

# Självständigt arbete på grundnivå

*Independent degree project – first cycle*

Byggnadsteknik

*Building Engineering*

**Bärförmåga - Isotimber väggblock**

Bärförmågeberäkningar för Isotimber väggblock

**Simon Lindström**



**Mittuniversitetet**

MID SWEDEN UNIVERSITY

**MITTUNIVERSITETET**

Avdelningen för ekoteknik och hållbart byggande (EHB)

**Examinator:** Lars-Åke Mikaelsson, lars-ake.mikaelsson@miun.se

**Handledare:** Fredrik Hermansson, fredrik.hermansson@miun.se

**Författare:** Simon Lindström, simonlindstr@gmail.com

**Utbildningsprogram:** Byggnadsingenjör - Hållbart byggande, 180 hp

**Huvudområde:** Byggnadsteknik C, 15 hp

**Termin, år:** VT, 2016

## **Förord**

Examensarbetet har genomförts våren 2016 för avdelningen ekoteknik och hållbart byggande (EHB) på Mittuniversitetet i Östersund.

Arbetet har utförts i samarbete med Isotimber och jag vill rikta ett stort tack till dem för den hjälp jag har fått under arbetets gång.

Jag vill rikta ett extra stort tack till Paul Nilsson på Isotimber som har agerat som min kontaktperson på Isotimber.

Jag vill även tacka min handledare på Mittuniversitetet, Fredrik Hermansson, som har varit min handledare under arbetet.

Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng (hp) och är det sista arbete/kurs som genomförs på Mittuniversitetets byggnadsingenjörsutbildning på totalt 180 högskolepoäng.

Östersund, juni 2016

Simon Lindström

## Förklaring av begrepp och förkortningar

Beteckning	Enhet	Förklaring
A	mm <sup>2</sup>	Tvårsnitts area
A <sub>fic</sub>	mm <sup>2</sup>	Fiktiv tvårsnittsarea vid beräkning av sammansatta tvärsnitt
b	mm	Tvårsnitts bredd
h	mm	Tvårsnitts höjd
W	mm <sup>3</sup>	Böjmotstånd för ett tvärsnitt
W <sub>fic</sub>	mm <sup>3</sup>	Fiktivt böjmotstånd vid beräkning av sammansatta tvärsnitt
I	mm <sup>4</sup>	Tvårsnittets tröghetsmoment
I <sub>fic</sub>	mm <sup>4</sup>	Fiktivt tröghetsmoment vid beräkning av sammansatta tvärsnitt
R	mm	Tröghetsradie
f <sub>d</sub>	MPa	Dimensionerande hållfasthetsvärde för konstruktionsvirke
f <sub>k</sub>	MPa	Karakteristiskt hållfasthetsvärde för konstruktionsvirke
f <sub>md</sub>	MPa	Dimensionerande hållfasthetsvärde vid böjning parallellt fibrerna
f <sub>mk</sub>	MPa	Karakteristiskt hållfasthetsvärde vid böjning parallellt fibrerna
f <sub>cd</sub>	MPa	Dimensionerande hållfasthetsvärde vid tryck parallellt fiberriktningen
f <sub>ck</sub>	MPa	Karakteristiskt hållfasthetsvärde vid tryck parallellt fiberriktningen
E <sub>0,05</sub>	MPa	Elasticitetsmodulens 0,05-fraktil
A <sub>a</sub>	mm <sup>2</sup>	Area för specifik tvärsnittsdel
I <sub>a</sub>	mm <sup>4</sup>	Tröghetsmoment för enskild tvärsnittsdel
E <sub>a</sub>	MPa	Elasticitetsmodulen för enskild tvärsnittsdel
E <sub>ref</sub>	MPa	Referensvärde för elasticitetsmodul
L <sub>e</sub>	mm	Effektiv knäcklängd
k <sub>mod</sub>	-	Omräkningsfaktor för bärförmåga med avseende på klimatklass och lastvaraktighet
N <sub>c,Rd</sub>	kN	Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen
M <sub>Rd</sub>	kNm	Dimensionerande böjmomentkapacitet
k	-	Instabilitetsfaktor
k <sub>c</sub>	-	Reduktionsfaktor för knäckning runt aktuell axel
k <sub>cr</sub>	-	Faktor som tar hänsyn till risk för vippning
β	-	Faktor som tar hänsyn till hur objektet är inspönt
β <sub>c</sub>	-	Parameter som tar hänsyn till initiella avvikelser från rakt tillstånd
γ <sub>m</sub>	-	Partialkoefficient beroende på materialtyp
σ <sub>crit</sub>	MPa	Kritiska böjspänningen
λ	-	Slankhetstal
λ <sub>rel</sub>	-	Relativt slankhetstal
λ <sub>m,rel</sub>	-	Relativt slankhetstal vid böjning
cc-avstånd	mm	Centrum-centrum avstånd mellan regelsamlingarna

## Sammanfattning

Isotimber bygger i dagsläget med deras väggblock i storlekarna 60, 100 och 150mm. Syftet med denna fallstudie är att kartlägga vad väggblocken och de olika väggarna som byggs upp av väggblocken har för bärförmåga för att se om det finns möjlighet att utesluta användandet av förstärkande limträpelare och på så sätt optimera Isotimbers produktion.

Väggblocken är helt gjorda av trä och består av stående reglar med urfrästa luftkanaler för att ge blocket sin isolerande förmåga. Utöver de urfrästa reglarna så finns det även icke-urfrästa reglar som gör blocket mer stabilt och för att göra monteringen smidigare. Reglarna limmas ihop till ett block och omsluts med k-plywood på vardera sida av blocket. Väggblocken används för att bygga upp väggar i tjocklekarna 120, 160, 200, 250, 300, 350 och 400mm.

Typiska beräkningar för tryckkapaciteten parallellt fiberriktningen,  $N_{c,Rd}$  och böjmomentkapaciteten,  $M_{Rd}$ , enligt Eurokod 5 och/eller litteratur som bygger på Eurokod 5 har utförts och visar att regelsamlingarna, beroende på utformning, i väggarna kan ta laster upp till 124,7 kN i tryck och böjmoment upp till 4,3 kNm. Bärförmågan är så pass hög att användningen av förstärkning kan uteslutas beroende på vilka projektspecifika laster som är aktuella för varje byggnad.

*Nyckelord: Väggblock, bärförmåga, böjmoment, trycklast, Isotimber, Eurokod 5*

## Abstract

Isotimber is, in the current situation, building with their newly launched wall block in the sizes 60, 100 and 150 mm. The purpose of this case study is to find out the load capacity of their wall block with respect to the pressure load parallel to the grain and the bending moment. Is it possible to show that the wall block can take a big enough load to build without using extra glulam columns?

The wall block is completely made out of standing wooden studs enclosed by structural plywood. Most of the wooden studs are milled to give the block an insulating capacity. The studs that aren't milled are there to stabilize and to make the assembly easier. The wall blocks are used to build walls in the sizes 120, 160, 200, 250, 300, 350 and 400mm thickness.

Typical calculations for the carrying capacity of the pressure load capacity parallel the grain,  $N_{c,Rd}$ , and bending moment capacity,  $M_{Rd}$ , will be performed according to Eurocode 5 and/or litteratur based on Eurocode 5. The load capacity varies depending on the shape of the wall blocks assemblage to each other in each wall.

The walls can carry loads up to 124,7 kN in pressure and up to 4,3 kNm bending moment. The carrying capacity is high enough too completely exclude the extra glulam columns depending on which specific loads that are topical to each project.

*Keywords: Wall block, load capacity, bending moment, pressure load, Isotimber, Eurocode 5*

## Innehållsförteckning

Förklaring av begrepp och förkortningar .....	I
Sammanfattning .....	II
Abstract .....	III
1. Inledning .....	1
1.1 Bakgrund .....	2
1.2 Beskrivning av fallstudieorganisation .....	2
2. Syfte .....	3
2.1 Forskningsfråga .....	3
2.2 Avgränsningar .....	3
3. Metod .....	4
3.1 Utförande .....	4
3.2 Datainsamling .....	5
3.3 Reliabilitet .....	6
3.4 Validitet .....	6
3.5 Litteraturstudie .....	7
4. Väggblockens utformning .....	8
4.1 Mått & Virkesklasser .....	9
4.2 Montering/Placering .....	11
5. Teori .....	14
5.1 Material .....	14
5.1.1 Isotimber .....	14
5.1.2 Reglar & Konstruktionsvirke .....	15
5.1.3 Plywood .....	16
5.2 Regelverk .....	18
5.3 Beräkningar .....	18
5.3.1 Återkommande begrepp .....	18
5.3.2 Dimensioneringsvärde för hållfasthet i brottsgränstillståndet .....	19
5.3.3 Bärförmåga vid tryck .....	25
5.3.4 Sammansatta tvärsnitt .....	26
5.3.5 Böjmomentkapacitet .....	28
6. Resultat .....	29
6.1 Beräkningsförutsättningar .....	29
6.2 Varje block .....	29
6.3 Bärförmåga för de olika väggkonstruktionerna .....	30

7	Diskussion/Analys.....	32
8	Slutsatser .....	35
9	Förslag till fortsatta studier .....	36
10.	Referenser .....	37
10.1	Tryckta källor .....	37
10.2	Elektroniska källor .....	37
10.3	Personlig kommunikation.....	38
	Bilagor.....	39
	Bilaga 1: Komplet bild över väggutformning.....	39
	Bilaga 2: Beräkningar för sammansatta tvärsnitt.....	40
	Bilaga 3: Beräkningar för fall 1. ....	41
	Bilaga 4: Beräkningar för fall 2. ....	42
	Bilaga 5: Beräkningar för fall 3. ....	43
	Bilaga 6: Beräkningar för fall 4. ....	44
	Bilaga 7: Beräkningar för fall 5. ....	45
	Bilaga 8: Beräkningar för fall 6. ....	46
	Bilaga 9: Beräkningar för fall 7. ....	47
	Bilaga 10: Beräkningar för fall 8. ....	48
	Bilaga 11: Beräkningar för fall 9. ....	49
	Bilaga 12: Beräkningar för fall 10. ....	50
	Bilaga 13: Beräkningar för fall 11. ....	51
	Bilaga 14: Beräkningar för fall 12. ....	52
	Bilaga 15: Beräkningar för fall 13. ....	53
	Bilaga 16: Beräkningar för enskilt väggblock: 60.....	54
	Bilaga 17: Beräkningar för enskilt väggblock: 100.....	55
	Bilaga 18: Beräkningar för enskilt väggblock: 150.....	56



## 1. Inledning

En hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov (Nationalencyklopedin, u.å).

En hörnsten för en hållbar utveckling och för hållbart byggande är att använda förnyelsebara material istället för icke-förnybara material i form av stål och betong. Trä är en förnyelsebar råvara som är praktisk att bygga med och människan har gjort det i många år. År 1874 blev det förbjudet att bygga flervåningshus i trä, förbudet varade ända fram till år 1994. Detta har skadat utvecklingen av träbyggnadstekniker. Men sedan mitten av 90-talet används trä allt oftare i olika typer av projekt (Fastighetstidningen, 2012).

Branschen utvecklas hastigt och fler och fler aktörer med nya träprodukter växer fram på marknaden. Isotimber är ett av dessa företag. Deras affärsidé är att bygga väggar som består av endast trä och luft. Detta möjliggörs genom att använda träblock med urfrästa luftkanaler som ska hålla luften stilla och ge en isolerande och diffusionsöppen vägg (Isotimber, 2016).

Isotimbers väggblock är 2400mm höga och 1200mm breda.

Ett väggblock består av fyra stående regler för att stabilisera blocken och göra monteringen av blocken smidigare samt regler med urfrästa luftkanaler för att ge den isolerande och lufttäta förmågan i blocken. Detta omsluts med en 7mm plywood-skiva på båda sidorna av blocket (Isotimber, 2016).

Väggblocken som avses i studien är Isotimber 60, 100 och 150mm.

Dessa väggblock används sedan för att bygga upp väggar i tjocklekarna; 120, 160, 200, 250, 300, 350 och 400mm.

## 1.1 Bakgrund

I dagsläget bygger Isotimber hus med limträstomme för att ta upp samtliga laster i byggnaden utan att ta någon hänsyn till hur mycket last deras väggblock klarar av. Konstruktörerna på Isotimber misstänker att väggblocken kan ta relativt stora laster.

Går det att visa vad Isotimbers väggblock har för bärförmåga för att kunna optimera Isotimbers produktion genom att minska, eller i vissa fall helt hoppa över, användandet av förstärkning i form av limträpelare.

## 1.2 Beskrivning av fallstudieorganisation

Studien är gjord i samarbete med Isotimber.

Isotimber är ett jämtländskt företag med en affärsidé att kunna bygga helt isolerande väggar av endast trä och luft (Isotimber, 2016).

Isotimber hade sitt startskott år 2006 och hade 8.800.000 kr i omsättning år 2015. Företaget är uppbyggt av en sälj- & marknadsavdelning, en produktionsavdelning som hanterar projektledning, konstruktion, tillverkning, inköp och montage på byggarbetsplats. Utöver det har de även stödfunktioner såsom kvalitet och miljö (Nilsson, 2016).

Antalet anställda på företaget varierar mellan 15-20 personer beroende på antalet samtidiga montage (Nilsson, 2016).

Kontaktperson på Isotimber är konstruktör Paul Nilsson.

Handledare från Mittuniversitetet är Fredrik Hermansson från avdelningen för EHB (Ekoteknik och hållbart byggande).

## 2. Syfte

Studiens syfte är att se över möjligheten för optimering och effektivisering vid produktion med Isotimbers väggblock. Studien ska resultera i en kartläggning i form av en tabell över hur mycket vertikallast och vindlast väggblocken/-elementen kan bära i de olika väggjocklekarna (120mm, 160mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm och 400mm) som Isotimber erbjuder sina kunder. Går det att visa att väggblocken tar tillräcklig last för att i sin tur kunna optimera produktionen med väggblocken och i så fall kan utesluta överflödiga limträpelare i byggnaden?

### 2.1 Forskningsfråga

Vilken last, med avseende på vertikal och horisontell last, klarar Isotimbers väggblock utan en förstärkande limträstomme?

### 2.2 Avgränsningar

Jag väljer i den här studien att avgränsa mig till att kontrollera hur stor last regelsamlingarna i de olika väggkombinationerna klarar av med avseende på trycklast parallellt fiberriktningen och böjmoment. Regelsamlingarna avser de punkter i väggkonstruktionen där väggblockens icke-urfrästa regler samlas, det är i dessa punkter som bärförmågan kommer beräknas i denna studie, för djupare beskrivning, se kapitel 4.2.

Inga beräkningar kommer dock att göras på väggarnas hörn. Detta beror på att hörnen får en annan utformning och kommer, efter ett antagande av författaren av denna studie, inte kunna ta så mycket last.

Studien tar inte heller någon hänsyn till öppningar i väggarna för exempelvis dörrar och fönster. Beräkningar utförs endast på regler i full blockhöjd.

### 3. Metod

Det här arbetet är utfört som en fallstudie där Isotimber vill ha kunskap om vad deras väggblock och väggkonstruktioner har för bärförmåga.

#### 3.1 Utförande

Studien utgår ifrån olika beräkningar som utförts på de olika väggblocken. Beräkningsformlerna har tagits fram med hjälp av en litteraturstudie och datan om själva väggblocken har tagits fram genom ett samråd med medarbetare på Isotimber. Beräkningsformlerna utgår ifrån Eurokod 5 och för ett tvärsnitt av endast ett material. Då det är sammansatta tvärsnitt som är aktuella i denna studie så är fiktiva mått för area, böjspänning och tröghetsmoment framtagna enligt kapitel 5.3.4.

De variabler som är låsta beroende på vilket väggblock och vilken väggtyp som är aktuell är:

- Konstruktionsvirkets hållfasthetsklass, C14.
- Styvhetsklass för plywood, E5  $\rightarrow E_1 = 500 \text{ MPa}$
- Effektiv knäcklängd,  $L_e = 2400 \text{ mm}$
- Parametern  $\beta_c = 0,2$
- Omräkningsfaktorn,  $k_{mod}$

Variabler som ändras beroende på vilket block och vilken väggtyp som är aktuell är:

- Fiktiva arean,  $A_{fic}$
- Fiktiva tröghetsmomentet,  $I_{fic}$
- Fiktiva böjspänningen,  $W_{fic}$
- Tvärsnittets bredd,  $b$
- Tvärsnittets höjd,  $h$

Beräkningarna utförs i datorprogrammet Microsoft Excel 2013 där de olika väggblocken och väggtyperna beräknas enligt kapitel 5.3. Beräkningar för varje enskilt fall kan ses i bilaga 3-15.

### 3.2 Datainsamling

En studie där den insamlade datan består av data som bearbetas med siffror, beräkningar och/eller statistiska analyser anses vara kvantitativ. En kvalitativ studie är en studie där datan utgörs mer av ord och beskrivande texter, en kvalitativ studie anses vara mycket detaljrik, kvalitativ data behandlas med hjälp av olika analysmetoder som bygger på kategorisering (Höst, Regnell & Runeson, 2006).

Författaren av denna studie anser att den insamlade datan är av kvantitativ karaktär eftersom datainsamlingen som utförts för att möjliggöra studien har bestått till stor del av matematiska uträkningar och mätningar av Isotimbers olika väggblock.

Studien kan dock anses ha inslag av kvalitativ datainsamling, en viss del av datan som möjliggjort studien består av mer förklarande begrepp över till exempel väggblockens utformning.

Datainsamlingen kommer utgå ifrån mätningar på uppvisnings-/provblock som finns på Isotimbers kontor i Östersund.

Övrig data som inte är materialspecifikt, så som beräkningsformler och allmän material fakta, hämtas från konstruktionsböcker som använts under tidigare studier och från publikationer av Svenskt Trä.

Det finns i dagsläget ingen tidigare forskning kring väggblockens bärförmåga. Det har utförts prov på väggblockens isoleringsförmåga men ingen provtryckning för att kontrollera bärförmågan med avseende på tryck parallellt fiberriktningen eller böjmomentkapaciteten.

### 3.3 Reliabilitet

Hög reliabilitet är viktigt för att en studie ska kunna uppnå validitet. Reliabiliteten i en rapport är tillförlitligheten i analys av slumpmässiga variationer och datainsamling.

För att uppnå en hög reliabilitet i studien krävs det att analysen av data och datainsamlingen är noggrant utförda (Höst, Regnell & Runeson 2006).

Studien har utgått ifrån uppvisnings-/provblock i de olika storlekar (60, 100 och 150mm) som Isotimber bygger med.

Måttagningarna på blocken är utförda med linjal och tumstock för att ta fram de egentliga måtten för hela blocket samt de olika delarna i varje block.

En stor del av informationen i studien är framtagna i personlig kontakt med anställda på Isotimber. Inga kontroller av egentliga virkesklasserna för väggblocken är utförda då de istället är framtagna i samråd med Paul Nilsson på Isotimber och är satta till de lägsta virkesklasser som används i dagsläget.

### 3.4 Validitet

Hög validitet för studien uppnås genom att försäkra att det som ska undersökas verkligen är kopplat med det som i verkligheten undersöks (Höst, Regnell & Runeson 2006). Det vill säga att de beräkningar som utförs i denna studie ger svar på den forskningsfråga som ställts med hänsyn till studiens avgränsningar.

Utifrån de mätningar som gjorts på väggblocken så kommer de mått och virkesklasser som är aktuella att tillämpas i diverse beräkningsgångar för att få fram hur mycket vindlast och trycklast som väggblocken klarar av att bära.

För att säkerställa en så hög validitet som möjligt på studien så kommer de ekvationer och beräkningsgångar som tillämpas i studien utgå ifrån olika litteraturer för konstruktionsberäkningar inom byggnadsmekanik och konstruktion. Dessa litteraturer har sin grund i regelverket Eurokoder 5 för träkonstruktioner.

Beräkningarna kommer också ses ur det "sämsta möjliga-scenariot" för att få fram vad väggblocken tar för minsta last. Sämsta möjliga-scenario kan vara att välja ett lägre värde på omräkningsfaktorn,  $k_{mod}$ , för att kunna säkerställa att den faktiska bärförmågan för väggblocken och väggarna inte underskrider den bärförmåga som redovisas i resultatet.

### 3.5 Litteraturstudie

Att utföra en litteraturstudie är viktigt för ett examensarbete. Det underlättar kartläggningen av tidigare kunskap och forskning inom aktuellt område (Höst, Regnell & Runeson, 2006, s. 59).

Författaren av denna rapport utförde en litteraturstudie för att få mer kunskap om ämnet i fråga och för att undersöka vilka beräkningsmetoder som används vid bärförmågeberäkningar vid sammansatta tvärsnitt. Det är främst böcker som har använts som källor i studien men även Eurokod 5 och internetsidor har använts i viss utsträckning för upprättandet av studien och rapporten.

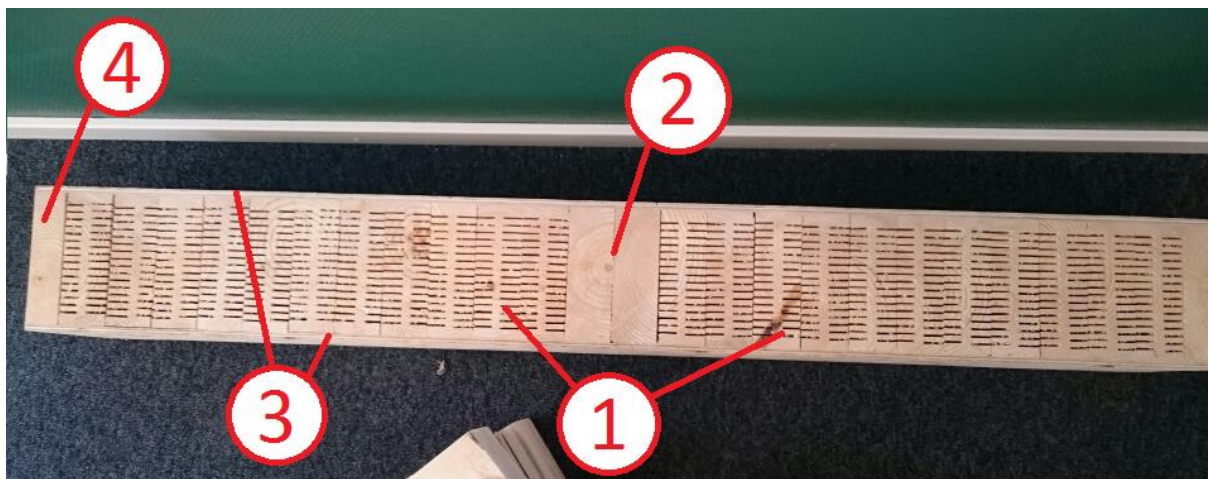
Författaren av denna rapport har bedömt att trovärdigheten på samtliga källor och källornas utgivare är reliabla för att kunna fortgå med arbetet.

## 4. Väggblockens utformning

Denna studie avser Isotimbers väggblock 60, 100 och 150.

Väggblocken är helt gjorda av träreglar och plywood som limmats ihop.

Blockets utformning utförs på detta sätt:

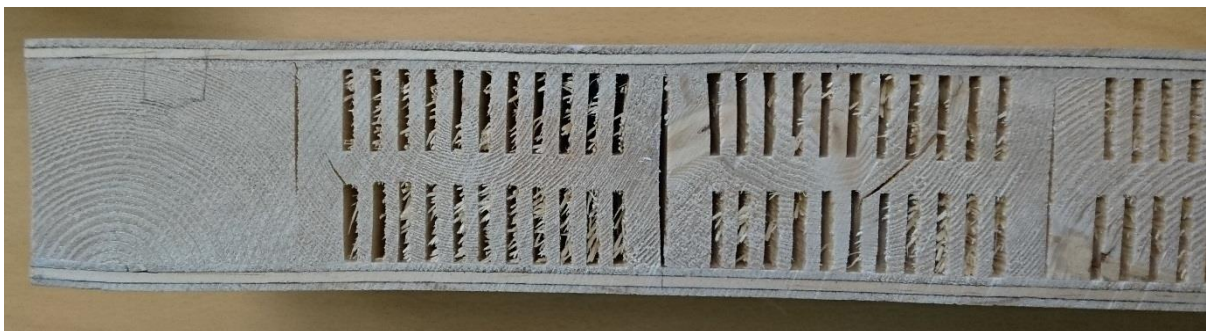


Figur 4.0.1 – Ett Isotimber 150-block med sifferhänvisningar över de olika delarna i blocket. Foto: Simon Lindström.

1. Stående reglar med urfrästa luftkanaler för att ge väggblocket en isolerande effekt. Dessa reglar är gjorda av konstruktionsvirke och är av samma virkeskvalité som övriga icke-urfrästa reglar i blocket.
2. Icke-urfrästa reglar i blockets mittensektion. De verkar för att stabilisera blocket och möjliggör montering, det är dessa reglar i olika kombinationer mellan blocken som beräkningarna kommer utgå ifrån.
3. Konstruktionsplywood. Konstruktionsplywood används för att omsluta och stänga in luften mellan de urfrästa reglarna.
4. En regel fräses in i ändarna av vardera block för att omsluta väggblockets kortsidor och av monteringskäl för nästkommande block i väggkonstruktionen. Denna regel är mindre än de reglar som befinner sig i mitten av blocket.

Figur 4.0.1 visar ett 150-block, ett 100-block utformas på samma sätt men med en annan tvärsnittshöjd för de urfrästa och icke-urfrästa reglarna. 60-blocket är utformat på ett liknande sätt med icke-urfrästa reglar med samma cc-avstånd och konstruktionsplywood. De urfrästa reglarna är dock vinklade 90 grader jämfört med de övriga blocken, se figur 4.0.2.





Figur 4.0.2 – Ett Isotimber 60-block. Jämfört med 100- och 150-blocken så är de urfrästa reglarna roterade 90 grader för dessa block. Foto: Simon Lindström.

#### 4.1 Mått & Virkesklasser

Samtliga väggblock har yttermåten 2400x1200mm. Väggblockens tjocklek varierar beroende på vilket block det är. Plywoodskivorna har samma tjocklek, 7 mm, på samtliga block (Nilsson, 2016). Övriga mått fås enligt tabell 4.1.1

Isotimber block:	Urfrästa regler (mm)	Icke-urfrästa inner- reglar (mm)	Icke urfrästa ytter-reglar
60	85x45	45x45	45x45
100	45x85	50x85	38x85
150	45x136	50x136	38x136

Tabell 4.1.1 Mått på urfrästa och icke-urfrästa regler för vardera block.

Blocken används i sin tur för att bygga upp väggar, de block som används i de olika väggarna redovisas i tabell 4.2.1.

Vägg tjocklek (mm)	Yttre block (Blocktyp)	Inre block (Blocktyp)	Ev. 3e block (Blocktyp)
120	60	60	-
160	60	100	-
200	100	100	-
250	150	100	-
300	150	150	-
350	150	100	100
400	150	150	100

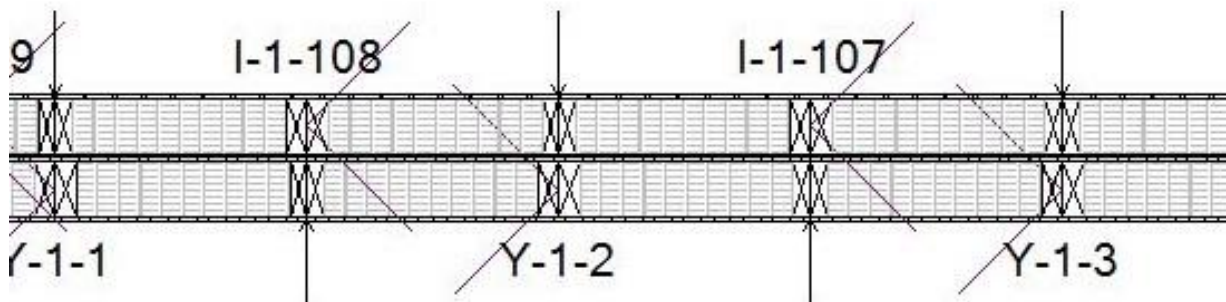
*Tabell 4.1.2 Redovisning av vilka block som ingår i vilken typ av vägg, utifrån väggens tjocklek.*

De urfrästa och solida reglarna är gjorda av hållfasthetsklass C14. Plywooden är beräknad på styvhetsklass E5.

Cc-avståndet mellan samtliga regelsamlingar är 600mm (Nilsson, 2016).

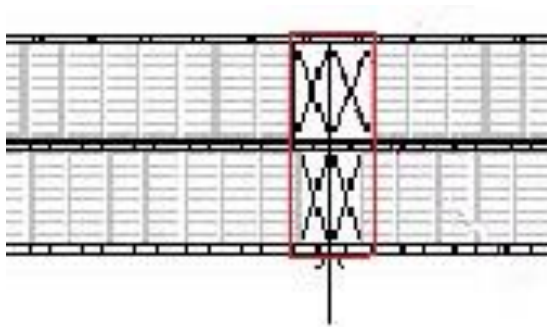
## 4.2 Montering/Placering

Blocken placeras alltid i minst 2 lager, där lagren överlappar varandras skarvar. På så sätt kan generalskarvar och köldbryggor undvikas. Se figur 4.2.1 för hur det ser ut i praktiken.



Figur 4.2.1 Montering av väggblocken vid väggbbyggnation. Pilarna representerar blockens skarvar. Bilden är ett urklipp från bilaga 1 (Isotimber, 2016).

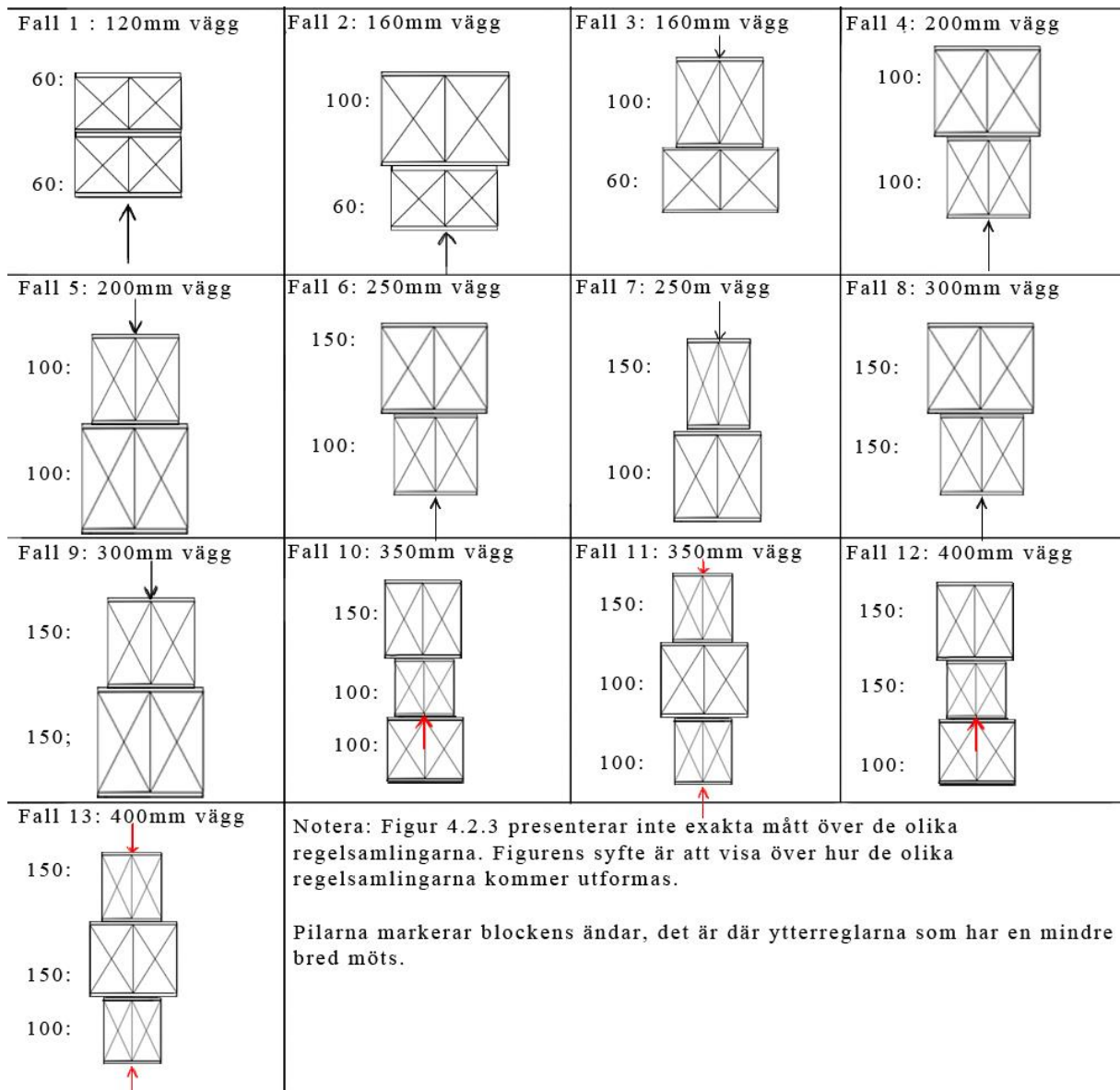
Det tjockare blocket placeras ytterst i väggkonstruktionen.



Figur 4.2.2 Visar närmare över punkten där reglarna samlas vilket är där beräkningarna kommer utföras. Bilden är ett urklipp från bilaga 1 (Isotimber, 2016).

Studien utgår ifrån att de sammansatta tvärsnitt i väggblocken är fullt samverkande där de olika komponenterna (plywood ihop limmat med reglar) beter sig som ett kompakt material. Dock så är inte själva väggblocken samverkande med varandra när de monteras för att utgöra en hel vägg.

De olika måtten på inre- och ytterreglarna gör att den totala bredden varierar i varje lager där reglarna möts. Det ger 13 olika fall för hur regelsamlingen kan se ut och i vissa av fallen kan bärförmågan variera för varannan regelsamling, se figur 4.2.3.

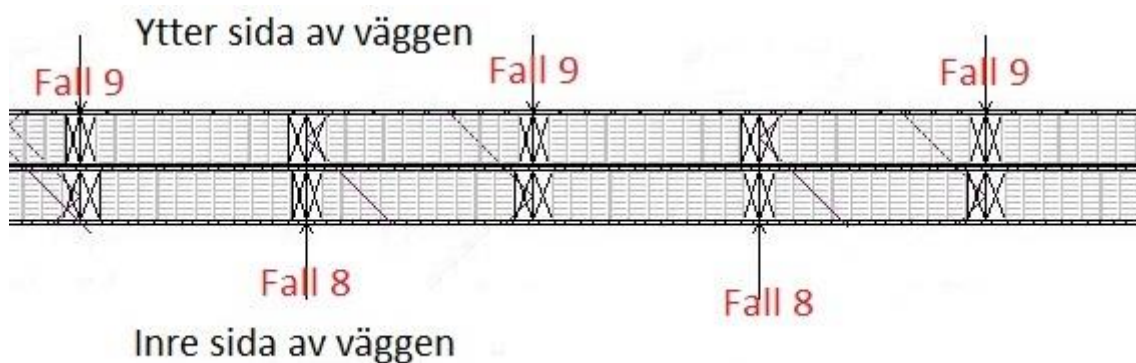


Figur 4.2.3 visar hur de olika reglarna är placerade i de olika fallen. Måtten i figuren är inte utsatta. De regler som har en pil pekandes på sig är de regler som är placerade i blockens ändrar och är alltså inte lika tjocka som de regler som befinner sig vid varje blocks mittparti.

- Fall 1: Beskriver 120mm väggen som är uppbyggd av två lager 60-block. 60-blockens regler är lika stora i mittpartiet och i ändarna. Därför presenteras 120mm väggen i ett fall då det inte är någon skillnad för hur reglarna placeras vid montering
- Fall 2 & 3 beskriver hur reglarna hamnar i 160mm väggarna. 100-blocket är ytters och har en totalbredd på 100mm i fall 2 men endast 76mm i fall 3. 60-blocket varierar inte och har en total bredd på 90mm.

- Fall 4 & 5 beskriver hur reglarna hamnar i 200mm väggen. 200mm väggar är uppbyggda med två lager 100-block.
- Fall 6 & 7 beskriver hur regelsamlingen ser ut i 250mm väggen. Väggen är uppbyggd med ett yttre lager 150-block och ett inre lager 100-block.
- Fall 8 & 9 visar hur regelsamlingen ser ut i 300mm väggen. Väggen är uppbyggd med två lager 150-block.
- Fall 10 & 11 beskriver hur reglarna hamnar i 350mm väggen. Denna och 400mm väggen skiljer sig från övriga väggar eftersom de är uppbyggda av tre lager isotimber block. 350mm väggen består av ett 150-block ytterst och två 100-block innan för.
- Fall 12 & 13 visar regelsamlingen i 400mm väggen. Det är den tjockaste väggen som byggs av isotimber väggblock i nuläget. Den består av två 150-block i de två yttersta lagren och ett 100-block i det innersta lagret.

Vilket innebär att väggarna med tjocklekarna 160, 250, 350 och 400mm kommer kunna ta olika stora laster beroende på vilken regelsamling som inspekteras. Varannan regel kommer kunna ta en viss last och varannan kommer kunna ta en annan. Se figur 4.3.3 för hur det exempelvis kan se ut.



Figur 4.3.3 – Exempel av hur de olika fallen av regelsamlingarna varierar i väggen. I fall 9 möts de smalare reglarna i väggens yttersida och de bredare reglarna i väggens innersida, och tvärt om för fall 8. Bilden är ett urklipp från bilaga 1 (Isotimber, 2016).

## 5. Teori

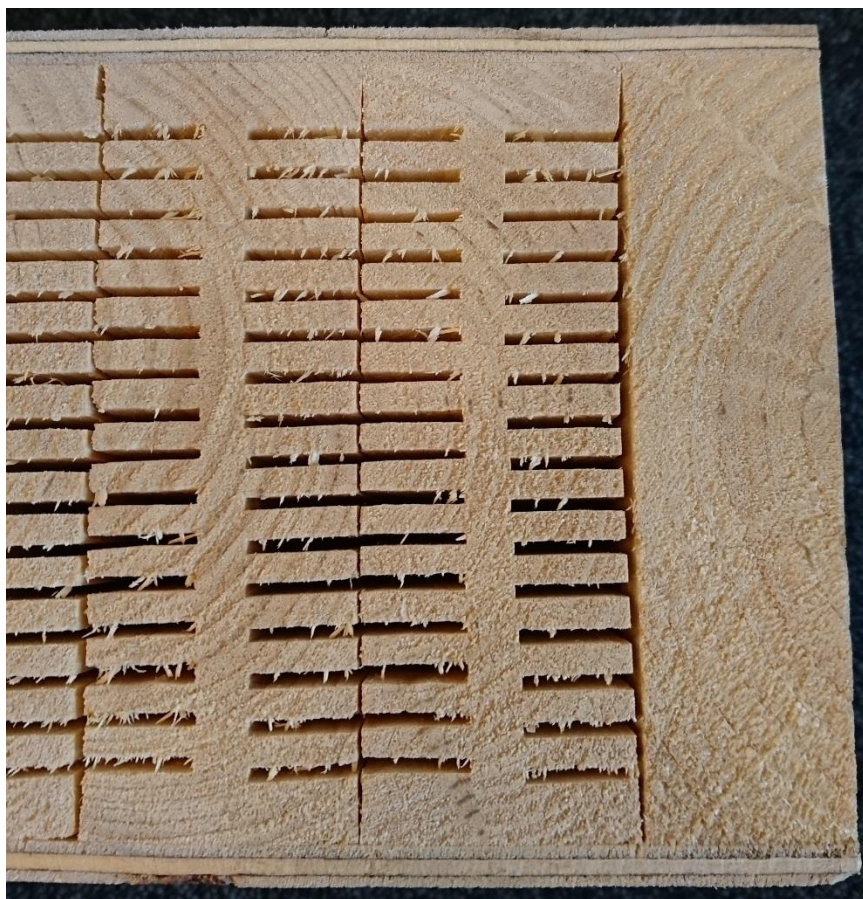
### 5.1 Material

Här kommer allmän information om de olika komponenterna i väggblocken.

#### 5.1.1 Isotimber

Isotimbers produkt gör det möjligt att bygga helt diffusionsöppna väggar som är helt isolerande i endast trä och luft. Produkten består av vanliga stående träreglar med ufrästa luftkanaler på vardera sida av regeln. De ufrästa reglarna limmas sedan ihop med varandra och med en inre och yttre plywood skriva för att eliminera möjligheten till luftläckage (Isotimber, 2016).

Med Isotimbers produkt behövs det ingen plast eller giftiga material överhuvudtaget i väggkonstruktionen (Isotimber, 2016).



*Figur 511.1 Foto: Simon Lindström. Närbild på ett Isotimber 150-block.*

### 5.1.2 Reglar & Konstruktionsvirke

Reglar används för stabilisering och i vissa fall en bärande komponent i väggen. Vertikala reglar kan ses som ett sekundärt bärverk i väggkonstruktioner där reglarna inte har som syfte att vara bärande, i bärande regelväggar ses de som ett primärt bärverk (Träguiden, 2014).

Reglarna är utformade med ett rektangulärt tvärsnitt där det mindre tvärmåttet är i väggens plan. I träregelväggar så väljs reglarnas tvärsnittshöjd till samma mått som isoleringen för att möjliggöra en smidig montering av väggen. Reglarnas längd bestäms av bjälklagshöjden och/eller rumshöjden. Bredden på reglarna är vanligtvis 45mm då det är ett bra mått då två skivmaterial ska mötas och fästas på samma regel. Reglarnas placering i förhållande till varandra görs ofta med ett fixerat cc-avstånd på antingen 450mm eller 600mm (Träguiden, 2014).



*Figur 512.1: Konstruktionsregel (Valbo Trä, 2016).*

För reglar används vanligtvis konstruktionsvirke (Träguiden, 2014). Konstruktionsvirke finns vanligtvis i hållfasthetsklasserna C14 till C40, där varje klass har olika karakteristiska hållfasthetsvärden som används för att bestämma det dimensionerande hållfasthetsvärdet för objektet som konstrueras, se ekvation 432.1 (Isaksson, Mårtensson & Thelandersson, 2010, s.118-119).

För framtagning av det dimensionerande hållfasthetsvärdet se kapitel 5.3.2 och ekvation 532.1.

### 5.1.3 Plywood

Plywood används ofta som vägg- och/eller takbeklädning för olika konstruktionselement i byggnader. Det tillverkas av svarvade faner och kan bestå av olika typ av träslag, i Sverige är gran och furu de vanligaste förekommande träslagen. I Sverige är det vanligast att de svarvad faner blir korsvis sammanlimmade med fenollim

(Isaksson, Mårtensson & Thelandersson, 2010, s.276).



*Figur 513.1: Konstruktionsplywood*

*(Byggmax, 2011).*

Skivmaterial som plywood är lämpliga att använda för att avstyva träregelväggar och kan förhindra dem från att knäckas i vev riktning (Träguiden, 2014).



Styvhetsklass för plywood anges i tabell 513.2:

Klass <sup>a</sup>	Medel E-modul (N/mm <sup>2</sup> )		
	Ytskiktets fiberriktning <sup>a</sup>		
	0 och 90	0	90
	E-Modul böjning	E-modul drag- och tryck	
	$E_{m,50}$	$E_{t-c,50}$	
E5	500	250	400
E10	1 000	500	800
E15	1 500	750	1 200
E20	2 000	1 000	1 600
E25	2 500	1 250	2 000
E30	3 000	1 500	2 400
E40	4 000	2 000	3 200
E50	5 000	2 500	4 000
E60	6 000	3 000	4 800
E70	7 000	3 500	5 600
E80	8 000	4 000	6 400

Tabell 513.2: Tabeller enligt SS-EN 12369-2:2011 Träbaserade skivor – Karakteristiska värden för bärande konstruktioner – Del 2: Plywood (Träguiden, 2003).

## 5.2 Regelverk

På uppdrag av EU-kommissionen har de europeiska konstruktionsstandarderna, Eurokoder, tagits fram utav CEN (European Committee for Standardization). Eurokoderna sammanfattar i sin helhet 58 standarder för metoder och regler som omfattar bland annat dimensionering av byggnader och anläggningar, geografiska aspekter och dimensionering av bärverk vid brand. Eurokoderna är fullt ut införda inom hela EU men innehåller ett antal parametrar som varje enskilt land får välja (Pro Development AB, 2014).

Eurokod 5 (SS-EN 1995, med 3 delar) omfattar dimensionering av träkonstruktioner och är det regelverk som ligger till grund för de beräkningar som används i denna studie.

## 5.3 Beräkningar

### 5.3.1 Återkommande begrepp

Begreppen som tas upp i detta kapitel är återkommande i de övriga beräkningarna i rapporten.

#### 5.3.1.1 Areal för ett tvärsnitt

Areal för ett rektangulärt tvärsnitt,  $A$ , räknas ut från tvärsnittets bredd,  $b$ , och höjd,  $h$ .

Vid sammansatta tvärsnitt används den fiktiva arean,  $A_{fic}$  (se Ekvation 534.1).

Ekvation 531. 1:  $A = b * h$  (Johannesson & Vretblad, 2011).

#### 5.3.1.2 Ett tvärsnitts tröghetsmoment

Tröghetsmoment,  $I$ , för rektangulära tvärsnitt fås också genom tvärsnittets bredd,  $b$  och höjd,  $h$ . (Johannesson & Vretblad, 2011).

Ekvation 531. 2:  $I = \frac{b * h^3}{12}$

Vid sammansatta tvärsnitt används en fiktiv area,  $A_{fic}$ , och ett fiktivt tröghetsmoment,  $I_{fic}$ , se ekvation 534.1 & ekvation 534.2.

### 5.3.2 Dimensioneringsvärde för hållfasthet i brottsgränstillståndet

Vid beräkning av bärförmåga och styvhet hos olika konstruktionsvirken används ett dimensionerande hållfasthetsvärde för de olika aspekterna i verket.

De karakteristiska hållfasthetsvärdena finns att hämta från tabell 532.1.

För omräkning av de karakteristiska grundvärdena för virket till dimensionerande grundvärden används ekvationen:

Ekvation 532.1:  $f_d = (k_{mod} * f_k) / \gamma_m$  (Isaksson & Mårtensson, 2010, s.116-117).

$f_k$  är det karakteristiska hållfasthetsvärdet för konstruktionsvirket och  $f_d$  är det dimensionerande hållfasthetsvärdet.

De karakteristiska hållfasthetsvärdena för konstruktionsvirke hämtas från tabell 532.1

	Hållfasthetsklass				
	C35	C30	C24	C18	C14
<b>Hållfasthetsvärden</b>					
Böjning parallellt fibrerna	35	30	24	18	14
Dragning parallellt fibrerna	21	18	14	11	8
Dragning vinkelrätt fibrerna	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Tryck parallellt fibrerna	25	23	21	18	16
Tryck vinkelrätt fibrerna	2,8	2,7	2,5	2,2	2
Längsskjuvning	4	4	4	3,4	3
<b>Styvhetsvärden för bärförmågeberäkningar</b>					
Elasticitetsmodul	8700	8000	7400	6000	4700
Skjuvmodul	-	-	-	-	-
<b>Styvhetsvärden för deformationsberäkningar</b>					
Elasticitetsmodul parallellt fibrerna	13000	12000	11000	9000	7000
Elasticitetsmodul vinkelrätt fibrerna	430	400	370	300	230
Skjuvmodul	810	750	690	560	440

*Tabell 532.1: Karakteristiska grundvärden (MPa) för konstruktionsvirke enligt SS-EN 338. Hållfasthetsvärden och styvhetsvärden för beräkning av bärförmågan är 5%-fraktilvärden, det vill säga värden som underskrids i högst 5 fall av hundra. Styvhetsvärden för deformationsberäkningar är medelvärden (Träguiden, 2003).*

$k_{mod}$  är en omräkningsfaktor för bärförmågan med hänsyn till klimatklass och lastens varaktighet (Isaksson, Mårtensson & Thelandersson, 2010, s.116).

$k_{mod}$  tas fram genom tabell 532.2

Material	Standard	Klimatklass	Lastvaraktighetsklass				
			Permanent	Långtid	Medellång	Korttid	Momentan
Massivt trä	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Limträ	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Fanerträ (LVL)	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Plywood	EN 636						
	Typ EN 636-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Typ EN 636-2	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Typ EN 636-3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Strimle-spånskivor (OSB)	EN 300						
	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	OSB/3, OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	OSB/3, OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Spånskivor	EN 312						
	Typ P4, Typ P5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	Typ P5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
	Typ P6, Typ P7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	Typ P7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Träfiber-skivor, hårda	EN 622-2						
	HB.LA, HB.HLA 1 el. 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	HB.HLA1 el. 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Träfiber-skivor, medelhårda	EN 622-3						
	MBH.LA1 el. 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS1 el. 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS1 el. 2	2	–	–	–	0,45	0,80
Torttillverkade träfiber-skivor, (MDF)	EN 622-5						
	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MDF.HLS	2	–	–	–	0,45	0,80

Tabell 532.2 – Värden på  $k_{mod}$  (SS-EN 1995-1-1: 2004 (Sv), s.29).

Klimatklasserna fås från tabell 532.3.

Klimat-klass	Miljö
Klimat-klass 1	Karakteriseras av en fuktkvot i materialen svarande mot en temperatur av 20°C och en relativ luftfuktighet som överskrider 65 % endast några få veckor per år.  ANM. Medelfuktkvoten i de flesta barrträslagen överskrider inte 12 % i Klimatklass 1.
Klimat-klass 2	Karakteriseras av en fuktkvot i materialen svarande mot en temperatur av 20°C och en relativ luftfuktighet som överskrider 85 % endast några få veckor per år.  ANM. Medelfuktkvoten i de flesta barrträslagen överskrider inte 20 % i Klimatklass 2.
Klimat-klass 3	Karakteriseras av klimatförhållanden som ger högre fuktkvot än i Klimatklass 2.

Tabell 532.3: Klimatklasser för träkonstruktioner enligt SS-EN 1995-1-1:2004 (Sv) (Träguiden, 2003).

Lastvaraktigheten fås från tabell 532.4 och tabell 532.5:

#### Lastvaraktighetsklasser

Lastvaraktighetsklass	Storleksordning för ackumulerad effekt av karakteristisk last
Permanent	mer än 10 år
Långtid	6 månader – 10 år
Medellång	1 vecka – 6 månader
Korttid	Mindre än en vecka
Momentan	

#### Exempel på laster i olika varaktighetsklasser

Lastvaraktighetsklass	Exempel på laster
Permanent	egentyngd
Långtid	lagrat gods
Medellång	nyttig last på bjälklag, snö
Korttid	snö, vind
Momentan	vind, olyckslast

Tabell 532.4 Lastvaraktighetsklasser & Tabell 532.5 Exempel på laster i olika varaktighetsklasser (SS-EN 1995-1-1: 2004 (Sv), s.23-24).

$\gamma_m$  är en partialkoefficient som beror på vilket typ av trämaterial som används.

Partialkoefficienten fås från tabell 532.6:

**Rekommenderade partialkoefficienter  $\gamma_m$   
för materialegenskaper och bärförmåga**

Huvudkombinationer:	
Massivt trä	1,3
Limträ	1,25
Fanerträ(LVL), plywood, strimlespånkivor (OSB),	1,2
Spånkivor	1,3
Träfiberskivor, hårda	1,3
Träfiberskivor, medelhårda	1,3
Torr tillverkade träfiberskivor (MDF)	1,3
Träfiberskivor, porösa	1,3
Förband	1,3
Spikplåtar	1,25
Kombinationer med olyckslast	1,0

SS-EN 1995-1-1: 2004 (Sv)

*Tabell 532.6 – Rekommenderade partialkoefficienter,  $\gamma_m$ , för materialegenskaper och bärförmåga (SS-EN 1995-1-1: 2004 (Sv), s.26).*



### 5.3.3 Bärförmåga vid tryck

Vid beräkning av bärförmåga vid tryck parallellt trätets fiberriktning,  $N_{c,Rd}$ , följs denna beräkningsgång:

1. Beräkna tröghetsradien,  $R$ , som är beroende av tvärsnittets area (se ekvation 531.1) och tröghetsmoment (se ekvation 531.2).
2. Beräkna den effektiva knäckningslängden för objektet vid tryck,  $L_e$ . Den effektiva knäckningslängden beror på hur objektet är inspänd i ändarna, se figur 533.1.
3. Beräkna slankhetstalet,  $\lambda$ . Slankhetstalet är beroende av den effektiva knäcklängden,  $L_e$ , och tröghetsradien,  $R$ .
4. Beräkna det relativa slankhetstalet,  $\lambda_{rel}$ .
5. Beräkning av instabilitetsfaktorn,  $k$ , som tar hänsyn till det relativa slankhetstalet och parametern,  $\beta_c$ , som tar hänsyn till initiella avvikelser från rakt tillstånd. För konstruktionsvirke sätts  $\beta_c = 0,2$
6. Beräkna  $k_c$ , som är en reduktionsfaktor för knäckning runt aktuell axel.
7. Beräkna  $N_{c,Rd}$  som är beroende av tvärsnittets area,  $A$ , den dimensionerande tryckhållfastheten,  $f_{c,d}$ , samt reduktionsfaktorn,  $k_c$  (Isaksson, Mårtensson & Thelandersson, 2010, s.386).

1. Ekvation 533.1:  $R = \sqrt{\frac{I}{A}}$

2. Ekvation 533.2:  $L_e = \beta * L$

3. Ekvation 533.3:  $\lambda = L_e/R$

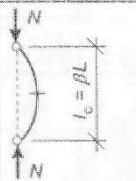



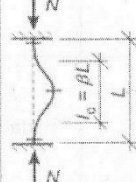
4. Ekvation 533.4:  $\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{E_{0,05}}}$

5. Ekvation 533.5:  $k = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2)$

6. Ekvation 533.6:  $k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}$  för  $\lambda_{rel} > 0,3$

7. Ekvation 533.7:  $N_{c,Rd} = A * f_{cd} * k_c$

(Isaksson, Mårtensson & Thelandersson 2010, s.386)

Upplagsfall	Centriskt tryck	Upplagsfall	Centriskt tryck
Stång ledad i båda ändar.	 $\beta_{cd} = 1$ $\beta_{th} = 1$	Stång fast inspänd i båda ändar. Upplagen förskjutbara i sidled.	 $\beta_{cd} = 1,2$ $\beta_{th} = 1$
Stång fast inspänd i ena änden, fri i den andra.	 $\beta_{cd} = 2,1$ $\beta_{th} = 2$	Stång fast inspänd i ena änden, ledad i den andra. Fixa knutpunkter.	 $\beta_{cd} = 0,8$ $\beta_{th} = 0,7$
Stång fast inspänd i båda ändar. Fixa knutpunkter.	 $\beta_{cd} = 0,6$ $\beta_{th} = 0,5$		

Figur 533.1 – Värdena för  $\beta_{th}$  och  $\beta_{cd}$  ( $\beta$ ) för renodlade upplagsfall. Tvärstreck på utböjningskurvorna markerar dimensioneringssnittet (Isaksson & Mårtensson, 2010, s.42).

#### 5.3.4 Sammansatta tvärsnitt

Sammansatta tvärsnitt av olika material eller delar med olika virkesklasser som är ihoplimmade kan ses som fullständigt samverkande. Att ett tvärsnitt är fullständigt samverkande menas att det inte sker någon förskjutning i fogarna vid överföring av skjuvkrafter mellan tvärsnittsdelarna (Carling, 1992 s.13-14).

Beräkningar för sammansatta tvärsnitt utförs som vanliga geometriska tvärsnitt men med en fiktiv area och ett fiktivt tröghetsmoment som tas fram för det sammansatta tvärsnittet med hänsyn till de olika tvärsnittsdelarnas bidrag viktade i förhållande till varandra. Tvärsnittsdelarna får vikten  $E_a/E_{ref}$ .

$E_a$  är elasticitetsmodulen för materialet i delarean ifråga och  $E_{ref}$  är ett valt referensvärde som oftast sätts till den större tvärsnittsdelens elasticitetsmodul (Carling, 1992 s.13-14).

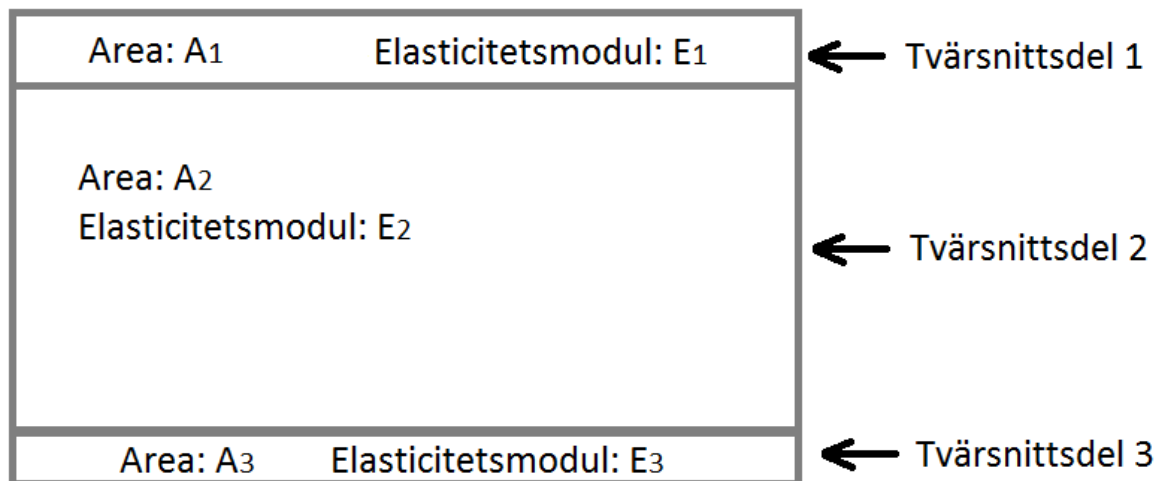
Arean,  $A_{fic}$ , beräknas därefter genom följande begrepp:

$$\text{Ekvation 534.1: } A_{fic} = \sum \left( \frac{E_a}{E_{ref}} * A_a \right) = \frac{E_1}{E_{ref}} * A_1 + \frac{E_2}{E_{ref}} * A_2 + \frac{E_3}{E_{ref}} * A_3$$

Samma princip används för att beräkna fiktiva tröghetsmomentet,  $I_{fic}$ :

$$\text{Ekvation 534.2: } I_{fic} = \sum \left( \frac{E_a}{E_{ref}} * I_a \right) = \frac{E_1}{E_{ref}} * I_1 + \frac{E_2}{E_{ref}} * I_2 + \frac{E_3}{E_{ref}} * I_3$$

Då den fiktiva arean och tröghetsmomentet är uträknat för det sammansatta tvärsnittet så kan de tillämpas i övriga beräkningsgångar med den gemensamma elasticitetsmodulen,  $E_{ref}$  (Carling, 1992, s.13-14).



Figur 4.3.4: Exempel på hur ett sammansatt rektangulärt tvärsnitt kan vara utformat.

I denna studie krävs det även att ett fiktivt böjmotstånd,  $W_{fic}$ , beräknas för att kunna utföra beräkningar för ett tvärsnitts böjmomentkapacitet (se kapitel 5.3.5). Författaren har under litteraturstudien inte funnit någon beräkningsgång för det fiktiva böjmotståndet och har därför gjort ett antagande att utföra denna beräkning på samma sätt som för den fiktiva tvärsnittsarean och det fiktiva tröghetsmomentet. Antagandet har gjorts med grund för att böjmotståndet, liksom arean och tröghetsmomentet, är beroende på tvärsnittets höjd och bredd, se ekvation 535.4.

Det fiktiva böjmotståndet,  $W_{fic}$ , beräknas:

$$\text{Ekvation 534.3: } W_{fic} = \sum \left( \frac{E_a}{E_{ref}} * W_a \right) = \frac{E_1}{E_{ref}} * W_1 + \frac{E_2}{E_{ref}} * W_2 + \frac{E_3}{E_{ref}} * W_3$$

### 5.3.5 Böjmomentkapacitet

Vid dimensionering av böjmomentkapaciteten,  $M_{Rd}$ , följd denna beräkninggång:

1. Beräkna den effektiva knäckningslängden för objektet,  $L_e$ , som är beroende av hur objektet är inspänt i ändarna.
2. Beräkna den kritiska böjspänningen,  $\sigma_{crit}$ , för objektets tvärsnitt. Den kritiska böjspänningen är beroende av elasticitetsmodulens 5-percentilvärde,  $E_{0,05}$ , samt tvärsnittets höjd,  $h$ , och bredd,  $b$ .
3. Beräkna det relativa slankhetstalet vid böjning,  $\lambda_{m,rel}$ .
4. Beräkna faktorn,  $k_{cr}$ , som tar hänsyn till vippning.
5. Beräkna böjmotståndet,  $W$ .
6. Beräkna objektets dimensionerande böjmomentkapacitet,  $M_{Rd}$

(Bergqvist, 2015, s.24).

1. Ekvation 533.2:  $L_e = \beta * L$

2. För konstruktionsvirke och limträ av barrträ rektangulärt tvärsnitt:

Ekvation 535.1:  $\sigma_{crit} = \frac{0,78*b^2}{h*L_e} * E_{0,05}$

3. Ekvation 535.2:  $\lambda_{m,rel} = \sqrt{\frac{f_{mk}}{\sigma_{crit}}}$

4. Ekvation 535.3:  $k_{cr} = \begin{cases} 1 & \text{ör } \lambda_{m,rel} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 * \lambda_{m,rel} & \text{för } 0,75 < \lambda_{m,rel} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{m,rel}^2} & \text{för } 1,4 < \lambda_{m,rel} \end{cases}$

5. Ekvation 535.4:  $W = \frac{b*h^2}{6}$

6. Ekvation 535.5:  $M_{Rd} = f_{md} * W * k_{cr}$

## 6 Resultat

### 6.1 Beräkningsförutsättningar

I beräkningarna för att ta fram bärförmågan hos väggblocken har följande värden använts för de låsta variablerna:

Omräkningsfaktorn för bärförmågan med hänsyn till klimatklass och lastens varaktighet,  $k_{mod}$ , har räknats som 0,6. Detta motiverades genom att välja klimatklass 1 då Isotimbers väggar är, så kallade, ytterväggskonstruktioner för varaktigt uppvärmda lokaler och är skyddade med en tät och ventilerande ytterbeklädnad. Lastvaraktigheten är satt till permanent för att få ett lågt värde och på så sätt säkerställa att beräkningarna utgår ifrån det sämsta möjliga-scenariot.

Partialkoefficienten,  $\gamma_m$ , är 1,3 för konstruktionsvirke.

Konstruktionsvirkets hållfasthetsklass är, som nämnt, C14 vilket ger en elasticitetsmodul på 7000 MPa. Konstruktionsvirkets elasticitetsmodul används tillsammans med plywoodens styvhetsklass ( $E_5 = 500$  MPa) för kunna beräkna tvärsnittens fiktiva area, tröghetsmoment och böjmoment.

Se bilaga 2 för uträkningar av de fiktiva tvärsnittsarean, tröghetsmomentet och böjmotståndet för varje väggblock.

### 6.2 Varje block

Bärförmågan för varje enskilt block är:

Block:	$N_{c,Rd}$ (kN) För mittreglar	$M_{Rd}$ (kNm) För mittreglar
Iso 60	2,4	0,197
Iso 100	16,9	0,779
Iso 150	59,3	1,992

*Mittreglar avser de dubbla reglar i mitten av varje block.*

Bilaga 16, 17 och 18 visar beräkningarna för varje enskilt block.

### 6.3 Bärförmåga för de olika väggkonstruktionerna

#### Bärförmågan för 120mm-väggen:

Vägg tjocklek:	Isotimber block:	$N_{c,Rd}$ (kN)	$M_{Rd}$ (kNm)
120mm	60+60	4,8	0,393

*Eftersom reglarna i mittpartiet och i ändarna är lika stora för 60-blocken så blir det ingen skillnad i utformning eller bärförmåga för regelsamlingen. Se bilaga 3.*

#### Bärförmågan för 160mm-väggen:

Vägg tjocklek:	Isotimber block:	Fall:	$N_{c,Rd}$ (kN)	$M_{Rd}$ (kNm)
160mm	100+60	2	19,5	0,975
160mm	100+60	3	15,5	0,789

*Fall 2 har 100-blocket som mittregel och har en högre tvärsnittsbredd än fall 3 där 100-blocket är ändreglar. Se bilaga 4 och 5.*

#### Bärförmågan för 200mm-väggen:

Vägg tjocklek:	Isotimber block:	Fall:	$N_{c,Rd}$ (kN)	$M_{Rd}$ (kNm)
200mm	100+100	4	29,8	1,4
200mm	100+100	5	29,8	1,4

*Då båda lagren av 200mm väggen består av 100-block så är den totala tvärsnittsarean alltid densamma oavsett vilken regelsamling som är gjord av mittreglar eller ändreglar. Se bilaga 6 och 7.*

#### Bärförmågan för 250mm-väggen:

Vägg tjocklek:	Isotimber block:	Fall:	$N_{c,Rd}$ (kN)	$M_{Rd}$ (kNm)
250mm	150+100	6	74,5	2,6
250mm	150+100	7	64,4	2,3

*Fall 6 har 150-blocket som mittregel och har en högre tvärsnittsbredd än fall 7 där 150-blocket är ändreglar. Se bilaga 8 och 9.*

### Bärförmågan för 300mm-väggen:

Vägg tjocklek:	Isotimber block:	Fall:	$N_{c,Rd}$ (kN)	$M_{Rd}$ (kNm)
300mm	150+150	8	104,5	3,5
300mm	150+150	9	104,5	3,5

*Då båda lagren av 300mm väggen består av 150-block så är den totala tvärsnittsarean alltid densamma oavsett vilken regelsamling som är gjord av mittreglar eller ändreglar. Se bilaga 10 och 11.*

### Bärförmågan för 350mm-väggen:

Vägg tjocklek:	Isotimber block:	Fall:	$N_{c,Rd}$ (kN)	$M_{Rd}$ (kNm)
350mm	150+100+100	10	92,8	3,4
350mm	150+100+100	11	78,0	2,9

*Skillnaden mellan regelsamlingen där 150-blocket är beräknat på dess mittreglar och där 150-blocket är beräknat på dess ändreglar blir stort i 350mm väggen.*

*Se bilaga 12 och 13.*

### Bärförmågan för 400mm-väggen:

Vägg tjocklek:	Isotimber block:	Fall:	$N_{c,Rd}$ (kN)	$M_{Rd}$ (kNm)
400mm	150+150+100	12	124,7	4,3
400mm	150+150+100	13	120,1	4,1

*Den tjockaste väggen tar som väntat mest last och skillnaden mellan fall 12 och 13 är inte lika stor som skillnaden mellan fall 10 och 11. Se bilaga 14 och 15.*

## 7 Diskussion

### 7.1 Analys av resultat

Resultatet visar att väggblockens bärförmåga varierar kraftigt mellan de olika väggarna som Isotimber bygger. Regelsamlingen i 120mm-väggen kan ta en trycklast på 4,8 kN medans regelsamlingen i en 400mm-vägg kan ta upp till 124.7 kN. Att skillnaden skulle bli stor var förväntat men att skillnaden skulle bli så pass stor var oförutsägbart från författarens sida. Detta kan dock ge en fingervisning om vilken typ av vägg som kan användas för ett specifikt syfte.

Vid de väggar där två olika fall har olika bärförmågor så skiljer sig bärförmågorna endast vid varannan regel. Vid tillämpning av resultaten kan projektören/konstruktören ifråga utgå ifrån den lägre bärförmågan om hen är osäker på hur den exakta utformningen av väggen kommer se ut efter montering. Har konstruktören/projektören koll på vilken regelsamling som är vart i väggen så kan det fall som tar en högre last användas för att exempelvis placera takstolar på.

Resultatet av vad väggblocken, och i sin tur väggarna, kan ta för last kan göra att Isotimber kan effektivisera sina projekt beroende på hur mycket förstärkning, om det behövs någon överhuvudtaget, som behöver användas i olika projekt. Lastnedräkningar sker ofta för hand och kan redan då ge en fingervisning om vilket väggblock som kan vara lämpligt att använda. De tjockaste väggarna tar en rätt stor last med tanke på att cc-avståndet endast är 600mm mellan regelsamlingarna men det finns mycket som påverkar vilken last som är aktuell för olika projekt. Det är något som får kontrolleras för varje enskilt projekt beroende på exempel hur mycket snölast och vindlast som är aktuell i det område som byggs samt vad byggnaden ska nyttjas för, alltså får projektspecifika beräkningar över aktuellt Isotimber-projekt utföras för att veta om, och hur mycket, förstärknings behövs.



Om bärförmågan för väggblocken inte räcker till för att bygga utan förstärkande limträpelare men det finns intresse för att göra det ändå så går det att välja en högre hållfasthetsklass på konstruktionsvirket och plywooden för att höja väggblockens bärförmåga ytterligare. Beroende på hur det ser ut på Isotimbers fabriker med plats för sortering av virke så kan det finnas möjlighet att ha en högre hållfasthetsklass på reglarna som inte blir urfrästa för att få en högre bärförmåga och fortsätta använda den lägre hållfasthetsklassen C14 för de regler som blir urfrästa. På samma sätt så kan en plywood med en högre styvhetsklass användas i samma syfte.

150-blocken tar enskilt över dubbelt så mycket last som 60-blocket och 100-blocket tillsammans. Det beror på att tröghetsmomentet för regelsamlingen i 150-blocket är väldigt stort. Detta gör att 300mm väggen, uppbyggd av två stycken 150-block, faktiskt har högre bärförmåga än 350mm väggen som är uppbyggd av ett 150-block och två stycken 100-block. 300mm-väggen är den enda väggtypen som tar mer last än en tjockare väggtyp. Enskilt tar ett 150-block mer last än en 200mm vägg. Sett endast ur bärförmågesynpunkt skulle det kanske vara mer lönsamt att bygga 210mm väggar bestående av ett 150-block och ett 60-block, där 60-blockets egentliga syfte är att stänga igen skarvar och ge ett bättre isolerings värde istället för att endast bygga med ett 150-block. Se bilaga 2 för att se väggblockens olika tröghetsmoment.

I dagsläget så uppstår inte en fullständig samverkan mellan väggblocken. Hade en fullständig samverkan varit aktuell så hade troligtvis bärförmågan ökat ytterligare för samtliga väggkombinationer. Under denna studie har inte samverkan kontrollerats av författaren. Författaren har istället utgått ifrån vad Isotimbers medarbetare hade att säga. En fullständig samverkan hade eventuellt kunnat uppnås genom att limma blocken tillsammans eller att använda fler skruvar och förband vid montering.

## 7.2 Svagheter med studien

De uppenbara svagheter som författaren anser finnas i studien är att den inte tar upp vilka laster som hörnen kan ta i de olika väggtyperna samt att beräkningarna inte är gjorda på någon specifik byggnadshöjd utan bara utifrån väggblockens höjd. Det är de två saker som kan komma att bli förslag till fortsatta studier då författaren av studien anser att det skulle ge mer klarhet i vilken utsträckning som förstärkning kan uteslutas. Konsekvenser av att inte beräkna vägghörnens bärförmåga kan vara att Isotimber måste utgå ifrån att limträpelare eller annan förstärkning kommer behövas vid dessa konstruktionsdelar. De konsekvenser som kan komma av att endast räkna höjden för endast ett block är att det är svårt att säga hur mycket vindlast som hela väggen egentligen kan ta vid de tillfällen som Isotimber bygger med mer än en blockhöjd beroende på de skarvar som tillkommer när block placeras ovanpå varandra.

I denna studie har samtliga beräkningar gjorts på sammansatta tvärsnitt. I kapitel 5.3.4 har endast en teoretisk grund för att beräkna den fiktiva tvärsnittsarean och det fiktiva tröghetsmomentet hittats. Författaren för denna studie har dock även beräknat det fiktiva böjmotståndet enligt samma princip med hjälp av vikten av  $E_a/E_{ref}$ . Det finns ingen teoretisk grund i att det fiktiva böjmotståndet kan beräknas på detta vis, men författaren gjorde antagandet att det bör vara rimligt då både *Ekvation 531.1* och *Ekvation 531.2* relaterar till *Ekvation 535.4* och innehåller samma variabler som tar hänsyn till tvärsnittets höjd och bredd. Eftersom det är en så pass stor skillnad mellan de olika elasticitetsmodulerna i plywooden och i reglarna så blir skillnaden för det fiktiva böjmotståndet i det sammansatta tvärsnittet och böjmotståndet för endast reglarna näst intill försumbar, se bilaga 2.

## 7.3 Tidigare forskning

Enligt Isotimber har inga liknande studier gjorts för Isotimers väggblock då de är relativt nylanserade. Alltså finns det inga referensvärden att kolla på för väggblocken eller liknande väggblocksprodukter för att ge en fingervisning om resultaten ligger inom ett rimligt intervall.

## 8 Slutsatser

- Isotimbers väggar som är uppbyggda av väggblocken 60, 100 och 150 har bärförmågan att ta laster upp till 124,7 kN i tryck parallellt fiberriktningen och böjmoment upp till 4,3 kNm, beräknat på regelsamlingarna med ett cc-avstånd på 600mm.
- Bärförmågan varierar beroende på vilken regelsamling som granskas, de regler med skarv på insidan av väggen tar en större last än de regler med skarv i väggens utsida.
- Beroende på vilka laster som är aktuella i specifika Isotimber projekt så kan väggarna byggas helt utan förstärkning bortsett från väggarnas hörn.
- 150-blocken tar så pass mycket mer last att det kan, ur bärförmågesynpunkt, vara lönsamt att använda dem i större utsträckning gentemot de andra väggblocken i Isotimbers olika väggkombinationer.

## 9 Förslag till fortsatta studier

- Kontrollera om andra kombinationer av väggblocken, som inte erbjuds i dagsläget, kan ge en högre bärförmåga i kombination med hög isoleringsförmåga.
- Utföra liknande beräkningar för väggtypernas hörn.
- Utföra liknande beräkningar för de delar av blocken som har urfrästa regler.
- Kontrollera hur väggarnas bärförmåga påverkas när Isotimber bygger med högre väggar än den totala blockhöjden.

## 10. Referenser

### 10.1 Tryckta källor

- Bergkvist, Per (red.) (2015). *Dimensionering av träkonstruktioner – del 2*. Stockholm: Skogsindustrierna.
- Carling, Olle (1992). *Dimensionering av träkonstruktioner*. Solna: Svensk byggtjänst med stöd av Träteknik och Statens råd för byggnadsforskning
- *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner – Del 1-1: Allmänt – Gemensamma regler och regler för byggnader*. (2004). Stockholm: SIS
- Höst, Martin, Regnell, Björn & Runeson, Per (2006). *Att genomföra examensarbete*. Lund: Studentlitteratur
- Isaksson, Tord & Mårtensson, Annika (2010). *Byggkonstruktion: regel- och formelsamling: baserad på Eurokod*. 2. uppl. Lund: Studentlitteratur
- Isaksson, Tord, Thelandersson, Sven & Mårtensson, Annika (2010). *Byggkonstruktion: baserad på Eurokod*. 2. uppl. Lund: Studentlitteratur
- Johannesson, Paul & Vretblad, Bengt (2011). *Byggformler och tabeller*. 11., [omarb.] uppl. Stockholm: Liber

### 10.2 Elektroniska källor

- Byggmax, 2011. *Konstruktionsplywood P30*.  
<https://www.byggmax.se/skivmaterial/byggskivor/plywood-och-osb/konstruktionsplywood-p30-p1005> (Hämtad 2016-05-13).
- Fastighetstidningen, 2012. *Nu har byggarna fått träsmak*.  
<http://fastighetstidningen.se/trahus/> (Hämtad 2016-05-16).
- Isotimber, 2016. *Om Isotimber*.  
<http://isotimber.se/fordelar-med-isotimber/> (Hämtad 2016-05-05)
- Nationalencyklopedin (u.å), *hållbar utveckling*.  
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/hållbar-utveckling> (Hämtad 2016-05-23).
- Pro Development AB, 2014, *Eurokoderna, SS-EN 1990 till SS-EN 1999*.  
<http://www.1090.se/PDF/Eurokoderna.pdf> (Hämtad 2016-05-25).

- Träguiden, 2014. *Reglar*.  
<http://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/barverk/barverk/reglar/>  
(Hämtad 2016-05-12)
- Träguiden, 2003. *Klimat och omgivning*.  
<http://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/bulerskarmar/bullerskarmar-och-andra-utomhuskonstruktioner/klimat-och-omgivning/> (Hämtad 2016-05-12)
- Träguiden, 2003. *Tabeller enligt SS-EN 12369-2:2011 Träbaserade skivor – Karakteristiska värden för bärande konstruktioner – Del 2: Plywood*.  
<http://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/trabaserade-produkter/skivmaterial1/plywood/> (Hämtad 2016-06-07).
- Träguiden, 2003. *Konstruktionsvirke – Grundvärden*.  
<http://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/trabaserade-produkter/virkestyper-och-kvalitet1/konstruktionsvirke/> (Hämtad 2016-06-07).
- Valbo Trä, 2016. *Konstruktionsregel*.  
<http://www.valbotra.se/produkter/regel/konstruktionsregel> (Hämtad 2016-05-13).

### 10.3 Personlig kommunikation

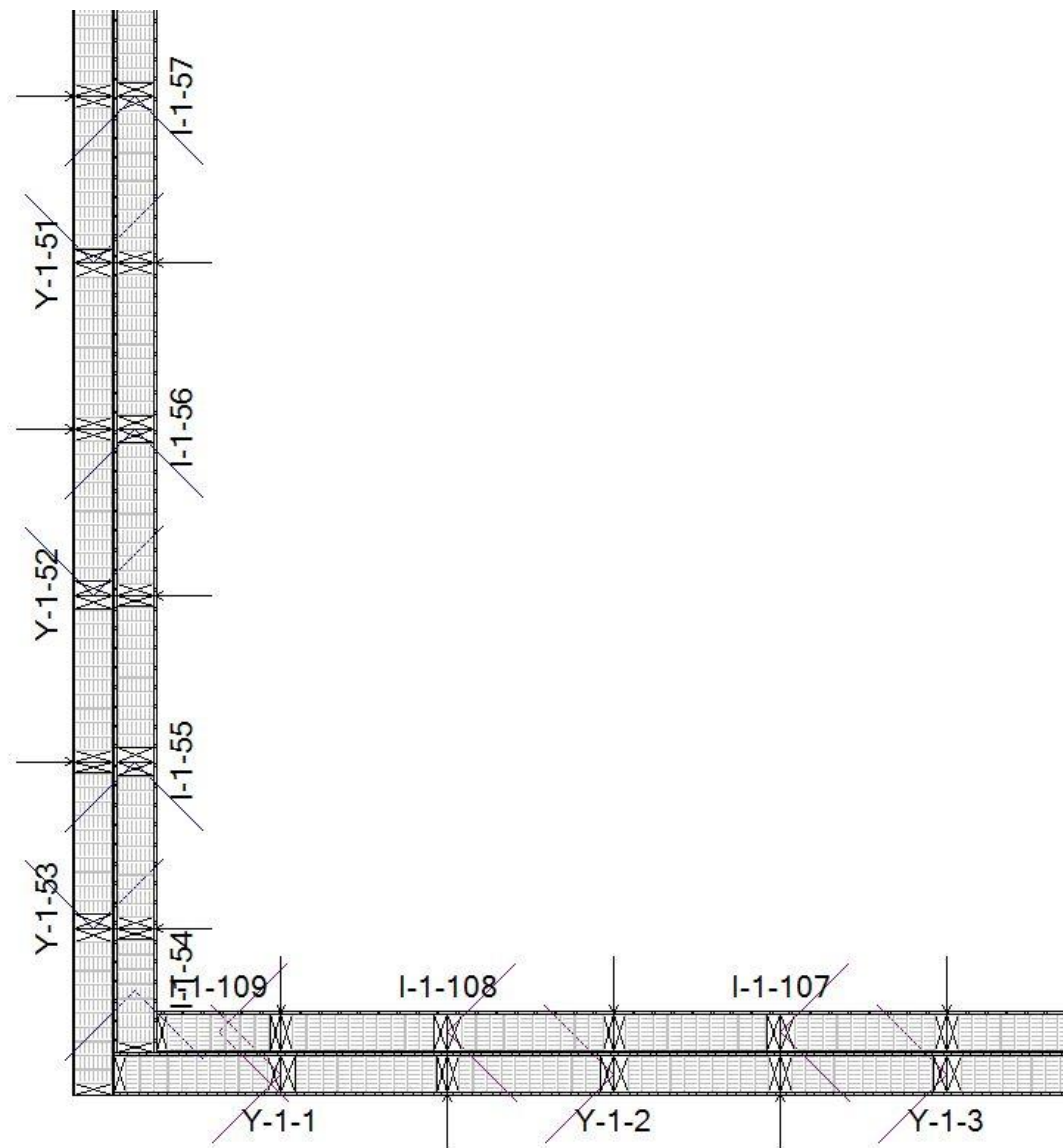
Nilsson, Paul: Medarbetare på Isotimber, (2016). Möte vid tre tillfällen: 2016-04-01, 2016-05-05 & 2016-05-13.

Nilsson, Paul: Medarbetare på Isotimber, (2016). E-post. 2016-05-10.

## Bilagor

### Bilaga 1: Komplet bild över väggutformning

Komplett bild över utformningen av Isotimber väggar m.h.a väggblock.



*Bilaga 1: Blockritningar; Plan. Bilden är tillhandahållen av Isotimber men ligger inte på deras hemsida.*

Bilaga 2: Beräkningar för sammansatta tvärsnitt.

Sammansatta tvärsnitt:			Låsta variabler:		
<b>Tvärsnittsarea:</b>			$E_1 = 500 \text{ Mpa}$		
Plywood:			$E_2 = E_{ref} = 7000 \text{ Mpa}$		
A1 (60-block) =	630	mm <sup>2</sup>	<b>Fiktiv area för regelsamlingar i vardera block, A<sub>fic</sub>:</b>		
A1 (100-/150-block) =	700	mm <sup>2</sup>			
<b>Area för mittreglar:</b>			<b>A<sub>fic</sub> för mittreglar:</b>		
60-block: A <sub>2</sub> =	4050	mm <sup>2</sup>	60-block:	4140	mm <sup>2</sup>
100-block: A <sub>2</sub> =	8500	mm <sup>2</sup>	100-block:	8600	mm <sup>2</sup>
150-block: A <sub>2</sub> =	13600	mm <sup>2</sup>	150-block:	13700	mm <sup>2</sup>
<b>Area för skarvreglar:</b>			<b>A<sub>fic</sub> för skarvreglar:</b>		
60-block: A <sub>2</sub> =	4050	mm <sup>2</sup>	60-block:	4140	mm <sup>2</sup>
100-block: A <sub>2</sub> =	6460	mm <sup>2</sup>	100-block:	6560	mm <sup>2</sup>
150-block: A <sub>2</sub> =	10336	mm <sup>2</sup>	150-block:	10436	mm <sup>2</sup>
<b>Tröghetsmoment för enskilda tvärsnittsdelar</b>			<b>Fiktivt tröghetsmotstånd för regelsamlingar i vardera block, I<sub>fic</sub>:</b>		
Plywood:			I <sub>fic</sub> för mittreglar:		
I <sub>1</sub> (60-block) =	2572,5	mm <sup>4</sup>	60-block:	683805	mm <sup>4</sup>
I <sub>1</sub> (100-/150-block) =	2858,3333	mm <sup>4</sup>	100-block:	5118117	mm <sup>4</sup>
<b>Tröghetsmoment för mittreglar:</b>			150-block:	20962542	mm <sup>4</sup>
60-block: I <sub>2</sub> =	683437,5	mm <sup>4</sup>	<b>I<sub>fic</sub> för skarvreglar:</b>		
100-block: I <sub>2</sub> =	5117708,3	mm <sup>4</sup>			
150-block: I <sub>2</sub> =	20962133	mm <sup>4</sup>	60-block:	683805	mm <sup>4</sup>
<b>Tröghetsmoment för skarvreglar:</b>			100-block:	3889867	mm <sup>4</sup>
60-block: I <sub>2</sub> =	683437,5	mm <sup>4</sup>	150-block:	15931630	mm <sup>4</sup>
100-block: I <sub>2</sub> =	3889458,3	mm <sup>4</sup>			
150-block: I <sub>2</sub> =	15931221	mm <sup>4</sup>			
<b>Böjmotstånd för enskilda tvärsnittsdelar</b>			<b>Fiktivt böjmotstånd för regelsamlingar i vardera block, W<sub>fic</sub>:</b>		
Plywood:			W <sub>fic</sub> för mittreglar:		
W <sub>1</sub> (60-block) =	735	mm <sup>3</sup>	60-block:	30480	mm <sup>3</sup>
W <sub>1</sub> (100-/150-block) =	816,66667	mm <sup>3</sup>	100-block:	120533,3	mm <sup>3</sup>
<b>Böjmotstånd för mittreglar:</b>			150-block:	308383,3	mm <sup>3</sup>
60-block: W <sub>2</sub> =	30375	mm <sup>3</sup>	<b>W<sub>fic</sub> för skarvreglar:</b>		
100-block: W <sub>2</sub> =	120416,67	mm <sup>3</sup>			
150-block: W <sub>2</sub> =	308266,67	mm <sup>3</sup>	60-block:	30480	mm <sup>3</sup>
<b>Böjmotstånd för skarvreglar:</b>			100-block:	91633,33	mm <sup>3</sup>
60-block: W <sub>2</sub> =	30375	mm <sup>3</sup>	150-block:	234399,3	mm <sup>3</sup>
100-block: W <sub>2</sub> =	91516,667	mm <sup>3</sup>			
150-block: W <sub>2</sub> =	234282,67	mm <sup>3</sup>			

Bilaga 2: Beräkningar (i Microsoft Excell 2013) för fiktiv tvärsnittsarea, fiktivt tröghetsmoment samt fiktivt böjmotstånd för sammansatta tvärsnitt.



Bilaga 3: Beräkningar för fall 1.

<b>Fall 1</b>	<b>Vägg: 120mm (60+60)</b>				
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → <math>k_{mod} = 0,60</math></b>			
$f_{mk} =$	14 Mpa	$f_{md} =$	6,46 Mpa	$\gamma_m =$	1,3
$f_{ck} =$	16 Mpa	$f_{cd} =$	7,38 Mpa		
$E_{0,05} =$	4700 Mpa				
<b>Block 1:</b>	$h =$	59	<b>Fiktivt Böjmotstånd:</b>	30480 mm <sup>3</sup>	
			<b>Fiktiv tvärsnittsarea:</b>	4140 mm <sup>2</sup>	
			<b>Fiktivt tröghetsmoment:</b>	683805 mm <sup>4</sup>	
			<b>Tvärsnittsbredd:</b>	90 mm	
<b>Block 2:</b>	$h =$	59	<b>Fiktivt Böjmotstånd:</b>	30480 mm <sup>3</sup>	
			<b>Fiktiv tvärsnittsarea:</b>	4140 mm <sup>2</sup>	
			<b>Fiktivt tröghetsmoment:</b>	683805 mm <sup>4</sup>	
			<b>Tvärsnittsbredd:</b>	90 mm	
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, <math>I_{tot}</math></b>			
	$\sigma_{m,crit} = (0,78 \cdot b^2) / (h \cdot l_{ef}) \cdot E_{0,05}$		$I_{tot} =$	1367610 mm <sup>4</sup>	
Block 1:	104,85		<b>Tröghetsradie, <math>i</math></b>		
Block 2:	104,85		$i =$	12,85186	
Total $\sigma_{m,crit} =$	209,7		<b>Slankhetstal, <math>\lambda</math></b>		
<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel,m}</math></b>			$\lambda =$	186,7434	
$\lambda_{rel,m} =$	0,258384		<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel}</math></b>		
<b>Faktor mht. Vippning, <math>k_{crit}</math></b>			$\lambda_{rel} =$	3,468218	
$k_{crit} =$	1 för $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$		<b>Instabilitetsfaktorer, <math>k, k_c</math></b>		
<b>Böjmotstånd, <math>W</math></b>			$k =$	6,831091	
$W_{tot} =$	60960		$k_c =$	0,078639	
<b>Böjmomentkapacitet, <math>M_{rd}</math></b>			<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, <math>N_{crd}</math></b>		
$M_{rd} =$	393801,6 Nmm =	0,393802 kNm	$N_{crd} =$	4805,374 N =	4,805374 kN

Bilaga 3: Beräkningar för fall 1, 120mm vägg. Notera att 120mm-väggen består endast av ett fall då reglarna i blockets mittparti och i ändarna av blocket har bredd så spelar det ingen roll, för utformningen eller för bärförmågan, i vilken sida av väggen som blockskarven ligger i.

Bilaga 4: Beräkningar för fall 2.

<b>Fall 2</b>		<b>Vägg: 160mm (100+60)</b>	
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → <math>k_{mod} = 0,60</math></b>	
$f_{mk} =$	14 Mpa	$f_{md} =$	6,46 Mpa $\gamma_m = 1,3$
$f_{ck} =$	16 Mpa	$f_{cd} =$	7,38 Mpa
$E_{0,05} =$	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	$h =$ 99	<b>Fiktivt Böjmotstånd:</b>	120533,3 mm <sup>3</sup>
100		<b>Fiktiv tvärsnittsarea:</b>	8600 mm <sup>2</sup>
		<b>Fiktivt tröghetsmoment:</b>	5118117 mm <sup>4</sup>
		<b>Tvärsnittsbredd:</b>	100 mm
<b>Block 2:</b>	$h =$ 59	<b>Fiktivt Böjmotstånd:</b>	30480 mm <sup>3</sup>
60		<b>Fiktiv tvärsnittsarea:</b>	4140 mm <sup>2</sup>
		<b>Fiktivt tröghetsmoment:</b>	683805 mm <sup>4</sup>
		<b>Tvärsnittsbredd:</b>	90 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, <math>I_{tot}</math></b>	
	$\sigma_{m,crit} = (0,78 \cdot b^2) / (h \cdot l_{ef}) \cdot E_{0,05}$	$I_{tot} =$	5801922 mm <sup>4</sup>
Block 1:	154,2929	<b>Tröghetsradie, <math>i</math></b>	
Block 2:	209,7076	$i =$	21,34033
Total $\sigma_{m,crit} =$	364,0006	<b>Slankhetstal, <math>\lambda</math></b>	
<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel,m}</math></b>		$\lambda =$	112,4631
$\lambda_{rel,m} =$	0,196116	<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel}</math></b>	
<b>Faktor mht. Vippning, <math>k_{crit}</math></b>		$\lambda_{rel} =$	2,088676
$k_{crit} =$	1 för $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$	<b>Instabilitetsfaktorer, <math>k, k_c</math></b>	
<b>Böjmotstånd, <math>W</math></b>		$k =$	2,860152
$W_{tot} =$	151013,3	$k_c =$	0,207723
<b>Böjmomentkapacitet, <math>M_{rd}</math></b>		<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, <math>N_{crd}</math></b>	
$M_{rd} =$	975545,9 Nmm = 0,975546 kNm	$N_{crd} =$	19530,39 N = 19,53039 kN

Bilaga 2: Fall 2, för 160mm vägg där blockskarv ligger på insidan av väggen.

Beräkningar för samtliga fall är gjorda i Microsoft Excell 2013.

Bilaga 5: Beräkningar för fall 3.

<b>Fall 3</b>		<b>Vägg: 160mm (100+60)</b>					
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>			<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → <math>k_{mod} = 0,60</math></b>				
$f_{mk} =$	14 Mpa	$f_{md} =$	6,46 Mpa	$\gamma_m =$	1,3		
$f_{ck} =$	16 Mpa	$f_{cd} =$	7,38 Mpa				
$E_{0,05} =$	4700 Mpa						
<b>Block 1:</b>	$h =$	99	<b>Fiktivt Böjmotstånd:</b>	91633,33 mm <sup>3</sup>			
	100		<b>Fiktiv tvärsnittsarea:</b>	6560 mm <sup>2</sup>			
			<b>Fiktivt tröghetsmoment:</b>	3889867 mm <sup>4</sup>			
			<b>Tvärsnittsbredd:</b>	76 mm			
<b>Block 2:</b>	$h =$	59	<b>Fiktivt Böjmotstånd:</b>	30480 mm <sup>3</sup>			
	60		<b>Fiktiv tvärsnittsarea:</b>	4140 mm <sup>2</sup>			
			<b>Fiktivt tröghetsmoment:</b>	683805 mm <sup>4</sup>			
			<b>Tvärsnittsbredd:</b>	90 mm			
<b>Kritisk böjspänning:</b>				<b>Totalt tröghetsmoment, <math>I_{tot}</math></b>			
	$\sigma_{m,crit} =$	$(0,78 \cdot b^2) / (h \cdot L_{ef}) \cdot E_{0,05}$		$I_{tot} =$	4573672 mm <sup>4</sup>		
	Block 1:	89,1196					
	Block 2:	209,7076		<b>Tröghetsradie, <math>i</math></b>	$i =$ 20,67477		
	Total $\sigma_{m,crit} =$	298,8272					
<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel,m}</math></b>				<b>Slankhetstal, <math>\lambda</math></b>			
	$\lambda_{rel,m} =$	0,216448		$\lambda =$	116,0835		
<b>Faktor mht. Vippning, <math>k_{crit}</math></b>				<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel}</math></b>			
	$k_{crit} =$	1 för $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$		$\lambda_{rel} =$	2,155916		
<b>Böjmotstånd, <math>W</math></b>				<b>Instabilitetsfaktorer, <math>k, k_c</math></b>			
	$W_{tot} =$	122113,3		$k =$	3,009578		
				$k_c =$	0,195715		
<b>Böjmomentkapacitet, <math>M_{rd}</math></b>				<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, <math>N_{crd}</math></b>			
	$M_{rd} =$	788852,1 Nmm	$=$	0,788852 kNm	$N_{crd} =$	15454,8 N	$=$ 15,4548 kN

Bilaga 5: Fall 3 för 160mm vägg där blockskarv är i väggens ytersida.

Bilaga 6: Beräkningar för fall 4.

<b>Fall 4</b>		<b>Vägg: 200mm (100+100)</b>	
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → <math>k_{mod} = 0,60</math></b>	
f <sub>mk</sub> =	14 Mpa	f <sub>md</sub> =	6,46 Mpa <span style="margin-left: 100px;"><math>\gamma_m = 1,3</math></span>
f <sub>ck</sub> =	16 Mpa	f <sub>cd</sub> =	7,38 Mpa
E <sub>0,05</sub> =	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	<b>h =</b> 99	<b>Fiktivt Böjmotstånd:</b>	120533,3 mm <sup>3</sup>
100		<b>Fiktiv tvärsnittsarea:</b>	8600 mm <sup>2</sup>
		<b>Fiktivt tröghetsmoment:</b>	5118117 mm <sup>4</sup>
		<b>Tvärsnittsbredd:</b>	100 mm
<b>Block 2:</b>	<b>h =</b> 99	<b>Fiktivt Böjmotstånd:</b>	91633,33 mm <sup>3</sup>
100		<b>Fiktiv tvärsnittsarea:</b>	6560 mm <sup>2</sup>
		<b>Fiktivt tröghetsmoment:</b>	3889867 mm <sup>4</sup>
		<b>Tvärsnittsbredd:</b>	76 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, I<sub>tot</sub></b>	
	$\sigma_{m,crit} = (0,78 \cdot b^2) / (h \cdot L_{ef}) \cdot E_{0,05}$	I <sub>tot</sub> =	9007984 mm <sup>4</sup>
Block 1:	154,2929	<b>Tröghetsradie, i</b>	
Block 2	89,1196	i =	24,3761
Total $\sigma_{m,crit}$ =	243,4125		
<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel,m}</math></b>		<b>Slankhetstal, <math>\lambda</math></b>	
$\lambda_{rel,m}$ =	0,239824	$\lambda$ =	98,4571
<b>Faktor mht. Vippning, k<sub>crit</sub></b>		<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel}</math></b>	
k <sub>crit</sub> =	1 för $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$	$\lambda_{rel}$ =	1,828556
<b>Böjmotstånd, W</b>		<b>Instabilitetsfaktorer, k, k<sub>c</sub></b>	
W <sub>tot</sub> =	212166,6	k =	2,324663
		k <sub>c</sub> =	0,265951
<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>Rd</sub></b>		<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>	
M <sub>Rd</sub> =	1370596 Nmm = 1,370596 kNm	N <sub>crd</sub> =	29754,83 N = 29,75483 kN

Bilaga 6: Fall 4 för 200mm vägg där blockskarv ligger på insidan av väggen.

Bilaga 7: Beräkningar för fall 5.

<b>Fall 5</b>		<b>Vägg: 200mm (100+100)</b>					
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>				<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → <math>k_{mod} = 0,60</math></b>			
f <sub>mk</sub> =	14	Mpa		f <sub>md</sub> =	6,46	Mpa	$\gamma_m = 1,3$
f <sub>ck</sub> =	16	Mpa		f <sub>cd</sub> =	7,38	Mpa	
E <sub>0,05</sub> =	4700	Mpa					
<b>Block 1:</b>	h =	99		Fiktivt Böjmotstånd:	91633,33	mm <sup>3</sup>	
	100			Fiktiv tvärsnittsarea:	6560	mm <sup>2</sup>	
				Fiktivt tröghetsmoment:	3889867	mm <sup>4</sup>	
				Tvärsnittsbredd:	76	mm	
<b>Block 2:</b>	h =	99		Fiktivt Böjmotstånd:	120533,3	mm <sup>3</sup>	
	100			Fiktiv tvärsnittsarea:	8600	mm <sup>2</sup>	
				Fiktivt tröghetsmoment:	5118117	mm <sup>4</sup>	
				Tvärsnittsbredd:	100	mm	
<b>Kritisk böjspänning:</b>				<b>Totalt tröghetsmoment, I<sub>tot</sub></b>			
	$\sigma_{m,crit} =$	$(0,78 \cdot b^2) / (h \cdot l_{ef}) \cdot E_{0,05}$			I <sub>tot</sub> =	9007984	mm <sup>4</sup>
	Block 1:	89,1196			<b>Tröghetsradie, i</b>		
	Block 2	154,2929			i =	24,3761	
	Total $\sigma_{m,crit} =$	243,4125			<b>Slankhetstal, <math>\lambda</math></b>		
<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel,m}</math></b>				<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel}</math></b>			
	$\lambda_{rel,m} =$	0,239824			$\lambda_{rel} =$	1,828556	
<b>Faktor mht. Vippning, k<sub>crit</sub></b>				<b>Instabilitetsfaktorer, k, k<sub>c</sub></b>			
	k <sub>crit</sub> =	1	för $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$		k =	2,324663	
					k <sub>c</sub> =	0,265951	
<b>Böjmotstånd, W</b>				<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>Rd</sub></b>			
	W <sub>tot</sub> =	212166,6			M <sub>Rd</sub> =	1370596	Nmm = 1,370596 kNm
<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>				<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>			
					N <sub>crd</sub> =	29754,83	N = 29,75483 kN

Bilaga 7: Fall 5 för 200mm vägg där blockskarv ligger i väggens ytersida.

Bilaga 8: Beräkningar för fall 6.

<b>Fall 6</b>		<b>Vägg: 250mm (150+100)</b>	
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → <math>k_{mod} = 0,60</math></b>	
f <sub>mk</sub> =	14 Mpa	f <sub>md</sub> =	6,46 Mpa <span style="margin-left: 100px;"><math>\gamma_m = 1,3</math></span>
f <sub>ck</sub> =	16 Mpa	f <sub>cd</sub> =	7,38 Mpa
E <sub>0,05</sub> =	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	h = 150	Fiktivt Böjmotstånd:	308383,3 mm <sup>3</sup>
	150	Fiktiv tvärsnittsarea:	13700 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	20962542 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	100 mm
<b>Block 2:</b>	h = 99	Fiktivt Böjmotstånd:	91633,33 mm <sup>3</sup>
	100	Fiktiv tvärsnittsarea:	6560 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	3889867 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	76 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, I<sub>tot</sub></b>	
	$\sigma_{m,crit} = (0,78 \cdot b^2) / (h \cdot L_{ef}) \cdot E_{0,05}$	I <sub>tot</sub> =	24852409 mm <sup>4</sup>
Block 1:	101,8333	<b>Tröghetsradie, i</b>	
Block 2:	89,1196	i =	35,0239
Total $\sigma_{m,crit}$ =	190,9529	<b>Slankhetstal, <math>\lambda</math></b>	
		$\lambda$ =	68,52463
<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel,m}</math></b>		<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel}</math></b>	
	$\lambda_{rel,m} = 0,27077$	$\lambda_{rel} =$	1,272647
<b>Faktor mht. Vippning, k<sub>krit</sub></b>		<b>Instabilitetsfaktorer, k, k<sub>c</sub></b>	
k <sub>krit</sub> =	1 för $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$	k =	1,407079
		k <sub>c</sub> =	0,498186
<b>Böjmotstånd, W</b>		<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>Rd</sub></b>	
W <sub>tot</sub> =	400016,6	M <sub>Rd</sub> =	2584107 Nmm = 2,584107 kNm
<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>Rd</sub></b>		<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>	
		N <sub>crd</sub> =	74488,19 N = 74,48819 kN

Bilaga 8: Fall 6 för 250mm vägg där blockskarv ligger i väggens insida.

Bilaga 9: Beräkningar för fall 7.

<b>Fall 7</b>		<b>Vägg: 250mm (150+100)</b>	
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → <math>k_{mod} = 0,60</math></b>	
f <sub>mk</sub> =	14 Mpa	f <sub>md</sub> =	6,46 Mpa <span style="margin-left: 100px;"><math>\gamma_m = 1,3</math></span>
f <sub>ck</sub> =	16 Mpa	f <sub>cd</sub> =	7,38 Mpa
E <sub>0,05</sub> =	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	h = 150	Fiktivt Böjmotstånd:	234399,3 mm <sup>3</sup>
	150	Fiktiv tvärsnittsarea:	10436 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	15931630 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	76 mm
<b>Block 2:</b>	h = 99	Fiktivt Böjmotstånd:	120533,3 mm <sup>3</sup>
	100	Fiktiv tvärsnittsarea:	8600 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	5118117 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	100 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, I<sub>tot</sub></b>	
	$\sigma_{m,crit} = (0,78 \cdot b^2) / (h \cdot l_{ef}) \cdot E_{0,05}$	I <sub>tot</sub> =	21049747 mm <sup>4</sup>
Block 1:	58,81893	<b>Tröghetsradie, i</b>	
Block 2:	154,2929	i =	33,25336
Total $\sigma_{m,crit}$ =	213,1119		
<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel,m}</math></b>		<b>Slankhetstal, <math>\lambda</math></b>	
	$\lambda_{rel,m} = 0,256307$	$\lambda =$	72,17315
<b>Faktor mht. Vippning, k<sub>crit</sub></b>		<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel}</math></b>	
k <sub>cr</sub> =	1 för $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$	$\lambda_{rel} =$	1,340407
<b>Böjmotstånd, W</b>		<b>Instabilitetsfaktorer, k, k<sub>c</sub></b>	
W <sub>tot</sub> =	354932,6	k =	1,502387
		k <sub>c</sub> =	0,458512
<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>Rd</sub></b>		<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>	
M <sub>Rd</sub> =	2292865 Nmm = 2,292865 kNm	N <sub>crd</sub> =	64414,35 N = 64,41435 kN

Bilaga 9: Fall 7 för 250mm vägg där blockskarv ligger i väggens ytersida.

Bilaga 10: Beräkningar för fall 8.

<b>Fall 8</b>	<b>Vägg: 300mm (150+150)</b>		
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → <math>k_{mod} = 0,60</math></b>	
f <sub>mk</sub> =	14 Mpa	f <sub>md</sub> =	6,46 Mpa $\gamma_m = 1,3$
f <sub>ck</sub> =	16 Mpa	f <sub>cd</sub> =	7,38 Mpa
E <sub>0,05</sub> =	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	h = 150	Fiktivt Böjmotstånd:	308383,3 mm <sup>3</sup>
150		Fiktiv tvärsnittsarea:	13700 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	20962542 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	100 mm
<b>Block 2:</b>	h = 150	Fiktivt Böjmotstånd:	234399,3 mm <sup>3</sup>
150		Fiktiv tvärsnittsarea:	10436 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	15931630 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	76 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, I<sub>tot</sub></b>	
	$\sigma_{m,crit} = (0,78 \cdot b^2) / (h \cdot L_{ef}) \cdot E_{0,05}$	I <sub>tot</sub> =	36894172 mm <sup>4</sup>
Block 1:	101,8333	<b>Tröghetsradie, i</b>	
Block 2:	58,81893	i =	39,09725
Total $\sigma_{m,crit}$ =	160,6523	<b>Slankhetstal, <math>\lambda</math></b>	
		$\lambda$ =	61,38539
<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel,m}</math></b>		<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel}</math></b>	
$\lambda_{rel,m}$ =	0,295203	$\lambda_{rel}$ =	1,140056
<b>Faktor mht. Vippning, k<sub>cr</sub></b>		<b>Instabilitetsfaktorer, k, k<sub>c</sub></b>	
k <sub>cr</sub> =	1 för $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$	k =	1,233869
<b>Böjmotstånd, W</b>		k <sub>c</sub> =	0,58624
W <sub>tot</sub> =	542782,6	<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>rd</sub></b>	
<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>rd</sub></b>		M <sub>rd</sub> =	3506376 Nmm = 3,506376 kNm
		<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>	
		N <sub>crd</sub> =	104423,2 N = 104,4232 kN

Bilaga 10: Fall 8 för 300mm vägg där blockskarv ligger vid väggens insida.



Bilaga 11: Beräkningar för fall 9.

<b>Fall 9</b>		<b>Vägg: 300mm (150+150)</b>	
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → <math>k_{mod} = 0,60</math></b>	
$f_{mk} =$	14 Mpa	$f_{md} =$	6,46 Mpa $\gamma_m = 1,3$
$f_{ck} =$	16 Mpa	$f_{cd} =$	7,38 Mpa
$E_{0,05} =$	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	$h =$ 150	<b>Fiktivt Böjmotstånd:</b>	234399,3 mm <sup>3</sup>
	150	<b>Fiktiv tvärsnittsarea:</b>	10436 mm <sup>2</sup>
		<b>Fiktivt tröghetsmoment:</b>	15931630 mm <sup>4</sup>
		<b>Tvärsnittsbredd:</b>	76 mm
<b>Block 2:</b>	$h =$ 150	<b>Fiktivt Böjmotstånd:</b>	308383,3 mm <sup>3</sup>
	150	<b>Fiktiv tvärsnittsarea:</b>	13700 mm <sup>2</sup>
		<b>Fiktivt tröghetsmoment:</b>	20962542 mm <sup>4</sup>
		<b>Tvärsnittsbredd:</b>	100 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, <math>I_{tot}</math></b>	
	$\sigma_{m,crit} = (0,78 \cdot b^2) / (h \cdot L_{ef}) \cdot E_{0,05}$	$I_{tot} =$	36894172 mm <sup>4</sup>
Block 1:	58,81893	<b>Tröghetsradie, <math>i</math></b>	
Block 2:	101,8333	$i =$	39,09725
Total $\sigma_{m,crit} =$	160,6523	<b>Slankhetstal, <math>\lambda</math></b>	
<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel,m}</math></b>		$\lambda =$	61,38539
$\lambda_{rel,m} =$	0,295203	<b>Relativt slankhetstal, <math>\lambda_{rel}</math></b>	
<b>Faktor mht. Vippning, <math>k_{crit}</math></b>		$\lambda_{rel} =$	1,140056
$k_{crit} =$	1 för $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$	<b>Instabilitetsfaktorer, <math>k, k_c</math></b>	
<b>Böjmotstånd, <math>W</math></b>		$k =$	1,233869
$W_{tot} =$	542782,6	$k_c =$	0,58624
<b>Böjmomentkapacitet, <math>M_{Rd}</math></b>		<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, <math>N_{crd}</math></b>	
$M_{Rd} =$	3506376 Nmm = 3,506376 kNm	$N_{crd} =$	104423,2 N = 104,4232 kN

Bilaga 11: Fall 9 för 300mm vägg där blockskarven ligger vid väggens yttersida.

Bilaga 12: Beräkningar för fall 10.

Fall 10 Vägg: 350mm (150+100+100)			
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → k<sub>mod</sub> = 0,60</b>	
f <sub>mk</sub> =	14 Mpa	f <sub>md</sub> =	6,46 Mpa      γ <sub>m</sub> = 1,3
f <sub>ck</sub> =	16 Mpa	f <sub>cd</sub> =	7,3846 Mpa
E <sub>0,05</sub> =	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	h = 150	Fiktivt Böjmotstånd:	308383,3 mm <sup>3</sup>
150		Fiktiv tvärsnittsarea:	13700 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	20962542 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	100 mm
<b>Block 2:</b>	h = 99	Fiktivt Böjmotstånd:	91633,33 mm <sup>3</sup>
100		Fiktiv tvärsnittsarea:	6560 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	3889867 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	76 mm
<b>Block 3:</b>	h = 99	Fiktivt Böjmotstånd:	120533,3 mm <sup>3</sup>
100		Fiktiv tvärsnittsarea:	8600 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	5118117 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	100 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, I<sub>tot</sub></b>	
	σ <sub>m,crit</sub> = (0,78*b <sup>2</sup> )/(h*L <sub>ef</sub> )*E <sub>0,05</sub>	I <sub>tot</sub> =	29970526 mm <sup>4</sup>
Block 1:	101,833	<b>Tröghetsradie, i</b>	
Block 2:	89,1196	i =	32,225452
Block 3:	154,293	<b>Slankhetstal, λ</b>	
Total σ <sub>m,crit</sub> =	345,246	λ =	74,475293
<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel,m</sub></b>		<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel</sub></b>	
	λ <sub>rel,m</sub> = 0,20137		λ <sub>rel</sub> = 1,383163
<b>Faktor mht. Vippning, k<sub>crit</sub></b>		<b>Instabilitetsfaktorer, k, k<sub>c</sub></b>	
	k <sub>crit</sub> = 1 för λ <sub>rel,m</sub> ≤ 0,75	k =	1,5648862
<b>Böjmotstånd, W</b>		k <sub>c</sub> =	0,4353843
W <sub>tot</sub> =	520550		
<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>Rd</sub></b>		<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>	
M <sub>Rd</sub> =	3362753 Nmm = 3,36275 kNm	N <sub>crd</sub> =	92788,9 N = 92,7889 kN

Bilaga 12: Fall 10 för 350mm vägg där blockskarv ligger vid väggens mittersta lager

Bilaga 13: Beräkningar för fall 11.

Fall 11 Vägg: 350mm (150+100+100)			
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → <math>k_{mod} = 0,60</math></b>	
f <sub>mk</sub> =	14 Mpa	f <sub>md</sub> =	6,46 Mpa $\gamma_m = 1,3$
f <sub>ck</sub> =	16 Mpa	f <sub>cd</sub> =	7,3846 Mpa
E <sub>0,05</sub> =	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	h = 150	Fiktivt Böjmotstånd:	234399,3 mm <sup>3</sup>
	150	Fiktiv tvärsnittsarea:	10436 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	15931630 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	76 mm
<b>Block 2:</b>	h = 99	Fiktivt Böjmotstånd:	120533,3 mm <sup>3</sup>
	100	Fiktiv tvärsnittsarea:	8600 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	5118117 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	100 mm
<b>Block 3:</b>	h = 99	Fiktivt Böjmotstånd:	91633,33 mm <sup>3</sup>
	100	Fiktiv tvärsnittsarea:	6560 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	3889867 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	76 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, I<sub>tot</sub></b>	
	$\sigma_{m,crit} = (0,78 \cdot b^2) / (h \cdot L_{ef}) \cdot E_{0,05}$	I <sub>tot</sub> =	24939614 mm <sup>4</sup>
Block 1:	58,8189	<b>Tröghetsradie, i</b>	
Block 2:	154,293	i =	31,214675
Block 3:	89,1196	<b>Slankhetstal, λ</b>	
Total $\sigma_{m,crit}$ =	302,231	λ =	76,886914
<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel,m</sub></b>		<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel</sub></b>	
λ <sub>rel,m</sub> =	0,21523	λ <sub>rel</sub> =	1,4279519
<b>Faktor mht. Vippning, k<sub>crit</sub></b>		<b>Instabilitetsfaktorer, k, k<sub>c</sub></b>	
k <sub>crit</sub> =	1 för λ <sub>rel,m</sub> ≤ 0,75	k =	1,6323185
<b>Böjmotstånd, W</b>		k <sub>c</sub> =	0,4126857
W <sub>tot</sub> =	446566	<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>	
<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>rd</sub></b>		N <sub>crd</sub> =	78004,3 N = 78,0043 kN
M <sub>rd</sub> =	2884816 Nmm = 2,88482 kNm		

Bilaga 13: Fall 11 för 350mm vägg där blockskarv är vid väggens yttersta och innersta lager.

Bilaga 14: Beräkningar för fall 12.

Fall 12 Väg: 400mm (150+150+100)			
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → kmod = 0,60</b>	
f <sub>mk</sub> =	14 Mpa	f <sub>md</sub> =	6,46 Mpa      γ <sub>m</sub> = 1,3
f <sub>ck</sub> =	16 Mpa	f <sub>cd</sub> =	7,3846 Mpa
E <sub>0,05</sub> =	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	h = 150	Fiktivt Böjmotstånd:	308383,3 mm <sup>3</sup>
150		Fiktiv tvärsnittsarea:	13700 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	20962542 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	100 mm
<b>Block 2:</b>	h = 150	Fiktivt Böjmotstånd:	234399,3 mm <sup>3</sup>
150		Fiktiv tvärsnittsarea:	10436 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	15931630 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	76 mm
<b>Block 3:</b>	h = 99	Fiktivt Böjmotstånd:	120533,3 mm <sup>3</sup>
100		Fiktiv tvärsnittsarea:	8600 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	5118117 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	100 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, I<sub>tot</sub></b>	
	σ <sub>m,crit</sub> = $(0,78 \cdot b^2) / (h \cdot L_{ef}) \cdot E_{0,05}$	I <sub>tot</sub> =	42012289 mm <sup>4</sup>
Block 1:	101,833	<b>Tröghetsradie, i</b>	
Block 2:	58,8189	i =	35,824106
Block 3:	154,293	<b>Slankhetstal, λ</b>	
Total σ <sub>m,crit</sub> =	314,945	λ =	66,993995
<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel,m</sub></b>		<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel</sub></b>	
	λ <sub>rel,m</sub> = 0,21084	λ <sub>rel</sub> =	1,2442195
<b>Faktor mht. Vippning, k<sub>crit</sub></b>		<b>Instabilitetsfaktorer, k, k<sub>c</sub></b>	
	k <sub>crit</sub> = 1 för λ <sub>rel,m</sub> ≤ 0,75	k =	1,3684631
<b>Böjmotstånd, W</b>		k <sub>c</sub> =	0,5159406
	W <sub>tot</sub> = 663316		
<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>Rd</sub></b>		<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>	
M <sub>Rd</sub> =	4285021 Nmm = 4,28502 kNm	N <sub>crd</sub> =	124725 N = 124,725 kN

Bilaga 14: Fall 12 för 400mm vägg där blockskarv ligger vid väggens mittersta lager.

Bilaga 15: Beräkningar för fall 13.

Fall 13		Vägg: 400mm (150+150+100)	
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → kmod = 0,60</b>	
fmk =	14 Mpa	fmd =	6,46 Mpa $\gamma_m = 1,3$
fck =	16 Mpa	fcd =	7,3846 Mpa
E0,05 =	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	h = 150	Fiktivt Böjmotstånd:	234399,3 mm <sup>3</sup>
150		Fiktiv tvärsnittsarea:	10436 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	15931630 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	76 mm
<b>Block 2:</b>	h = 150	Fiktivt Böjmotstånd:	308383,3 mm <sup>3</sup>
150		Fiktiv tvärsnittsarea:	13700 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	20962542 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	100 mm
<b>Block 3:</b>	h = 99	Fiktivt Böjmotstånd:	91633,33 mm <sup>3</sup>
100		Fiktiv tvärsnittsarea:	6560 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	3889867 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	76 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, Itot</b>	
$\sigma_{m,crit} = (0.78 \cdot b^2) / (h \cdot l_{ef}) \cdot E_{0,05}$		Itot = 40784039 mm <sup>4</sup>	
Block 1:	58,8189	<b>Tröghetsradie, i</b>	
Block 2:	101,833	i = 36,450562	
Block 3:	89,1196	<b>Slankhetstal, λ</b>	
Total $\sigma_{m,crit}$ =	249,772	λ = 65,842607	
<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel,m</sub></b>		<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel</sub></b>	
λ <sub>rel,m</sub> = 0,23675		λ <sub>rel</sub> = 1,2228358	
<b>Faktor mht. Vippning, k<sub>crit</sub></b>		<b>Instabilitetsfaktorer, k, k<sub>c</sub></b>	
k <sub>crit</sub> = 1 för λ <sub>rel,m</sub> ≤ 0,75		k = 1,3399473	
<b>Böjmotstånd, W</b>		k <sub>c</sub> = 0,52972	
W <sub>tot</sub> = 634416			
<b>Böjmomentkapacitet, Mrd</b>		<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>	
M <sub>Rd</sub> = 4098327 Nmm = 4,09833 kNm		N <sub>crd</sub> = 120076 N = 120,076 kN	

Bilaga 15: Fall 13 för 400mm vägg där blockskarv är vid väggens yttersta och innersta lager.

Bilaga 16: Beräkningar för enskilt väggblock: 60

Enskilt väggblock: 60-block			
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → <math>k_{mod} = 0,60</math></b>	
f <sub>mk</sub> =	14 Mpa	f <sub>md</sub> =	6,46 Mpa $\gamma_m = 1,3$
f <sub>ck</sub> =	16 Mpa	f <sub>cd</sub> =	7,3846 Mpa
E <sub>0,05</sub> =	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	h = 60	Fiktivt Böjmotstånd:	30480 mm <sup>3</sup>
	60	Fiktiv tvärsnittsarea:	4140 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	683805 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	90 mm
<b>Block 2:</b>	h = 0	Fiktivt Böjmotstånd:	0 mm <sup>3</sup>
	0	Fiktiv tvärsnittsarea:	0 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	0 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	0 mm
<b>Block 3:</b>	h = 0	Fiktivt Böjmotstånd:	0 mm <sup>3</sup>
	0	Fiktiv tvärsnittsarea:	0 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	0 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	0 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, I<sub>tot</sub></b>	
	$\sigma_{m,crit} = (0,78 \cdot b^2) / (h \cdot L_{ef}) \cdot E_{0,05}$	I <sub>tot</sub> =	683805 mm <sup>4</sup>
Block 1:	206,213	<b>Tröghetsradie, i</b>	
Block 2:	0	i =	12,851859
Block 3:	0	<b>Slankhetstal, λ</b>	
Total $\sigma_{m,crit}$ =	206,213	λ =	186,74341
<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel,m</sub></b>		<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel</sub></b>	
	λ <sub>rel,m</sub> = 0,26056	λ <sub>rel</sub> =	3,4682182
<b>Faktor mht. Vippning, k<sub>krit</sub></b>		<b>Instabilitetsfaktorer, k, k<sub>c</sub></b>	
	k <sub>krit</sub> = 1 för λ <sub>rel,m</sub> ≤ 0,75	k =	6,8310907
<b>Böjmotstånd, W</b>		k <sub>c</sub> =	0,0786395
	W <sub>tot</sub> = 30480	<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>	
<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>Rd</sub></b>		N <sub>crd</sub> =	2404,18 N = 2,40418 kN
M <sub>Rd</sub> =	196901 Nmm = 0,1969 kNm		

Beräkningar för endast Isotimber 60-väggblock.

Bilaga 17: Beräkningar för enskilt väggblock: 100

Enskilt väggblock: 100-block			
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → kmod = 0,60</b>	
f <sub>mk</sub> =	14 Mpa	f <sub>md</sub> =	6,46 Mpa      γ <sub>m</sub> = 1,3
f <sub>ck</sub> =	16 Mpa	f <sub>cd</sub> =	7,3846 Mpa
E <sub>0,05</sub> =	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	h = 100	Fiktivt Böjmotstånd:	120533,3 mm <sup>3</sup>
	100	Fiktiv tvärsnittsarea:	8600 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	5118117 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	100 mm
<b>Block 2:</b>	h = 0	Fiktivt Böjmotstånd:	0 mm <sup>3</sup>
	0	Fiktiv tvärsnittsarea:	0 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	0 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	0 mm
<b>Block 3:</b>	h = 0	Fiktivt Böjmotstånd:	0 mm <sup>3</sup>
	0	Fiktiv tvärsnittsarea:	0 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	0 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	0 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, I<sub>tot</sub></b>	
	$\sigma_{m,crit} = (0,78 \cdot b^2) / (h \cdot L_{ef}) \cdot E_{0,05}$		I <sub>tot</sub> = 5118117 mm <sup>4</sup>
Block 1:	152,75	<b>Tröghetsradie, i</b>	
Block 2:	0	i =	24,395284
Block 3:	0	<b>Slankhetstal, λ</b>	
Total $\sigma_{m,crit}$ =	152,75	λ =	98,37967
<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel,m</sub></b>		<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel</sub></b>	
λ <sub>rel,m</sub> =	0,30274	λ <sub>rel</sub> =	1,8271176
<b>Faktor mht. Vippning, k<sub>crit</sub></b>		<b>Instabilitetsfaktorer, k, k<sub>c</sub></b>	
k <sub>crit</sub> =	1 för λ <sub>rel,m</sub> ≤ 0,75	k =	2,3218911
<b>Böjmotstånd, W</b>		k <sub>c</sub> =	0,2663359
W <sub>tot</sub> =	120533	<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>	
<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>Rd</sub></b>		N <sub>crd</sub> =	16914,3 N = 16,9143 kN
M <sub>Rd</sub> =	778645 Nmm = 0,77865 kNm		

Beräkningar för endast Isotimber 100-väggblock.

Bilaga 18: Beräkningar för enskilt väggblock: 150

Enskilt väggblock: 150-block			
<b>Hållfasthetsvärden, C14:</b>		<b>Klimatklass 1 &amp; Permanent lastvaraktighet → <math>k_{mod} = 0,60</math></b>	
f <sub>mk</sub> =	14 Mpa	f <sub>md</sub> =	6,46 Mpa $\gamma_m = 1,3$
f <sub>ck</sub> =	16 Mpa	f <sub>cd</sub> =	7,3846 Mpa
E <sub>0,05</sub> =	4700 Mpa		
<b>Block 1:</b>	h = 150	Fiktivt Böjmotstånd:	308383,3 mm <sup>3</sup>
150		Fiktiv tvärsnittsarea:	13700 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	20962542 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	100 mm
<b>Block 2:</b>	h = 0	Fiktivt Böjmotstånd:	0 mm <sup>3</sup>
0		Fiktiv tvärsnittsarea:	0 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	0 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	0 mm
<b>Block 3:</b>	h = 0	Fiktivt Böjmotstånd:	0 mm <sup>3</sup>
0		Fiktiv tvärsnittsarea:	0 mm <sup>2</sup>
		Fiktivt tröghetsmoment:	0 mm <sup>4</sup>
		Tvärsnittsbredd:	0 mm
<b>Kritisk böjspänning:</b>		<b>Totalt tröghetsmoment, I<sub>tot</sub></b>	
	$\sigma_{m,crit} = (0,78 \cdot b^2) / (h \cdot L_{ef}) \cdot E_{0,05}$	I <sub>tot</sub> =	20962542 mm <sup>4</sup>
Block 1:	101,833	<b>Tröghetsradie, i</b>	
Block 2:	0	i =	39,116653
Block 3:	0	<b>Slankhetstal, λ</b>	
Total $\sigma_{m,crit}$ =	101,833	λ =	61,354942
<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel,m</sub></b>		<b>Relativt slankhetstal, λ<sub>rel</sub></b>	
λ <sub>rel,m</sub> =	0,37078	λ <sub>rel</sub> =	1,1394905
<b>Faktor mht. Vippning, k<sub>cr</sub></b>		<b>Instabilitetsfaktorer, k, k<sub>c</sub></b>	
k <sub>cr</sub> =	1 för λ <sub>rel,m</sub> ≤ 0,75	k =	1,2331683
<b>Böjmotstånd, W</b>		k <sub>c</sub> =	0,5866414
W <sub>tot</sub> =	308383	<b>Bärförmåga vid tryck parallellt fiberriktningen, N<sub>crd</sub></b>	
<b>Böjmomentkapacitet, M<sub>Rd</sub></b>		N <sub>crd</sub> =	59349,9 N = 59,3499 kN
M <sub>Rd</sub> =	1992156 Nmm = 1,99216 kNm		

Beräkningar för endast Isotimber 150-väggblock.