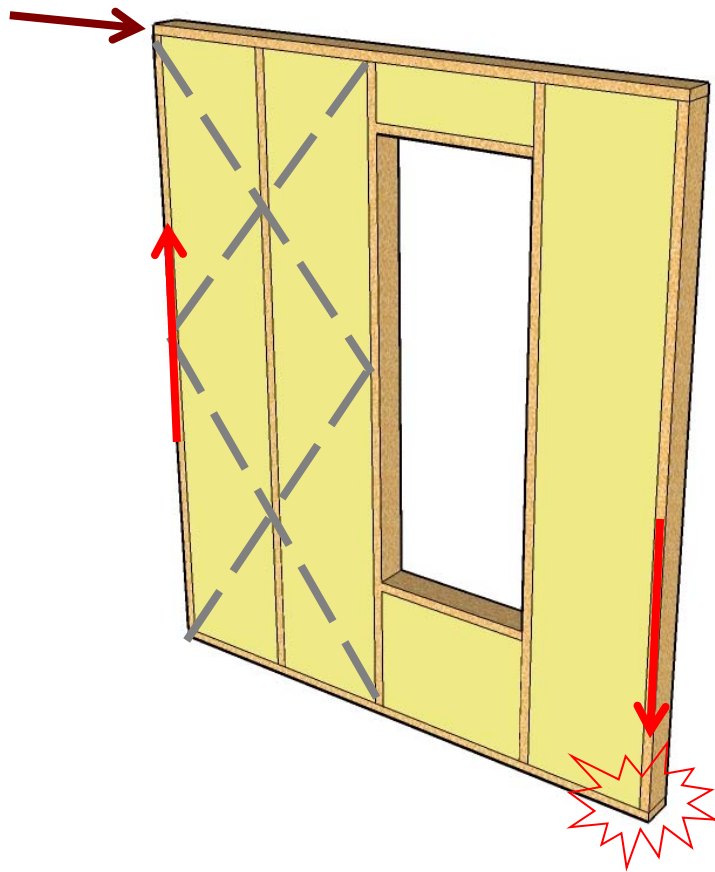


Slutrapport

Konstruktionsoptimering

2011-09-17



Ett projekt inom

TräCentrum Norr

Helena Johnsson
Luleå tekniska universitet

Inledning

Konstruktionsoptimering är ett projekt som fortlöpt under 2007-2010. Syftet har varit att säkerställa funktion beträffande brand, stabilisering och bärförmåga för byggnader med lättregelstomme upp till 6 våningars höjd.

Konstruktionsoptimering har genererat två sidoprojekt; en beräkningsmodul för trä (3DTrä) implementerad i FemDesign av StruSoft och en fortsättning av Konstruktionsoptimering i del 2 där 3D-effekter och limning av skivor studeras. För 3DTrä har separat slutrapport inlämnats.

Författaren tackar Tekn.Dr. Anders Björnfot för genomförandet av experimenten som presenteras i avsnitt 2.3 och 2.4 och Civ.Ing. Klas Nyman för analyserna som presenteras i avsnitt 2.6.

Innehållsförteckning

Inledning.....	2
1. Inledning.....	4
1.1 Mål	4
1.2 Metod	4
1.3 Parter	4
2. Resultat.....	5
2.1 Komplettering av befintliga beräkningsmodeller för stabilisering	5
2.2 Utveckling av lathundar för kontroll av stabilisering i tidiga skeden	6
2.3 Förstärkning av skivans kanter för att öka bärförmågan för horisontella laster.....	6
2.4 Test av WT-T-skruv genom gipsskikt.....	7
2.5 Förankringslösning för stabilisering.....	8
2.6 3D-effekter i stabiliseringen.....	8
2.7 Alternativa skivor för stabilisering.....	9
2.8 Brandprover av väggar	11
3. Slutsats	12
Appendix A Lathund stabilisering 4-våningshus.....	13
Appendix B Förstärkning av en skivas kanter.....	16
Appendix C WT-T-skruv med passerande skivskikt.....	24
Appendix D Resultat från brandprover	31

1. Inledning

Byggnader med träregelstomme har använts mycket länge i Sverige. 1994 blev det tillåtet att bygga högre än 2 våningar med träregelstomme och relativt snart uppfördes demonstrationsbyggen 4-5 våningar höga. Demonstrationsbyggen skiljer sig en hel del från regelrätt produktion, där målet alltid är att kunna leverera en säkerställd kvalitet i alla objekt. Marknaden för flerbostadshus har under tiden sedan 1994 diversifierats från utbyggnad av hela bostadsområden till att idag mest handla om förtätning. De senare åren har därför marknadmässigt gått mot en större efterfrågan på högre hus, då ekonomin i investeringen ofta blir god om husets höjd landar på 5-6 våningar. Därför startades projektet Konstruktionsoptimering.

1.1 Mål

Målet med projektet Konstruktionsoptimering har varit att säkerställa funktion för brand, stabilisering och hållfasthet för volymbyggda hus upp till 6 våningar.

1.2 Metod

Arbetsmetodiken har inneburit ett förtydligande av kravbilden, förberedande beräkningar och i många fall laborietester av enskilda fenomen. Varje problempunkt redovisas i separata avsnitt med bilagor i det följande. Resultaten har samlats i faktablad som kan användas som underlag för kommunikation med beställare.

1.3 Parter

Projektet har bedrivits med Lindbäcks Bygg och Moelven Byggmodul som parter. Moelven Byggmodul har deltagit i projektet med egna medel då de inte är medlemmar i TCN. I det avslutade delprojektet om en beräkningsmodul för träkonstruktioner (3DTrä) har Martinsons deltagit. Koordinering av brandtester har gjorts med både Martinson och SP Träteknik.

Medlemmar i projektgruppen har varit:

Helena Johnsson, Luleå tekniska universitet, projektledare

Wilhelm Risberg, Lindbäcks Bygg

Erling Lind, Moelven Byggmodul/Järntorget

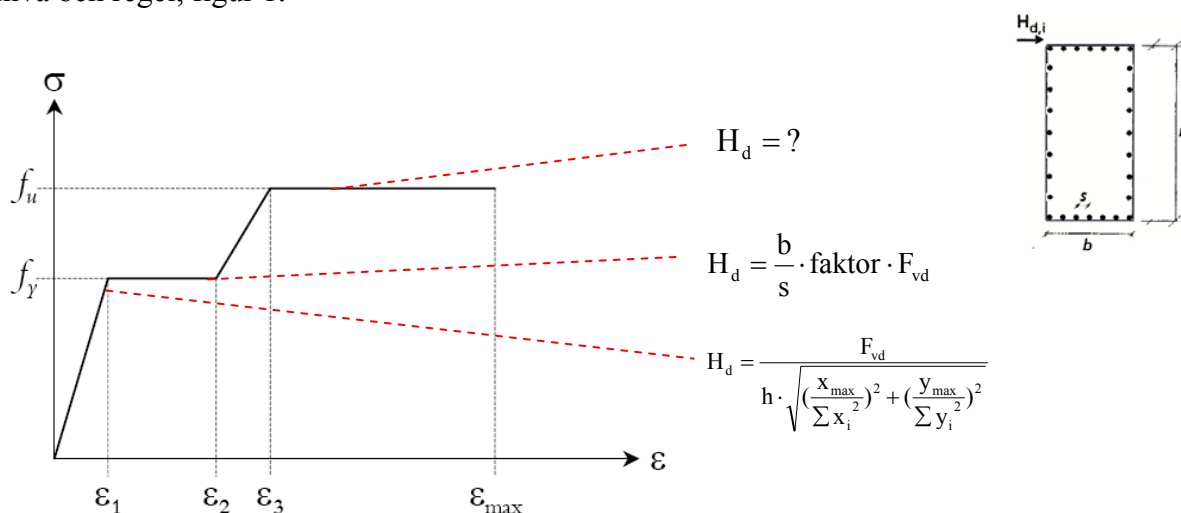
Henrik Ödéén, Moelven Byggmodul

Jörgen Thor, Brandskyddslaget, har adjungerats till projektgruppen under genomförande och analys av brandproverna.

2. Resultat

2.1 Komplettering av befintliga beräkningsmodeller för stabilisering

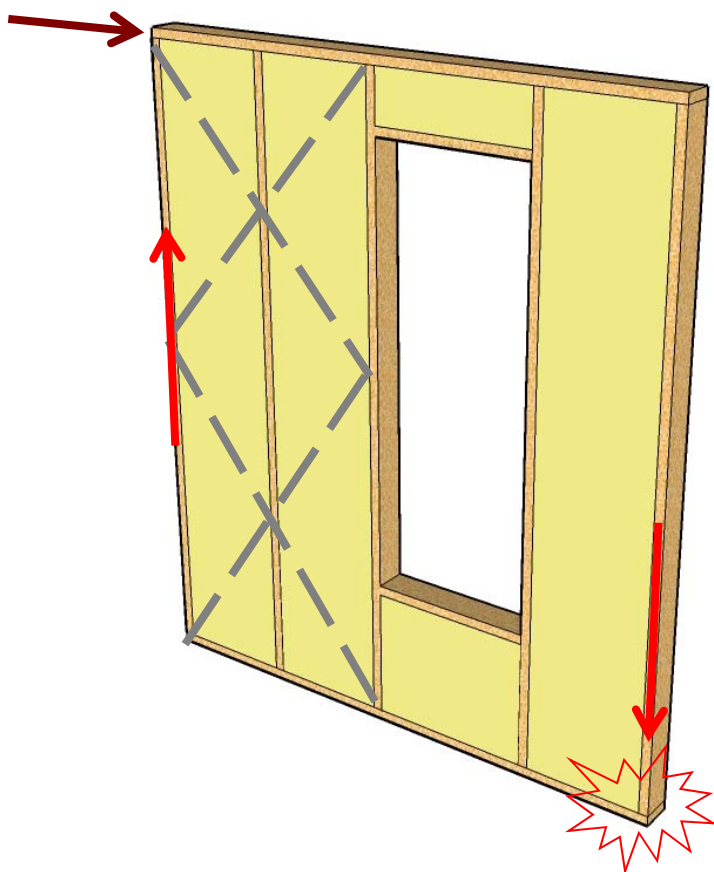
Idag används en beräkningsmodell framtagen av Carling (1992) för att beräkna hur mycket horisontell kraft en skiva monterad på en regelstomme kan bära. Modellen har förenklats i Gyproc's handbok. Beräkningsmodellen bygger på antagandet om elastisk inspänning mellan skiva och regel, figur 1.



Figur 1 Elastiska och plastiska beräkningsmodeller för skivverkan.

Under 2000-talet har en plastisk dimensioneringsmodell tagits fram av Ulf Arne Girhammar och Bo Källsner, presenterad i en handbok utgiven av SP Träteknik (Girhammar och Källsner, 2010). Denna har inte tillämpats i Konstruktionsoptimering då den kräver att skivorna som används inte går till sprött brott (vilket gipsskivor gör) utan kräver en infästning som visar ett duktilt beteende (som t.ex. plywood eller hardboard till regelstomme).

Gipsskivor används på regelstomme eftersom de förutom godtagbar stabiliseringsförmåga också ger ett gott brandmotstånd och en god ljudreduktion. För att förstärka en stomme klädd med gipsskivor finns möjligheten att sätta dragband på baksidan av konstruktionen, se figur 2.



Figur 2 Regelstomme med skivor förstärkta med dragband

Förstärkningen med dragband kan ge väggen upp till 50% mer bärförmåga. Kontroll av lyftkrafter och stämpeltryck måste göras. Beräkningsmodellen är implementerad i ett Excel-verktyg.

2.2 Utveckling av lathundar för kontroll av stabilisering i tidiga skeden

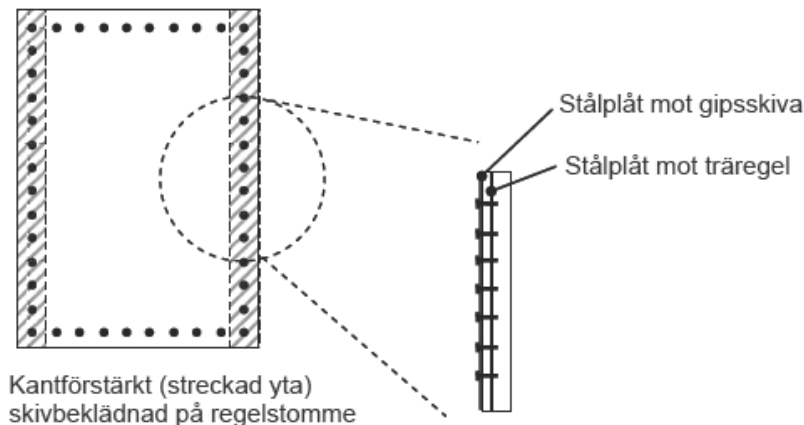
När ett byggnadsprojekt startas beslutas många styrande parametrar utan att en noggrann beräkning kan genomföras. Det är därför viktigt att i ett tidigt skede kunna bedöma om projektet går att genomföra. Ett hjälpmedel för detta har tagits fram i form av en lathund där man direkt från planritning kan bedöma om byggnaden går att stabilisera. Ett exempel bifogas i Appendix A.

Bakom resultaten i Appendix A ligger en genomgång av vanliga förekommande byggobjekt och deras geometri, en beräkning av vindlaster för olika förhållanden och en bedömning av marknadens geografi för deltagande företag. Lathundar finns framtagna för 4, 5 och 6-våningshus.

2.3 Förstärkning av skivans kanter för att öka bärförmågan för horisontella laster

När en skiva monterad på en regelstomme går sönder av en horisontell belastning är det vanligt att det är infästningen av skruv/spik som går sönder, inte själva skivan. Det är därför en tanke att förstärka skivans kanter så att infästningen inte går sönder så tidigt. Detta kan göras på flera sätt, här har en förstärkning med en kontinuerlig bricka (ett stålband) testats.

Stålbandet har monterats under spiken/skruvens skalle och fungerar genom att fördela ut lasten på en större del av skivan, figur 3.

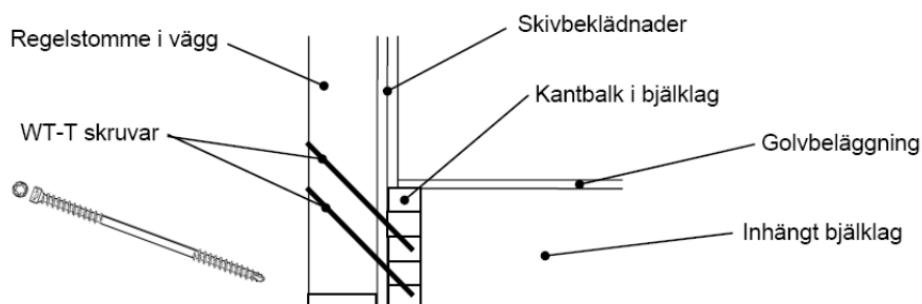


Figur 3 Förstärkning av en väggskivas kanter med stålband.

Förstärkningsmetoden har testats i lab, se appendix B. Resultaten visar att bärförmågan för en förbindare ökar med 30%, vilket återverkar linjärt på skivans bärförmåga som också ökar med 30%.

2.4 Test av WT-T-skruv genom gipsskikt

För att stabilisering med skiva skall fungera måste skivan fästas i syll och hammarband. Därför kan inte skivan avslutas t.ex. vid överkanten av ett golvbjälklag för då förloras hela stabiliseringseffekten. Bjälklagsinfästningen måste därför tillåta att två lager skiva passerar mellan den stående regeln och kantbalken på golvbjälklaget, figur 4.

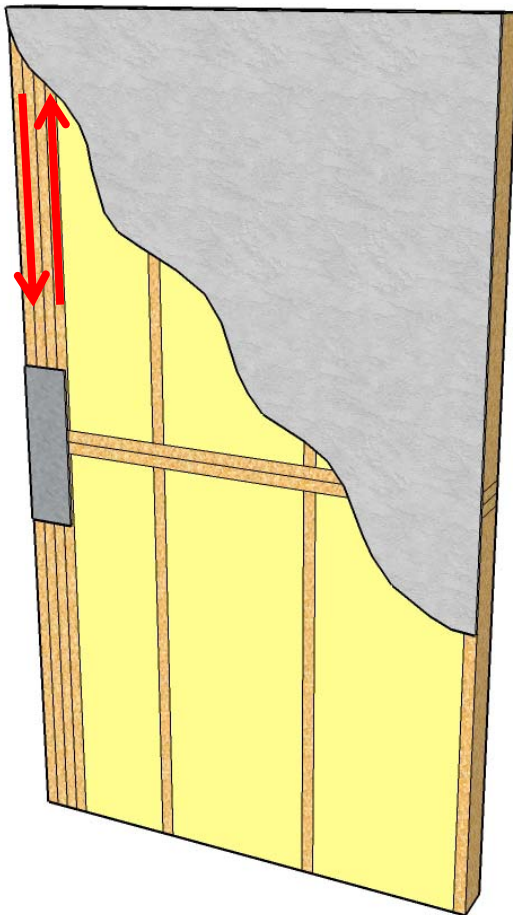


Figur 4 Skiva som passerar mellan regel och kantbalk.

Tester har gjorts för att säkerställa bärförmågan i förbandet, Appendix C. De visar att det fungerar bra att låta ett eller två gipsskikt passera mellan regel och kantbalk. Ingen skillnad i bärförmåga kan påvisas.

2.5 Förankringslösning för stabilisering

De horisontella lasterna måste föras ned till grunden via vertikal lastbärning. För detta ändamål måste väggskivorna förankras nedåt i start- och slutregel, figur 5.

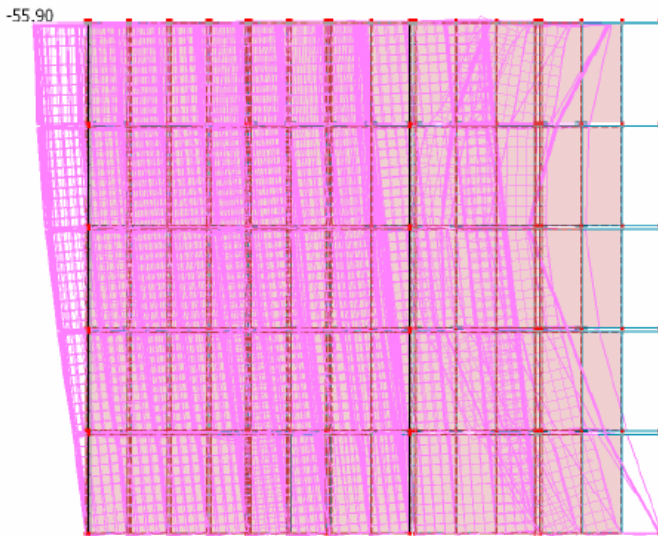
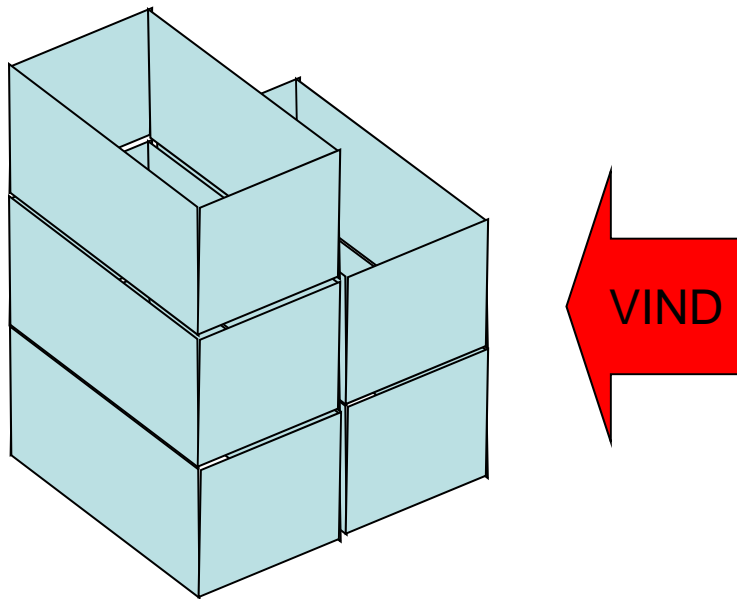


Figur 5 Förankring mot lyftkrafter

Lyftkrafterna måste föras ända ned till grunden. I fallet volymbyggnad medger inte produktionssättet att beslag monteras från insidan. De måste alltid monteras från utsidan. En lösning som i figur 5 har därför tagits fram. Antalet regler styrs dels av möjligheten att rymma fästdonen, dels av stämpeltrycket som uppkommer på syllen. En beräkningsmodell för detta är framtagen i Excel-format.

2.6 3D-effekter i stabiliseringen

Eftersom byggtekniken med volymer bygger på att en låda byggs ihop och transporteras till bygge väcks tanken att lådan måste vara stabilare än de enskilda skivorna. En förstudie på detta fenomen genomfördes i ett examensarbete där ett antal modultorn ställdes upp bredvid varandra och belastades av en vindlast, figur 6.



Figur 6 Modultorn modellerade med FEM

Resultaten visar att lyftkrafterna kan minska med 12-15% om 3D-effekterna utnyttjas. Detta leder till minskade krav på förankring. Taket har en stor inverkan för att fördela lasterna mellan tornen. Eftersom modultornen är sparsamt fästa till varandra överförs inte lasterna i bjälklagen som i vanliga byggnader, utan taket fördelar lasterna mellan tornen. Elastiska infästningar ger mycket stora deformationer, men minskar lyftkrafterna ytterligare. Detta skall studeras vidare i Konstruktionsoptimering 2. När själva lasten av vind skall beräknas bör man som konstruktör utnyttja möjligheten som finns i normen att göra beräkningen för varje våning. Totalt sett ger detta en minskning av vindlasterna med 15-30% vilket leder till minskat behov av stabilisering.

2.7 Alternativa skivor för stabilisering

En inventering och sammanställning av tillgänglig data för olika skivor och deras skivstabiliserande förmåga har gjorts i syfte att hitta alternativa skivor för att bygga höga

trähus med träregelstomme. Eftersom skivans bärförmåga bestäms till allra största del av infästningens bärförmåga har detta varit den styrande parametern. Resultaten visas i tabell 1.

Tabell 1 Alternativa skivor för stabilisering med hållfasthetsvärde för infästningen. Säkerhetsklass 2, $\gamma_m = 1,25$ och lasttyp C har antagits (OBS! värden enligt BKR 2004, ej överförda till Eurokod)

Skiva	Typ	t [mm]	Medel [N]	Kar.värde [N]	Dim.värde [N]	
					Inre lag	Yttre lag
Gyproc GN13	Gips	13	(800)	(570)	270 ⁶	210 ⁶
Gyproc GR13	Gips	13			380 ⁶	240 ⁶
Gyproc GF15	Gips	15			320 ⁶	240 ⁶
Gyproc GU9	Gips	9			210 ⁶	168
Danogips normal DA13	Gips	13		(> 500)	250 ³	250 ³
Danogips utegips DEH-3	Gips	9,5		(470, > 400)	200 ³	200 ³
Danogips hård DI13	Gips	13		700 ¹	350 ³	350 ³
Danogips brand DF15	Gips	15		600	300 ³	300 ³
Gyproc Glasroc ute GHU	Fibergips	12,5		240 ⁶	175	140
Gyproc Glasroc GHI13	Fibergips	12,5		290i/270y ⁶	211	196
Gyproc Glasroc GHI16	Fibergips	15,5		370 ⁶	269	215
Fermacell F13	Fibergips	12,5		570 ²	415	332
Fermacell F15	Fibergips	15		535 ²	389	311
Fermacell F18	Fibergips	18		620 ²	451	361
Danogips Weather DW9	Fibergips	9,5			400 ³	320
Danogips Humid DH13/15	Fibergips	12.5/15			500 ³	400
Tepro Minerit WS ute MWS	Fibercement	4.5/6.5/9	1000 ⁴		500	400
Tepro Minerit Fasad MF	Fibercement	8/10	1000/1500 ⁴		500/750	400/600
Tepro Minerit Normal MN	Fibercement	6/8	500/600 ⁴		250/300	200/240
Tepro Minerit Normal MN	Fibercement	9/12	700/1100 ⁴		350/550	280/440
Tepro Minerit Normal MN	Fibercement	18	1200 ⁴		600	480
Ståltrapetsplåt	Plåt	0.65			400 ⁷	400 ⁷
Spånskiva	Fiberskiva	12	1200-1300 ⁵	950	690	550
Masonite	Fiberboard	8	1000 ⁵	720	520	410
Plywood	Trä	9	1300 ⁵	1100	800	640
		13			400 ⁷	400 ⁷

¹ Enligt uppgift från Danogips 2007-09-27, $f_{vk} = 845$ N enligt provningarna av Humid Board

² Kalibrerat från bärförmågevärden för hel vägg enligt rapport från Fermacell, säker sida

³ Enligt Danogips hemsida 2008

⁴ Dim.värde är uppskattat från testresultat som 50% av medelvärde, använt andra tester som referens

⁵ Dimensionering genom provning enligt BKR (skillnaden till tab. värde 400 N är normal)

⁶ Gyproc:s handbok alt. Gyproc:s hemsida 2008

⁷ Dimensionering av träkonstruktioner, O. Carling

Samtidigt som skivan skall vara bra för stabilisering måste den också ha ett tillräckligt brandmotstånd. De träbaserade skivorna har en nackdel härvidlag och ger generellt ett brandmotstånd som varar kortare tid än 15 min. Tillsammans med en brandgipsskiva som monterad på virke av normal hållfasthetsklass och med stenullsisolering ger ett brandmotstånd på 40 minuter, blir detta inte tillräckligt för att garantera R60 vilket är kravet för ett fyrvåningshus. Om en träbaserad skiva skall användas måste alltså tre lager skivor monteras, vilket i sin tur ökar väggens tjocklek. De skivor som återstår att använda är cementbaserade skivor och armerade gipsskivor. Båda dessa skivtyper har också fördelen att de inte innehåller organiskt material och därmed är bra att använda i våtrum där hög fuktbelastning förekommer. Under Konstruktionsoptimeringsprojektets gång har en ny

skivtyp lanserats på den svenska marknaden, en gipsskiva med träfiberarmering. Den saluförs av Xella under namnet Fermacell och av Gyproc under namnet Rigidur. Denna skiva bedöms ha stor potential att klara både stabiliseringslaster, brandkrav och krav på fuktsäkerhet.

2.8 Brandprover av väggar

Ett av de viktigaste funktionskraven att klara när en byggnad görs högre är säkerheten i brandlastfallet. Ett delproblem är stommens bärförmåga som för en träregelstomme inte kan garanteras såvida inte skivor skyddar stommen. Två andra parametrar som påverkar bärförmågan vid brand är hållfasthetsklassen på regeln (ju högre desto bättre) och typen av isolering (glasull skiljer sig från stenull som skiljer sig från cellplast osv). Skivorna och deras infästning är dock den avgjort största påverkansfaktorn.

För att studera detta genomfördes under projektet Konstruktionsoptimering 5 brandprover på väggar. De var grupperade i två grupper; en grupp med konstruktioner testades mot kravet REI60 och en grupp av konstruktioner testades mot kravet REI90. Dessa kravnivåer motsvarar kraven för byggnader upp till 4 våningar resp. byggnader upp till 8 våningar. Bjälklag har generellt ett högre brandmotstånd än väggar då de är tjockare konstruktioner. Tidigare brandtester av bjälklag har visat att REI90 med lätthet uppfylls för den typ av dubbel konstruktion som används i volymbygda hus.

En sammanställning av de väggtyper som testats och slutresultatet finns i tabell 2. I Appendix D bifogas samtliga slutrapporter från SP Brandteknik i Borås där proverna genomfördes.

Tabell 2 Sammanställning av brandtester

Testad vägg	Resultat	Kommentar
15 Brandgips Protect-F 13 Normalgips 45x95 K24 reglar c/c 600 95 Isover UNI 36 Bandjärn 32x0,8 30 Luftspalt (symmetri)	REI60 nåddes Bärförmåga 12,5 kN/regel efter 60 min Bärförmåga 21,5 kN/regel efter 73 min varefter väggen knäcker	Bärförmågan efter 60 min var egentligen 21,5 kN/regel Testad 23/4 2010
15 Brandgips Protect-F 15 Brandgips Protect-F 45x70 K24 reglar c/c 600 70 Isover Ultimate 39 Bandjärn 32x0,8 30 Luftspalt (symmetri)	REI60 nåddes Bärförmåga 5,5 kN/regel efter 60 min Bärförmåga 27,5 kN/regel efter 89 min varefter väggen knäcker	Bärförmågan efter 60 min var egentligen 27,5 kN/regel Testad 24/3 2010
13 Normalgips 13 Normalgips 45x170 K24 reglar c/c 600 170 Isover UNI 36 9 Utegips	REI60 nåddes ej Bärförmåga 12,5 kN/regel efter 52 min resp. 57 min då provet avbröts	Testad två gånger: 11/3 2010 och 7/12 2010
15 Brandgips Protect-F 12 Minerit 45x170 K24 reglar c/c 600 170 Rockwool FlexiBatts 9 Utegips	REI90 nåddes Bärförmåga 19,5 kN/regel efter 90 min Bärförmåga 30,0 kN/regel efter 101 min då väggen knäcker	Bärförmågan efter 90 min var egentligen 30,0 kN/regel Testad 9/11 2010
15 Brandgips Protect-F 12 Minerit 45x95 K24 reglar c/c 600 95 Rockwool FlexiBatts Bandjärn 32x0,8 30 Luftspalt (symmetri)	REI90 nåddes Bärförmåga 19,1 kN/regel efter 90 min	Testad 23/11 2010

Försöken visade att med hjälp av Minerit-skivan kan brandmotstånd mer än REI90 säkerställas. Konstruktioner som uppfyller REI60 kan optimeras jämfört med dagens konstruktioner. Det är möjligt att göra en vägg tunnare än 95-stomme och samtidigt uppfylla brandkraven. Vidare framkom från observationerna under försöken att glasull inte är att föredra för ett bra brandmotstånd. Glasullen krymper då den utsätts för värme och skyddar då inte regelns sida från brandangrepp. Från försöken kan man också konstatera att stenull kan användas som ersättning för brandskivan Ultimate, de har till synes samma egenskaper vid brandbelastning.

3. Slutsats

Från projektet Konstruktionsoptimering har följande resultat tagits fram:

- verifierade alternativ på olika skivmaterial som kan användas för stabilisering av höga trähus
- verifierade idéer på olika sätt att förstärka skivor för horisontella laster (kantförstärkning, dragband, bjälklagsinfästning)
- verifierade vägglösningar som uppfyller brandkraven för höga trähus

I Konstruktionsoptimering del 2 skall limning av skivor studeras vidare. Dessutom skall beräkningsmodellen om 3D-effekter fortsatt studeras då där finns en del kvar att arbeta med. Vidare skall konsekvenserna av övergången till Eurocode 5 utredas i detalj.

Appendix A Lathund stabilisering 4-våningshus

Referensvindhastigheten är satt till:

$$v_{ref} = 24 \text{ m/s}$$

Detta är högsta värdet i Mälardalen. Om $v_{ref} = 25 \text{ m/s}$ multipliceras vägglängden med 1.1. Om $v_{ref} = 26 \text{ m/s}$ multipliceras vägglängden med 1.2.

Vidare är terrängtyp II antaget, vilket motsvarar en mindre stad. Om huset står i slättlandskap med stor vindpåverkan (terrängtyp I) multipliceras vägglängden med 1.2.

Husets höjd är antagen till 15 m.

För alla andra förhållanden ger lathundarna resultat på säker sida.

I säljskedet är det viktigt att kunna bedöma om det är möjligt att stabilisera byggnaden. Denna lathund är skapad för att kunna göra en tidig bedömning av stabiliseringen. Den ersätter inte detaljerade konstruktionsberäkningar som måste göras i ett senare skede i projekteringen.

Tillvägagångssätt

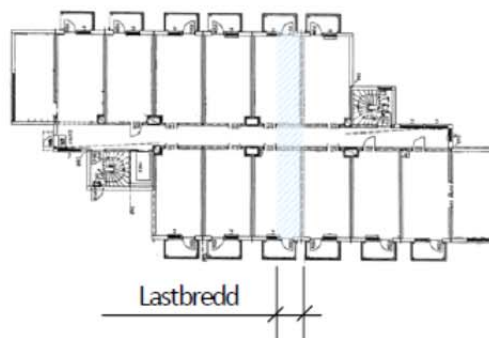
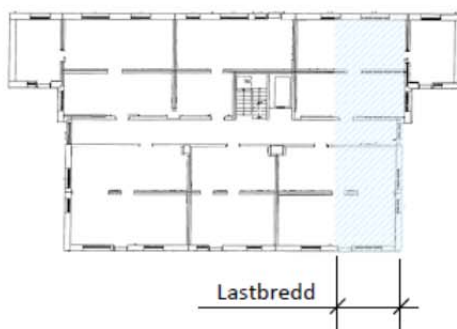
Ta fram en planritning av byggnaden. Bestäm lastbredden som är halva längden av den anblåsta sidan av modulen, se exemplen nedan där vinden blåser nedifrån och uppåt. Lägg samman hur många löpmeter vägg som stabiliserar byggnaden inom lastbredden.

Gå in med lastbredden på x-axeln i diagrammet och välj väggtyp, se tabell. Observera att det är två diagram, inner- och ytterväggar. Läs av den längd som behövs på y-axeln.

Följande villkor gäller:

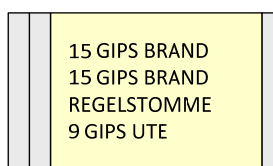
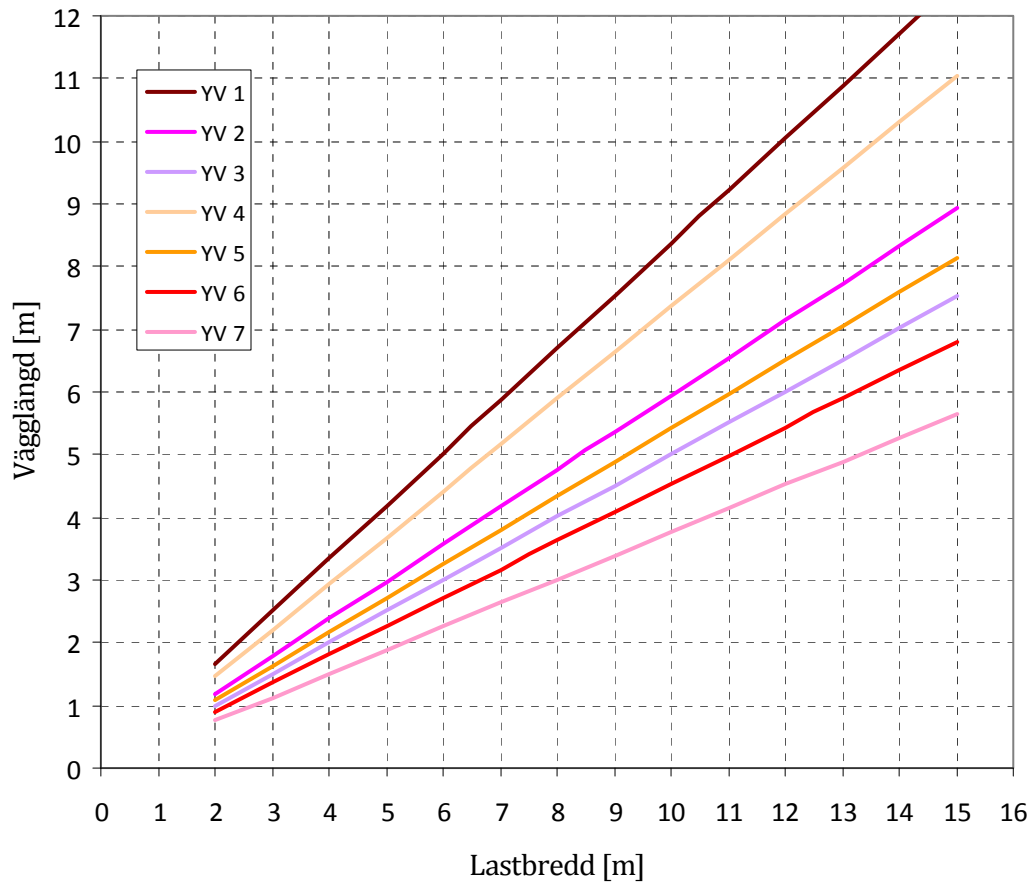
Avläst längd < Summerad längd

Om den summerade längden är för kort måste ny väggtyp väljas.

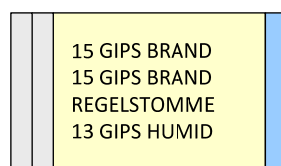


Ytterväggar

Sammanlagd väggängd för stabilisering av 4-våningshus
Ytterväggar



YV1



YV2



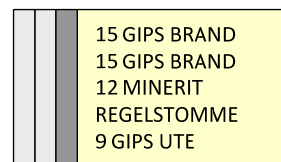
YV3



YV4



YV5



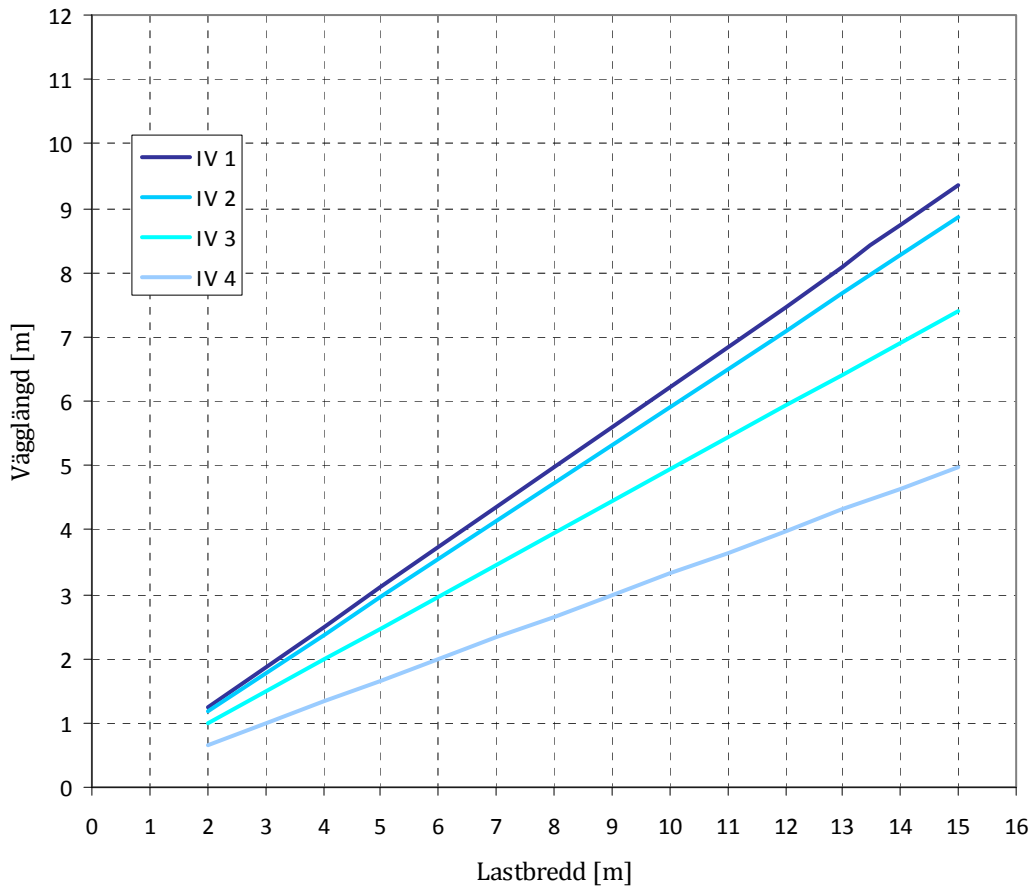
YV6



YV7

Innerväggar

Sammanlagd väggängd för stabilisering av 4-våningshus Innerväggar



IV1



IV2



IV3

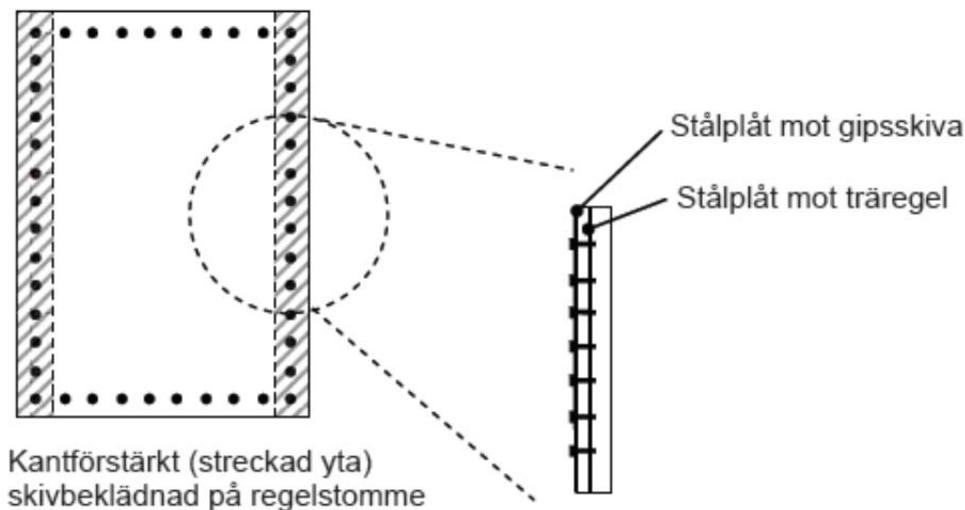


IV4

Appendix B Förstärkning av en skivas kanter

Kantförstärkning av stabiliserande skivor kan öka skivans bärförmåga i skjuvning. En av de avgörande brottmoderna i stabiliserande väggar är spjälkning av regel eller skiva.

Kantförstärkningen skulle kunna bestå av en tunn plåt (ca 0.5 mm) som placeras mellan två lager stabiliserande gipsskivor eller direkt på regeln. I Figur 1 illustreras en stabiliserande vägg förstärkt med en tunn stålplåt som placeras på gipsskivan eller direkt mot regeln.



Figur 1 Illustration av kantförstärkt skivbeklädnad i stabiliserande vägg.

Syftet med försöken är att understöka om en kantförstärkning av skivor ökar skivans skjuvupptagande bärförmåga och i så fall hur stor ökningen av bärförmåga blir.

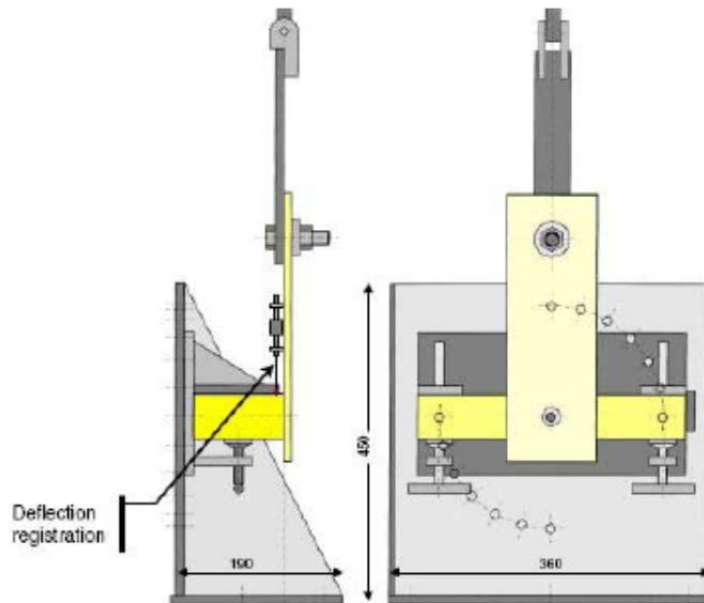
→ Hur mycket ökar förbindarens bärförmåga vid kantförstärkning?

I detta läge beaktas inte eventuella systemeffekter som kan tänkas uppstå av skivans ökade styvhet och förankring till regelstommen. Ytterligare förankring kan fås genom att t.ex. vika plåten runt skivans kant men dessa effekter undersöks i ett senare skede.

Vid Umeå Universitet (kontakt: Ulf-Arne Girhammar) har ett flertal försök utförts för att utreda bärförmågan hos förband i stabiliserande väggar. Både rena förbandsförsök och fullskaleförsök av stabiliserande väggar har utförts med varierande skivmaterial och förbindare. Således finns en bra bas av försöksresultat att utnyttja för jämförelse. Baserat på tidigare resultat förväntas en ökning med ca 20 till 30 % vid förstärkning. Den minskade risken för spjälkning tros även medföra att problemen med spjälkning vid lägre centrumavstånd för förbindare reduceras vilket i sin tur leder till en ytterligare ökning av bärförmågan.

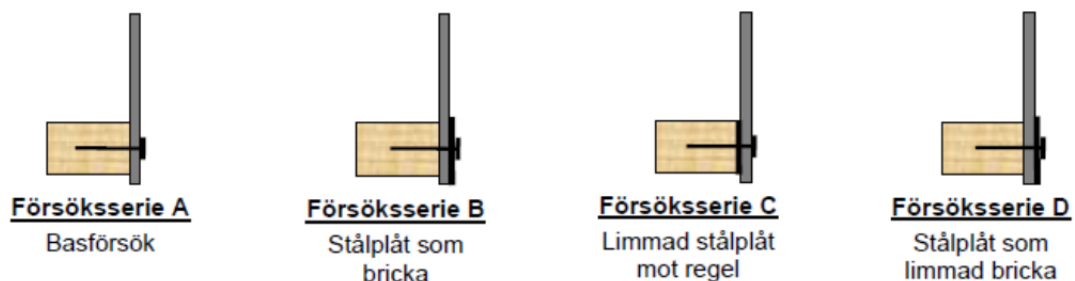
Försökuppställning

Vid Umeå Universitet har en försöksapparat (Figur 2) utvecklats för att testa ett förbands bärformåga. I försökuppställningen förbinds ett skivmaterial mot en regel och testas i olika belastningsriktningar.



Figur 2 Försökuppställning

Försöksplanering



Figur 3 De fyra försöksserierna.

Försöksserie A är basförsök, alltså de resultat som de övriga försöksserierna utvärderas mot. Dessa försök består av en skiva som förbinds mot regeln. I försöksserie B undersöks effekten av att lägga stålblåten på skivan (plåtens fungerar som bricka) medan brickan i försöksserie D limmas mot skivan. I försöksserie C förstärks regeln med en stålblåt som limmas mot regeln.

De material och de resurser som behövs för att tillverka provkropparna redovisas i tabell 1.

Tabell 1 Material till försök

Serie	A	B	C	D
Försök	5	5	5	5
Förbindare	Skruv, Ø3.9 mm	Skruv, Ø3.9 mm	Skruv, Ø3.9 mm	Skruv, Ø3.9 mm
Regel	K24	K24	K24	K24
Skiva	Gips GN13	Gips GN13	Gips GN13	Gips GN13
Plåt	-	0.56 mm	0.56 mm	0.56 mm
Lim	-	Epoxy	-	Epoxy

Gipsskivan skars ut i bitar om 200×200 mm, plåten klipptes i bitar om 100×100 mm som förborrades med Ø3.5 mm för att underlätta skruvning. Provkropparna monterades ihop genom val av slumpmässig bit trä, gips samt skruv.

Resultat

Resultaten sammanställs i tabell 2.

Tabell 2 Försöksresultat

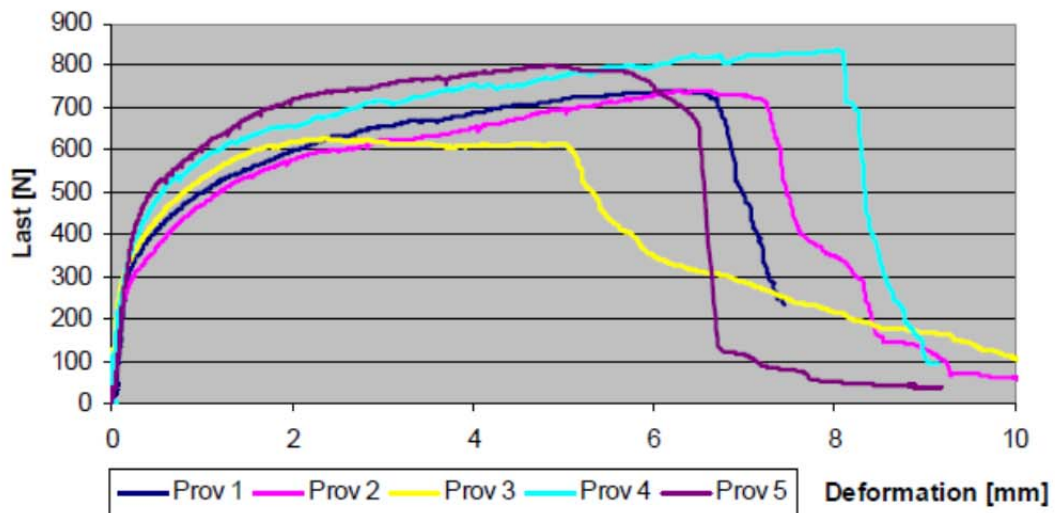
Serie	A (F/u)		B (F/u)		C (F/u)		D (F/u)	
\bar{x}	750	5,60	979	5,12	777	3,25	1011	5,54
s	80,0	2,12	183	1,89	97,4	0,49	105	3,01
v	0,11	0,38	0,19	0,37	0,13	0,15	0,10	0,54
x_k	554	0,39	529	0,47	537	2,03	752	-

För varje försöksserie visas resultat på följande sidor.

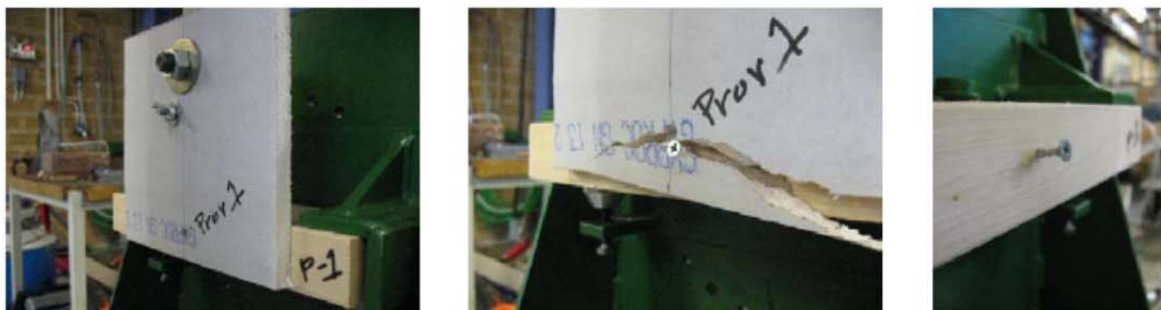
Försöksserie A

Tabell 3 Resultat från försöksserie A (prov 1-5).

Prov	Maxlast [N]	Deformation [mm]	Torrdensitet [kg/m ³]	Fuktkvot [%]
1	742	6,21	399	6,84
2	741	6,49	410	7,26
3	628	2,38	371	7,33
4	838	8,03	435	7,37
5	803	4,89	471	7,15
\bar{x}	750	5,60	417	7,19
s	80,0	2,12	37,5	0,21
v	0,11	0,38	0,09	0,03
x_k	554	0,39	325	6,67



Figur 4 Illustration av last-deformationskurvor för försöksserie A.

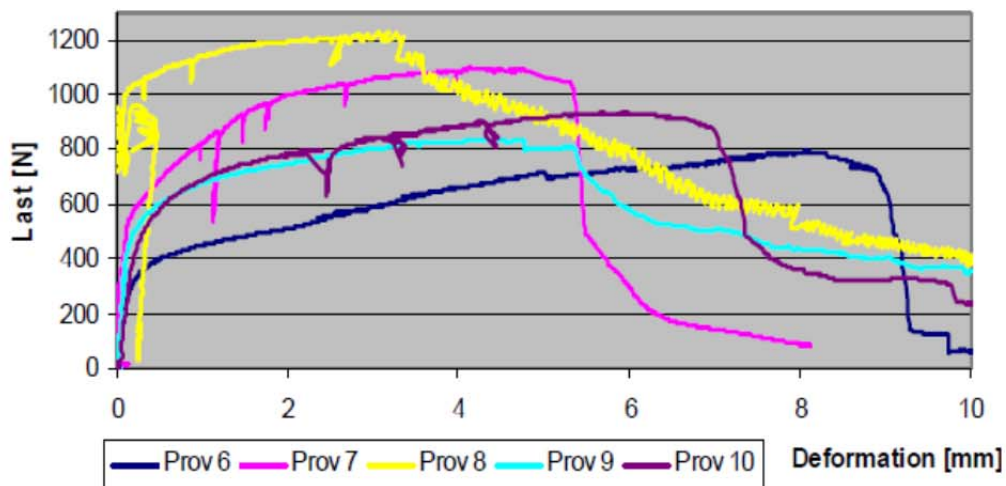


Figur 5 Foton från försöksserie A (Prov 1).

Försöksserie B

Tabell 4 Resultat från försöksserie B (prov 6-10).

Prov	Maxlast [N]	Deformation [mm]	Torr densitet [kg/m ³]	Fuktkvot [%]
6	793	8,10	416	6,97
7	1099	4,14	472	7,45
8	1230	3,19	414	6,85
9	839	4,48	387	6,81
10	934	5,70	393	7,06
\bar{x}	979	5,12	416	7,03
s	183	1,89	33,3	0,26
v	0,19	0,37	0,08	0,04
x_k	529	0,47	334	6,40



Figur 6 Illustration av last-deformationskurvor för försöksserie B.

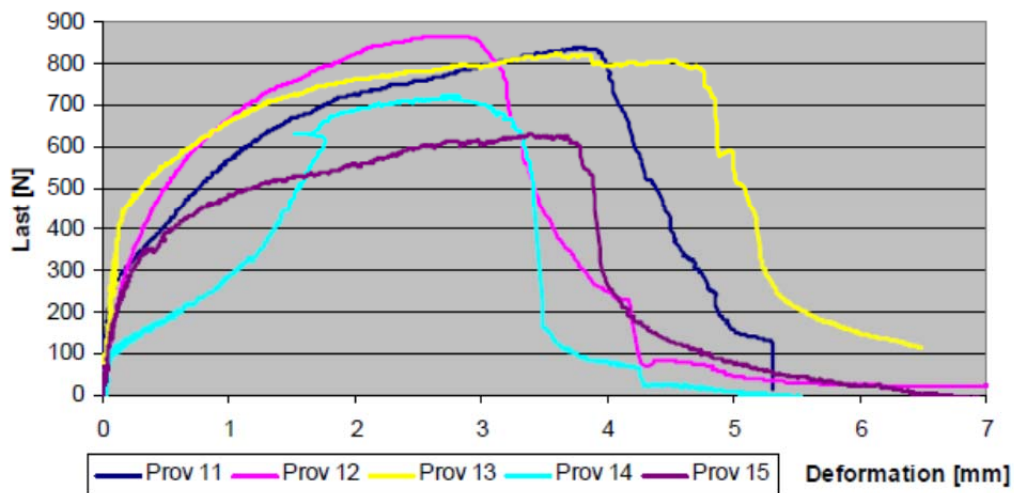


Figur 7 Foton från försöksserie B (Prov 6, Prov 7, respektive Prov 8).

Försöksserie C

Tabell 5 Resultat från försöksserie C (prov 11-15).

Prov	Maxlast [N]	Deformation [mm]	Torrdensitet [kg/m^3]	Fuktkvot [%]
11	838	3,77	426	6,97
12	866	2,65	369	7,45
13	824	3,63	440	6,85
14	724	2,82	419	6,81
15	631	3,38	408	7,06
\bar{x}	777	3,25	412	7,03
s	97,4	0,49	27,1	0,26
v	0,13	0,15	0,07	0,04
x_k	537	2,03	346	6,40



Figur 8 Illustration av last-deformationskurvor för försöksserie C.

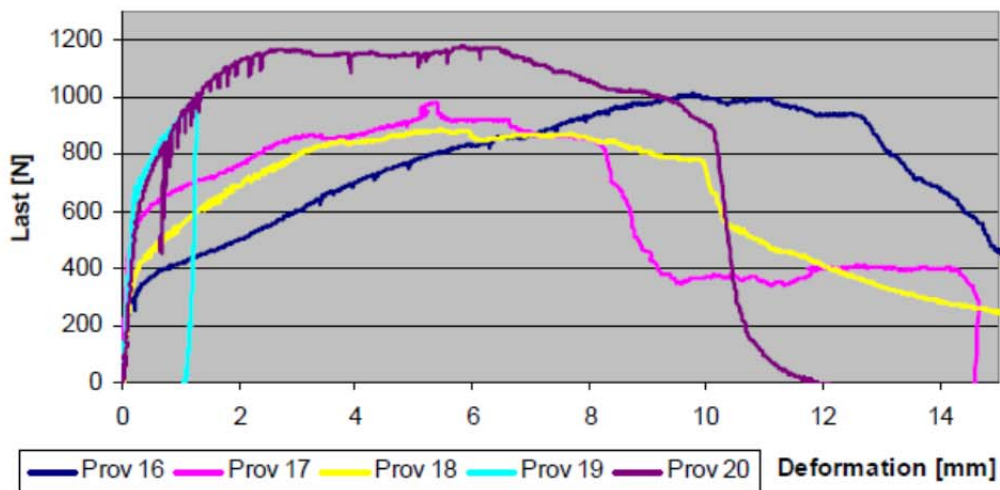


Figur 9 Foton från försöksserie C (Prov 11, Prov 14, respektive Prov 15).

Försöksserie D

Tabell 5 Resultat från försöksserie D (prov 16-20).

Prov	Maxlast [N]	Deformation [mm]	Torrdensitet [kg/m ³]	Fuktkvot [%]
16	1012	9,78	379	6,97
17	983	5,35	458	6,88
18	887	5,45	403	6,85
19	994	1,29	452	7,06
20	1178	5,83	415	7,11
\bar{x}	1011	5,54	422	6,97
s	105,3	3,01	33,6	0,11
v	0,10	0,54	0,08	0,02
x _k	752	-	339	6,70



Figur 10 Illustration av last-deformationskurvor för försöksserie D.



Figur 11 Foton från försöksserie D (Prov 16, Prov 18, respektive Prov 19).

Analys

Sett till medelvärdena finns det en klar effekt av att förstärka skivan, medan någon effekt av att förstärka träregeln inte kan skönjas, tabell 6.

Tabell 6 *Analys av försöksresultat*

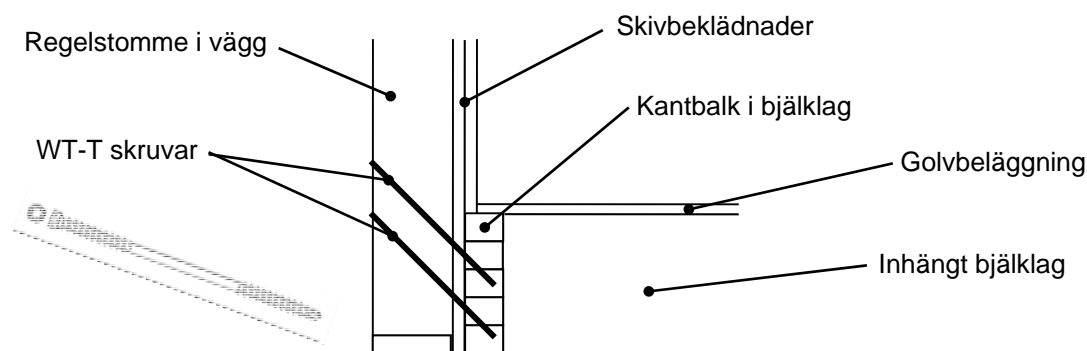
Serie	A [N]	B [N]	C [N]	D [N]
\bar{x}	750 (0 %)	979 (+ 31 %)	777 (+ 4 %)	1011 (+ 35 %)

Rekommendation

Förstärkning av skivans kanter visar lovande resultat och bör utredas vidare t.ex. med tanke på långtidseffekter.

Appendix C WT-T-skruv med passerande skivskikt

Infästning av inhängda bjälklag till regelkonstruktion är en vanlig lösning hos flera tillverkare av prefabricerade byggsystem. Moelven Byggmodul är beställare av denna studie. Bjälklagen kan fästas till regelstommen med WT-T skruvar som dras rakt genom väggregel in i bjälklagets kantbalk (Figur 1).



Figur 1 Illustration av inhängt bjälklag infäst till regelstomme med WT-T skruvar.

Bärförmågan för denna typ av förband är känd och garanterad av tillverkaren av WT-T skruv vad gäller förband trä mot trä. För att säkerställa bärförmågan genom skivverkan finns önskemål om att ett lager skivbeklädnad ska dras ner till underkant vägg, Figur 1. Detta medför att förbandet inte längre är ett trä mot trä förband. Istället bryts förbindaren av ett skivlager som ofta är gips med en betydligt lägre friktionskoefficient mot trä. Effekten av denna försämring i friktion kan illustreras genom en överslagsmässig beräkning. För detta utnyttjas en beräkningsmodell framtagen av Hansson och Thelandersson:

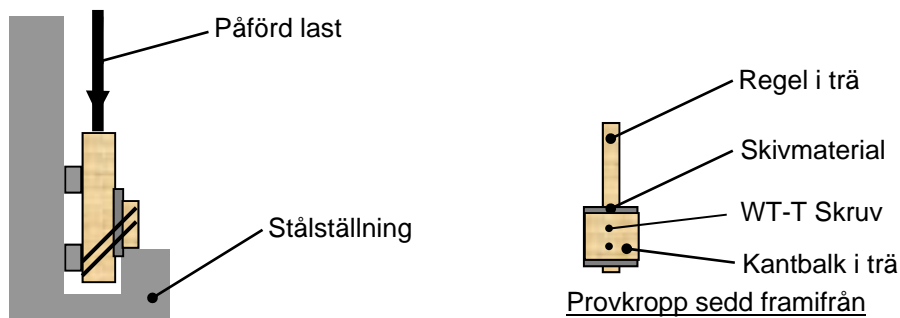
$$R_k = R_{T,k} \cdot (\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha) \quad (1)$$

$$R_{T,k} = \begin{cases} f_{a,1,k} \cdot \pi \cdot d \cdot s_1 \\ f_{h,2,k} \cdot \pi \cdot d \cdot (s_2 - d) \\ f_{u,k} \end{cases} \quad (2)$$

där R_{TK} betecknar skruvens utdragskapacitet ($f_{h,1,k}$ och $f_{h,2,k}$ är karakteristisk utdragshållfasthet i virket närmast skruvhuvudet respektive närmast skruvspetsen, s_1 och s_2 är den gängade längden närmast skruvhuvudet respektive skruvspetsen, d är skruvens nominella diameter och $f_{u,k}$ är skruvstålets draghållfasthet), α är skruvens lutning och μ betecknar friktionskoefficienten mellan materialen. Med antagandet att alla parametrar är konstanta (R_{TK} antas 10 kN och α antas 45°) och friktionskoefficienten varierar (från trä-trä = 0.26 till antagen trä-gips = 0.10) fås en reduktion av bärförmågan med 5 %. Denna teoretiska reduktion bör verifieras genom försök.

Försökuppställning och provkropp

Försökuppställningen illustreras schematiskt i Figur 2. Provkroppen ligger upplagd i en stålställning och fixeras med distanser. Lasten påförs sedan uppifrån på regeln. Deformationerna i förbanden mäts primärt vertikalt men även intryckning i skivmaterialets underkant kan mätas.



Figur 2 Försöksupställning och provkroppens utformning.

Provkroppen ska tillverkas så att den överensstämmer med verkliga materialval och dimensioner hos Moelven Byggmodul, detta gäller val av regelmaterial, skivmaterial, WT-T skruv och kantbalk. Provkroppen tillverkas enligt Figur 2 där det mellanliggande skivmaterialet utförs aningen större i dimension än kantbalken för att fånga upp effekten av intryckning.

Normalt skruvas skivmaterialet till regeln. Men för att motverka eventuella problem med skruvskallar som kan påverka försöken så limmas istället skivmaterialet till regeln. Moelven Byggmodul använder ofta även limning i sin produktion för att fästa gipsskiva mot regelstomme.

Försöksplanering

Strategin för genomförande av försöken är att testa bärförmågan med verkliga material och parametrar vilket direkt ger ett värde för bärförmågan att använda vid dimensionering. Boverkets 'Dimensionering genom provning' utnyttjas för att beräkna ett karakteristiskt värde, x_k :

$$x_k = \bar{x} \cdot (1 - k_{pn} \cdot V) \quad (3)$$

där x_k betecknar det karakteristiska värdet på bärförmågan, \bar{x} är medelvärdet, V är variationskoefficienten och k_{pn} är en koefficient som beror av signifikansnivå och antalet observationer. Karakteristisk bärförmåga utvärderas vid 5 %-fraktilen av fördelningen av försöksresultaten. Totalt 24 stycken försök har utförts i två försöksserier: ett basförsök utan mellanliggande gipsskiva samt en försöksserie med mellanliggande gipsskiva. Försöken utförs under liknande förutsättningar och i slumpmässig ordning för att undvika följdproblem.

Det material och de resurser som behövs för att tillverka provkropparna redovisas i Tabell 1. De materialval och dimensioner som anges gäller för Moelven Byggmoduls volymiskiljande väggar. Dimensionerna på provkropparna (jämför Figur 2) har bestämts efter inledande enkla tester vid LTU – se bilaga 1 för en mer detaljerad ritning av provkroppen.

Tabell 1 Ingående material i försöken.

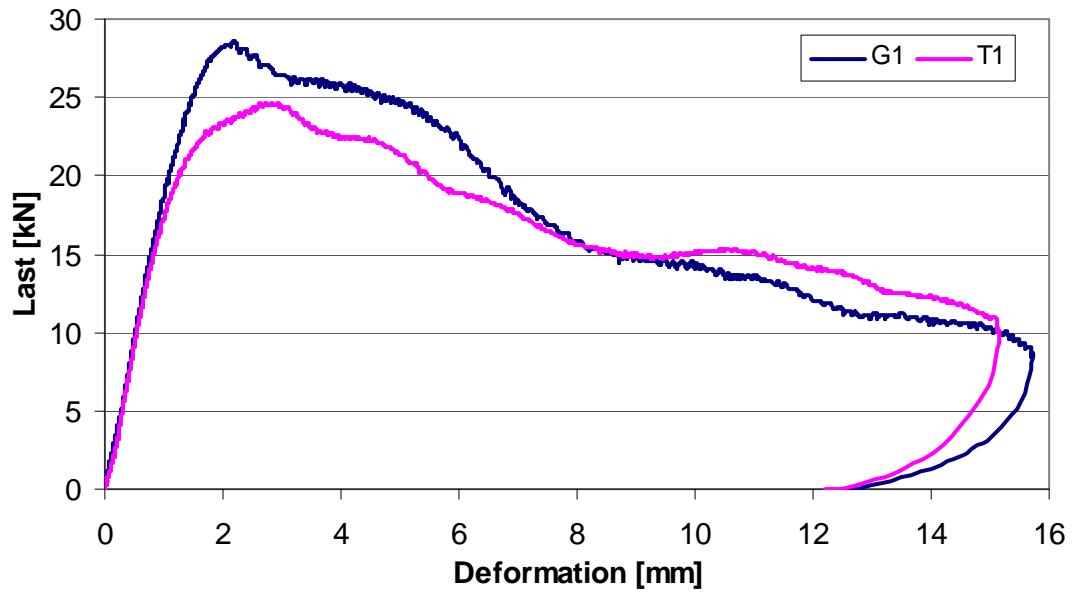
	FÖRSÖKSSERIE A	FÖRSÖKSSERIE A
Antal försök	12	12
Skruv	WT-T 8.2x160	WT-T 8.2x160
Regel	K24 45x95	K24 45x95
Skiva	-	Gips GN 13 mm
Kantbalk	Kerto 63x220	Kerto 63x220
Lim	-	Vitlim Bostik 700

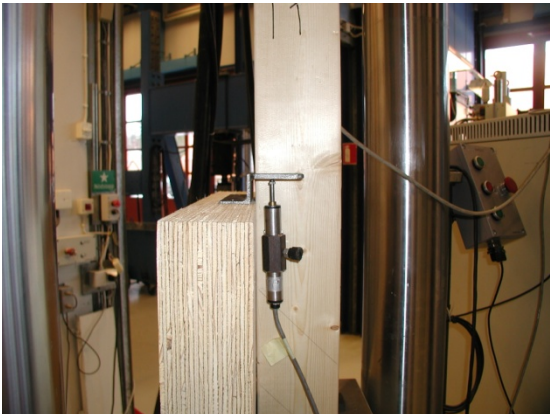
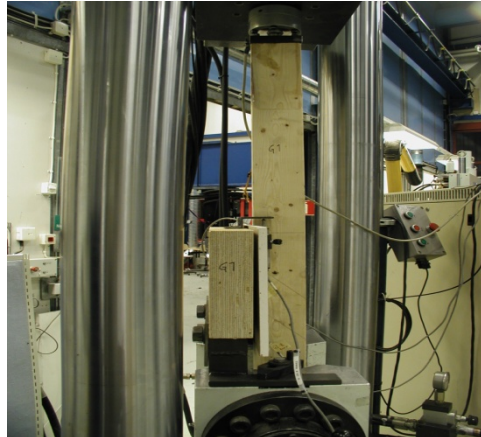
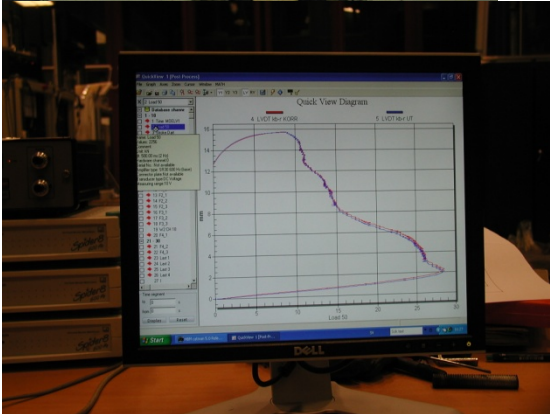
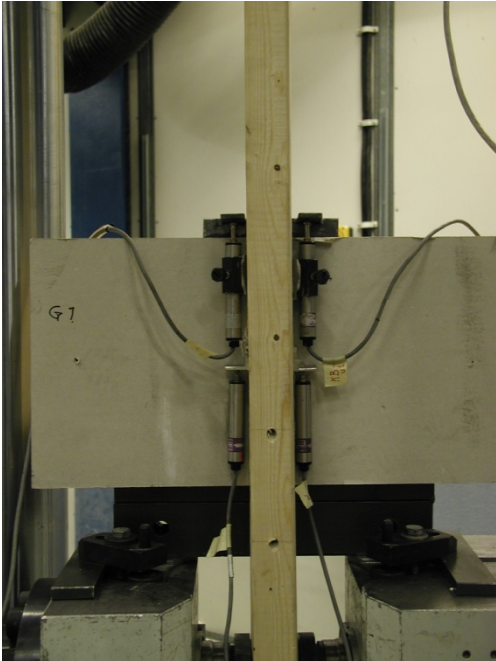
Försöksresultat

Försöksserie A – T1 till T12

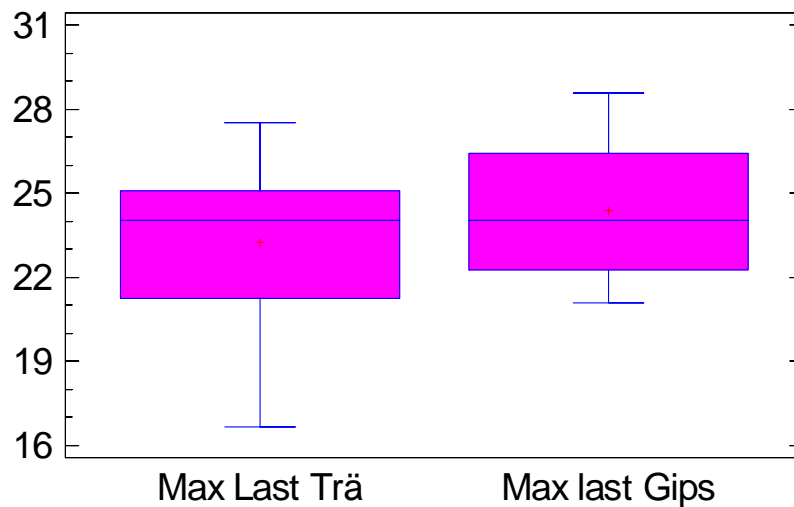
Försöksserie B – G1 till G12

	MAX LAST [N]	DEFORMATION [MM]		MAX LAST [N]	DEFORMATION [MM]
T1	24598	2,85	G1	28564	2,19
T2	22544	2,16	G2	27546	1,95
T3	25098	3,23	G3	21108	2,54
T4	27526	3,43	G4	23470	1,42
T5	21240	2,72	G5	26410	3,42
T6	24310	3,31	G6	25431	3,24
T7	26825	3,16	G7	21420	2,08
T8	20213	2,97	G8	24041	2,36
T9	24024	3,14	G9	24535	3,11
T10	22793	2,74	G10	23616	2,73
T11	16665	2,64	G11	22255	2,72
T12	-	-	G12	-	-
\bar{x}	23258	2,94	\bar{x}	24400	2,52
s	3088	0,37	s	2414	0,60
v	0,13	0,13	v	0,10	0,24
x_k	16958	2,19	x_k	19475	1,30





(X 1000) Box-and-Whisker Plot



Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of Max Last Trä: 23257,8 +/- 2074,49 [21183,3,25332,3]

95,0% confidence interval for mean of Max last Gips: 24399,6 +/- 1621,9 [22777,7,26021,5]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -1141,82 +/- 2465,24 [-3607,05,1323,42]

t test to compare means

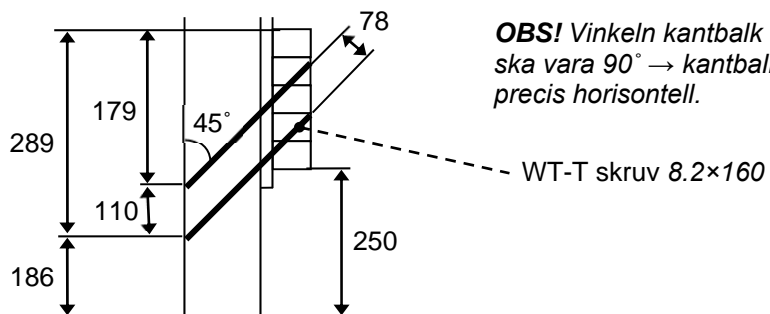
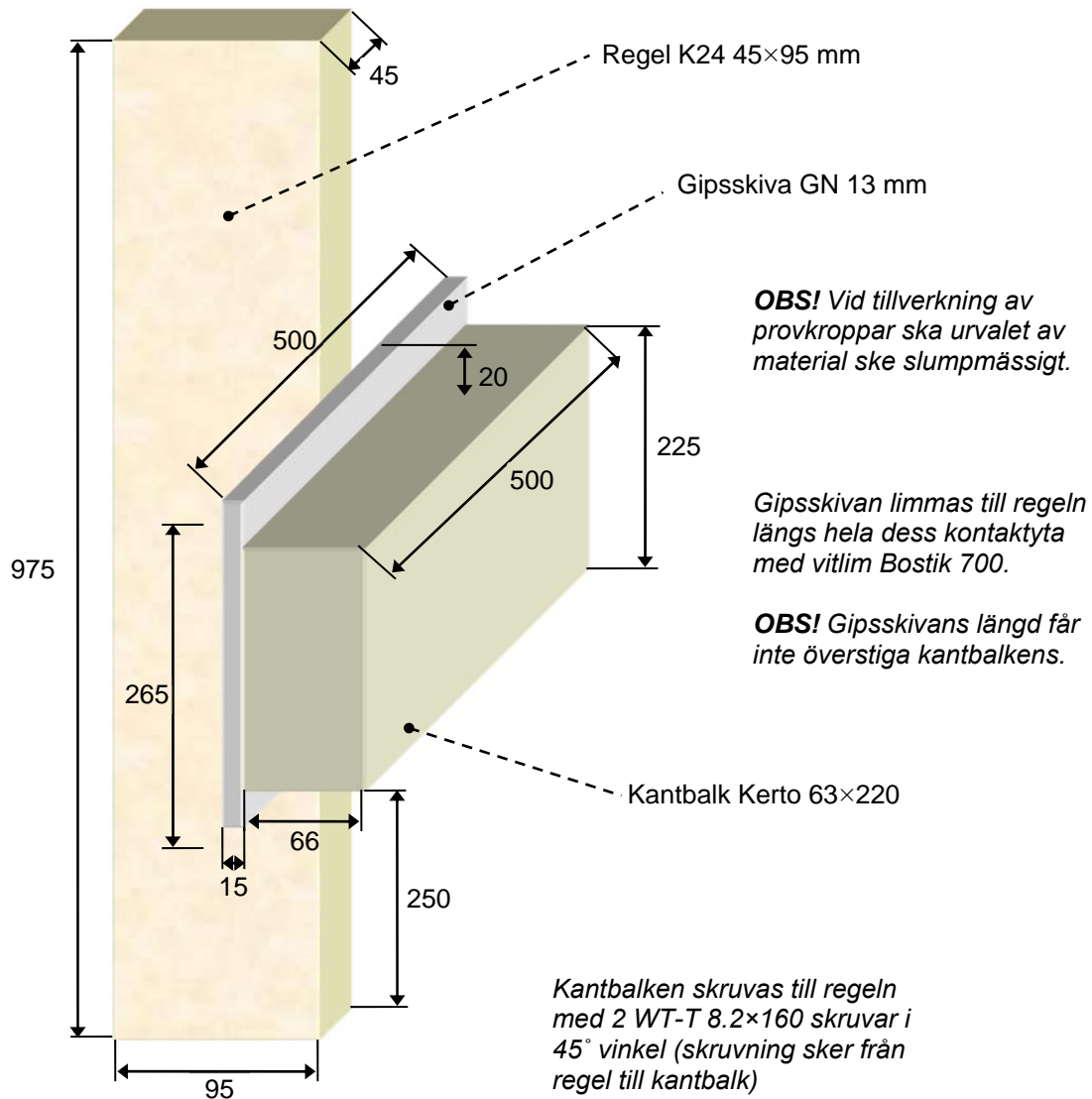
Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -0,966153 P-value = 0,345506

Vi kan alltså inte säga att det är någon skillnad mellan försöksserierna. Detta betyder att infästningen är lika stark oavsett om en skiva passerar i mitten på förbandet eller inte. Inget i analysen tyder på att inte normalfördelning kan antas.

Bilaga 1 – Ritning av provkropp



Appendix D Resultat från brandprover

Om TräCentrum Norr

TräCentrum Norr finansieras av de deltagande parterna tillsammans med medel från Europeiska Regionala Utvecklingsfonden (Mål 2), Länsstyrelsen i Norrbottens län samt Region Västerbotten.

Deltagande parter i TräCentrum Norr är: Lindbäcks Bygg AB, Holmen Timber, Martinsons Trä AB, SCA Forest Products AB, Norra Skogsägarna, Setra Group AB, Sågverken Mellansverige, SÅGAB, Sveaskog AB, Luleå tekniska universitet, Skellefteå kommun och Piteå kommun.

En investering för framtiden



EUROPEISKA
UNIONEN
Europeiska
regionala
utvecklingsfonden