s.p1} + m_{tot.s.inne.tr} + m_{tot.s.inne.övr}) = (4.549 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.j.s.p1} := GWP_{t.b} \cdot S_l \cdot (m_{tot.s} + m_{tot.arm.s.p1}) = (2.556 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsläpp för transport med järnväg - grundplatta

$$C_{l.btg.j.s.p2} := GWP_{t.j} \cdot S_l \cdot m_{tot.btg.s.p2} = (1.146 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{n.pg.btg.lb.j.s.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.pg.btg.s.p2} + m_{tot.s.inne.tr} + m_{tot.s.inne.övr}) = (4.168 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.j.s.p2} := GWP_{t.b} \cdot S_l \cdot (m_{tot.s} + m_{tot.arm.s.p2}) = (2.416 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsläpp för transport med lastbil - pålgrundläggning

$$C_{l.btg.lb.s.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_l \cdot m_{tot.btg.s.p1} = (1.367 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{n.pg.btg.lb.lb.s.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.pg.btg.s.p1} + m_{tot.s.inne.tr} + m_{tot.s.inne.övr}) = (4.549 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.lb.s.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_l \cdot (m_{tot.s} + m_{tot.arm.s.p1}) = (8.611 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.s.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.s} + m_{tot.arm.s.p1} + m_{tot.pg.btg.s.p1} + m_{tot.btg.s.p1}) = (13.279 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsläpp för transport med lastbil - grundplatta

$$C_{l.btg.lb.s.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_l \cdot m_{tot.btg.s.p2} = (1.269 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{n.pg.btg.lb.lb.s.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.pg.btg.s.p2} + m_{tot.s.inne.tr} + m_{tot.s.inne.övr}) = (4.168 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.lb.s.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_l \cdot (m_{tot.s} + m_{tot.arm.s.p2}) = (8.141 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.s.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.s} + m_{tot.arm.s.p2} + m_{tot.pg.btg.s.p2} + m_{tot.btg.s.p2}) = (12.252 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

### Totalt koldioxidutsläpp orsakad av transport - pålgrundläggning

$$C_{l.tot.b.s.p1} := C_{l.b.s.p1} + C_{n.pg.btg.lb.b.s.p1} + C_{l.btg.b.s.p1} = (47.687 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.j.s.p1} := C_{l.j.s.p1} + C_{n.pg.btg.lb.j.s.p1} + C_{l.btg.j.s.p1} = (19.456 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.lb.s.p1} := C_{l.lb.s.p1} + C_{n.pg.btg.lb.lb.s.p1} + C_{l.btg.lb.s.p1} = (149.904 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tot.s.p1} := C_{n.s.lb.p1} = (13.279 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

### Totalt koldioxidutsläpp orsakad av transport - grundplatta

$$C_{l.tot.b.s.p2} := C_{l.b.s.p2} + C_{n.pg.btg.lb.b.s.p2} + C_{l.btg.b.s.p2} = (44.24 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.j.s.p2} := C_{l.j.s.p2} + C_{n.pg.btg.lb.j.s.p2} + C_{l.btg.j.s.p2} = (18.044 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.lb.s.p2} := C_{l.lb.s.p2} + C_{n.pg.btg.lb.lb.s.p2} + C_{l.btg.lb.s.p2} = (139.192 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tot.s.p2} := C_{n.s.lb.p2} = (12.252 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

### Totalt koldioxidutsläpp - pålgrundläggning

$$C_{tot.l.b.p1} := C_{l.tot.b.s.p1} + C_{tot.s.övr} + C_{tot.s.p1} = (463.543 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.l.j.p1} := C_{l.tot.j.s.p1} + C_{tot.s.övr} + C_{tot.s.p1} = (435.312 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.l.lb.p1} := C_{l.tot.lb.s.p1} + C_{tot.s.övr} + C_{tot.s.p1} = (565.76 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.n.p1} := C_{n.tot.s.p1} + C_{tot.s.övr} + C_{tot.s.p1} = (429.135 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

Totalt koldioxidutsläpp - grundplatta

$$C_{tot.l.b.p2} := C_{l.tot.b.s.p2} + C_{tot.s.övr} + C_{tot.s.p2} = (432.944 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.l.j.p2} := C_{l.tot.j.s.p2} + C_{tot.s.övr} + C_{tot.s.p2} = (406.749 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.l.lb.p2} := C_{l.tot.lb.s.p2} + C_{tot.s.övr} + C_{tot.s.p2} = (527.896 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.n.p2} := C_{n.tot.s.p2} + C_{tot.s.övr} + C_{tot.s.p2} = (400.956 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

## 4. Betong

### 4.1 Prefabricerad betong

#### Summering av massa per material vid pålgrundläggning

$$m_{tot.btg.pf.p1} := m_{btg.bk} + m_{btg.inne} + m_{g.pe.btg} + m_{btg.pe.bp} + m_{btg.pe.vp} + m_{btg.bj} = (1.172 \cdot 10^6) \text{ kg}$$

$$m_{tot.btg.pg.p1} := m_{btg.pg} + m_{pl.g} = (910.2 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$m_{tot.arm.p1} := m_{arm.bk} + m_{arm.inne} + m_{arm.pe.bp} + m_{arm.pe.vp} + m_{arm.bj} + m_{arm.p} + m_{arm.g.p.b} + m_{arm.pg}$$

$$m_{tot.arm.p1} = (4.647 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

#### Summering av massa per material vid grundplatta

$$m_{tot.btg.pf.p2} := m_{btg.bk} + m_{btg.inne} + m_{btg.pe.bp} + m_{btg.pe.vp} + m_{btg.bj} = (1.077 \cdot 10^6) \text{ kg}$$

$$m_{tot.btg.pg.p2} := m_{btg.pg} + m_{g.p} = (861 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$m_{tot.arm.p2} := m_{arm.bk} + m_{arm.inne} + m_{arm.pe.bp} + m_{arm.pe.vp} + m_{arm.bj} + m_{arm.p} + m_{arm.pg}$$

$$m_{tot.arm.p2} = (4.193 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsläpp för betongstomme - pålgrundläggning

$$C_{btg.p1} := GWP_{btg} \cdot m_{tot.btg.pf.p1} = (2.462 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{btg.pg.p1} := GWP_{btg.pg} \cdot m_{tot.btg.pg.p1} = (1.092 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{arm.btg.p1} := GWP_{arm} \cdot m_{tot.arm.p1} = (5.577 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{tot.btg.p1} := C_{btg.p1} + C_{btg.pg.p1} + C_{arm.btg.p1} = (4.112 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för betongstomme - grundplattan

$$C_{btg.p2} := GWP_{btg} \cdot m_{tot.btg.pf.p2} = (2.262 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{btg.pg.p2} := GWP_{btg.pg} \cdot m_{tot.btg.pg.p2} = (1.033 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{arm.btg.p2} := GWP_{arm} \cdot m_{tot.arm.p2} = (5.031 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{tot.btg.p2} := C_{btg.p2} + C_{btg.pg.p2} + C_{arm.btg.p2} = (3.798 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för transport med järnväg, lastbild och båt - pålgrundläggning

$$C_{l.btg.j.p1} := GWP_{t.j} \cdot S_l \cdot (m_{tot.btg.pf.p1} + m_{tot.arm.p1}) = (13.652 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.btg.pg.j.p1} := GWP_{t.j} \cdot S_n \cdot m_{tot.btg.pg.p1} = 637.14 \text{ kg}$$

$$C_{l.btg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_l \cdot (m_{tot.btg.pf.p1} + m_{tot.arm.p1}) = (151.15 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.btg.pg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot m_{tot.btg.pg.p1} = (7.054 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.btg.b.p1} := GWP_{t.b} \cdot S_l \cdot (m_{tot.btg.pf.p1} + m_{tot.arm.p1}) = (44.858 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.btg.pg.b.p1} := GWP_{t.b} \cdot S_n \cdot m_{tot.btg.pg.p1} = (2.093 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.btg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.btg.pf.p1} + m_{tot.btg.pg.p1} + m_{tot.arm.p1}) = (16.501 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för transport med järnväg, lastbil och båt - grundplatta

$$C_{l.btg.j.p2} := GWP_{t.j} \cdot S_l \cdot (m_{tot.btg.pf.p2} + m_{tot.arm.p2}) = (12.533 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.btg.pg.j.p2} := GWP_{t.j} \cdot S_n \cdot m_{tot.btg.pg.p2} = 602.7 \text{ kg}$$



$$C_{l.btg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_l \cdot (m_{tot.btg.pf.p2} + m_{tot.arm.p2}) = (138.753 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.btg.pg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot m_{tot.btg.pg.p2} = (6.673 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.btg.b.p2} := GWP_{t.b} \cdot S_l \cdot (m_{tot.btg.pf.p2} + m_{tot.arm.p2}) = (41.178 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.btg.pg.b.p2} := GWP_{t.b} \cdot S_n \cdot m_{tot.btg.pg.p2} = (1.98 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.btg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.btg.pf.p2} + m_{tot.btg.pg.p2} + m_{tot.arm.p2}) = (15.345 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Totalt koldioxidutsläpp orsakad av transport - pågrundläggning

$$C_{l.tot.btg.j.p1} := C_{l.btg.j.p1} + C_{n.btg.pg.j.p1} = (14.289 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.btg.lb.p1} := C_{l.btg.lb.p1} + C_{n.btg.pg.lb.p1} = (158.204 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.btg.b.p1} := C_{l.btg.b.p1} + C_{n.btg.pg.b.p1} = (46.951 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tot.btg.p1} := C_{n.btg.lb.p1} = (16.501 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Totalt koldioxidutsläpp orsakad av transport - grundplatta

$$C_{l.tot.btg.j.p2} := C_{l.btg.j.p2} + C_{n.btg.pg.j.p2} = (13.135 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.btg.lb.p2} := C_{l.btg.lb.p2} + C_{n.btg.pg.lb.p2} = (145.426 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.btg.b.p2} := C_{l.btg.b.p2} + C_{n.btg.pg.b.p2} = (43.159 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tot.btg.p2} := C_{n.btg.lb.p2} = (15.345 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Totalt koldioxidutsläpp - pålgrundläggning

$$C_{tot.btg.l.j.p1} := C_{l.tot.btg.j.p1} + C_{tot.btg.p1} = (425.503 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.btg.l.lb.p1} := C_{l.tot.btg.lb.p1} + C_{tot.btg.p1} = (569.418 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.btg.l.b.p1} := C_{l.tot.btg.b.p1} + C_{tot.btg.p1} = (458.165 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.btg.n.p1} := C_{n.tot.btg.p1} + C_{tot.btg.p1} = (427.715 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Totalt koldioxidutsläpp - grundplatta

$$C_{tot.btg.l.j.p2} := C_{l.tot.btg.j.p2} + C_{tot.btg.p2} = (392.948 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.btg.l.lb.p2} := C_{l.tot.btg.lb.p2} + C_{tot.btg.p2} = (525.239 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.btg.l.b.p2} := C_{l.tot.btg.b.p2} + C_{tot.btg.p2} = (422.972 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.btg.n.p2} := C_{n.tot.btg.p2} + C_{tot.btg.p2} = (395.158 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

## 4.2 Platsgjuten betong

#### Summering av massa per material för pålgrundläggning

$$m_{tot.pg.btg.p1} := m_{btg.bk} + m_{btg.inne} + m_{g.pe.btg} + m_{btg.pe.bp} + m_{btg.pe.vp} + m_{btg.bj} + m_{btg.pg} + m_{pl.g}$$

$$m_{tot.pg.btg.p1} = (2.083 \cdot 10^6) \text{ kg}$$

$$m_{tot.arm.p1} := m_{arm.bk} + m_{arm.inne} + m_{arm.pe.bp} + m_{arm.pe.vp} + m_{arm.bj} + m_{arm.p} + m_{arm.g.p.b} + m_{arm.pg}$$

$$m_{tot.arm.p1} = (4.647 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

### Summering av massa per material för grundplatta

$$m_{tot.pg.btg.p2} := m_{btg.bk} + m_{btg.inne} + m_{btg.pe.bp} + m_{btg.pe.vp} + m_{btg.bj} + m_{btg.pg} + m_{g.p}$$

$$m_{tot.pg.btg.p2} = (1.938 \cdot 10^6) \text{ kg}$$

$$m_{tot.arm.p2} := m_{arm.bk} + m_{arm.inne} + m_{arm.pe.bp} + m_{arm.pe.vp} + m_{arm.bj} + m_{arm.p} + m_{arm.pg}$$

$$m_{tot.arm.p2} = (4.193 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för betongstomme - pålgrundläggning

$$C_{pg.btg.p1} := GWP_{btg.pg} \cdot m_{tot.pg.btg.p1} = (2.499 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{arm.pg.btg.p1} := GWP_{arm} \cdot m_{tot.arm.p1} = (5.577 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{tot.pg.btg.p1} := C_{pg.btg.p1} + C_{arm.pg.btg.p1} = (3.057 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för betongstomme - grundplattan

$$C_{pg.btg.p2} := GWP_{btg.pg} \cdot m_{tot.pg.btg.p2} = (2.326 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{arm.pg.btg.p2} := GWP_{arm} \cdot m_{tot.arm.p2} = (5.031 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{tot.pg.btg.p2} := C_{pg.btg.p2} + C_{arm.pg.btg.p2} = (2.829 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för transport med lastbil - pålgrundläggning

$$C_{n.pg.btg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.pg.btg.p1} + m_{tot.arm.p1}) = (16.501 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

Koldioxidutsläpp för transport med lastbil - grundplatta

$$C_{n.pg.btg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.pg.btg.p2} + m_{tot.arm.p2}) = (15.345 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

Totalt koldioxidutsläpp orsakad av transport

$$C_{n.tot.pg.btg.p1} := C_{n.pg.btg.lb.p1} = (16.501 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tot.pg.btg.p2} := C_{n.pg.btg.lb.p2} = (15.345 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

Totalt koldioxidutsläpp

$$C_{tot.pg.btg.n.p1} := C_{n.tot.pg.btg.p1} + C_{tot.pg.btg.p1} = (322.192 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.pg.btg.n.p2} := C_{n.tot.pg.btg.p2} + C_{tot.pg.btg.p2} = (298.223 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

## 5. Miljöbetong

### 5.1 Prefabricerad miljöbetong

#### Summering av massa per material vid pålgrundläggning

$$m_{tot.mi.btg.pf.p1} := m_{btg.bk} + m_{btg.inne} + m_{g.pe.btg} + m_{btg.pe.bp} + m_{btg.pe.vp} + m_{btg.bj} = (1.172 \cdot 10^6) \text{ kg}$$

$$m_{tot.mi.btg.pg.p1} := m_{btg.pg} + m_{pl.g} = (910.2 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$m_{tot.arm.p1} := m_{arm.bk} + m_{arm.inne} + m_{arm.pe.bp} + m_{arm.pe.vp} + m_{arm.bj} + m_{arm.p} + m_{arm.g.p.b} + m_{arm.pg}$$

$$m_{tot.arm.p1} = (4.647 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

#### Summering av massa per material vid grundplatta

$$m_{tot.mi.btg.pf.p2} := m_{btg.bk} + m_{btg.inne} + m_{btg.pe.bp} + m_{btg.pe.vp} + m_{btg.bj} = (1.077 \cdot 10^6) \text{ kg}$$

$$m_{tot.mi.btg.pg.p2} := m_{btg.pg} + m_{g.p} = (861 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$m_{tot.arm.p2} := m_{arm.bk} + m_{arm.inne} + m_{arm.pe.bp} + m_{arm.pe.vp} + m_{arm.bj} + m_{arm.p} + m_{arm.pg}$$

$$m_{tot.arm.p2} = (4.193 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsläpp för betongstomme - pålgrundläggning

$$C_{mi.btg.p1} := GWP_{mi.btg} \cdot m_{tot.mi.btg.pf.p1} = (1.876 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{mi.btg.pg.p1} := GWP_{mi.btg.pg} \cdot m_{tot.mi.btg.pg.p1} = (8.192 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{arm.btg.p1} := GWP_{arm} \cdot m_{tot.arm.p1} = (5.577 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{tot.mi.btg.p1} := C_{mi.btg.p1} + C_{mi.btg.pg.p1} + C_{arm.btg.p1} = (3.253 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsläpp för betongstomme - grundplattan

$$C_{mi.btg.p2} := GWP_{mi.btg} \cdot m_{tot.mi.btg.pf.p2} = (1.723 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{mi.btg.pg.p2} := GWP_{mi.btg.pg} \cdot m_{tot.mi.btg.pg.p2} = (7.749 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{arm.btg.p2} := GWP_{arm} \cdot m_{tot.arm.p2} = (5.031 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{tot.mi.btg.p2} := C_{mi.btg.p2} + C_{mi.btg.pg.p2} + C_{arm.btg.p2} = (3.001 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsläpp för transport med järnväg, lastbild och båt - pålgrundläggning

$$C_{l.mi.btg.j.p1} := GWP_{t.j} \cdot S_l \cdot (m_{tot.mi.btg.pf.p1} + m_{tot.arm.p1}) = (13.652 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.mi.btg.pg.j.p1} := GWP_{t.j} \cdot S_n \cdot m_{tot.mi.btg.pg.p1} = 637.14 \text{ kg}$$

$$C_{l.mi.btg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_l \cdot (m_{tot.mi.btg.pf.p1} + m_{tot.arm.p1}) = (151.15 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.mi.btg.pg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot m_{tot.mi.btg.pg.p1} = (7.054 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.mi.btg.b.p1} := GWP_{t.b} \cdot S_l \cdot (m_{tot.mi.btg.pf.p1} + m_{tot.arm.p1}) = (44.858 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.mi.btg.pg.b.p1} := GWP_{t.b} \cdot S_n \cdot m_{tot.mi.btg.pg.p1} = (2.093 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.mi.btg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.mi.btg.pf.p1} + m_{tot.mi.btg.pg.p1} + m_{tot.arm.p1}) = (16.501 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för transport med järnväg, lastbil och båt - grundplatta

$$C_{l.mi.btg.j.p2} := GWP_{t.j} \cdot S_l \cdot (m_{tot.mi.btg.pf.p2} + m_{tot.arm.p2}) = (12.533 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.mi.btg.pg.j.p2} := GWP_{t.j} \cdot S_n \cdot m_{tot.mi.btg.pg.p2} = 602.7 \text{ kg}$$

$$C_{l.mi.btg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_l \cdot (m_{tot.mi.btg.pf.p2} + m_{tot.arm.p2}) = (138.753 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.mi.btg.pg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot m_{tot.mi.btg.pg.p2} = (6.673 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.mi.btg.b.p2} := GWP_{t.b} \cdot S_l \cdot (m_{tot.mi.btg.pf.p2} + m_{tot.arm.p2}) = (41.178 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.mi.btg.pg.b.p2} := GWP_{t.b} \cdot S_n \cdot m_{tot.mi.btg.pg.p2} = (1.98 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.mi.btg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.mi.btg.pf.p2} + m_{tot.mi.btg.pg.p2} + m_{tot.arm.p2}) = (15.345 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

### Totalt koldioxidutsläpp orsakad av transport - pålgrundläggning

$$C_{l.tot.mi.btg.j.p1} := C_{l.mi.btg.j.p1} + C_{n.mi.btg.pg.j.p1} = (14.289 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.mi.btg.lb.p1} := C_{l.mi.btg.lb.p1} + C_{n.mi.btg.pg.lb.p1} = (158.204 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.mi.btg.b.p1} := C_{l.mi.btg.b.p1} + C_{n.mi.btg.pg.b.p1} = (46.951 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tot.mi.btg.p1} := C_{n.mi.btg.lb.p1} = (16.501 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

### Totalt koldioxidutsläpp orsakad av transport - grundplatta

$$C_{l.tot.mi.btg.j.p2} := C_{l.mi.btg.j.p2} + C_{n.mi.btg.pg.j.p2} = (13.135 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.mi.btg.lb.p2} := C_{l.mi.btg.lb.p2} + C_{n.mi.btg.pg.lb.p2} = (145.426 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{l.tot.mi.btg.b.p2} := C_{l.mi.btg.b.p2} + C_{n.mi.btg.pg.b.p2} = (43.159 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tot.mi.btg.p2} := C_{n.mi.btg.lb.p2} = (15.345 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Totalt koldioxidutsläpp - pågrundläggning

$$C_{tot.mi.btg.l.j.p1} := C_{l.tot.mi.btg.j.p1} + C_{tot.mi.btg.p1} = (339.573 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.mi.btg.l.lb.p1} := C_{l.tot.mi.btg.lb.p1} + C_{tot.mi.btg.p1} = (483.488 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.mi.btg.l.b.p1} := C_{l.tot.mi.btg.b.p1} + C_{tot.mi.btg.p1} = (372.235 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.mi.btg.n.p1} := C_{n.tot.mi.btg.p1} + C_{tot.mi.btg.p1} = (341.785 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Totalt koldioxidutsläpp - grundplatta

$$C_{tot.mi.btg.l.j.p2} := C_{l.tot.mi.btg.j.p2} + C_{tot.mi.btg.p2} = (313.265 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.mi.btg.l.lb.p2} := C_{l.tot.mi.btg.lb.p2} + C_{tot.mi.btg.p2} = (445.556 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.mi.btg.l.b.p2} := C_{l.tot.mi.btg.b.p2} + C_{tot.mi.btg.p2} = (343.289 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.mi.btg.n.p2} := C_{n.tot.mi.btg.p2} + C_{tot.mi.btg.p2} = (315.475 \cdot 10^3) \text{ kg}$$



## 5.2 Platsgjuten miljöbetong

### Summering av massa per material för pålgrundläggning

$$m_{tot.pg.mi.btg.p1} := m_{btg.bk} + m_{btg.inne} + m_{g.pe.btg} + m_{btg.pe.bp} + m_{btg.pe.vp} + m_{btg.bj} + m_{btg.pg} + m_{pl.g}$$

$$m_{tot.pg.mi.btg.p1} = (2.083 \cdot 10^6) \text{ kg}$$

$$m_{tot.arm.p1} := m_{arm.bk} + m_{arm.inne} + m_{arm.pe.bp} + m_{arm.pe.vp} + m_{arm.bj} + m_{arm.p} + m_{arm.g.p.b} + m_{arm.pg}$$

$$m_{tot.arm.p1} = (4.647 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

### Summering av massa per material för grundplatta

$$m_{tot.pg.mi.btg.p2} := m_{btg.bk} + m_{btg.inne} + m_{btg.pe.bp} + m_{btg.pe.vp} + m_{btg.bj} + m_{btg.pg} + m_{g.p}$$

$$m_{tot.pg.mi.btg.p2} = (1.938 \cdot 10^6) \text{ kg}$$

$$m_{tot.arm.p2} := m_{arm.bk} + m_{arm.inne} + m_{arm.pe.bp} + m_{arm.pe.vp} + m_{arm.bj} + m_{arm.p} + m_{arm.pg}$$

$$m_{tot.arm.p2} = (4.193 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för betongstomme - pålgrundläggning

$$C_{pg.mi.btg.p1} := GWP_{mi.btg.pg} \cdot m_{tot.pg.mi.btg.p1} = (1.874 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{arm.pg.btg.p1} := GWP_{arm} \cdot m_{tot.arm.p1} = (5.577 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{tot.pg.mi.btg.p1} := C_{pg.mi.btg.p1} + C_{arm.pg.btg.p1} = (2.432 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

### Koldioxidutsläpp för betongstomme - grundplattan

$$C_{pg.mi.btg.p2} := GWP_{mi.btg.pg} \cdot m_{tot.pg.mi.btg.p2} = (1.744 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

$$C_{arm.pg.btg.p2} := GWP_{arm} \cdot m_{tot.arm.p2} = (5.031 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$C_{tot.pg.mi.btg.p2} := C_{pg.mi.btg.p2} + C_{arm.pg.btg.p2} = (2.247 \cdot 10^5) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsläpp för transport med lastbil - pålgrundläggning

$$C_{n.pg.mi.btg.lb.p1} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.pg.mi.btg.p1} + m_{tot.arm.p1}) = (16.501 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Koldioxidutsläpp för transport med lastbil - grundplatta

$$C_{n.pg.mi.btg.lb.p2} := GWP_{t.lb} \cdot S_n \cdot (m_{tot.pg.mi.btg.p2} + m_{tot.arm.p2}) = (15.345 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Totalt koldioxidutsläpp orsakad av transport

$$C_{n.tot.pg.mi.btg.p1} := C_{n.pg.mi.btg.lb.p1} = (16.501 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{n.tot.pg.mi.btg.p2} := C_{n.pg.mi.btg.lb.p2} = (15.345 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

#### Totalt koldioxidutsläpp

$$C_{tot.pg.mi.btg.n.p1} := C_{n.tot.pg.mi.btg.p1} + C_{tot.pg.mi.btg.p1} = (259.711 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$C_{tot.pg.mi.btg.n.p2} := C_{n.tot.pg.mi.btg.p2} + C_{tot.pg.mi.btg.p2} = (240.081 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

## 6. Beräkning av nyckeltal

### 6.1 Trä

#### Nyckeltal - pålgrundläggning

$$N_{tr.l.b.p1} := \frac{C_{tot.tr.l.b.p1}}{A_{hus}} = 96.363 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{tr.l.j.p1} := \frac{C_{tot.tr.l.j.p1}}{A_{hus}} = 92.654 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{tr.l.lb.p1} := \frac{C_{tot.tr.l.lb.p1}}{A_{hus}} = 108.573 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{tr.n.j.p1} := \frac{C_{tot.tr.n.j.p1}}{A_{hus}} = 90.318 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{tr.n.lb.p1} := \frac{C_{tot.tr.n.lb.p1}}{A_{hus}} = 94.377 \frac{kg}{m^2}$$

#### Nyckeltal- grundplatta

$$N_{tr.l.b.p2} := \frac{C_{tot.tr.l.b.p2}}{A_{hus}} = 86.181 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{tr.l.j.p2} := \frac{C_{tot.tr.l.j.p2}}{A_{hus}} = 83.096 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{tr.l.lb.p2} := \frac{C_{tot.tr.l.lb.p2}}{A_{hus}} = 96.265 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{tr.n.j.p2} := \frac{C_{tot.tr.n.j.p2}}{A_{hus}} = 81.185 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{tr.n.lb.p2} := \frac{C_{tot.tr.n.lb.p2}}{A_{hus}} = 84.903 \frac{kg}{m^2}$$

## 6.2 Stål

### Nyckeltal - pålgrundläggning

$$N_{l.b.p1} := \frac{C_{tot.l.b.p1}}{A_{hus}} = 226.118 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{l.j.p1} := \frac{C_{tot.l.j.p1}}{A_{hus}} = 212.347 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{l.lb.p1} := \frac{C_{tot.l.lb.p1}}{A_{hus}} = 275.981 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{n.p1} := \frac{C_{tot.n.p1}}{A_{hus}} = 209.334 \frac{kg}{m^2}$$

### Nyckeltal- grundplatta

$$N_{l.b.p2} := \frac{C_{tot.l.b.p2}}{A_{hus}} = 211.192 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{l.j.p2} := \frac{C_{tot.l.j.p2}}{A_{hus}} = 198.414 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{l.lb.p2} := \frac{C_{tot.l.lb.p2}}{A_{hus}} = 257.51 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{n.p2} := \frac{C_{tot.n.p2}}{A_{hus}} = 195.588 \frac{kg}{m^2}$$

## 6.3 Prefabricerad betong

### Nyckeltal - pågrundläggning

$$N_{btg.l.j.p1} := \frac{C_{tot.btg.l.j.p1}}{A_{hus}} = 207.563 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{btg.l.lb.p1} := \frac{C_{tot.btg.l.lb.p1}}{A_{hus}} = 277.765 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{btg.l.b.p1} := \frac{C_{tot.btg.l.b.p1}}{A_{hus}} = 223.495 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{btg.n.p1} := \frac{C_{tot.btg.n.p1}}{A_{hus}} = 208.641 \frac{kg}{m^2}$$

### Nyckeltal- grundplatta

$$N_{btg.l.j.p2} := \frac{C_{tot.btg.l.j.p2}}{A_{hus}} = 191.682 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{btg.l.lb.p2} := \frac{C_{tot.btg.l.lb.p2}}{A_{hus}} = 256.214 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{btg.l.b.p2} := \frac{C_{tot.btg.l.b.p2}}{A_{hus}} = 206.328 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{btg.n.p2} := \frac{C_{tot.btg.n.p2}}{A_{hus}} = 192.76 \frac{kg}{m^2}$$

## 6.4 Platsgjuten betong

### Nyckeltal - pågrundläggning

$$N_{pg.btg.n.p1} := \frac{C_{tot.pg.btg.n.p1}}{A_{hus}} = 157.167 \frac{kg}{m^2}$$

### Nyckeltal- grundplatta

$$N_{pg.btg.n.p2} := \frac{C_{tot.pg.btg.n.p2}}{A_{hus}} = 145.475 \frac{kg}{m^2}$$

## 6.5 Prefabricerad miljöbetong

### Nyckeltal - pågrundläggning

$$N_{mi.btg.l.j.p1} := \frac{C_{tot.mi.btg.l.j.p1}}{A_{hus}} = 165.646 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{mi.btg.l.lb.p1} := \frac{C_{tot.mi.btg.l.lb.p1}}{A_{hus}} = 235.848 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{mi.btg.l.b.p1} := \frac{C_{tot.mi.btg.l.b.p1}}{A_{hus}} = 181.578 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{mi.btg.n.p1} := \frac{C_{tot.mi.btg.n.p1}}{A_{hus}} = 166.724 \frac{kg}{m^2}$$

### Nyckeltal- grundplatta

$$N_{mi.btg.l.j.p2} := \frac{C_{tot.mi.btg.l.j.p2}}{A_{hus}} = 152.812 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{mi.btg.l.lb.p2} := \frac{C_{tot.mi.btg.l.lb.p2}}{A_{hus}} = 217.345 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{mi.btg.l.b.p2} := \frac{C_{tot.mi.btg.l.b.p2}}{A_{hus}} = 167.458 \frac{kg}{m^2}$$

$$N_{mi.btg.n.p2} := \frac{C_{tot.mi.btg.n.p2}}{A_{hus}} = 153.89 \frac{kg}{m^2}$$

## 6.6 Platsgjuten miljöbetong

### Nyckeltal - pågrundläggning

$$N_{pg.mi.btg.n.p1} := \frac{C_{tot.pg.mi.btg.n.p1}}{A_{hus}} = 126.688 \frac{kg}{m^2}$$

### Nyckeltal- grundplatta

$$N_{pg.mi.btg.n.p2} := \frac{C_{tot.pg.mi.btg.n.p2}}{A_{hus}} = 117.113 \frac{kg}{m^2}$$