Transportlyft av volymelement för småhus

Jenny Hallevåg

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lund Universitet, 2006

Rapport TVBK - 5144

Avdelningen för Konstruktionsteknik

Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 LUND

Division of Structural Engineering

Lund Institute of Technology
Box 118
S-221 00 LUND
Sweden

Transportlyft av volymelement för småhus

Transport lifting of volume element for houses.

Jenny Hallevåg

2006

Rapport TVBK-5144
ISSN:0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-06/5144+83p

Examensarbete
Handledare: Sven Thelandersson, Camilla Lidgren Persson
Juni 2006

Förord

Examensarbete, 20 poäng, har genomförts på Avdelningen för Konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

Jag skulle vilja framföra ett stort tack till handledarna Sven Thelandersson och Camilla Lidgren Persson för god handledning och stort engagemang. Ett stort tack även till Per-Olof Rosenkvist för all praktisk hjälp i samband med provningarna och förberedelserna inför dem.

Lund, juni 2006

Jenny Hallevåg

Sammanfattning

Titel: Transportlyft av volymelement för småhus

Författare: Jenny Hallevåg

Handledare: Professor Sven Thelandersson, Instutitionen för Bygg- och Miljöteknologi, Avdelningen för Konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskola.
Konstruktionschef Camilla Lidgren Persson, Modulenthus i Hässleholm.

Problemställning: Modulenthus bygger sina hus enligt volymprincipen, vilket innebär att de olika elementen till stommen byggs på olika linjer inne i en husfabrik. Dessa element sammanfogas sedan till större volymer. När volymerna står färdiga kan fönster och dörrar börja monteras och det invändiga arbetet såsom kakling av badrum och iordningställande av kök påbörjas.

De inplastade volymerna transporteras sedan ut till byggplatsen för montering. Huset står färdigt på en dag frånsett en del invändigt arbete såsom rördragningar och eventuell inredning av ovanvåning.

Problem uppstår ibland när man vid transport ska lyfta volymerna till den färdigställda grunden. Lyftpunkten under volymen där vajern ligger emot är förstärkt med plywood i masonitlivet och stålbeslag som fästes i underflänsen på lättbalken. Vajern har i skadefallen troligen lyckats räta ut beslaget och skurit igenom både plywoodskiva och masonitbalk.

Syfte: Utveckla en säkrare detaljutformning vid lyftpunkten genom omkonstruktion av stålbeslaget och ett alternativt skivmaterial som livförstärkning.

Ta fram metoder för att begränsa deformationer i volymerna vid lyft och därmed minska risken för skador på invändiga ytskikt.

Metod: Provkroppar som simulerar lyftpunkten testas i laboratorium på LTH. Proverna som testas får inte vara för långa, eftersom bilder på ett tidigare skadefall tyder på ett skjuvbrott snarare än böjbrott.
Beräkningar av deformationer hos utkragande del av volymen görs.

Slutsatser: K-board som livförstärkning ger bättre resultat än plywooden. Det rekommenderas att man använder fyra stycken 8 mm K-boardskivor på båda sidor i livet. Nuvarande stålbeslag kan användas utan att syllhörnen sågas av, dock tillsammans med K-boarden.

Nyckelord: Max kraft, skjuvbrott, stålbeslag, skivmaterial, lyftalternativ

Summary

Title: Transport lifting of volume elements for houses.

Author: Jenny Hallevåg

Supervisor: Professor Sven Thelandersson, Division of Structural Engineering at Lund University and Camilla Lidgren Persson, Modulenthus in Hässleholm Sweden.

Problem: Modulenthus manufactures houses according to a volume principle, which means that wall and floor elements are produced in a house factory. These elements are then combined to larger volumes. After this the mounting of windows and doors starts and the interior can be installed such as the bathrooms becoming tiled and the kitchen fittings is put in place.

The finished volumes are then transported to the site where the house shall be located. The house assembly takes only one day, but the house is not ready for occupation until additional installations and interior work on the upper floor are completed on site.

Problems sometimes occur when the volumes are lifted. The rim joist at the lifting point which is a wood I-beam, is reinforced with both plywood in the hardboard web and a steel detail attached to the flange of the beam. The wire sometimes damages the volume by deforming the steel reinforcement so that shear failure occurs in the rim joist.

Objectives: To develop the detailing of the lifting point so that damages is avoided.

Propose methods to limit deformations in the volumes during lifting to reduce the risk for shear cracks in the plasterboard over doorways, in tiling and in other interior finishings.

Methods: Test specimens were designed to simulate the loading in the lifting point. These were tested in the laboratory at LTH.
Short test specimens were used, since previous damages indicate shear failure rather than bending failure.

.

Calculations of deformations in the volume during lifting were made for volumes with and without large openings in walls.

Conclusions: K-board as web reinforcement showed better results than plywood in the tests. Recommendations are to use four K-board strips 8 millimetres thick on both sides of the web. Present steel detail, together with the K-board strips, can still be used without sawing off the corners of the sole plate.

Keywords: Maximum force, shear failure, steel reinforcement, panel material, lifting alternatives

Innehållförteckning

1 Inledning 11

1.1 Bakgrund 11
1.2 Syfte 12
1.3 Metod och utförande 12
1.4 Avgränsningar 13
1.5 Frågeställning 13

2 Produktionsprocessen 15

2.1 Modulenthus 15
2.2 Tillverkningen 17
2.3 Masonitbalk 19
2.3.1 Masonit 19
2.4 Husmontage 20

3 Lyft av volymelement 23

3.1 Förstärkning 24
3.1.1 Skivmaterial 24
3.1.2 Stålbeslag 24
3.2 Skadefall 25
3.3 Skjuvning 27
3.4 Utkragande delar av volymen 27
3.5 Lyftalternativ 28

4 Provningar 29

4.1 Provningsmetodik 29
4.2 Försöksserier 30
4.3 Provkropparna 31
4.4 Försöksutrustning 32
4.4.1 Provningsrigg 32
4.4.2 MTS-provningsmaskin 33
4.5 Felkällor 34

5 Resultat 35

5.1 Resultat av provningarna 35
5.2 Resultat av beräkningar 42
5.2.1 Kapaciteter i provkropparna 42
5.2.2 Beräkning av utkragande del av volym 44

6 Analys och diskussion 57

6.1 Analys av provningar 57
6.2 Analys av beräkningar 59

7 Slutsatser 61

8 Referenser 63

Appendix 65

Beräkningar 67
Provresultat 69
Ritningar 79

1 Inledning

För ett par årtionde sedan låg bostadsbyggandet på en mycket hög nivå, på grund av statliga räntesubventioner vid nybyggnation. Dessa subventioner upphörde i början av 90-talet, vilket innebar stora förändringar för byggbranschen. Nybyggandet av bostäder stannade då upp och först nu har det börjat ta fart igen.
Framtida prognoser för byggandet visar ett uppsving av nyproduktion allt eftersom efterfrågan ökar.[1] När bolåneräntan är stadigvarande låg finns det möjlighet för låg- och medelinkomsttagare att investera i ett nyproducerat hus. Statistiken för småhusproduktionen i Sverige under år 2004 visade på en ökning med 10 %.[2]

Färdiga pakethus har blivit ett populärt sätt att bygga bostad. Extra bilagor i kvällstidningar visar på olika alternativa modeller och prisuppgifter för olika företag.[3]
Kommersiell teve har i sitt sommarprogram nyttjat ett färdigt pakethus istället för ett gammalt torp. Under ett veckoavsnitt på 30 minuter visas monteringen av huset.[4]
Även i flerbostadshus har man börjat tillämpa industriellt byggande.

1.1 Bakgrund

Modulenthus i Hässleholm är ett av de husföretag som har märkt av ökad efterfrågan. Extra personal har fått kallas in för att kunna hålla tillverkning i nivå med marknaden.[5] Modulenthus tillverkar bostäder enligt den så kallade volymprincipen. Färdiga vägg-, tak och bjälklagselement produceras på linjer i husfabriken och sätts därefter ihop till större volymer. Volymerna fraktas sedan ut på plats och lyfts över på en tidigare färdigställd grund.
De olika elementen byggs upp av masonitbalkar, vilket viktmässigt är ett lättare alternativ än massivt trä. Masonitbalkar är sammansatta konstruktionselement, med liv av masonit och flänsar av konstruktionsvirke.
Vid högt upplagstryck mot masonitbalken bör man livförstärka med exempelvis plywood vid den resulterande kraften. [6]

[1] http://www.boverket.se besökt 2005-10-18
[2] http://www.finndomo.se/news/item.aspx?id=117388 besökt 2005-10-18
[3] http://expressen.se/index.jsp?d=1664 besökt 2006-01-23
[4] http://www.svt.se besökt 2006-01-12
[5] Lidgren Persson 2005
[6] http://www.swelite.com besökt 2005-11-03

Livförstärkning används av Modulenthus vid lyftpunkten, där en vajer ligger an mot volymen vid lyftet. Först förstärkte man enbart en sida med 15 mm plywood, men har nu börjat förstärka båda sidor dock med urtag för angränsande bjälklagsbalk.

Enbart livförstärkning av plywood är inte tillräcklig för att lyfta volymen utan skador. Modulenthus har därför utvecklat två olika modeller av stålförstärkning, en med tunnare plåt och en med tjockare, som fästes direkt i underflänsen på kantbalken i bottenbjälklaget.

I samband med lyftet från transporten till grunden uppstår ibland problem.
Vajern som vilar mot förstärkningen, rätar ut järnet och skär igenom masonitbalk och plywood. Detta problem har i många fall troligen orsakats av att syllen inte ligger dikt an beslaget. När problemet uppstod tillräckligt många gånger övergick man till att använda förstärkning med tjockare plåt. Trots detta inträffade en skada när systerbolaget Hjältevadshus gjorde ett liknade lyft. Efter detta skadefall övergick Hjältevadshus till att ersätta masonitkantbalken med en Kerto-balk med liknade dimensioner.[7]

1.2 Syfte

Examensarbetet syftar till att kontrollera nuvarande metod med de stålförstärkningar som Modulenthus använder. Modulenthus önskar en ny utformning av beslaget, eftersom svetsen gör att man måste såga av hörnan på syllen. Möjligheten att använda ett alternativt skivmaterial för förstärkning av livet i masonitbalken för att öka säkerheten bör också undersökas.

Ett annat syfte är att hitta metoder för att begränsa deformationer vid lyft, särskilt då volymerna har stora öppningar. Alltför stora deformationer riskerar att ge skador på invändiga ytskikt.

1.3 Metod och utförande

Fokus i arbetet ligger på experimentella försök som görs i laboratoriet på Lunds Tekniska Högskola. Provkroppar byggs för att efterlikna lyftpunkten, men med olika förutsättningar. Skillnaderna mellan proverna är olika stål- och livförstärkningar samt varierande avstånd mellan syll och stålbeslag.
Provningarna avser att undersöka maximal lyftkapacitet.

[7] Lidgren Persson 2005

Deformationsberäkningar på utkragande volymdelar görs. Några typfall som ett med två skivbeklädda väggar och ett annat med en yttervägg och öppning på motsatt sida beräknas. Bärförmågan hos olika skivbeklädda väggtyper kontrolleras.

1.4 Avgränsningar

Försöken syftar enbart till att testa lyftpunkten och förstärka den på bästa sätt med en ekonomisk lösning. En Kerto-balk hade kanske varit intressant att prova och jämföra med, men endast kapacitetsberäkningar är gjorda på en sådan.
Deformationsberäkningar har gjorts för några typfall, men många andra kombinationer finns.

1.5 Frågeställning

Hur varierar kapaciteten i lyftpunkten med

- Skivmaterialet
- Stålförstärkningen
- Avstånd mellan syll och stålbeslag

Hur påverkas invändiga ytskikt av

- Stora skjuvkrafter vid exempelvis dörrkarmar
- Nedböjning av utkragande delar

2 Produktionsprocessen

Finndomo är ett av Nordens största småhusföretag och har 65 års verksamhet på husbyggnadsmarknaden. Inom Finndomokoncernen ingår Modulenthus och Hjältevadshus i Sverige och Vaajatalot, Puutalo och Omatalo i Finland.
Finndomo har en årlig omsättning på cirka 1,2 miljarder kronor och företaget räknar med att de har byggt över 100 000 hus under sin verksamma tid.[8]

Husproduktionen ligger på ungefär 1500 hus per år, styckehus såväl som grupphus. Satsningen på att bygga flerbostadshus har resulterat i ungefär 200 stycken årligen. Den främsta marknaden finns i Norden och i Baltikum.[9]

Finndomos affärsidé är att erbjuda modernt kvalitativt boende för både privatpersoner och byggbolag. Ansvaret ligger i deras händer fram till den slutliga leveransen, vilket även innefattar ansvar för montage och slutliga installationer på plats tills husen är inflyttningsklara. Men kunderna har också möjlighet att enbart köpa stommen till huset och sedan själva göra det invändiga arbetet, så kallade Smart start-hus.[10]

2.1 Modulenthus

Modulenthus ingår sedan år 2001 i Finndomo-koncernen och har sin husfabrik i Hässleholm i södra Sverige.[11]
Modulenthus är den delen av koncernen som erbjuder moderna bostäder med mycket glas och olika vinklar. Ett exempel på denna typ av hus är Allegro, se figur 2-1.
Hjältevadshus, som är den andra svenska husfabriken, står för det mer traditionella gamla trähuset, som Astrid Lindgrens Bullerbyn.[12]

[8] http://www.modulent.se/foretaget/finndomo.asp besökt 2005-10-20
[9] http://www.finndomo.se/company/inshort.aspx besökt 2005-10-20
[10] http://www.finnsmartstart.se/ besökt 2006-01-31
[11] http://www.modulent.se/foretaget/finndomo.asp besökt 2005-10-20
[12] http://www.hjaltevadshus.se besökt 2005-10-20

Figur 2-1. Hustypen Allegro.

Precis som resten av koncernen tillverkar Modulenthus bostäder i en husfabrik enligt volymprincipen, vilket innebär att man tillverkar tak-, vägg- och bjälklagselement som byggs ihop till större volymer. Fördelen med denna tillverkningsprocess är att man kan jobba under optimala förhållanden och slipper tänka på väderleken utomhus. Detta ger en gynnsammare miljö för konstruktionen och risken för fuktproblem under produktionsstadiet minimeras. Även byggarbetarna gynnas av dessa förhållandena.[13]

[13] Rum Projekt #11 2005

2.2 Tillverkningen

Tillverkningen av elementen till stommen sker på olika produktionslinjer i fabriken. För exempelvis ytterväggelement byggs regelstommen upp, ångspärras och därefter spikas det invändiga skivmaterialet på. Nästa steg är isolering av väggen och spikning av utegips och fasad, varefter elementet är färdigt för sammanfogning, se figur 2-2 och 2-3.

Figur 2-2. Väggelement med ångspärr.

Figur 2-3. Utegipsen spikas på efter att elementet har blivit isolerat.

Vägg- och bjälklagselement sammanfogas till volymer, se figur 2-4. På de färdigställda modulerna monteras därefter dörrar och fönster.

Figur 2-4. Element monteras ihop till större volymer.

Nästa steg är invändigt arbete med eldragningar, tapet- och kakelsättning. Köket med tillhörande vitvaror monteras, se figur 2-5.
Volymerna lastas med diverse extramaterial, som kan vara exempelvis golv- och skivmaterial till ovanvåning.

Figur 2-5. Det invändiga arbetet börjar ta form.

Slutligen plastas hela volymen in med transportemballage, som en förberedelse för transport. I de fall då volymen har större öppningar, sätts en regel ovan lyftpunkten. Allt extramaterial som inte ingår i huset till exempel regeln kastas i samband med slutmontering.[14]

Från det att kunden beställer huset tar det normalt 10-15 veckor innan volymerna kan transporteras ut till byggplatsen och börja monteras. Själva monteringen tar en dag och därefter återstår bara mindre installationer innan husen står inflyttningsklara.[15]

[14] Lidgren Persson 2005
[15] Rum Projekt #11 2005

2.3 Masonitbalk

Stommen i husen som Modulenthus tillverkar är uppbyggd av lättviktsreglar eller masonitbalk som de även kallas. Masonitbalken är ett sammansatt konstruktionsmaterial, där flänsarna består av konstruktionsvirke av klass C30 eller C24 och livet av 8 millimeters K-board[16], se figur 2-6.

Figur 2-6. Masonitbalk i olika dimensioner.

Masonitbalkarna reducerar också köldbryggor med sin I-profil för att hålla nere energikostnaderna. Enligt tillverkaren är det också ett miljövänligare alternativ då 80 % av trädets volym kan utnyttjas.[17] Dock finns det vissa föreskrifter vid höga upplagstryck, livet i balken bör då förstärkas med plywood eller annat skivmaterial.

2.3.1 Masonit

Materialet masonit tillverkas av flis och kutterspån som tillsammans med vattenånga, under hög tryck och hög temperatur, genomgår en process och finfördelas till långa fibrer.
Fibrerna blandas sedan med hjälpkemikalier och bindemedel för att sedan pressas till stora skivor.[18]
Fördelen med masonit, om man jämför med plywood, är att det har en hög skjuvkapacitet.

[16] http://www.swelite.com besökt 2005-11-03
[17] ibid.
[18] http://www.masonite.se besökt 2005-12-12

2.4 Husmontage

Husmonteringen som utförs av en inhyrd monteringsfirma är avklarad på en arbetsdag. Fördelen med industriellt byggande är att vid dåligt väder finns möjlighet att skjuta upp monteringen några dagar.
Transporten av volymerna utgår tidigt på morgon från Hässleholm för att slippa värsta rusningstrafiken. Det krävs en varningsbil som indikerar för bred last, eftersom bredderna på modulerna är över 3,10 m och inte godkänns på vägarna utan eskort.[19]

Ett hus kan bestå av allt mellan två och fyra moduler och storleken kan variera, men maxlängd på 13 m och maxbredd på 4 m får inte överskridas.[20]
När transporterna är på plats, kan man börja lossa första lastbilen. Transporterna rymmer inte enbart volymerna utan kan också vara lastade med diverse extramaterial såsom takkupor eller garageväggar, om kunden även beställt det.

När allt extra material är avlastat kan första modulen förberedas. Transportpersenningen skärs loss och lyftkranen förbereds med vajrar som ska lyfta volymen. Vajrarna leds in i lyfturtaget och volymen är lyftklar, se figur 2-7 och 2-8.

Figur 2-7. Förberedelser inför lyftet.

[19] http://www.vv.se besökt 2005-12-13
[20] Lidgren Persson 2005

Figur 2-8. Sista modulen lyft på plats.

Efter att alla volymer som utgör bottenplan har lyfts på plats påbörjas monteringen av taket, se figur 2-9.
Om tiden tillåter läggs även takpannorna på, elen kopplas in och värmen sätts på innan man avslutar dagens arbete.
Dock kvarstår lite extra arbete innan huset står inflyttningsklart, beroende av vilken hustyp och planlösning man valt. Om huset har ovanvåning skall väggarna där byggas upp och eventuellt badrum ska kaklas. Inflyttningstidpunkten kan variera allt mellan en och fyra veckor efter husmontaget.

Figur 2-9. Montering av taket.

3 Lyft av volymelement

Ett kritiskt moment är när man ska lyfta volymelementet från lastbilstransporten över till grunden. I de fall det har gått illa har vajern skurit igenom och lokalt förstört kantbalken. Andra problem som kan uppstå är skador på invändiga ytskikt, detta när utkragande delar deformeras.

Lyftvajern läggs i urtag med stålförstärkning som man förberett under tillverkning, se figur 3-1. Modulenthus använder inget lyftok när volymerna lyfts, utan de två vajrarna läggs dubbelt under volymen och hängs direkt i kroken på lyftkranen, se figur 3-2.

Figur 3-1. En modul lyfts på plats.

Figur 3-2. Vajern läggs dubbel i stålförstärkning.

3.1 Förstärkning

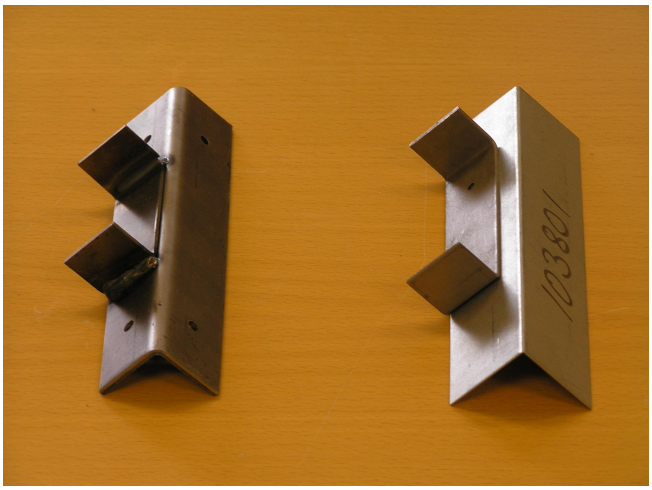
3.1.1 Skivmaterial

Skivmaterialet som förstärker livet ovan lyfturtaget är i Modulenthus tillverkning 15 mm plywood. Tidigare förstärktes enbart masonitlivet med en plywoodskiva spikad på ena sidan, men i samband med påbörjandet av examensarbetet ändrade man till att förstärka med skivor på båda sidor av livet. Plywoodskivan på baksidan delas i två delar eftersom infästning av bjälklagsbalken sker mittför skivan.

Plywood är uppbyggt i ett udda antal faner där fiberriktingen i vartannat lager är vinkelrät mot översta och understa skiktet.
En nackdel med plywood är att det är beroende av hur man placerar fiberriktningen i yttersta skiktet. När man ska tillgodoräkna sig maximal tryckkapacitet i skivor så får man endast räkna med de faner vars fiberriktning är parallella med påkänningsriktningen.[21] Detta kan leda till att bärförmågan reduceras med 40 % i plywoodskivor som är uppbyggd med fem stycken faner.

3.1.2 Stålbeslag

Enbart livförstärkning av skivmaterial är inte tillräcklig för skadefria lyft, därför har Modulenthus konstruerat en stålförstärkning som fästes vid lyftpunkten.
Två alternativ till stålbeslag används i Modulenthus tillverkning, se figur 3-3 samt appendix Ritningar.



Figur 3-3. Två olika varianter av beslag.

[21] Isaksson – Mårtensson, *Tabell och Formelsamling*, Avdelningen för Konstruktionsteknik LTH 2000

Stålbeslaget till vänster i figur 3-3 har plåttjocklek 3 millimeter och är bockad 90^0. Den spikas fast i underflänsen med fyra spik.
Detta beslag är numera standard i Modulenthus tillverkning. Problemet med beslaget är svetsen som bygger ut och gör att syllen inte kan läggas dikt an.

Beslaget till höger i figur 3-3 är tunnare och består av 1 millimeters bockad plåt. Även denna konstruktion spikas i underflänsen, innan man monterar syllen.

3.2 Skadefall

Antal skadefall per år ligger på ungefär två stycken för Modulenthus, men systerbolaget Hjältevadshus som lyfter med samma metod har liknade problem.[22]
En bidragande orsak till skadan beror sannolikt på slarv vid tillverkningen, syllen läggs inte dikt an mot stålbeslaget och vajern gör då att U-profilen rätas ut och vajern kan börja glida och skära igenom både masonitbalk och plywood, se figur 3-4.[23]
Problemet med den svetsade stålförstärkningen är att syllen inte kan läggas dikt an mot beslaget. Detta löser Modulenthus genom att såga av hörnen på syllen[24], men det är ett tidskrävande arbete som man helst vill slippa.

Figur 3-4. Vajern har skurit igenom masonitkantbalken.

På senare år har modulerna blivit allt tyngre, husköparna väljer numera att kakla badrum istället för att lägga in plastmatta.
När modulen dessutom lastas med extra material exempelvis till ovanvåning, leder det till att volymerna blir överlastade och tyngden i många fall ojämnt fördelad.

[22] Lidgren Persson 2005
[23] ibid.
[24] ibid.

Man är på Modulenthus medveten om den extra lasten och försöker i görligaste mån fördela den så att jämvikt uppnås.[25]
Figur 3-5 visar en ojämnt lastad volym, viktfördelningen beräknades till 10 ton på ena sidan och 4 ton på andra. Detta motsvarar en last på ungefär 50 kN i en av lyftpunkterna, vilket ledde till brott.[26]

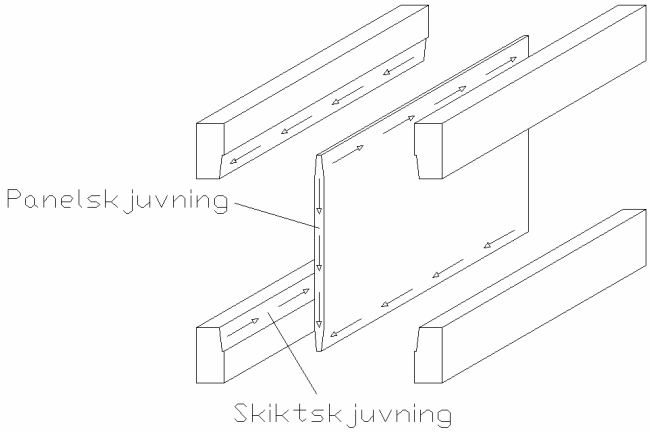
Figur 3-5. Vajern har skurit igenom på ett Hjältevadshus. Ett tydligt exempel på ojämn fördelning av vikten.

Normalvikterna på volymerna hos Modulenthus varierar, men kan uppgå till 13 ton[27]. Vid jämn fördelning motsvarar detta en vertikalkomponent på ungefär 32 kN per lyftpunkt.
Kraften som verkar i vajern blir dock större än vertikalkomponenten eftersom vajern är vinklad när man lyfter volymerna. Vid en vertikal komponent på 32 kN och en vinkel på 70^0 mellan vajer och syll blir vajerkraften 34 kN. Vinkeln påverkar därför hur stor vertikalkomponenten är.

[25] ibid.
[26] ibid.
[27] ibid.

3.3 Skjuvning

I en sammansatt konstruktion finns det två fall av skjuvning, skiktskjuvning och panelskjuvning, se figur 3-6.
Vid sammansatta konstruktionselement av typen masonitbalk är limfogen mellan fläns och liv en svag punkt där skiktskjuvning kan uppstå. [28] Detta är inte aktuellt i samband med lyftet.
Panelskjuvning innebär skjuvpåkänningar i balklivet och är troligen en kritisk brottmod vid skadefallen då vajern skär igenom.



Figur 3-6. Olika fall av skjuvning i en sammansatt konstruktion.

3.4 Utkragande delar av volymen

Med den lyftteknik som Modulenthus använder sig av, kragar en volymdel ut vid var sida om lyftpunkterna. Risken för skjuvsprickor i skivmaterialet vid stora tvärkrafter är påtaglig, främst då en dörr eller ett fönster är placerat ovan lyftpunkten.
Modulenthus använder hela gipsskivor ovan dörr- och fönsterkarm för att skjuvning vid lyftet inte ska ge skador vid skarvarna. Man utnyttjar även plywood under gipsmaterialet. Men risken finns att vid för hög last och när utkragande del är för lång att skjuvsprickor ändå uppstår.

[28] Danewid – Isaksson – Johansson, *Träkonstruktioner,* Avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH 2001

Ett annat problem är när den utkragande delen vill deformeras med risk för skador på invändiga ytskikt. Vid stora öppningar i volymerna finns inget skivmaterial som styvar upp, utan lasten måste tas av ytterväggen mittemot öppningen.
För att överhuvudtaget kunna lyfta en sådan modul så måste man ha något som överför kraften. Modulenthus sätter därför upp en regel mittför lyftpunkten, se figur 3-7.

Två olika alternativ av utkragande delar har undersökts, dels med fallet yttervägg – innervägg och dels fallet yttervägg - öppning.
Åtgärder för att förhindra skador på invändigt ytskikt föreslås.

Figur 3-7. En enstaka regel används för att staga upp ovan lyftpunkten.

3.5 Lyftalternativ

Som tidigare nämnt lyfter Modulenthus volymerna underifrån med en vajer som läggs ner om volymen och hängs direkt i lyftkroken på kranen. En alternativ lyftmetod är att använda sig av ett lyftok.
Vid ett lyft med ok slipper man vinklade krafter, som troligtvis är en bidragande orsak till att vajern rätar ut stålbeslaget. Vid produktion hade man inte behövt såga av hörnen på syllen. Fler lyftpunkter än de två som nu används hade varit möjliga.

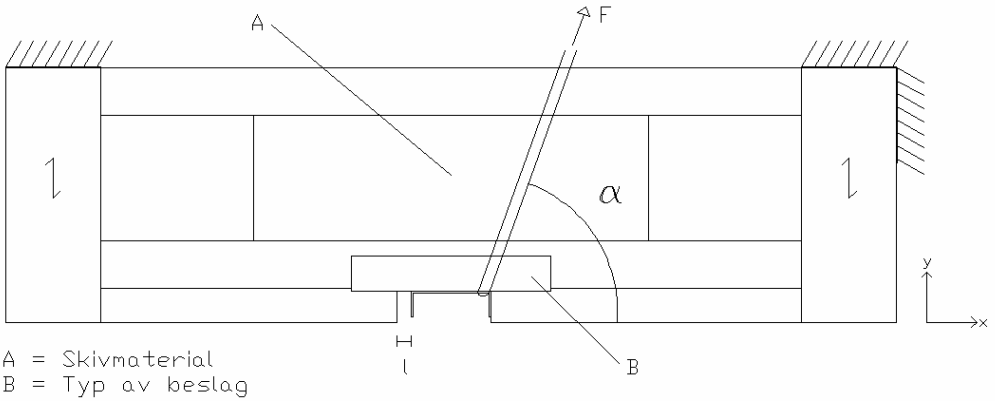
Ett annat alternativ är topplyft, där man lyfter i ovankant av volymen, vilket hade varit en stor fördel då grunden hade varit annorlunda utformad exempelvis platta på mark. Problemet med den lyfttekniken är hitta lösningar för att placera dragstag som tar upp dragspänningar som bildas i volymen och hitta möjligheter att kunna bygga in dem redan i produktionen.
Ett parallellt examensarbete som skall utforma en platta på mark pågår vid avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH. Där måste en alternativ lyftmetod utredas.

4 Provningar

För att kunna dra slutsatser om nuvarande förstärkningar eller omkonstruera lyftpunkten måste en testmetod som efterliknar lyfttekniken användas. Samtliga provkroppar belastas med hjälp av en 10 mm vajer som läggs dubbel i urtaget. Man åstadkommer ett tryckprov, då en tryckande kraft i vajern ligger an mot stålförstärkningen.

4.1 Provningsmetodik

Provkropparna byggs upp enligt figur 4-1 med förstärkningar i ändarna där mothållande krafter verkar. Provningarna utförs med två olika lägen på provkroppen, vilket innebär att vinkeln α skiljer sig. I en del provningar används en vertikalt verkande kraft vinkelrät mot kantbalkens längsriktning, $\alpha = 90^0$.
För att provningen mer ska efterlikna lyftet vinklas hela provkroppen med 70^0 vinkel mellan vajer och syll. Man uppnår då en resulterande kraft med komposanter både i x- och i y-led.
Den vertikala provningen omfattar totalt fyra provkroppar. Resultatet av den maximala kraften i vertikala mätningar jämförs med vinklade provningar och beräkningar.



A = Skivmaterial
B = Typ av beslag

F = Kraft i vajer

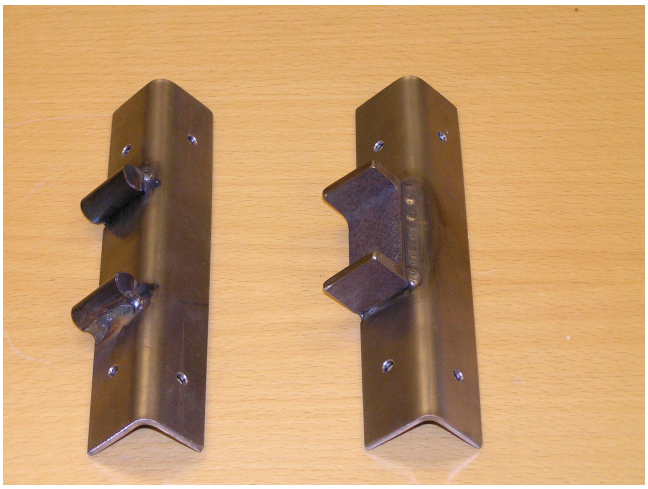
l = Avstånd mellan beslag och syll

α = Vinkel mellan horisontalplan och kraft

Figur 4-1 Provkropp med verkande vajerkraft.

4.2 Försöksserier

Prover med de olika stålförstärkningarna både tunnare och tjockare plåten har testats, se figur 3-3, men fokus ligger på den kraftigare förstärkningen då den för närvarande används i tillverkningen. Två nya stålbeslag har utvecklats och testats, se figur 4-2 och appendix Ritningar K3 och K4.



Figur 4-2. Nya stålbeslag.
Rundjärnsbeslag (till vänster) och standard U-balksbeslag (till höger).

Enstaka prover med plywood enbart på en sida testas, annars tillverkas de flesta provkroppar med skivor på två sidor. Alternativa skivmaterial såsom K-board som ersättning för plywood provas.
Proverna byggs med olika avstånd ℓ mellan syll och stålbeslag. Dikt an beslaget, 5 millimeter som svetsen bygger ut eller med 30 millimeters glapp, se figur 4-1.
Några tester på Kerto-balkar har inte gjorts, däremot redovisas beräknade kapaciteten på 45 x 225 mm i tabell 6-1. Där redovisas också beräkningar av tryck- och skjuvkapacitet för de två olika skivmaterialen.

En noggrannare redovisning av försöksserierna finns i tabell 4-1.

Försöks-nummer	Beslag (mm) **B**	Skivmaterial **A**	Avstånd mellan syll och beslag (mm) **l**	Kraftvinkel **α**
1, 9	1 mm	Plywood (1 sida)	0 mm	90^0
2, 10	1 mm	Plywood (1 sida)	0 mm	70^0
40, 41	3 mm	Plywood (2 sidor)	5 mm	90^0
5, 6, 7	3 mm	Plywood (2 sidor)	0 mm (avsågat)	70^0
4, 8, 11, 12	3 mm	Plywood (2 sidor)	5 mm	70^0
13, 14, 15	3 mm	Plywood (2 sidor)	30 mm	70^0
16, 17, 18	3 mm	K-board (1 sida á 2 skivor)	5 mm	70^0
19, 20, 21	3 mm	K-board (1 sida á 2 skivor)	30 mm	70^0
22, 23, 24	3 mm	K-board (2 sidor á 2 skivor)	5 mm	70^0
25, 26, 27	3 mm	K-board (2 sidor á 2 skivor)	30 mm	70^0
28, 29	3 mm	K-board (2 sidor á 2+1 skiva)	30 mm	70^0
30, 31	Med rundjärn	K-board (2 sidor á 2 skivor)	0 mm	70^0
32, 33	Med rundjärn	K-board (2 sidor á 2 skivor)	30 mm	70^0
34, 36	Med U-balk	K-board (2 sidor á 2 skivor)	0 mm	70^0
37, 38	Med U-balk	K-board (2 sidor á 2 skivor)	30 mm	70^0

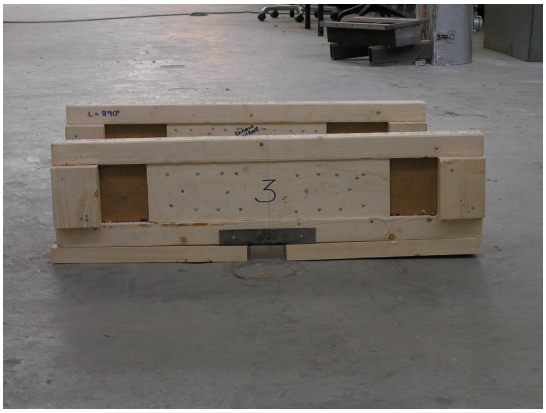
Tabell 4-1. Försöksserier.

4.3 Provkropparna

Efter att ha studerat figur 3-4 som visar en skadad kantbalk, så kan man se att det är ett lokalt brott och att det med största sannolikhet beror på skjuvning.
För att åstadkomma ett skjuvbrott vid provningarna, så måste man hitta en optimal längd på provkropparna. Momentkapaciteten för masonitbalken måste vara högre än fältmomentet för provet, för att inte uppnå böjbrott. För beräkningar, se appendix Beräkningar.

Provkropparna är byggda för att simulera kantbalken vid lyftpunkten se figur 4-3. I verkligheten ligger det en angränsande bjälklagsbalk, mittför urtaget i syllen. Troligtvis påverkar denna balk inte testresultatet, men stödjer upp så att vajern inte knäcker kantbalken i veka riktningen.

Upplagsförstärkningen i ändarna på provkropparna har efter fjärde provningen omkonstruerats, på grund av att upplagen gick till brott först.



Figur 4-3. Provkropparna innan upplagsförstärkningen omkonstruerades.

4.4 Försöksutrustning

4.4.1 Provningsrigg

I provningsriggen kan både drag och tryckprov genomföras, se figur 4-4.
Med hjälp av en domkraft kan drag åstadkommas och maximal kapacitet mäts med en lastcell. Kolven som används vid dragprovning i provningsriggen kan belastas upp till 5 ton. Därför har denna rigg endast kunnat användas för prover med en maxkraft under 50 kN, men om kapaciteten är högre måste annan metod användas. I de första fyra försöken utnyttjades provriggen i figur 4-4, men till resterande prover användes en MTS-provningsmaskin.

Följande data gäller för provriggen i figur 4-4.
Slaglängd: 140 mm [29]
Mätområde: 0 – 50 kN
Mätnogrannhet: 0,05 % av mätområdet [30]
Styrning: Manuell

[29] Rosenkvist 2006
[30] Rosenkvist 2006

Figur 4-4. Provriggen.

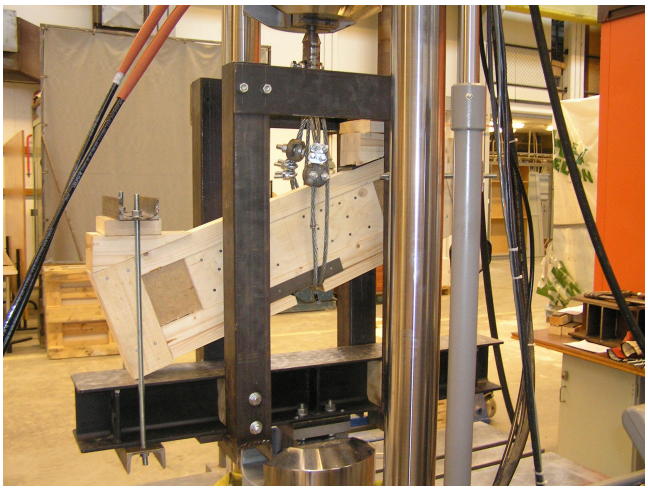
4.4.2 MTS-provningsmaskin

MTS-maskinen kan nå upp till krafter på 500 kN. Följande data om MTS-maskinen finns att tillgå på Konstruktionstekniks hemsida[31]:

Användningsområde: Statiska och dynamiska tryck- och dragförsök
Slaglängd: ± 125 mm
Mätområde: 0 – 500 kN
Mätnogrannhet: 0,01 % av mätområdet
Styrning: Med hjälp av dator
Belastningshastighet: 10 mm/s

Figur 4-5 visar ställningen som fått byggas upp för att kunna skapa de mothållande krafter som krävs. Den håller emot både i ovankant och i sidled.

[31] www.kstr.lth.se besökt 2006-01-30



Figur 4-5. MTS-maskinen.

4.5 Felkällor

I en del försök har tre provningar med samma förutsättningar gjorts, men i många fall har enbart två stycken provats. Anledningen till detta är fel vid tillverkningen av provkropparna, se tabell 4-1.

U-balksprofilen i det nya stålbeslaget är inte den dimension som visas på ritningen i appendix Ritningar K4, utan där testades U60 som är en storlek större. Det som skiljer U60 från U50x25 är bredden som är 10 mm större och godstjockleken i botten på balken som är 1 millimeter större än i U50x25.
Ytterligare en skillnad är att flänsarna på U60 är 5 mm högre, så därför tvingades man att kapa av lite på höjden innan man svetsade ihop delarna.

5 Resultat

5.1 Resultat av provningarna

De redovisade resultaten i tabell 5-1, 5-2 och 5-3 är medelvärdet av provningarna, se appendix Provresultat för enskilda mätvärden.
Resultaten av kraften i de vinklade försöken är omräknade utifrån en vinkel på 70^0 mellan vajer och undersida provkropp. Redovisad max kraft i tabellerna är således vertikalkomposanten av kraften i vajern.

Benämning av beslagstyp
A – bockad U-profil med 1 mm plåt
B – bockad U-profil med 3 mm plåt
C – rundjärn med 3 mm plåt
D – standard U-profil med 3 mm plåt

Provningar med plywood som skivmaterial

Provningar med beslagstyp A är uppbyggda med en 15 mm plywoodskiva, medan beslagstyp B har två skivor plywood på vardera sidan om masonitlivet.

Typ av stålbeslag	Avstånd mellan syll och beslag (mm)	Medelvärdet av provningarna (kN)
A	0	36,3
B	0	49,4

Tabell 5-1. Resultat av provningar med vertikal kraft.

Typ av stålbeslag	Avstånd mellan syll och beslag (mm)	Medelvärdet av provningarna (kN)
A	0	30,7
B	0	47,6
B	5	41,0
B	30	43,7

Tabell 5-2. Resultat av provningar med vinklad kraft.

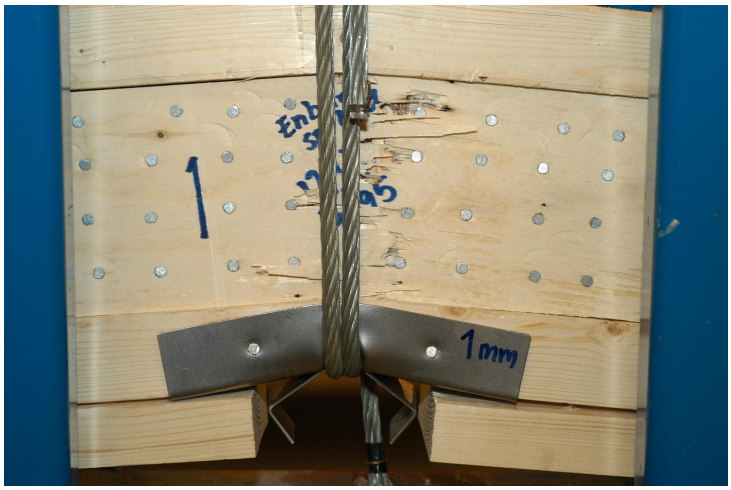
Provningar med K-board som skivmaterial

Provkropparna är uppbyggda med olika antal 8 mm K-boardskivor.

Typ av stålbeslag	Antal skivor	Avstånd mellan syll och beslag (mm)	Medelvärdet av provningarna (kN)
B	2	5	43,0
B	2	30	38,3
B	4	5	52,2
B	4	30	46,0
B	3	30	44,7
C	4	5	49,7
C	4	30	52,5
D	4	0	49,1
D	4	30	50,7

Tabell 5-3. Resultat av provningar med vinklad kraft.

Figur 5-1 visar ett tydligt brott i plywooden vid test med vajer som drages vertikalt. Provkroppen i figuren är uppbyggd med en 15 mm plywoodskiva och beslagstypen A.



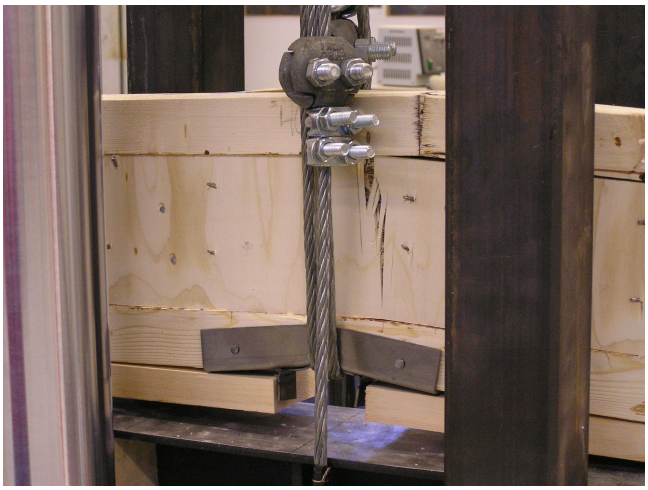
Figur 5-1. Brott i provkropp, nr 1 med beslagstyp A.

Figur 5-2 och 5-3 visar brott i en provkropp uppbyggd likt figur 5-1, men som belastas med en vinklad kraft.

Figur 5-2. Brott i skivmaterial och fläns.

Figur 5-3. Brott igenom masonitlivet.

Figur 5-4 och 5-5 visar brott i plywoodskiva för provkroppar byggda med plywood på båda sidor om masonitlivet.



Figur 5-4. Brott i plywoodskivan vid vertikalt test.

Figur 5-5. Brott i plywooden vid vinklat test med avsågat syllhörn.

I rapporten har diskuterats om att då syllen inte ligger dikt an stålbeslaget, så kan järnet rätas ut och vajern skära igenom både skiva och masonitbalk. För att försöka åstadkomma ett sådant beteende lades vajrarna på varandra och mot sidan på U-profilen.
I figur 5-6 kan man se att järnet har rätats ut, men att vajern inte skar igenom utan låg kvar i samma position utan att börja glida. Möjligtvis om provkroppen varit vinklad mer hade kanske vajern börjat glida för att så småningom skära igenom.

Figur 5-6. U-profilen rätas ut då vajern ligger emot.

Figur 5-7 och 5-8 visar brottbilden i K-board med olika avstånd mellan syll och stålbeslag.

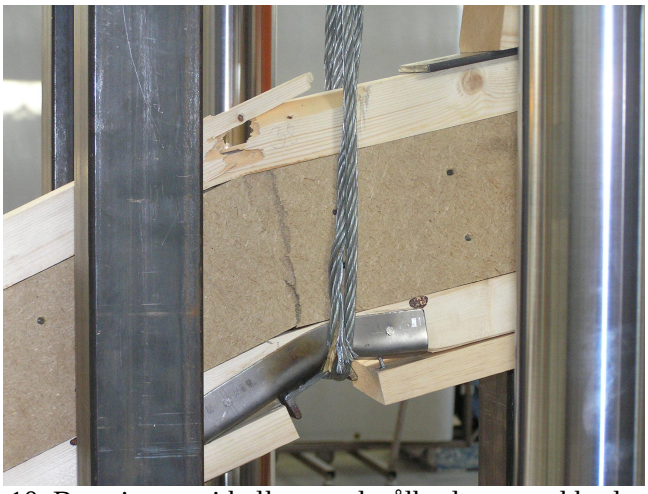
Figur 5-7. Brott i K-boardskivan, syll placerad mot svets.

Figur 5-8. Brott i K-boardskivan, syll med 30 mm avstånd från beslag.

Brottbilden i figur 5-9 är svår att se på bilden, men den löper i samma riktning som vajern. Provkroppen i figuren är byggd med beslagstyp C.

Figur 5-9. Brott uppnått i provkropp med beslagstyp C.

Figur 5-10 visar provkroppen uppbyggd med fyra K-boardskivor och beslagstyp D efter brott. Problemet med provningar av standardbeslaget var att vajern låg och skavde mot en vass kant på U-profilen och vid högre krafter skars vajern delvis av.



Figur 5-10. Brott i masonitbalken med stålbeslaget med beslagstyp D.

Skillnaden mellan beslagstyp B och D är godstjockleken. Den bockade profilen har en tjocklek av 2 mm, medan standard-profilen har ett gods som är mellan 5,0 och 6,0 mm tjockt. Detta gör att den sistnämnda inte har lika lätt för att rätas ut, se figur 5-11 och jämför med figur 5-6.

Figur 5-11. Beslagstyp D rätas inte ut.

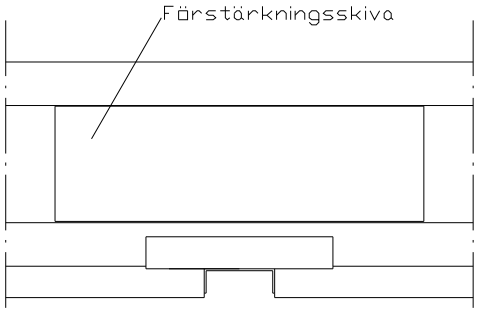
5.2 Resultat av beräkningar

5.2.1 Kapaciteter i provkropparna

I beräkningar nedan antas att bara förstärkande skivmaterial tar hand om tvärkraften. Dock har masonitbalken en karakteristisk tvärkraftskapacitet på 19,7 kN.
I lyftpunkten är brottet lokalt och beror troligen på skjuvning.

Panelskjuvning

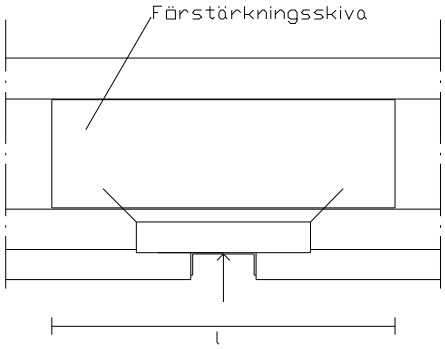
Karakteristiskt värde för panelskjuvning betecknas f_{pk}.
Kapacitet vid lyftpunkten



Förstärkningsskiva	K-plywood P30	f_{pk}= 3 MPa
	K-board K40	f_{pk}= 14 MPa

Tryck parallellt skivans plan

Karakteristiskt värde för tryck betecknas f_{ck}.
Kapacitet vid lyftpunkten



Förstärkningsskiva	K-plywood P30	f_{ck}= 25 MPa
	K-board K40	f_{ck}= 22 MPa

Stålförstärkningen sprider ut kraften över kroppen, på en bredd som antas till 250 mm. En vinklad kraft ger dock en mindre tryckyta, vilket leder till något reducerad tryckkapacitet.

Alternativ 1

Plywood enbart på en sida
Dimension 15 x 124 x 395

Alternativ 2

Plywood på två sidor
Dimension 15 x 124 x 395

Alternativ 3

K-board K40
Enbart en sida á 2 skivor
Dimension 8 x 124 x 395

Alternativ 4

K-board K40
Två sidor á 2 skivor fram och 1 skiva bak
Dimension 8 x 124 x 395

Alternativ 5

K-board K40
Två sidor á 2 skivor
Dimension 8 x 124 x 395

Alternativ 6

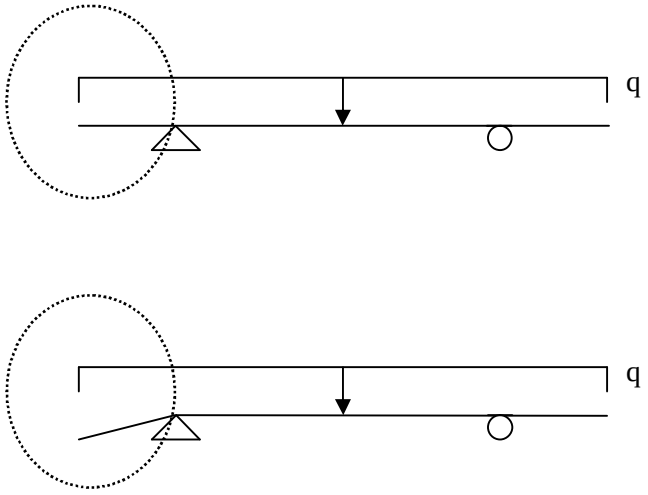
Kerto-balk
Dimension 45 x 220 mm

	Alt. 1	**Alt. 2**	**Alt. 3**	**Alt. 4**	**Alt. 5**	**Alt. 6**
Panelskjuvning (kN)	5,6	11,2	27,8	41,7	55,6	60,8
Tryckkapacitet (kN)						
3 st aktiva faner	56,3	112,5	88	132	176	91,1
2 st aktiva faner	37,5	75				

Tabell 6-1. Kapaciteter i provkropparna.

5.2.2 Beräkning av utkragande del av volym

Risk för skjuvsprickor föreligger vid dörr- och fönsteröppningar och i kakel, då tvärkraften är för hög. Detta kan inträffa då lyftpunkten är placerad precis under dörrkarm.
Ett annat problem kan vara när utkragande delar vill böja ner, det finns då stor risk för skador på invändiga ytskikt.

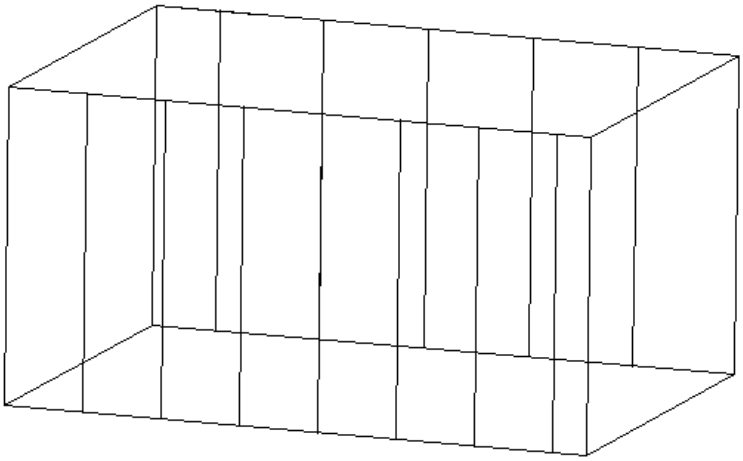


Figur 6-1. Förenklad bild av en modul som lyfts. Beräkningarna i fallen nedan avser markerad del på volymen.

q = egentyngd, volym + extra material
Volymbredd 4 m

Fall 1 Yttervägg - innervägg

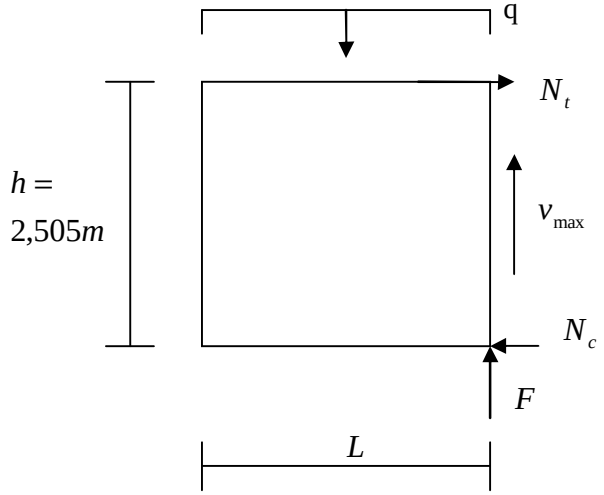
Yttervägg uppbyggd med 9 mm utegips, 13 mm innegips och innervägg med enbart innegips 13 mm.



Figur 6-2. Tredimensionell bild av utkragande del. Två väggelement mittemot varandra.

Beräkning av bärförmåga

I figur 6-3 betraktas konstruktionen som en hög balk, där masonitkantbalkarna utgör drag- och tryckfläns och skivorna fungerar som liv.[32]



Figur 6-3. Skivkrafter i ett väggelement med jämnt utbredd last.

[32] Carling, *Dimensionering av träkonstruktioner,* AB Svensk Byggtjänst 1992

$$F = q \cdot L$$

$$N_t = N_c = \frac{M}{h} = \frac{q \cdot L^2}{2} \cdot \frac{1}{h}$$

Skjuvflödet $v_{\max}$ (N/m) bestäms ur

$$v_{\max} = \frac{V}{h} = \frac{q \cdot L}{h}$$

Max. utbredd last q_{vmax} mht skjuvflödet $v_{\max}$.

Väggskivan av gips begränsas av att kraften i spikarna inte får överskrida dimensioneringsvärdet på hållfastheten vid tvärkraftsbelastning F_{vd} .
Beräkningarna nedan avser maximal utbredd last i utkragande del utan bärförmågan överskrids.

$$v_{\max} = \frac{V_{\max}}{h} = \frac{q \cdot L}{h} \le \frac{F_{vd,tot}}{s}$$

$$q_{v\max} \le \frac{F_{vd,tot} \cdot h}{L \cdot s}$$

s = Avstånd mellan spikar mht sprickrisk minst 20d ≈ 50 mm.
Studie av foto från produktionen visar på ett större avstånd, därför antas s = 100 mm.

Dimensionerande bärförmåga hos spik, F_{vd}

Spikad 9 mm utegips $F_{vd} = 330N$

Spikad 13 mm innegips $F_{vd} = 190N$

Spikad 8 mm plywood $F_{vd} = 400N$

Yttervägg med ute- och innegips
$F_{vd,tot} = 0{,}75 \cdot (330 + 190) = 390N$

Bärförmågan reduceras 0,75 gånger summan av skivorna då spikdelningen inte är samma på båda sidor.[33]

[33] Carling, *Dimensionering av träkonstruktioner,* AB Svensk Byggtjänst 1992

Innervägg med innegips

$F_{vd,tot} = 190N$

Innervägg med innegips och extra skivmaterial ovan fönster och dörr i form av plywood

$F_{vd,tot} = 400 + 0{,}8 \cdot 190 = 552N$

Antaget 20 % minskad bärförmåga i yttre skivan.

Max. utbredd last q_{Nt} mht dragande normal kraft N_t.

Kantbalkarna dimensioneras för en tryckande eller dragande normalkraft. Maximal utbredd last utan att knäcka kantbalkarna.

$$N_t = \frac{M}{h} = \frac{q \cdot L^2}{2} \cdot \frac{1}{h} \leq N_{t,masonitbalk}$$

$$q_{Nt} \leq \frac{N_{t,masonitbalk} \cdot 2h}{L^2}$$

$N_{t,masonitbalk} = 66{,}9kN$ gäller för lasttyp C och klimatklass 1.[34]

Tryckkapaciteten är större och anges till $N_{c,masonitbalk} = 95{,}3kN$.

[34] Swelite *Projekteringshänvisningar 2005:1*

Längd på utstick, L (m)	Utbredd last q_{vmax} mht tvärkraftskapaciteten (kN/m)	Utbredd last q_{Nt} mht dragande normalkraft (kN/m)
1	9,8	335,2
1,5	6,5	149,0
2	4,9	83,8
2,5	3,9	53,6
3	3,3	37,2
3,5	2,8	27,4
4	2,4	20,9

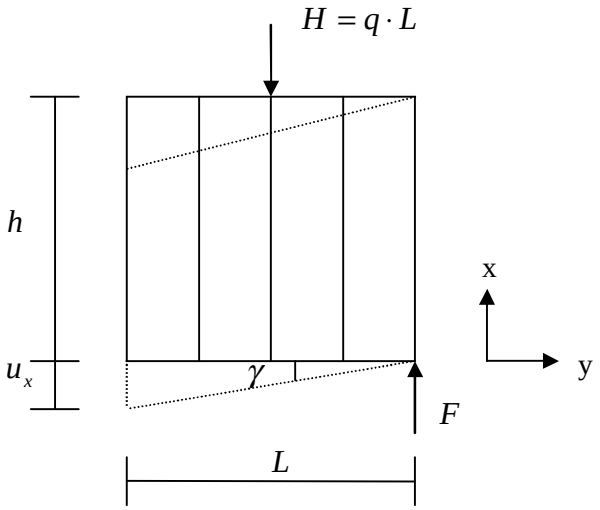
Tabell 6-2. Bärförmågan för en yttervägg.

Längd på utstick, L (m)	Utbredd last q_{vmax} mht tvärkraftskapaciteten (kN/m)	Utbredd last q_{Nt} mht dragande normalkraft (kN/m)
1	4,8	335,2
1,5	3,2	149,0
2	2,4	83,8
2,5	1,9	53,6
3	1,6	37,2
3,5	1,4	27,4
4	1,2	20,9

Tabell 6-3. Bärförmågan för en innervägg.

I tabell 6-2 och 6-3 kan man utläsa att det är tvärkraften som begränsar tyngden i utkragande delar av volymen. Om man överskrider kapaciteten finns det stor risk för skjuvsprickor på skivmaterialet och ytskiktet.
En modul som väger 12 ton och är 12,5 x 4,0 m har en last på 4,7 kN/m vid jämn fördelning, så redan vid över en meters utstick av en innervägg har man överskridit kapaciteten.

Beräkning av nedböjning



Figur 6-4. Väggelement bestående av skivor och träreglar i odeformerat och deformerat tillstånd. Enligt teori för skivverkan i träregelväggar. [35]

Antag att vardera väggen tar halva golvytans last.
Lasten på ett väggelement är $q = 4{,}7$ kN/m, om hela volymen väger 12 ton och är jämnt fördelad på 12,5 x 4,0 m.
Dimension på gipsskivorna är 1200 x 2500 mm.

Förskjutning $u_x = 2 \cdot \left(\gamma \cdot \frac{L}{2} \right)$

Skjuvvinkeln γ kan beräknas ur[36]

$$\gamma = \frac{1}{K} H \frac{L}{2} \frac{1}{\sum x_i^{\,2}} + \frac{1}{\sum y_i^{\,2}}$$

där $\sum x_i^{\,2} = \frac{h^2}{12}(2n + q + 9)$ och

$$\sum y_i^{\,2} = \frac{(L/2)^2}{12}(6n + 6)$$

$K =$ förskjutningsmodul $= 100d$ N/mm per gipsskiva[37]

$d = 2{,}4$ mm

[35] Carling, *Dimensionering av träkonstruktioner*, AB Svensk Byggtjänst 1992
[36] ibid.
[37] Källsner, *Skivor som vindstabiliserande element vid träregelväggar*, Trätekniksrapport nr 56 1984

$n = \frac{h}{s}$ där h = 2500 mm och s = 100 mm enligt tidigare antagande

$q = \frac{h}{v}$ där h = 2500 mm och sedan antags spikavståndet v i y-led vara 120 mm

Det leder till att förskjutningen blir:

$$u_x = 2 \cdot \left(\frac{1}{K} H \left(\frac{L}{2} \right)^2 \frac{1}{\sum x_i^{\,2}} + \frac{1}{\sum y_i^{\,2}} \right)$$

Längd på utstick, L (m)	**Nedböjning u_x (mm)**
1	1,6
1,5	2,7
2	4,0
2,5	5,6
3	7,7
3,5	10,3
4	13,6

Tabell 6-4. Resultat för en yttervägg.

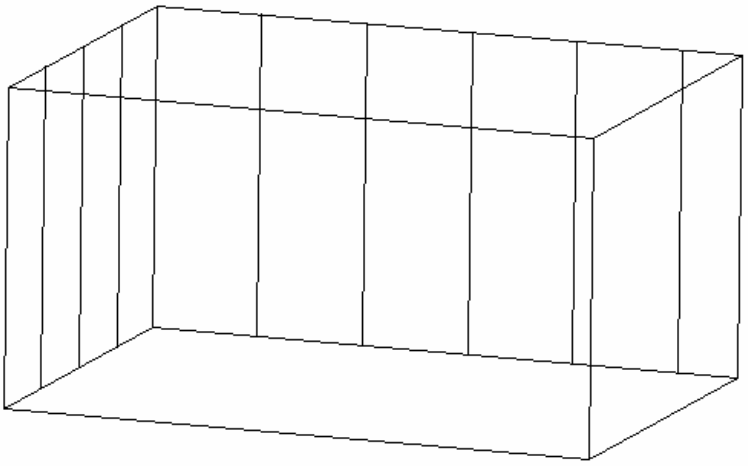
Längd på utstick, L (m)	**Nedböjning u_x (mm)**
1	3,2
1,5	5,3
2	7,9
2,5	11,2
3	15,4
3,5	20,6
4	27,1

Tabell 6-5. Resultat för en innervägg.

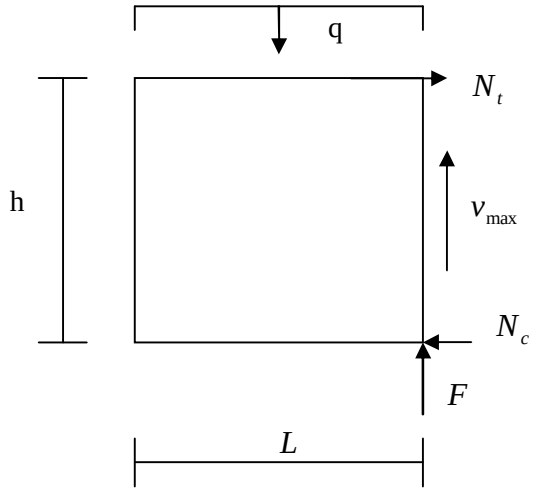
Tabellerna 6-4 och 6-5 visar deformationer av utkragande delar beroende på längden av utkragningen. Deformationen i innerväggen är dubbelt så stor som för ytterväggen, detta beroende på att där bara finns en skiva som stabiliserar.
När en innervägg kragar ut fyra meter motsvarar nedböjningen ungefär L/150, vilket är riskfyllt och med stor sannolikhet ger skador på ytskiktet.

Fall 2 Yttervägg - öppning

Utkragande del med yttervägg mittemot öppning och skivbeklädd gavelsida.



Figur 6-5. Tredimensionell bild av utkragande del. Yttervägg med en öppning mittemot.



Figur 6-6. Skivkrafter i ett väggelement med en jämnt utbredd last.

Beräkningar på bärförmåga och nedböjningar enligt formler från fall 1.
I formlerna antas att en yttervägg tar hela tyngden på utkragande del.

Bärförmåga

Längd på utstick, L (m)	Utbredd last q_{vmax} mht tvärkraftskapaciteten (kN/m)	Utbredd last q_{Nt} mht dragande normalkraft (kN/m)
1	9,8	335,2
1,5	6,5	149,0
2	4,9	83,8
2,5	3,9	53,6
3	3,3	37,2
3,5	2,8	27,4
4	2,4	20,9

Tabell 6-6. Bärförmåga för ytterväggen.

Längd på utstick, L (m)	Utbredd last q_{vmax} mht tvärkraftskapaciteten (kN/m)	Utbredd last q_{Nt} mht dragande normalkraft (kN/m)
1	4,8	335,2
1,5	3,2	149,0
2	2,4	83,8
2,5	1,9	53,6
3	1,6	37,2
3,5	1,4	27,4
4	1,2	20,9

Tabell 6-7. Bärförmåga för gavelväggen.

Nedböjning

Antag att en yttervägg tar hela tyngden, då öppning finns på en sida.
Lasten på ytterväggen är då $q = 9{,}4\,\text{kN/m}$, om hela volymen väger 12 ton och är jämnt fördelad på 12,5 x 4,0 m.

Lasten på gavelväggen med ovan förutsättningar blir $q = 2{,}35 \cdot \frac{L}{2}\,\text{kN/m}$

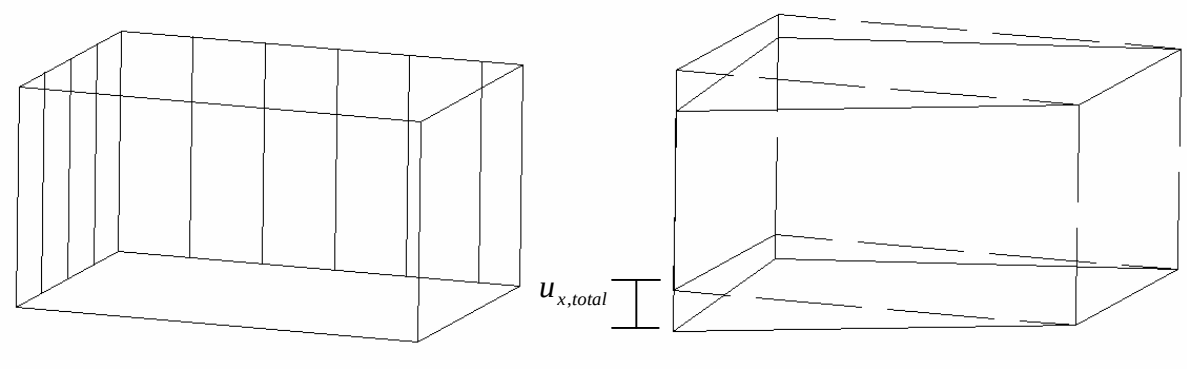
Längd på utstick, L (m)	**Nedböjning u_x (mm)**
1	3,2
1,5	5,3
2	7,9
2,5	11,2
3	15,4
3,5	20,6
4	27,1

Tabell 6-8. Resultat för en yttervägg.

Längd på utstick, L (m)	**Nedböjning u_x (mm)**
1	1,1
1,5	1,7
2	2,3
2,5	2,8
3	3,4
3,5	4,0
4	4,5

Tabell 6-9. Resultat för en gavelvägg.

Utformningen av en volym med öppning ger upphov till både en nedböjning vid ytterväggen på långsidan men även på gavelsida. Deformationen $u_{x,total}$ vid öppningen är summan av deformationerna på långsida och gavelsida, se figur 6-7.

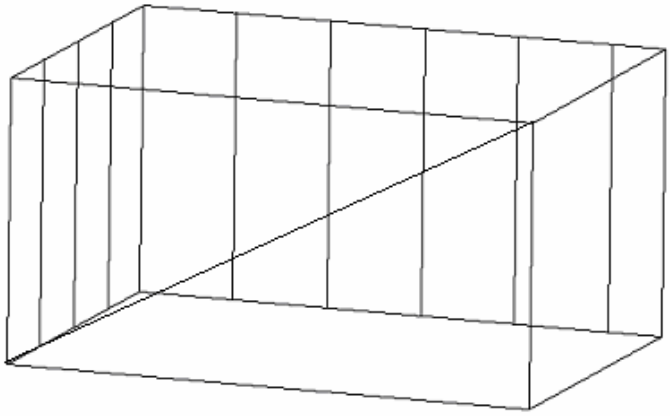


Figur 6-7. T v. Utkragande del i odeformerat tillstånd.
T h. Nedböjning av innersta väggelementet samt nedböjning av gavelelement. Totala nedböjningen vid vänstra hörnet i framkant.

Längd på utstick, L (m)	**Total nedböjning $u_{x,total}$ (mm)**
1	4,4
1,5	7,0
2	10,2
2,5	14,0
3	18,8
3,5	24,6
4	31,6

Tabell 6-10. Resultat av total nedböjning.

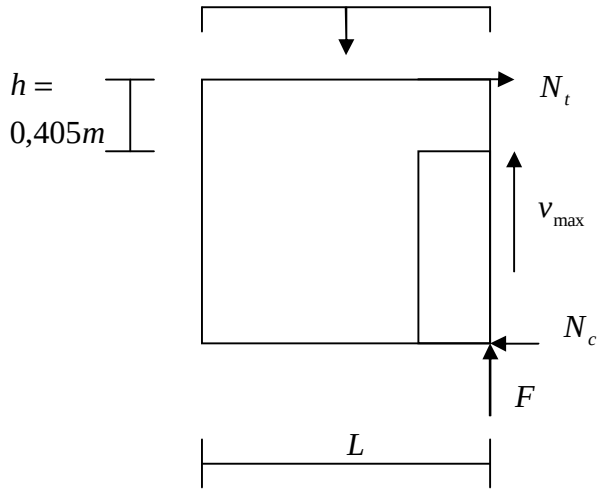
Deformationskriterier för hur mycket modulen kan böja ner utan att det bli skador på invändigt ytskikt är svåra att fastställa. Standardiseringskommissionen i Sverige har tagit fram en rapport hur man utför en provning på skjuvtåligheten hos en tapet innan synliga skador syns. Men inga resultatdata finns att tillgå.
Däremot kan man göra en beräkning på volymen med en snedsträva och jämföra med tidigare resultat. Om man väljer att staga upp i öppningen med ett stålstag som diagonal mellan nedre ytterhörn och ovan regel kan man räkna med att hälften av lasten tas i staget. Det vill säga lasten är 4,7 kN/m.



Figur 6-8 Snedstag vid öppning i volymen.

Fall 3 Yttervägg – innervägg med dörröppning

Utkragande del med yttervägg och innervägg med en dörröppning ovan lyftpunkten.



Figur 6-9 Skivkrafter i ett väggelement med en jämnt utbredd last.

Beräkningar på bärförmåga enligt formler från fall 1. En skillnad är att höjden i bärförmågeberäkningarna med avseende på tvärkraften enbart avser höjden ovan dörrkarmen, enligt teorin för håltagningar i Carling (1992).

Bärförmåga

Längd på utstick, L (m)	**Utbredd last q_{vmax} mht tvärkraftskapaciteten (kN/m)**	**Utbredd last q_{Nt} mht dragande normalkraft (kN/m)**
1	2,2	335,2
1,5	1,5	149,0
2	1,1	83,8
2,5	0,9	53,6
3	0,8	37,2
3,5	0,6	27,4
4	0,6	20,9

Tabell 6-11. Resultat från en innervägg med dörrkarm.

I tabell 6-11 kan man utläsa maximal tyngd i utkragande delar innan risken för skjuvsprickor uppstår. I fallet med dörröppning ovan lyftpunkten finns en uppenbar risk för sprickor redan vid kortare utkragningar.

6 Analys och diskussion

6.1 Analys av provningar

Om man jämför resultaten för stålbeslagen med 1 millimeters plåt, så kan man se att man har högre maximal kraft i de vertikala provningarna än i de vinklade. Så är det generellt också för beslag med 3 millimeters plåt. Detta visar tydligt att ett lyft med ok hade bidragit till högre kapaciteter än den nuvarande metoden.
Beslutet om att börja använda plywood på båda sidor av livet och det tjockare beslaget resulterade i en ökning av kapaciteten på mer än 10 kN i lyftpunkten. Detta motsvarar ett ton i varje punkt och ungefär fyra ton på hela volymen vid jämnt fördelad vikt.
En större dimension på beslaget ger bättre resultat, men att öka plåttjockleken ytterligare är inte möjligt då syllen bygger ut för mycket.

Avsågade hörn på syllen ger möjligen något ökad kapacitet, men det är svårt att jämföra med provkropparna där syllen inte sågades av, eftersom två av dessa hade lokala försvagningar i träet. I ett prov fanns en fingerskarv i flänsen ovan beslaget och i det andra en kvist som bidrog till reduktion av kapaciteten.
Provkroppar med avståndet 30 mm mellan syll och beslag påvisar inte det beteende som man kan förvänta, nämligen att vajern rätar ut järnet och skär igenom masonitbalken. Vajern orsakar visserligen att beslaget rätas ut, men sen glider den inte utan ligger kvar.
Jämförelse mellan medelvärdena av kapaciteterna vid avsågat syllhörn och vid avstånd 30 mm visar på en sänkning med 4 kN då man jämför värden mätta med samma utrustning.

K-board som ersättning för plywood ger betydligt högre kapaciteter ju fler skivor som används. Bäst resultat fås om man använder två stycken 8 millimeters skivor på vardera sidan om livet. Om man jämför resultatet för fyra K-boardskivor alternativt två stycken 15 millimeters plywoodskivor så ger K-boarden en ökning på 4,5 kN i varje lyftpunkt och då är inte hörnen på syllen vid K-boardprovningen avsågade.

Testerna med de nya stålbeslagen visar inte direkt på någon ökning av kapaciteten då man jämför med provkropparna med 3 mm stålbeslag och K-board i livet. Dock är skillnaden i kapacitet inte lika stor om man jämför mellan prover med 5 mm och 30 mm glapp.
En fördel med beslaget med standardprofilen är att man slipper såga av hörnen och att den troligen är billigare att tillverka än tidigare 3 mm stålbeslag, då man slipper böja till ett U.

Rundjärnsbeslaget har något högre kapacitet än beslag med standardprofil. Dock känns detta beslag lite osäkert att använda om man har mindre vinkel mellan vajer och prov, då det finns risk att vajern börjar glida. Rundjärnet är 14 mm i diameter och vajern 10 mm, så det fungerar så länge vajrarna inte hamnar ovanpå varandra.
Eftersom rundjärnsbeslaget är mera komplicerat att tillverka än standardprofils-beslaget så är det troligen något dyrare.

Träkvaliteten i masonitbalken påverkar till stor del resultatet och bidrar till de stora skillnaderna mellan försök med samma förutsättningar.
K-board är det skivmaterial som är mest effektivt vid lokala försvagningar, såsom kvistar och fingerskarvar som sitter i överflänsen. Detta gäller speciellt om det finns skivor på båda sidor i livet, se appendix Provresultat där prov 27 har en fingerskarv ovan beslaget och i prov 34 där det finns en kvist mittför beslaget.
Men kapaciteten kan även påverkas negativt som hos prov 24 och prov 31 där kvistar i underflänsen troligen påverkat skillnaden i resultaten mellan de båda provningarna.

I huvudtexten diskuterades att fiberriktningen hos plywoodlamellerna kan ha inverkan på tryckkapaciteten. Man kan konstatera efter att ha jämfört mätvärdena mellan prov 40 där fibrerna i yttersta lagret låg i samma riktning som kraften och i prov 41 där de låg vinkelrät emot, att riktningen inte spelade roll. Detta tyder på ett skjuvbrott, då kapaciteten annars skulle ha varit lägre i prov 41.

För att kunna göra en jämförelse mellan beräknade resultat och provningar, måste man lägga till tvärkraftskapaciteten på 19,7 kN för balken till de uträknade resultaten då beräkningarna endast avser skivornas kapaciteter.
Resultaten från beräkningarna i kapitel 5.2.1 visar vid en jämförelse med provningarna att ett skjuvbrott är troligare än ett tryckbrott, då tryckkapacitets-beräkningarna ligger på mycket högre värden än uppmätta provresultat.
Något som också framkommer från beräkningarna är att skjuvkapaciteten i plywood underskattas. Det motsatta gäller för K-board där värden är lägre från provningarna än vid skjuvberäkningarna, i vissa fall är skillnaden 30 kN. Ändå är K-boarden det material som har högst kapacitet.

6.2 Analys av beräkningar

Beräkningar av deformationer på utkragande delar visar på ganska höga nedböjningar. Då volymen deformeras finns risk för skador på invändigt ytskikt och man måste i efterhand gå in i huset och åtgärda problemen.
Ett enkelt sätt att vid stora öppningar minimera nedböjningarna är att staga upp.
Ett stålstag som placeras nerifrån ytterhörn på utkragning till ovankant regel kan vara ett lätt sätt att åtgärda problemet.

Risken för skjuvsprickor i skivmaterialet är stor, speciellt om det sitter en innerdörr ovan lyftpunkten. Vid en utkragning på två meter överskrids bärförmågan, enligt tabell 6-11, vid en last på 1,1 kN/m. Denna siffra innefattar såväl egentyngd av volym samt inredning och extra material.
En möjlighet att minimera risken för sprickor är att sätta exempelvis en plywoodskiva i dörröppningen som kan fördela kraften eller flytta lyftpunkten så att den inte sammanfaller med dörröppningen.

7 Slutsatser

Slutsatsen blir att ett byte av skivmaterial skulle ge en högre kapacitet i lyftpunkten. Detta gäller om man sätter in fyra stycken 8 millimeters K-boardskivor båda sidor i livet, som ersättning för nuvarande plywood.
Fördelen med K-board är att det inte är uppbyggt i faner som plywood, där man måste ta hänsyn till fiberriktning för att uppnå maximalt tryckkapacitet. K-boarden stod enligt testerna emot försvagningar såsom kvistar och fingerskarvar i masonitbalken på ett bättre sätt än plywooden.

Beslaget med U-balkprofilen och 3 mm plåten ger bra resultat i testerna och det är en enkel konstruktion att tillverka då U-balken är en standardprofil.
Men provningarna visar också att nuvarande stålbeslag med bockad U-profil och 3 mm plåt, oavsågade syllhörn och K-board ger bättre resultat än avsågade hörn tillsammans med plywooden.

I utkragande delar bör enkla åtgärder vidtas för att minska risken för skjuvsprickor. Då lyftpunkten ligger under en dörröppning bör antingen en skiva användas som förstärkning i öppningen eller bör en förflyttning av lyfturtaget ske.
Öppningar i volymen bör utöver extra regeln som sätts upp, även stagas upp med stålstag, som löper från nedre hörnet av volymen till ovan extra regel.

8 Referenser

Skriftliga referenser

Carling Olle (1992) – *Dimensionering av träkonstruktioner*
AB Svensk Byggtjänst, Solna

Danewid Robert, Johansson Carl Johan, Tord Isaksson (2000) – *Träkonstruktioner*
Avdelningen för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola

Isaksson, Tord & Mårtensson Annika (2000) – *Tabell och Formelsamling*
Avdelningen för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola

Källsner Bo (1984), Trätekniksrapport nr 56 *Skivor som vindstabiliserande element vid träregelväggar*
Träteknikcentrum, Stockholm

Swelite *Projekteringsanvisningar 2005:1*
Hämtade från Swelites hemsida

Tidskriften Rum, *Projekt #11*

Muntliga referenser

Lidgren Persson Camilla (2005), Modulenthus, Camilla.Lidgren@finndomo.se

Rosenkvist Per-Olof (2006), Avdelningen för Konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskola, per-olof.rosenkvist@kstr.lth.se

Internetreferenser

http://www.boverket.se/ besökt 2005-10-18

http://expressen.se/index.jsp?d=1664 besökt 2006-01-23

http://www.finndomo.se/company/inshort.aspx besökt 2005-10-20

http://www.finndomo.se/news/item.aspx?id=117388 besökt 2005-10-18

http://www.finnsmartstart.se/ besökt 2006-01-31

http://www.hjaltevadshus.se besökt 2005-10-20

http://www.kstr.lth.se besökt 2006-01-30

http://www.masonite.se besökt 2005-12-12

http://www.modulent.se/foretaget/finndomo.asp besökt 2005-10-20

http://www.moelventoreboda.se/imagearchive/kertoprojekt.pdf besökt 2006-02-06

http://svt.se/svt/jsp/Crosslink.jsp?d=37161&lid=puff_470176&lpos=lasMer besökt 2006-01-12

http://www.swelite.com besökt 2005-11-03

http://www.vv.se besökt 2005-12-13

Appendix

Beräkningar

Provresultat

Ritningar

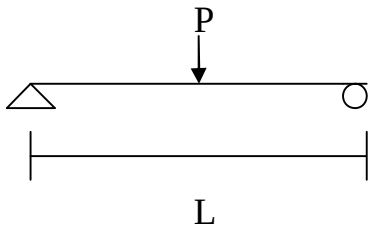
Beräkningar

Spännvidder på provkropparna

Bilderna på ett brott, påvisar ett skjuvbrott och inte böjbrott. Spännvidden ska därför ha rätt längd så att det skjuvas och inte böjs. Alltså måste fältmomentet vara mindre än momentkapaciteten för masonitbalken.

$$M_{\max} \leq M_k$$

$$\frac{P \cdot L}{4} \leq M_k$$



P = 50 kN (som max. last i lyftpunkten)

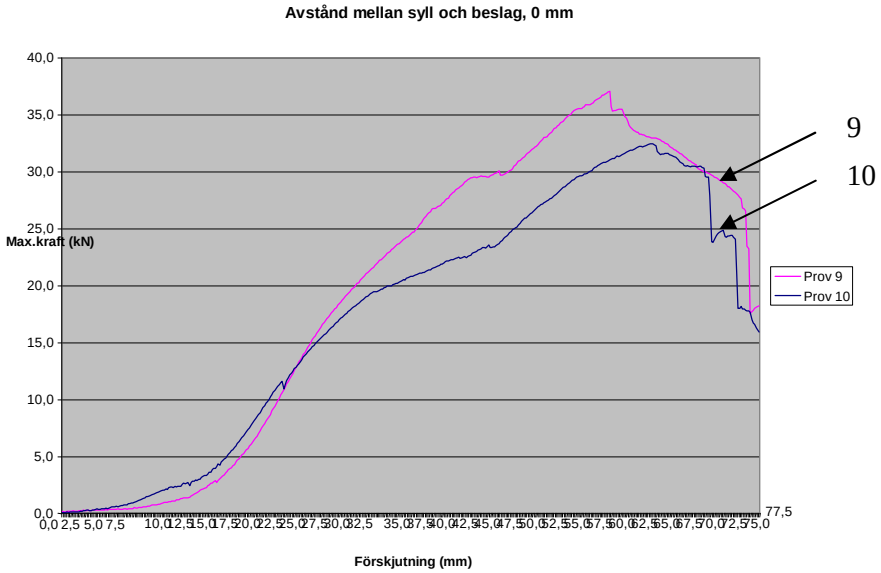
M_k = 8,9 kNm (enligt Swelite för H220)

$$L \leq M_k \cdot \frac{4}{P} = 8{,}9 \cdot \frac{4}{50} = 0{,}712\,m$$

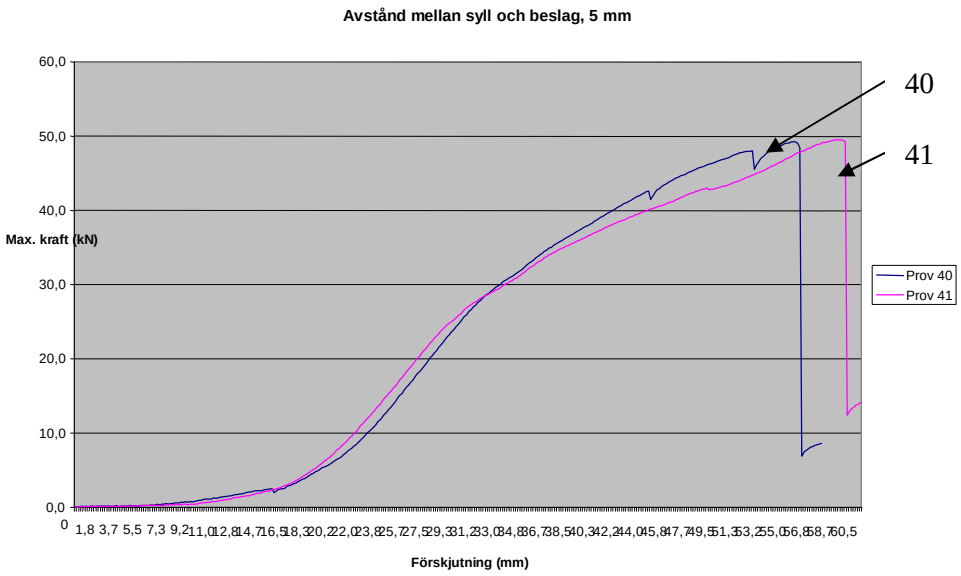
Provresultat

Plywood som skivmaterial

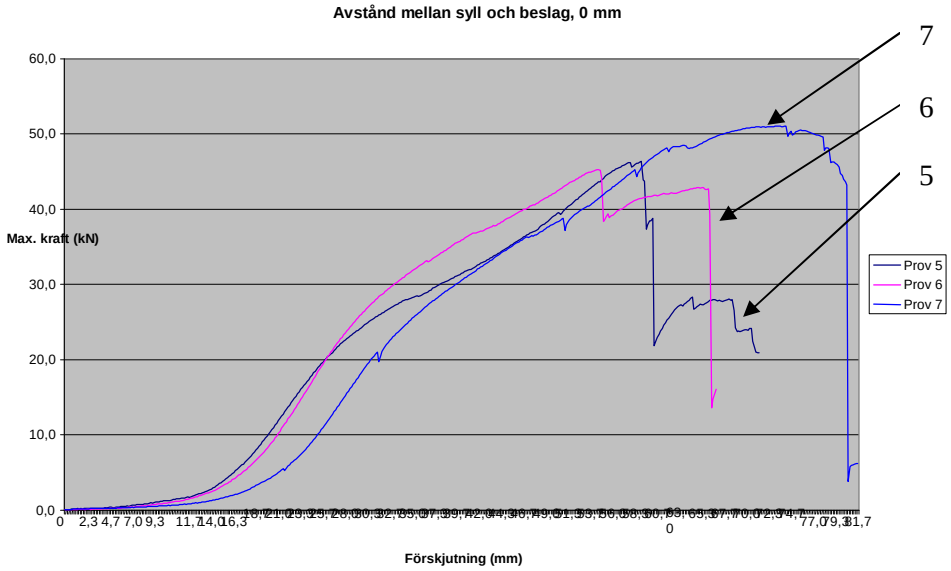
1. Resultat från försöksserier med plywood 1 sida och 1 mm stålbeslag.
Prov 9 – vertikal provtagning
Prov 10 – vinklad provtagning (70^0)



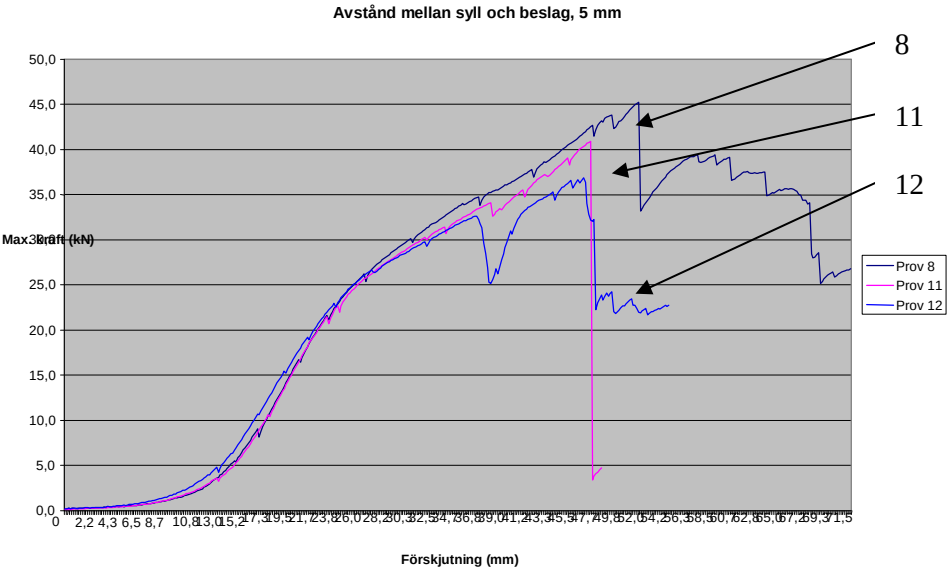
2. Resultat från försöksserier med plywood på 2 sidor och 3 mm stålbeslag.
Vertikal provtagning



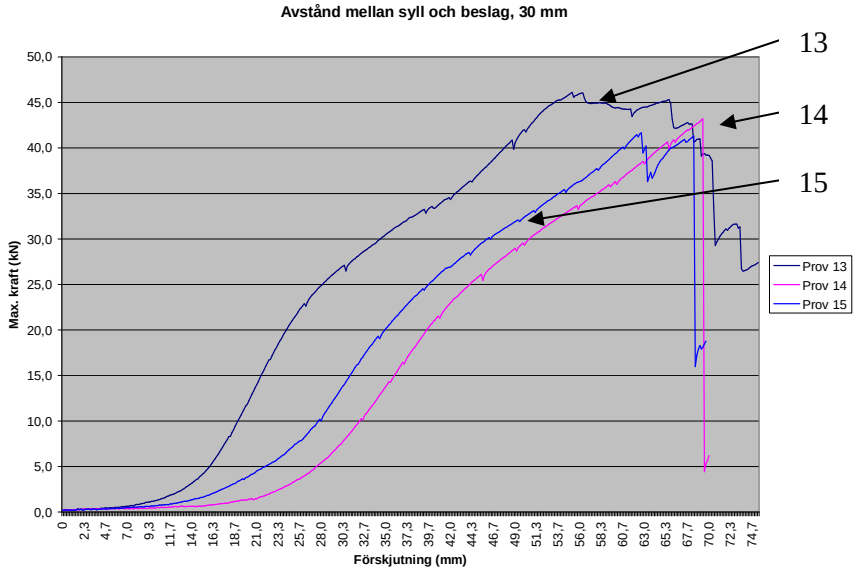
Vinklad provtagning (70^0)



Vinklad provtagning (70^0)

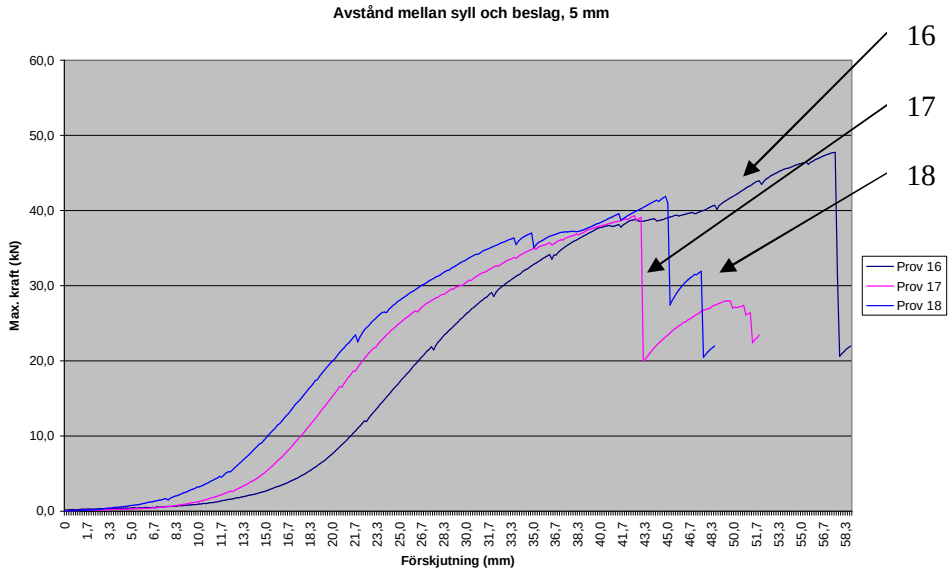


Vinklad provtagning (70^0)

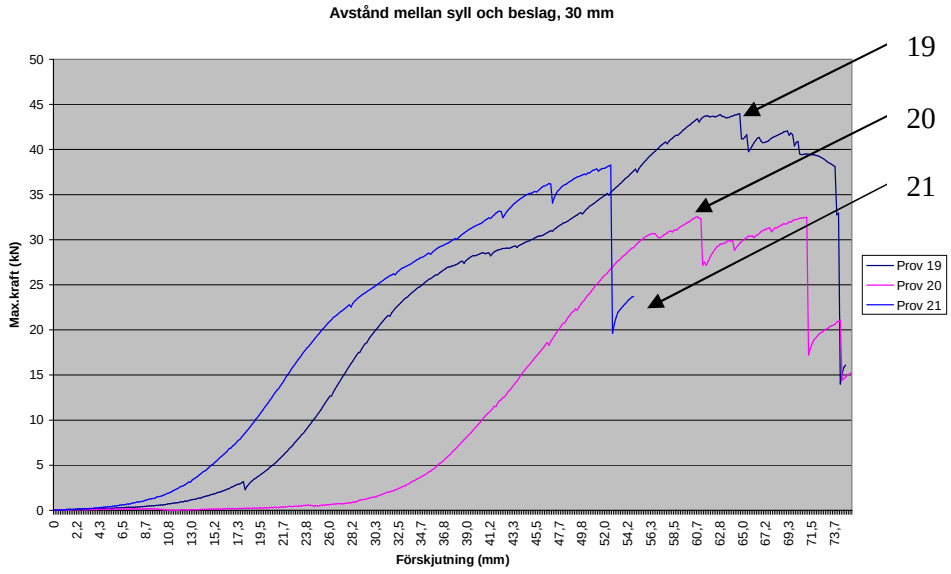


K-board som skivmaterial

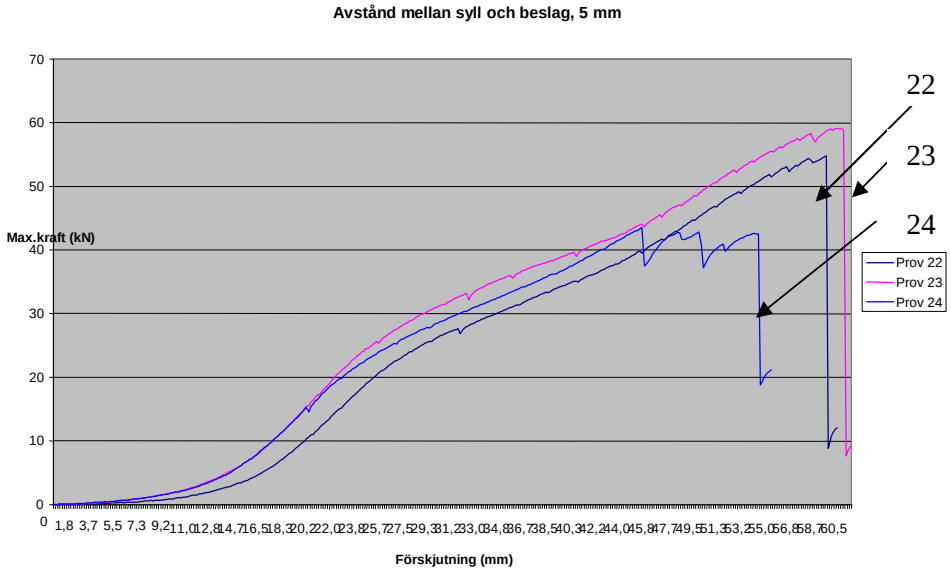
3. Resultat från försöksserier med K-board på 1 sida och 3 mm stålbeslag.
Vinklad provtagning (70^0)



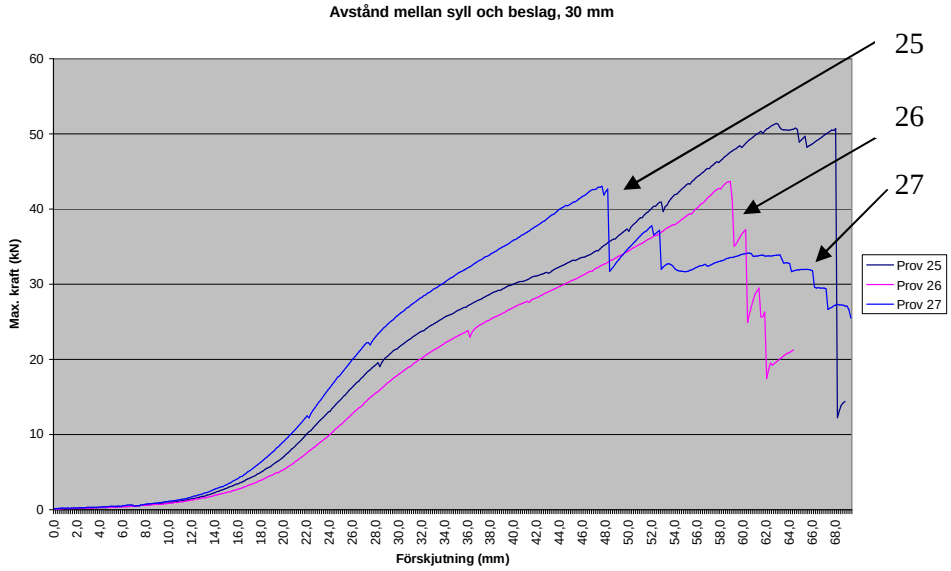
Vinklad provtagning (70^0)



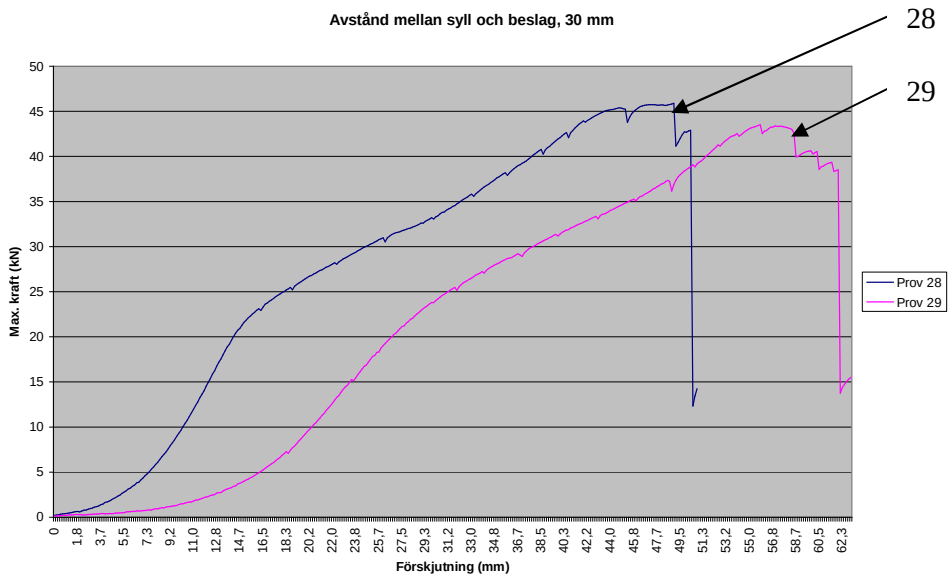
4. Resultat från försöksserier med K-board på 2 sidor á 2 skivor och 3 mm stålbeslag.
Vinklad provtagning (70^0)



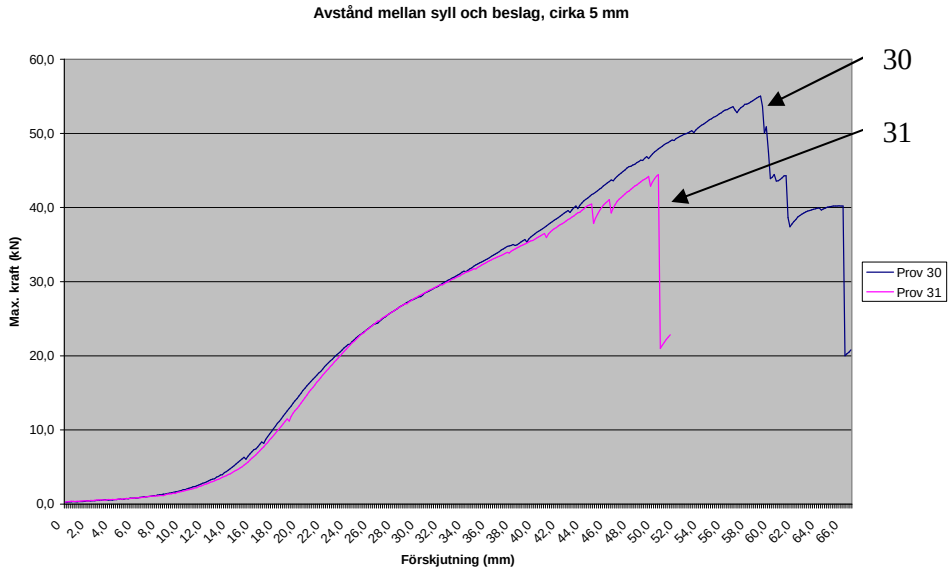
Vinklad provtagning (70^0)



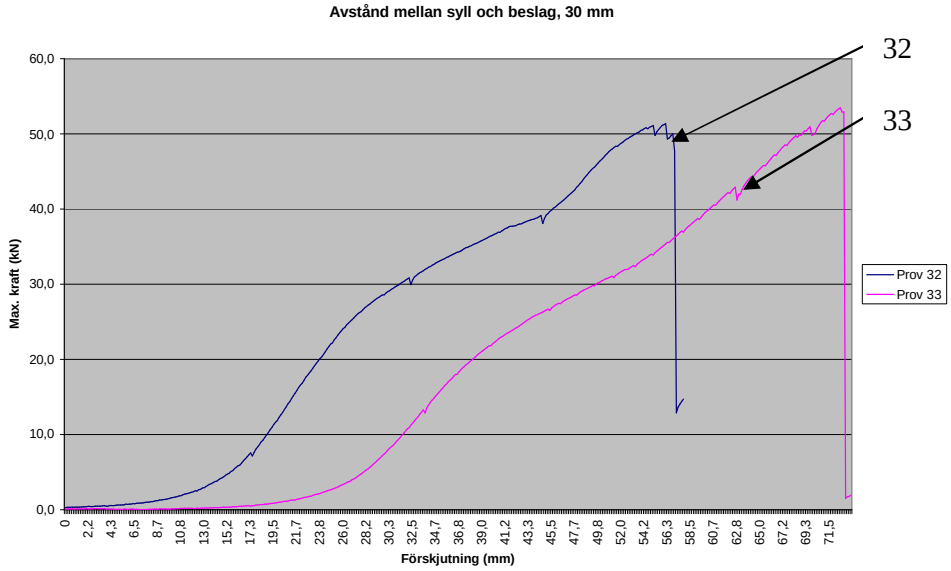
5. Resultat från försöksserier med K-board på 2 sidor á 2+1 skiva och 3 mm stålbeslag.
Vinklad provtagning (70^0)



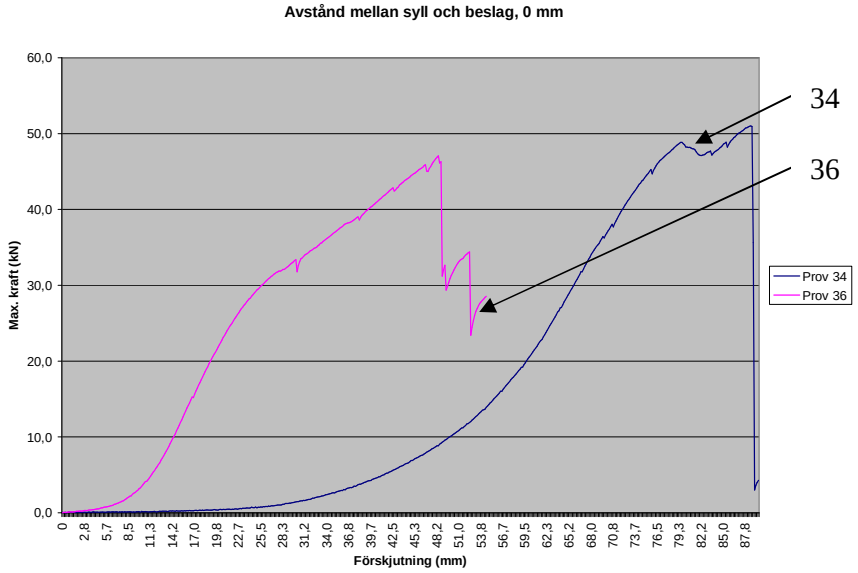
6. Resultat från försöksserier med K-board på 2 sidor á 2 skivor och rundjärnsbeslag.
Vinklad provtagning (70^0)



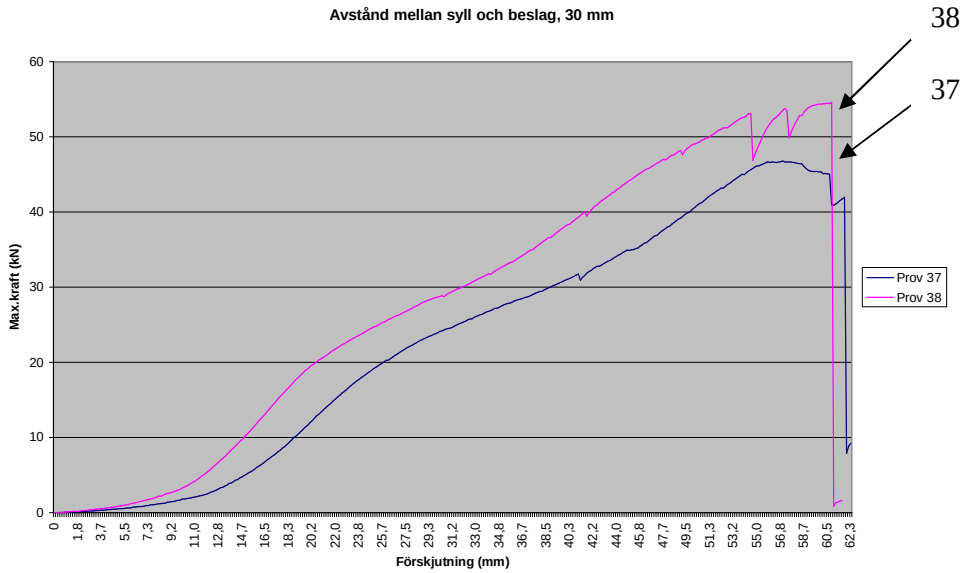
Vinklad provtagning (70^0)



7. Resultat från försöksserier med K-board på 2 sidor á 2 skivor och standard
U-balksbeslag.
Vinklad provtagning (70^0)



Vinklad provtagning (70^0)



Ritningar