



Farkost och flyg

Preliminär design

PHIR

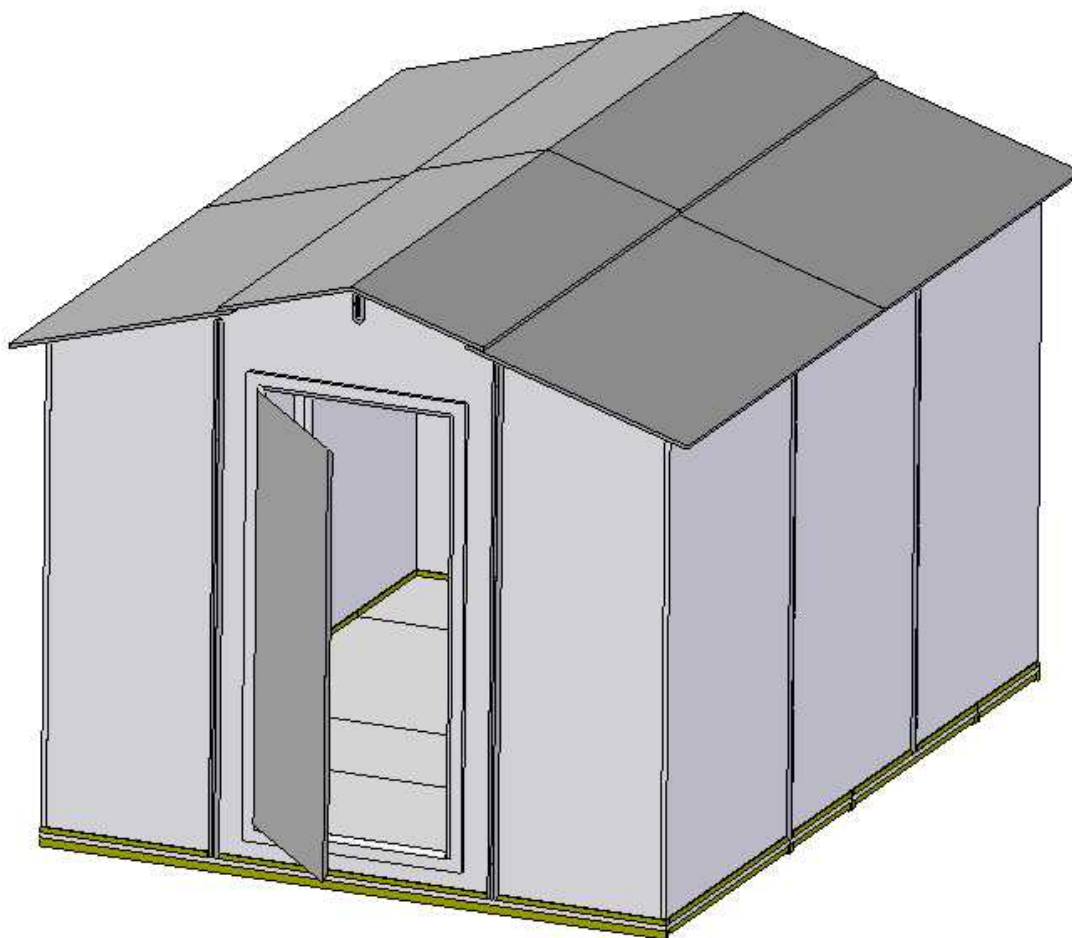
4k1603 Träteknologi HK
2005/2006
Handledare:
Andrey Shipsha

Sammanfattning

Studenterna i projektgruppen PHIR har fått i uppdrag att designa ett hus, som kan tjänstgöra som tillfällig bostad till hemlösa i katastrofdrabbade områden. Huset ska till största del byggas av Reboard, som är ett honeycombmaterial med ett ytskikt av PE-förstärkt kraftliner. Anledningen till materialvalet är att det har mycket bra egenskaper vad gäller hållfasthet och styvhet, trots dess låga densitet. Materialet är relativt nytt på marknaden och producenten är intresserad av att det analyseras och appliceras på nya användningsområden.

De beräkningar som hittills har genomförts är rena styvhetsanalyser. Inga beräkningar på hållfasthet har ännu gjorts. Till den slutgiltiga designen kommer det även att kompletteras med FEM-beräkningar på utsatta komponenter som golv och väggar.

En design till huset har tagits fram med hänsyn till materialegenskaper, kostnad, praktisk genomförbarhet och estetik. Den slutgiltiga designen kan komma att se något annorlunda ut, om våra vidare experiment och beräkningar visar att det blir nödvändigt med vissa förändringar.



Inledning

Detta är den preliminära designen för projektet PHIR. Projektet PHIR (Portabelt Hus I Re-board) är en del av Träteknologi HK, 4K1603, som ges under läsåret 2005-2006 på KTH i Stockholm. Den bygger vidare på den konceptuella designen som tagits fram tidigare [Konceptuell design, 2005]

Antalet katastrofer i världen har ökat markant de senaste åren. Till följd av detta har behovet av tillfälliga bostäder för de drabbade blivit högre. De boendevalternativ som finns idag är främst tält. Tält är ett bra alternativ i det initiala skedet, men blir på längre sikt ohållbart. Tälten har till exempel inte de isolerande egenskaper som krävs vid kyligare klimat.

Det bästa alternativet vore att uppföra riktiga bostäder, men det är tidskrävande och kostsamt. Det är dessutom omöjligt att uppföra den mängden bostäder som krävs på den korta tiden. Om ett hus kan byggas i ett lätt och billigt material med hög bostadskomfort, så kan dessa behov tillgodoses. Studenterna i projektgruppen PHIR har fått i uppdrag att designa ett sådant hus.

i) Material

Re-boardskivan är ett lätt och styvt skivmaterial, som kan användas för att bygga ett tillfälligt hus. Re-board är ett sandwichmaterial med honeycombstruktur och har kraftliner som ytskikt. Ytskiktet består 440 [g/m²] kraftliner (papper), 20 [g/m²] PE (Polyetylen) och sen ytterligare 70 [g/m²] kraftliner. Kärnan består av halvkemisk jungfrulig floating av björk. Densiteten för en 16 [mm] tjock Re-boardskiva är ca 1,7 [kg/m²] och för en 22 [mm] tjock skiva ca 1,9 [kg/m²]. Re-board tillverkas av företaget Design Force som ligger i Norrköping i Sverige.

ii) Metod

Projektet inleddes med ett besök hos Design Force för att ta reda på mer om Re-board och möjligheterna att samarbeta med företaget. För att få reda på mer om behovet av katastrof bostäder och förutsättningar på katastrofplatser, besöktes räddningsverkets anläggning i Rosersberg. En konceptuell design togs fram utifrån förstudier [Konceptuell design, 2005]. Den konceptuella designen ligger till grund för den preliminära designen.

För att komma fram till resultaten i den preliminära designen så har beräkningar gjorts för att säkerställa att de krav som finns är uppfyllda [Kravspecifikation, 2005]. Dessutom har drag- och böjprov utförts på Re-board materialet.

Projektgruppen PHIR delades upp i tre mindre arbetsgrupper. Elin Fisher ansvarade för golvet, Anders Fransson och Olle Wennberg ansvarade för väggar och tak och Ingela Bjurhager och Lovisa Algesten ansvarade för dörr, fönster och interiör. Samtliga grupper har jobbat öppet och tagit hjälp av varandra vid behov.

iii) Produktbudskap

Viljan är att huset skall förmedla trygghet och stabilitet till användaren. Re-boardskivornas ytskikt är gjort av papper och är i utgångsläget helt vitt.

För att skapa ett mer tilltalande ytterområde, målas ytterväggarna i en harmonisk färg. Eventuellt kan husens fasader målas i olika färger för att skapa variation och en känsla av individualism. För

att skapa ytterligare en känsla av trygghet kommer ett taköverhäng att byggas till. Känslan som förmedlas är att det inte kommer att regna in. Insidan av huset bör målas i en lugnande färg. Med fönstrets placering och storlek kommer huset inte att kännas instängt.

För att huset skall upplevas som stabilt, är det viktigt att inte golvsplattor och väggar ger för stor utböjning vid belastning. Bjälkarna lämnas synliga.

Genom att ge ytskiktet olika färger minskar känslan av att det är ett pappersmaterial. Papperskänslan kan förminskas ytterligare genom att ge ytorna struktur eller ytskiktsbehandla dem så att materialet mindre liknar papper.

De skurna kanterna som på vissa ställen kommer att göra kärnan synlig, bör täckas. Dels för att öka fuktresistansen men också för att minska papperskänslan.

Innehållsförteckning

i) Material	3
ii) Metod	3
iii) Produktbudskap	3
1 Golv	7
1.1 Analys	7
1.2 Beräkningar	8
1.2.1 Platteori.....	8
1.2.2 Balkteori	9
1.3 Resultat.....	10
1.3.1 Platteori.....	10
1.3.2 Balkteori	11
1.4 Diskussion	12
2 Vägg	13
2.1 Analys	13
2.1.1 Väggen.....	13
2.1.2 Väggsnivorna.....	13
2.1.3 Stolpe.....	15
2.2 Beräkningar	16
2.2.1 Väggsnivorna.....	16
2.2.2 Stolpen.....	18
2.3 Resultat.....	18
2.3.1 Väggsnivorna.....	18
2.3.2 Stolpen.....	19
2.4 Diskussion	20
2.4.1 Väggsnivorna.....	20
2.4.2 Stolpen.....	20
3 Tak	21
3.1 Analys	21
3.1.1 Takstol	21
3.1.2 Takskivor	22
3.1.3 Takbalk	22
3.1.4 Stöd.....	23
3.2 Beräkningar	24
3.2.1 Takstol	24
3.2.2 Takskivor	25
3.2.3 Takbalk	25
3.2.4 Stöd.....	25
3.3 Resultat.....	26
3.3.1 Takstol	26
3.3.2 Takskivor	26
3.4 Diskussion	26
3.4.1 Takstol	26
3.4.2 Takskivor	26
4 Infästningar	27
4.1 Analys	27
4.1.1 Re-boardskruv	27
4.1.2 Vägg mot stolpe	27
4.1.3 Stolpe mot takstol	28
4.1.4 Takstol mot tak	28
4.1.5 Tak mot vägg	28
4.1.6 Takbalk mot takstol.....	28

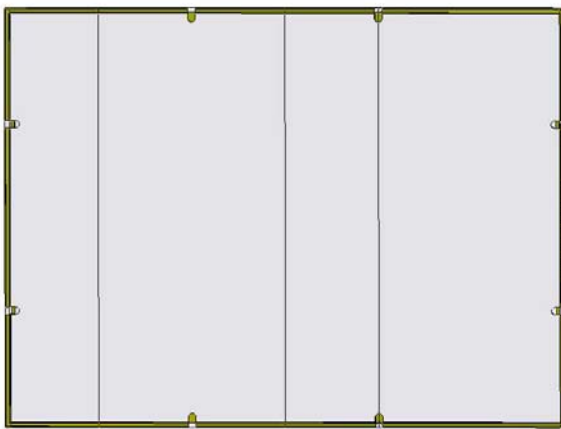
4.1.7 Hus mot mark	29
4.2 Lim	29
5 Dörr	30
5.1 Analys	30
5.1.1 Dörrskivan	30
5.1.2 Handtag	30
5.1.3 Dörrkarm	31
5.1.4 Tröskel	32
5.2 Beräkningar	32
5.3 Resultat	32
5.4 Diskussion	32
6 Fönster	33
6.1 Analys	33
6.1.1 Fönstervägg	33
6.1.2 Fönsterruta	33
6.1.3 Fönsterlucka	33
6.2 Beräkningar	34
6.3 Resultat	34
6.4 Diskussion	34
7 Säng	35
7.1 Analys	35
7.2 Beräkningar	35
7.3 Resultat	37
7.4 Diskussion	37
8 Bord	39
8.1 Analys	39
8.2 Beräkningar	39
8.3 Resultat	39
8.4 Diskussion	39
9 Pall	40
9.1 Analys	40
9.2 Beräkningar	41
9.3 Resultat	41
9.4 Diskussion	41
10 Fortsatta arbetet	42
10.1 Provning	42
10.2 Beräkningar	42
10.3 FEM	42
11 Tack till	43
12 Bilagor	43
13 Referenser	43

1 Golv

Enligt kravspecifikationen [Kravspecifikation, 2005] skall golvet klara av ett lokalt tryck på 6 [kg/cm²] och ytskiktet skall klara av ett normalt slitage under två års tid.

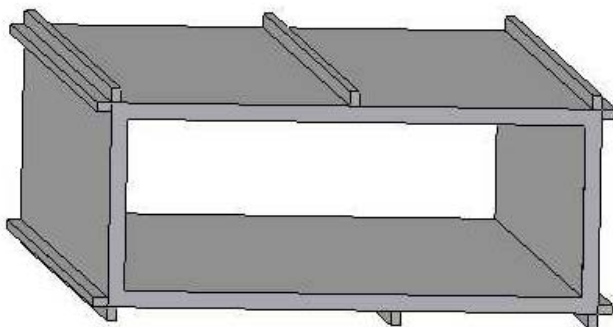
1.1 Analys

Golvet konstrueras av två stycken Re-boardskivor med måtten 600x2700 [mm] och två Re-boardskivor med måtten 1200x2700 [mm]. Skivornas tjocklek är 22 [mm]. Detta ger en total golvyta på 9,18 [m²].



Figur 1.1. Konstruktionen av golvet.

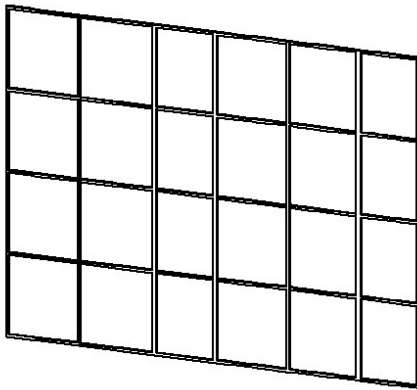
Skivorna fästs ihop med gångjärn längs långsidorna. Detta för att golvskivorna skall kunna användas som emballage vid transporten. Golv skivorna fälls ihop och bildar en låda (se figur 1.2.).



Figur 1.2. Låda, konstruerad av golvet.

Golvet skall klara av både punktbelastning, exempelvis från en stol, samt belastning från en person som står och går på golvytan. Golvet skall också komma upp en bit från marken för att förhindra att materialet utsätts för en allt för hög fuktkvot. Det är också viktigt att utbøjningen inte

blir för stor eftersom det leder till att golvet kan upplevas som instabilt. För att klara av kraven stöttas golvet upp med träbalkar, som delar in golvytan i mindre sektioner (se figur 1.3.). Den största sektionen kommer att vara 600x675 [mm]. Beräkningarna är baserade på den sektionen som har störst area och därför bedöms vara mest kritisk.



Figur 1.3. Träbalkskonstruktion.

Enligt kravspecifikationen skall golvet klara av att punktbelastas med 0.6 [N/mm²]. Största tillåtna utböjningen, för att golvet inte skall upplevas som instabilt, är cirka 5 [mm], baserat på en ingenjörsmässig approximation.

1.2 Beräkningar

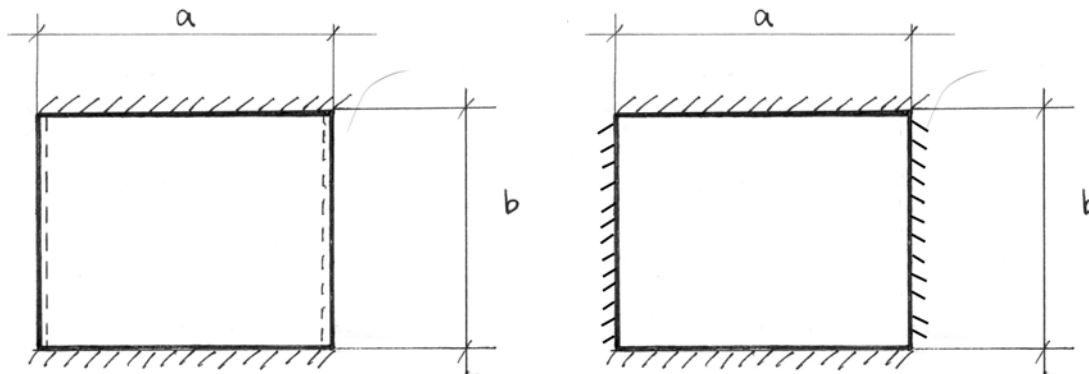
Två olika metoder har använts för att få fram resultat som kan jämföras, beräkningar på platta och beräkningar på balk. Böjstyvheten D och skjuvstyvheten S är sedan tidigare beräknade för en 50 [mm] bred balk i Re-board [Wennberg O, 2005]. För att få fram böjstyvheten D och skjuvstyvheten S divideras värdet med 50.

$$D = \frac{2,5 \cdot 10^7}{50} \quad (1.1)$$

$$S = \frac{4285}{50} \quad (1.2)$$

1.2.1 Platteori

Beräkningarna utgår från en sandwichplatta, fast inspänd längs två sidor och fritt upplagd längs de andra.



Figur 1.4.a. Platta, fast inspänd längs två sidor och fritt upplagd längs två sidor. **Figur 1.4.b.** Platta, fast inspänd längs alla sidor.

I beräkningarna antas materialet vara isotropt, tjockleken $t_f \ll t_c$ och E-modulen $E_c \ll E_f$. Index f syftar till *face* (ytskikt) och index c syftar till *core* (kärna).

För utböjning av platta, fast inspänd längs två sidor och fritt upplagd längs två sidor (se figur 1.4a.), gäller att [Zenkert D, 1995]:

$$\delta = \frac{16 * q * b^4 (1 - \nu^2)}{\pi^5 * D [16(b/a)^4 + 8(b/a)^2 + 3]} + \frac{16 * q * b^2}{\pi^3 * S [4(b/a)^2 + 3]} \quad (1.3)$$

För utböjning av platta, fast inspänd längs alla kanter (se figur 1.4b.), gäller att [Zenkert D, 1995]:

$$\delta = \frac{q * b^4 (1 - \nu^2)}{\pi^4 * D [3(b/a)^4 + 2(b/a)^2 + 3]} + \frac{4 * q * b^2}{3\pi^2 * S [(b/a)^2 + 1]} \quad (1.4)$$

där δ är utböjningen i [mm] och q är lasten i [N/mm²]. a och b definieras i figur 1.4. ν är Poissons tal.

1.2.2 Balkteori

Plattan approximeras till en balk med längden a och bredden b (se figur 1.4.). δ är utböjningen i [mm], P är punktlasten i [N]. Två olika elementarfall med tillhörande formler har använts i balkteorin, för att få fram olika resultat som kan jämföras med varandra.

För att få ett korrekt värde på D och S multipliceras värdena med bredden b för det aktuella fallet.

Utböjning vid punktbelastning på fritt upplagd balk [Gibson/Ashby, 2001]:

$$\delta = \frac{Pa^3}{48D} + \frac{Pa}{4S} \quad (1.5)$$

Utböjning vid punktbelastning på fast inspänd balk:

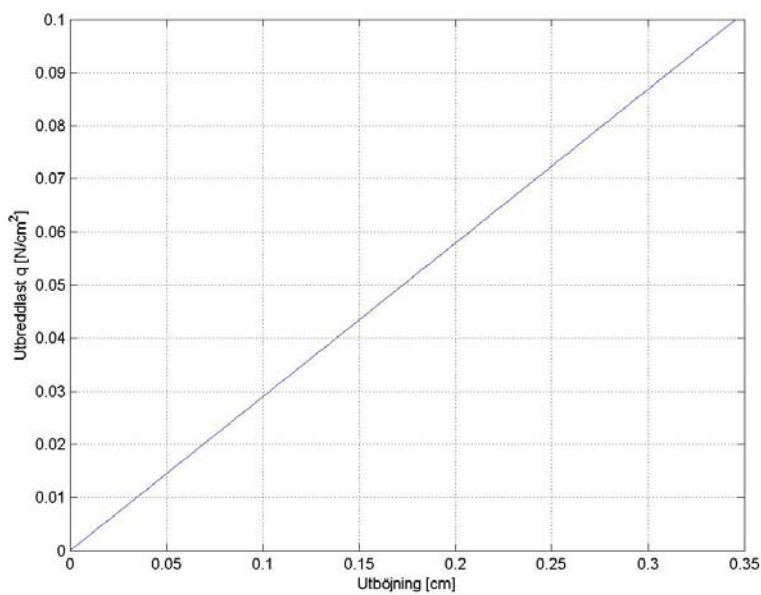
$$\delta = \frac{Pa^3}{192D} + \frac{Pa}{4S} \quad (1.6)$$

1.3 Resultat

För $\nu = 0.3$, $a = 600$ [mm] och $b = 675$ [mm] blev utböjningen enligt graferna i kapitel 1.3.1 och 1.3.2.

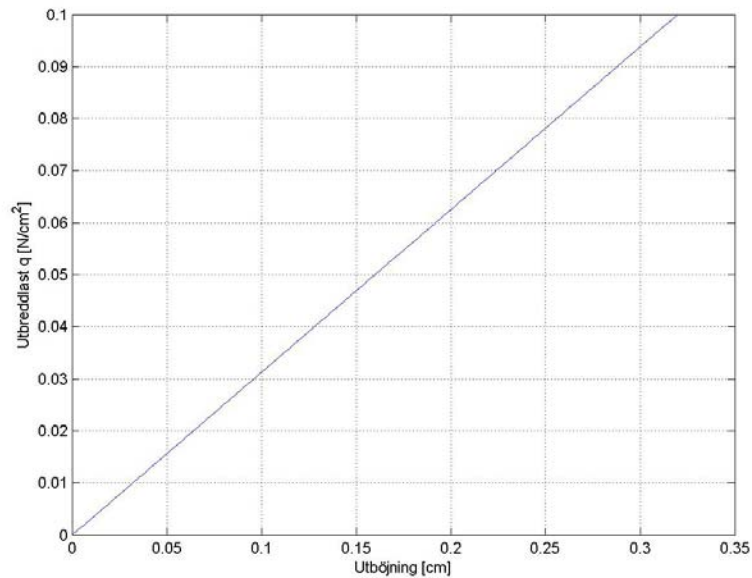
1.3.1 Platteori

Från (1.3) fås följande resultat:



Figur 1.5.a *Utböjning i [cm] för lasten q [N/cm²] på fastinspänd och fritt upplagd balk.*

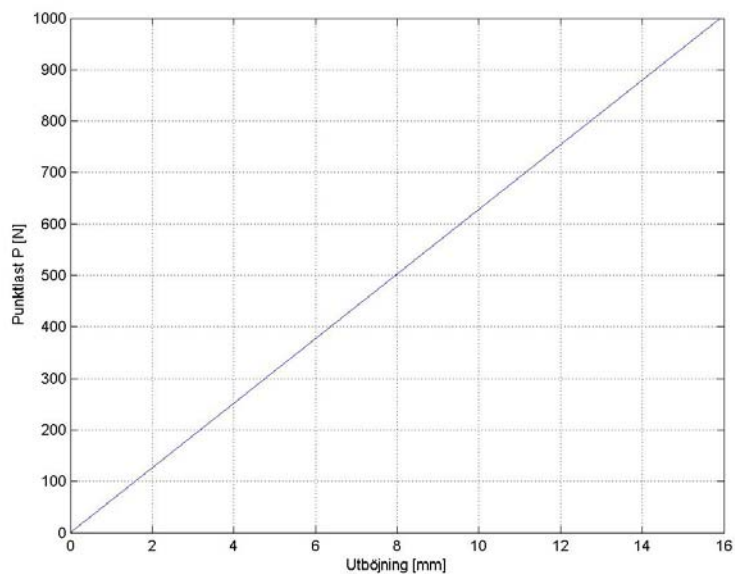
Från (1.4) får följande resultat:



Figur 1.5.b *Utböjning i [cm] för lasten q [N/cm²] på fast inspänd balk.*

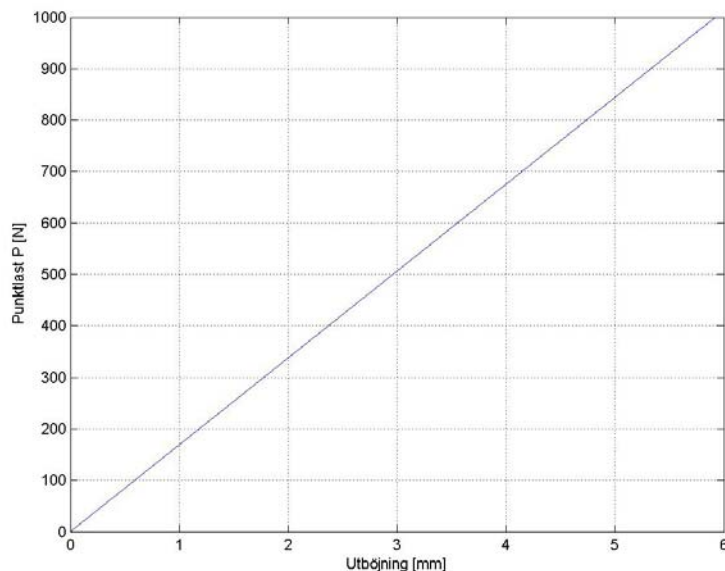
1.3.2 Balkteori

(1.5) ger:



Figur 1.6. *Utböjning i [mm] som funktion av lasten P, för fritt upplagd balk.*

Från (1.6) fås följande resultat:



Figur 1.8. Utböjning i [mm] som funktion av lasten P , för fast inspänd balk.

1.4 Diskussion

I beräkningarna antas att materialet är isotropt, vilket inte är fallet. E-modulen för materialet kommer att variera i x- och y-riktningen. Tre av fallen uppfyller kriterierna. Det fall som inte uppfyller kriterierna kan anses vara alltför olik verkligheten, varför det kan försummas. Ytskiktet på golvet skall klara av ett normalt slitage under två års tid. Detta medför att golvytan eventuellt behöver förses med ett laminat, som ökar livslängden för ytskiktet samt förhindrar att ytskiktet perforeras vid mindre punktlaster.

Dimensionering av träbalkarna som skall bära upp golvytan har inte gjorts. Med ingenjörsmässig approximation bör ströläkt vara tillräckligt styvt för att bära upp konstruktionen. Förutsättningen för detta är att golvet läggs på en plan yta eller att balkkonstruktionen stöts upp i punkterna där läkten är korslagd (sammanlagt 20 punkter.)

För att fästa balkkonstruktionen på undersidan av golvet, kommer lim och skruv att användas. Skruvarna förhindrar att balken skjivas i sidled, vilket kan leda till att ytskiktet skadas.

För att golvet skall kunna användas som emballage vid transporten av huset, krävs det att golvskevorna är vikbara. Detta bör kunna lösas med fyra gångjärn eller motsvarande längs långsidorna på golvskevorna. Gångjärnen kommer att behöva fasas in i materialet, för att inte en springa ska uppstå mellan skivorna. Fästpunkten kommer att finnas i träbalkarna som löper längs långsidorna. Eventuellt kommer dimensionerna att behöva förändras, då storleken på paketet ännu ej är fastställd. Om det visar sig att dimensioneringen av balkarna inte är tillräcklig, kan ytterligare förstärkningar göras genom kompletterande ströläkt.

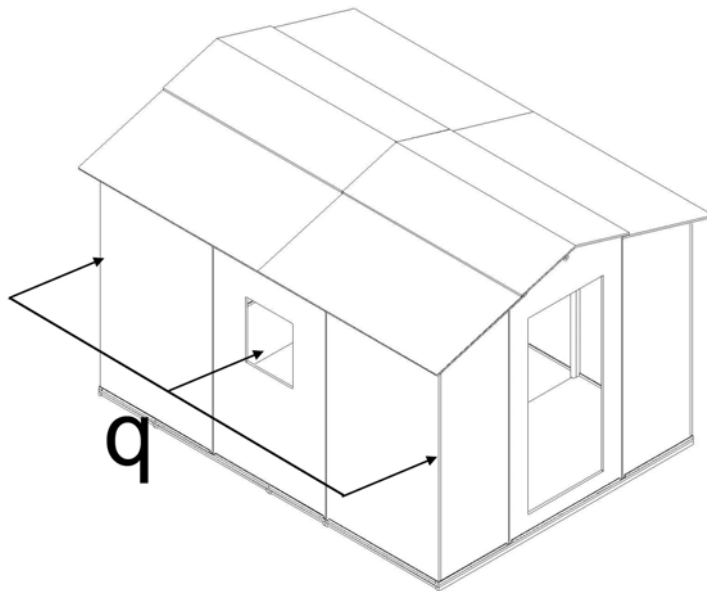
Kanterna på skivorna kommer att bestrykas med vax eller dylikt, för att förhindra att fukt tränger in i materialet och försvagar det.

2 Vägg

2.1 Analys

2.1.1 Väggen

Väggarna kommer att ta upp den kraft som alstras av vinden, vilken kan approximeras med en utbredd last över hela väggen (se figur 2.1). Väggen kommer också att ta upp last från taket. Långsidan är 3,6 [m] och består av tre likadana skivor (se figur 2.4). Gaveln är 2,7 [m] lång och består även den av tre skivor (se figur 2.4-2.6).

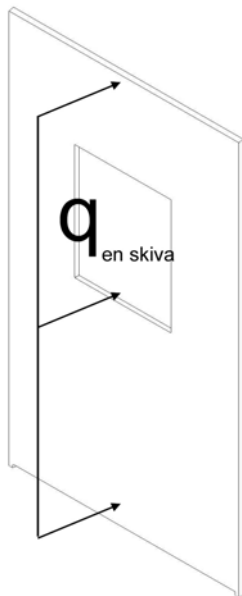


Figur 2.1. Utbredd last över en hel vägg.

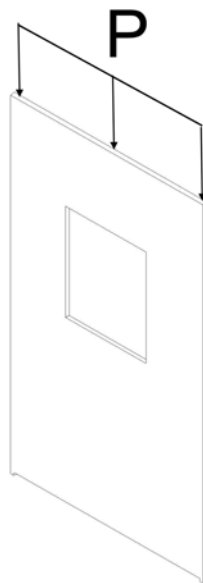
Den kraft som alstras på väggen kommer att tas upp av gavlarna och stolparna. Se dessa rubriker för beräkningar.

2.1.2 Väggsnivorna

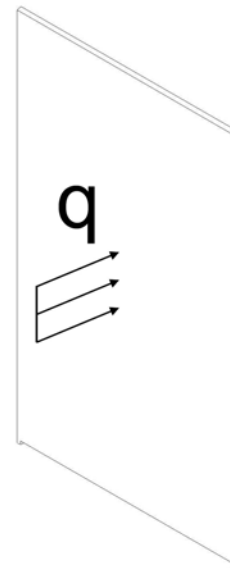
Väggsnivorna måste dimensioneras för att kunna ta upp olika krafter. Från utsidan kommer vinden att utöva ett tryck, som kan approximeras som en utbredd last över hela skivan (se figur 2.2). Väggsnivorna kommer också att ta upp last från taket (se figur 2.3) och då i synnerhet skivorna på gaveln. Från insidan finns kravet att väggen inte får böjas ut mer än 20 [mm] om en person skulle sätta handen mot, vilket motsvarar en mindre utbredd last på 200 [N] (se figur 2.4) [Kravspecifikation, 2005]. Den mindre utbredda lasten approximeras i beräkningarna som en punktlast. Skivornas infästning, vilket behandlas i kapitel 3.1.2, gör att vi approximerar dem som fritt upplagda plattor.



Figur 2.2. En väggskiva med utbredd last

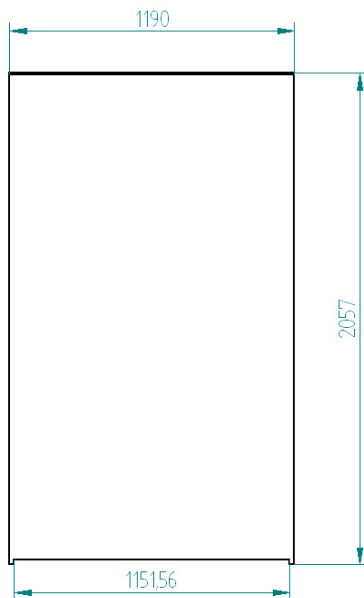


Figur 2.3. En väggskiva med last från taket

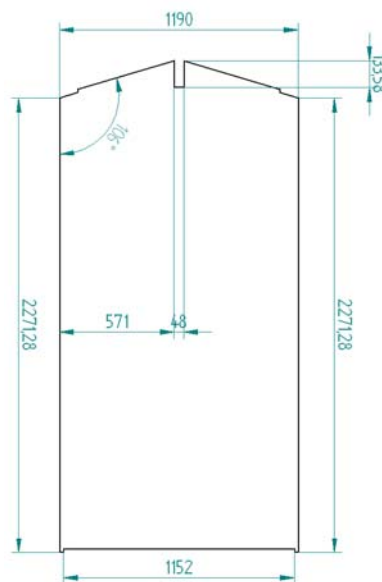


Figur 2.4. En väggskiva med mindre utbredd last

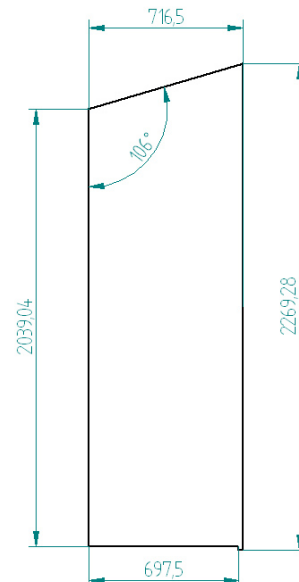
Skivorna kommer att ha tre olika dimensioner. De tre skivorna på långsidan är rektangulära och har alla dimensionen 1.2 x 2.08 [m] (se figur 2.5). Skivorna på gaveln kommer att se olika ut. Mittenskivan, som på ena gaveln har en dörr, är 2.4 [m] hög och 1.2 [m] bred (se figur 2.6). De två skivorna på flankerna av gaveln har samma dimensioner, men är spegelvända (se figur 2.7).



Figur 2.5. Skiva från långsida med mått



Figur 2.6. Mittskiva från gavel med mått

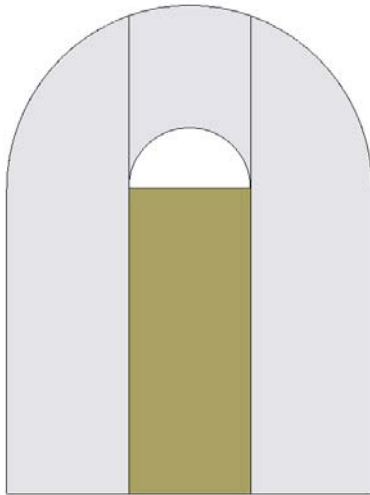


Figur 2.7. Sidoskiva från gavel med mått

Väggskvivorna måste även kunna stå emot yttre påfrestningar, så som väder och vind, utan att de förlorar sina mekaniska egenskaper.

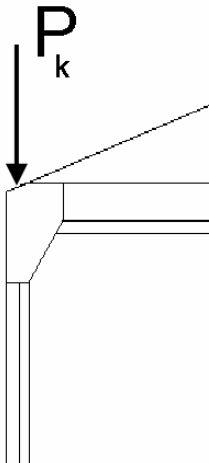
2.1.3. Stolpe

På varje långsida finns två stolpar. En stolpe är 2.08 [m] hög och 48 [mm] bred. Den består av en 16 [mm] Re-boardskiva som är vikt runt en tråkärna. Väggsnivåerna sitter fast i stolparna med en list (se kapitel 4.1.2).

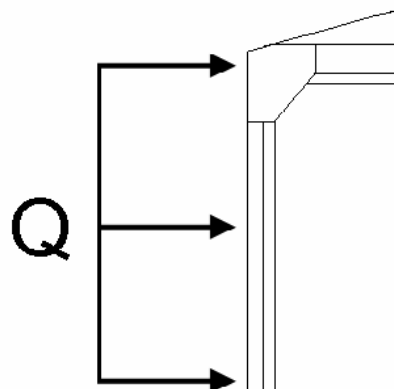


Figur 2.8. Tvärsnitt av stolpe.

Funktionen för stolpen är att kunna fästa väggen och takstolen, och att vara i huvudsak lastbärande av taket. Stolpen kommer således att ta upp vertikala krater från taket, men även den sidokraft som vinden alstrar på väggen. Detta ger oss två lastfall (se figur 2.9 och 2.10).



Figur 2.9. Stolpe med last från taket



Figur 2.10. Stolpe med last från sidan

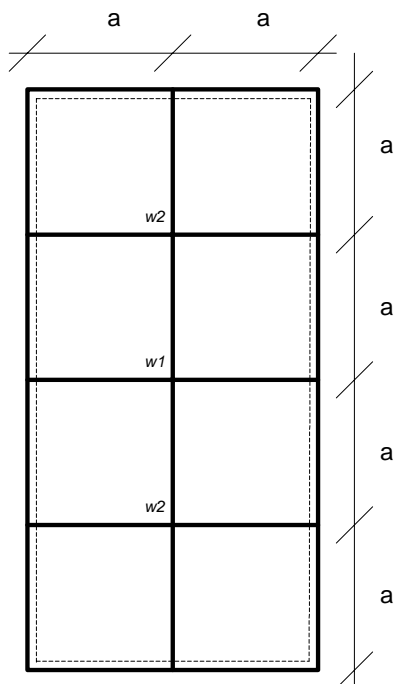
2.2 Beräkningar

2.2.1 Väggsnivorna

Utbredd last orsakad av vind

Vinden approximeras med en utbredd last, q , över hela skivan. Väggsnivorna kan med sina infästningar approximeras som fritt upplagda runt alla kanter. Finita differensmetoden används för beräkning med (2.1).

$$\frac{1}{h^4} [20w_0 - 8(w_1 + w_2 + w_3 + w_4) + 2(w_5 + w_6 + w_7 + w_8) + w_9 + w_{10} + w_{11} + w_{12}] = \frac{q}{D} \quad (2.1)$$



Figur 2.11. Bild på rutnät.

Ekvationerna för nedböjning, δ , i punkt 1 och 2 (se figur 2.11) beräknas med (2.2) och (2.3).

$$\delta_1 = -\frac{17a^4 q}{98D} \quad (2.2)$$

$$\delta_2 = -\frac{13a^4 q}{98D} \quad (2.3)$$

Lasten P från vinden på en skiva beräknas med (2.4). Vindstyrkan väljs till 26 [m/s], då det anses vara ett rimligt högsta värde för vad huset skall klara av.

$$F = \frac{1}{2} \rho v^2 A \quad (2.4)$$

$$q_{en\ skiva} = \frac{F}{3} \quad (2.5)$$

Punktlast

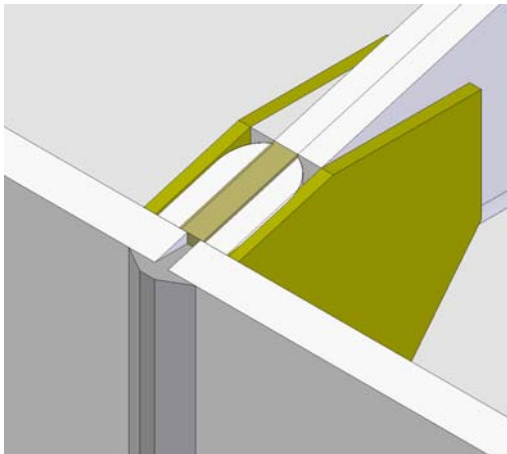
Utböjningen av en väggplatta vid en punktlast i w_l beräknas med Finita differensmetoden och (2.1). Utböjningen δ_1 och δ_2 (se figur 2.11) ges av (2.6) och (2.7).

$$\delta_1 = -\frac{a^2 P}{18D} \quad (2.6)$$

$$\delta_2 = -\frac{a^2 P}{8D} \quad (2.7)$$

Knäckning

Skivans kanter är fastklämda mellan stolparna, vilket ger en förstyvning (se figur 2.12). Skivan approximeras som en balk och då kan Eulers knäckningsfall för sandwichbalkar användas i (2.8) och (2.9) [Zenkert D, 1995].



Figur 2.12. Skiva fastspänd mot stolpe.

$$\frac{1}{P_{cr}} = \frac{1}{P_b} + \frac{1}{S} \quad (2.8)$$

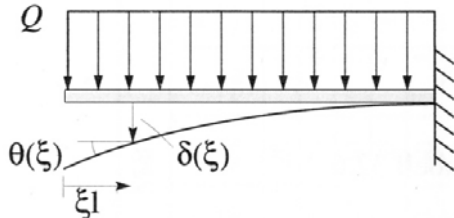
$$P_b = \frac{\pi^2 D}{(\beta L)^2} \quad (2.9)$$

Eftersom böjstyvheten D är beräknad för en 50 [mm] bred balk beräknas den kritiska lasten för hela skivan enligt (2.10).

$$P_{cr\ helaskivan} = \frac{P_{cr}}{50} 1200 \quad (2.10)$$

2.2.2 Stolpen

Infästningen mellan stolpen och takstolpen approximeras som fast inspänd [Sundström B, 1998] (se figur 2.13).



Figur 2.13. Elementarfall för nedböjning av fast inspänd balk med utbredd last.

Den utbredda lasten på hela väggen beräknas enligt (2.4). Den utbredda lasten på väggen tas upp av två stolpar och gavlarna. Detta betyder att den utbredda lasten på varje stolpe fås av (2.11).

$$Q_{\text{en stolpe}} = \frac{F}{4} \quad (2.11)$$

Förskjutningen δ (se figur 2.13) ges av (2.12), hämtad ur [Sundström B, 1998]. Yttröghetsmomentet I , (2.13), beräknas för träkärnan.

$$\delta(\zeta) = \frac{Ql^3}{24EI} (\zeta^4 - 4\zeta + 3) \quad (2.12)$$

$$I = \frac{hb^3}{12} \quad (2.13)$$

Stolpen kommer att bära lasten från taket och därför finns det risk för knäckning (se figur 2.9). Den kritiska lasten beräknas för träkärnan med (2.14). Även här korrigeras den kritiska lasten för att gälla stolpen.

$$P_k = \frac{2,05\pi^2 EI}{l^2} \quad (2.14)$$

$$I_y = \frac{bh^3}{12}$$

2.3 Resultat

2.3.1 Väggsnivorna

Utbredd last orsakad av vind

Utböjningen på väggskivan orsakad av vind beräknas enligt (2.2) och (2.3) med $\rho = 1,23 [\text{kg}/\text{m}^3]$, $A = 7,2 [\text{m}^2]$, $a = 600 [\text{mm}]$ och $v = 26 [\text{m}/\text{s}]$. Resultatet i punkterna 1 och 2 (se figur 2.11), redovisas i tabell 2.1.

Punkt	Nedböjning [mm]
1	17
2	13

Tabell 2.1. Nedböjning av väggskiva orsakad av vindkraft.

Punktlast

Utböjningen på väggskivan orsakad av en punktlast beräknas enligt (2.6) och (2.7). Resultatet i punkterna 1 och 2, (se figur 2.11), redovisas i tabell 2.2.

Punkt	Nedböjning [mm]
1	15
2	3

Tabell 2.2. Nedböjning av väggskiva orsakad av punktlast.

Knäckning

Den kritiska lasten för de tre olika väggskivorna beräknas enligt (2.8) och (2.9) med $D = 2,626 \cdot 10^7 [Nmm^2]$, $S = 3831 [N]$, $\beta = 1$ och $L = 2080 [mm]$. Beräkningar görs även för de skivor som har dörr och fönster. Resultatet redovisas i tabell 2.3.

Skiva	Kritisk last [N]
långsida	1220
långsida med fönster	716
sida på gavel	650
mitten på gavel	1028
mitten på gavel med dörr	170

Tabell 2.3. Kritiska laster för väggskivor.

2.3.2 Stolpen

Böjning

Förskjutningen δ (se figur 2.13) beräknas, för olika bredder, enligt (2.12) med $l = 2080 [mm]$, $E_{trä} = 12 [GPa]$, $b = 80 [mm]$, $h = 16 [mm]$ och $\zeta = 0$. Resultat redovisas i tabell 2.4.

Bredd [mm]	Förskjutning [mm]
40	330
60	97
80	41
100	21

Tabell 2.4: Förskjutning δ med varierande bredd.

Knäckning

Den kritiska lasten beräknas enligt (2.14) med $E_{trä} = 12 [GPa]$, $l = 2080 [mm]$, $b = 80 [mm]$ och $h = 16 [mm]$. Resultaten redovisas i tabell 2.5.

Bredd [mm]	Kritisk last [N]
40	766
60	1150
80	1530
100	1915

Tabell 2.5: Kritiska laster för stolpen

2.4 Diskussion

2.4.1 Väggsnivorna

Vad gäller utböjningen vid utbredd last från vinden, fås den största utböjningen till 17 [mm]. Detta faller inom ramen för de krav som ställts på huset. Utböjningen som kommer av en punktlast blir 15 [mm]. Detta faller också inom de krav som ställts på huset [Kravspecifikation, 2005]. Finita differensmetoden är ett grovt verktyg, men skivans dimensioner är väl tilltagna liksom antagen last. Därför kan detta anses som ett rimligt resultat.

Den kritiska lasten P vid knäckning är 1220 [N] för en hel skiva på långsidan, vilket är väl tilltaget. Samma skiva, men med hål uttaget för fönster, får en kritisk last på 716 [N]. Detta är lägre, men fullt godtagbart. För kortsidan visar resultaten att de smala skivorna är väl tilltagna. Den breda mittenskvivan klarar, även den, höga laster. Den kritiska väggplattan är den med dörr i. Den kritiska lasten för denna är 170 [N]. I fallet som beräknats är dock plattan endast fritt upplagd i ändarna, medan den i verkligheten är uppstyvad i kanterna. Det finns även en form av dörrkarm där kanten är dubbelvikt och limmad, vilket ger ytterligare styvhet till denna skiva (se kapitel 5.1.3.).

2.4.2 Stolpen

Böjningen av stolpen, när den utsätts för en kraft från sidan, beräknades för olika bredder. De två minsta bredderna ger en deformation som inte är godtagbar. Däremot ger de två bredaste stolparna bra värden. För att spara plats och vikt, så anses 80 [mm] ge godtagbart resultat. Den vindhastighet, som ger våra resultat, är mycket väl tilltagen. De höga utböjningarna i ett sådant fall kan inte anses som normalfall. Troligtvis blir de lägre om normala vindförhållanden antas.

Resultaten visar att en stolpe med bredden 40 [mm] kommer att klara de ställda kraven med god marginal. Fallet med nedböjning kommer dock att sätta gränsen och därför väljs stolpens bredd till 80 [mm]. Denna bredd kommer att vara mycket väl tilltagen vid knäckning.

3 Tak

3.1 Analys

3.1.1 Takstol

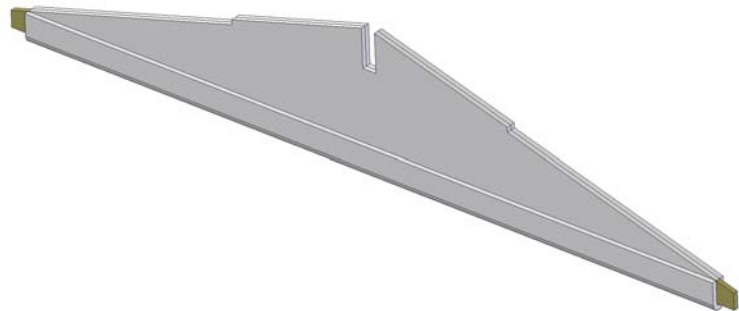
Huset kommer att ha två takstolar som vardera är placerade 1.2 [m] från respektive gavel. Avståndet mellan de båda takstolarna är även det 1.2 [m]. Takstolen består av en 16 [mm] Reboardskiva som är krökt 180° i nederkant. I krökningen är takstolen förstärkt med en 16 [mm] tjock skiva, samt med en MDF-skiva i vardera änden. MDF-skivan är till för att förstyva infästningen i stolpen. I överkant har takstolen ett trappsteg, för att en bra överlappning av takskivorna ska vara möjlig. Det finns även en utskärning i mitten på takstolen där takbalken skall ligga. Takstolen visas i figur 3.1 och 3.2.

Takstolarna kommer tillsammans med gavlarna att bära hela lasten från taket (se figur 3.3). Kravet som är ställt på huset är att taket skall klara av en utbredd last på 300 [kg]. Det betyder att varje takstol skall bära 75 [kg] utbredd last.

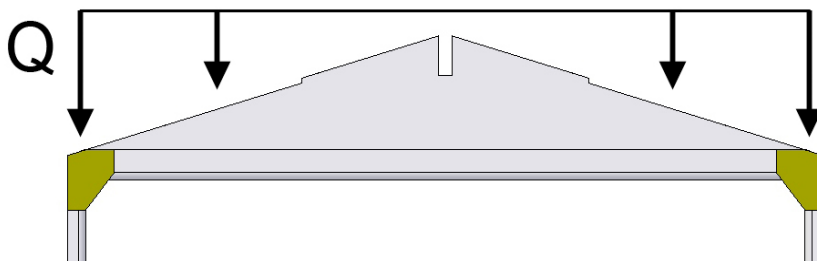
Vid en kraft på ena långsidan av huset, kommer takstolen att fördela kraften mellan stolparna. Om huset påverkas av en kraft på gaveln, kommer kraften att överföras via takbalken och stöden till takstolarna (se figur 3.4).



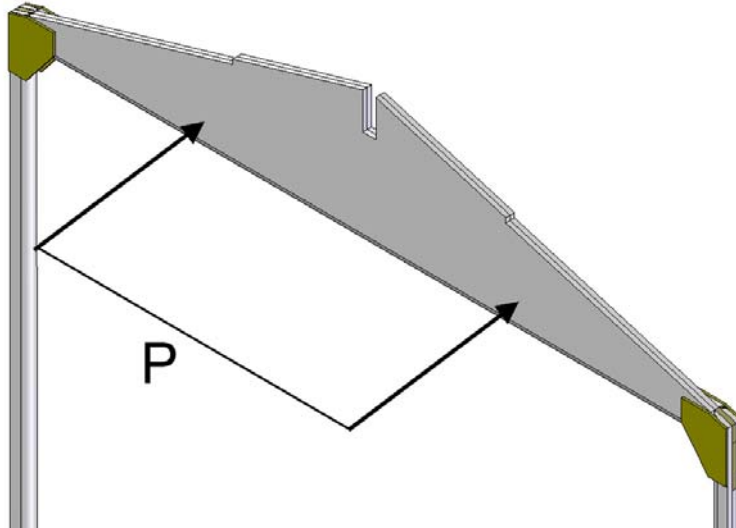
Figur 3.1. Takstol från sidan.



Figur 3.2. Takstol helvy.



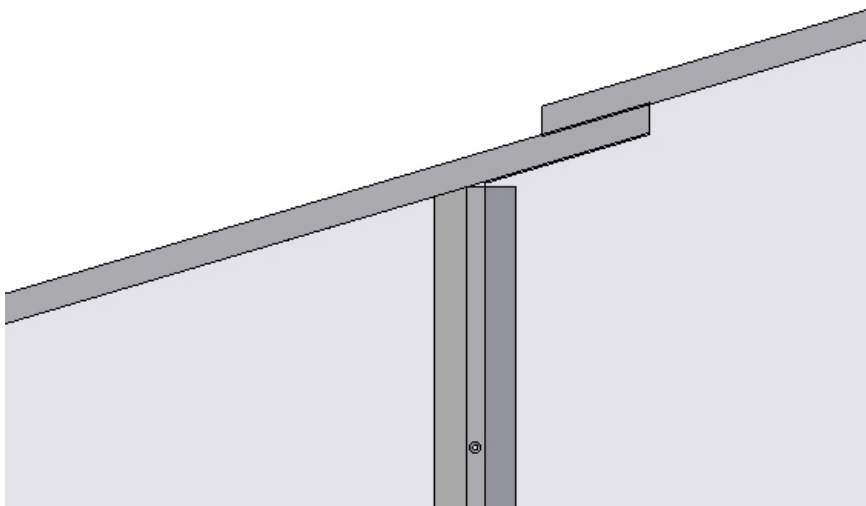
Figur 3.3. Takstol belastad från taket.



Figur 3.4. Takstol i böj.

3.1.2 Takskivor

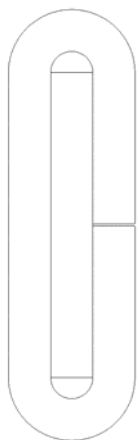
Taket kommer att bestå av 6 stycken skivor av två olika sorter. Den skiva som ligger över nocken kommer att vara utskuren undertill, men ha ett helt ytskikt på ovansidan (se figur 3.5). Denna skiva kommer att gå ner 0,6 [m] på varje sida av nocken och överlappa skivan som avslutar taket. Takskivorna kan approximeras som fritt upplagda plattor och den största ytan mellan stöden kommer att vara 1,2 x 0,6 [m²].



Figur 3.5. Taket med överlappning, sett från sidan.

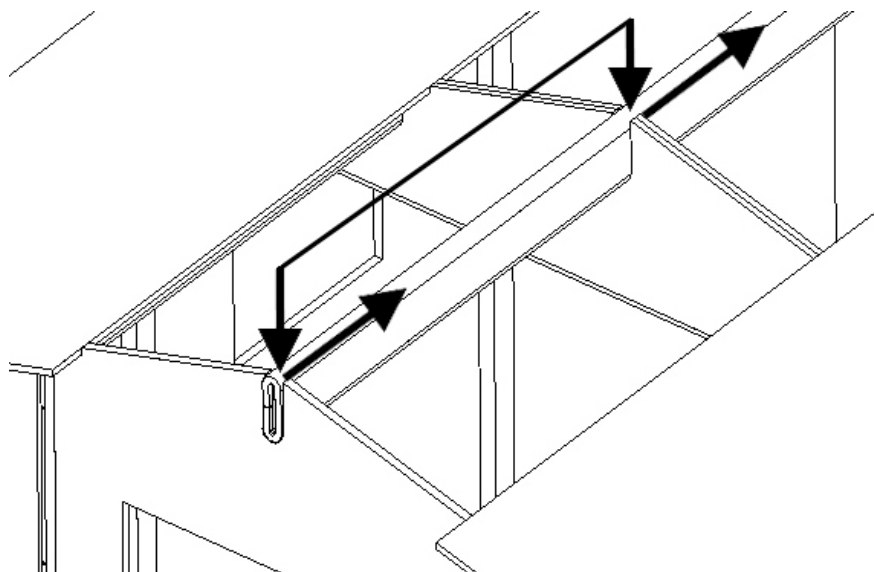
3.1.3 Takbalk

Takbalken är tillverkad av en 16 [mm] Re-boardskiva med en förstärkning i mitten med ytterliggare en 16 [mm] tjock skiva. Den första skivan är krökt 180° i både överkant och underkant och den andra skivan ligger i mitten (se figur 3.6).



Figur 3.6. Takbalk i genomskärning.

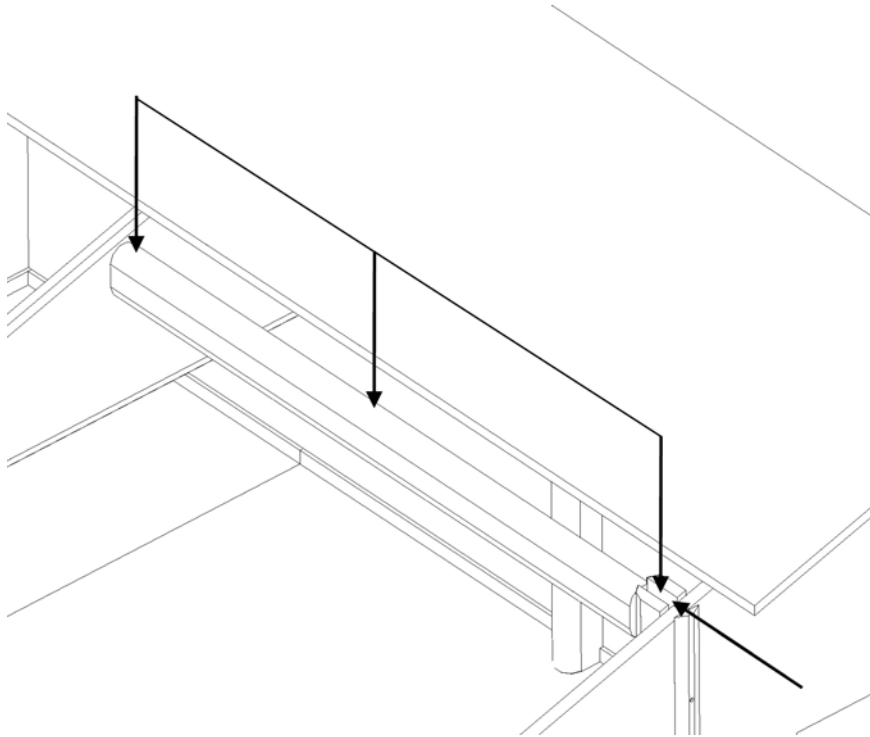
Takbalken är placerad i utskärningen på takstolarna och i mittenskivan på gaveln. Den är 3.8 [m] lång och detta medför att den måste göras delbar på grund av utrymmesbrist vid packning. Den ena halvan av takbalken kommer att ha en utstickande MDF-del som kärna. Denna skjuts in i den andra halvan. Takbalken kommer att ta upp laster från taket och även överföra krafter från gavlarna till takstolarna (se figur 3.7).



Figur 3.7. Laster på takbalk.

3.1.4 Stöd

Stöden sitter placerade mellan toppen på stolparna, som är placerade på gaveln. Stöden har till uppgift att överföra krafter från gaveln till takstolen, samt ge stöd åt takskevorna, och är tillverkade av en 16 [mm] tjock Re-boardskiva. Denna skiva är förstärkt i mitten med ytterligare en 16 [mm] tjock skiva. Den första skivan är krökt 180° i både överkant och underkant och den andra skivan ligger i mitten (se figur 3.6).



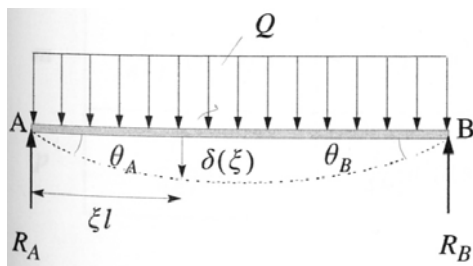
Figur 3.8. Laster på stöd.

3.2 Beräkningar

3.2.1 Takstol

Last från taket

Takstolen har formen enligt figur 3.1. När man ställer en Re-boardskiva på kanten försummas inverkan av kärnan vid belastning och endast ytskikten tas med i beräkningarna. För att kunna göra beräkningar förenklas formen på skivan till en rektangulär balk. Den förenklade balken får då längden 2550 [mm], bredden 3,3 [mm] och höjden 200 [mm]. Belastningen på en takstol kan approximeras enligt figur 3.9.



Figur 3.9. Elementarfall för nedböjning av fritt upplagd balk med utbredd last.

Nedböjningen på mitten av balken beräknas med (3.1) utifrån elementarfall [Sundström B, 1995].

$$\delta\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{5}{384} \cdot \frac{Ql^3}{EI} \quad (3.1)$$

$$I_z = \frac{hb^3}{12} \quad (3.2)$$

Spänningarna i nedre delen av balken beräknas enligt (3.3). Beräkningarna utförs för att kontrollera att det inte uppkommer sprickor i ytskiktet vid deformation.

$$\sigma_{ytskikt} = \frac{Mz}{E_{ytskikt} I} \cdot E_{ytskikt} \quad (3.3)$$

Momentet beräknas genom att ta ut en punktlast på balkens mitt som motsvarar den nedböjning som beräknades för utbredd last.

Takstol i böjning

Den kraft med vilken vinden trycker på gaveln överförs till takstolarna genom stöden. Vindkraften beräknas med (2.4) och väggarea $A = 6,25 [m^2]$. Den utbredda lasten på gaveln antas vara fördelad på de två sidoväggarna och de två stöden. Lasten från stöden antas vidare vara fördelad lika på två takstolar. Eftersom en takstol består av tre skivor divideras lasten återigen på tre.

$$\delta\left(\frac{L_2}{2}\right) = \frac{P(L_2 - L_1)(2L_2^2 + 2L_1L_2 - L_1^2)}{24D} + \frac{PL_2}{2S} \quad (3.4)$$

Utböjningen av takstolarna (se figur 3.9) beräknas med (3.4) [Zenkert D, 1995 (2)]. Böjstyvheten D gäller för en 50 [mm] bred balk. I detta fall är balken 200 [mm] bred och 3 skivor tjock och därför multipliceras D med 4 och 3.

3.2.2 Takskivor

Nedböjningen av taket beräknas med Finita differensmetoden (se figur 2.11) enligt ekvation (2.1). En utbredd last q antas verka över hela plattan. Då fås utböjningarna δ_1 och δ_2 (se figur 3.6) enligt (2.2) och (2.3).

3.2.3 Takbalk

Takbalken kommer att vara böj- och tryckbelastad. Dimensionen på takbalken är densamma som takstolen, men på grund av sin slutna konstruktion kommer balken att vara styvare. Takbalken kommer att böjbelastas på en kortare längd än takstolen, vilket betyder att hållfastheten på takbalken inte kommer att vara avgörande vid eventuell kollaps. Takbalken är konstruerad på samma sätt som stolpen, för vilken beräkningar redan har gjorts. Tryckbelastningen på takbalken kommer att vara mindre än för stolpen, vilket betyder att om stolpen håller kommer även takbalken att göra det. Därför görs inga beräkningar på takbalken.

3.2.4 Stöd

Stödets konstruktion är densamma som takbalken. Därför görs inga beräkningar på stöden.

3.3 Resultat

3.3.1 Takstol

Last från taket

Nedböjningen av takstolen beräknas enligt (3.1) med $Q = 750 [N]$, $l = 2550 [mm]$, $E_{ytskikt} = 1000 [MPa]$, $h = 3,3 [mm]$ och $b = 200 [mm]$. Två elementarfall för nedböjning av balk med utbredd last har använts. Fall 1 är den initiala nedböjningen som orsakas av takplattornas vikt. Nedböjningen i fall 2 är orsakad av den maxlast som huset skall klara av [Kravspecifikation, 2005]. Resultaten redovisas i tabell 3.1.

Fall	Nedböjning [mm]
1	4
2	74

Tabell 3.1: Nedböjning av takstol.

Böjning

Deformationen av takstolen i böjning beräknas enligt (3.4) med $P = 108 [N]$, $L_2 = 2515 [mm]$, $L_1 = 1200 [mm]$, $D = 12 \cdot 2,262 \cdot 10^7 [Nmm^2]$ och $S = 4 \cdot 3831 [N]$. Resultat blir

$$\delta\left(\frac{L_2}{2}\right) = 257 [mm]$$

3.3.2 Takskivor

Utböjningen på väggskivan orsakad av vind beräknas enligt (2.6) och (2.7). Resultatet i punkterna 1 och 2 (se figur 3.4) redovisas i tabell 3.2. a i figur 2.11 är 300 8 [mm].

Punkt	Nedböjning [mm]
1	2,2
2	1,6

Tabell 3.2. Nedböjning av takskiva, orsakad av utbredd last.

3.4 Diskussion

3.4.1 Takstol

Nedböjningen för takstolen vid maxlast blir 74 [mm]. Detta är ett relativt högt värde, men med tanke på att takstolens bredd är jämförelsevis stor, borde man inte få känslan av att taket ska rasa in. Maxlasten är mycket väl tilltagen och tanken är inte att man skall kunna gå på taket. Den statiska nedböjningen vid påläggning av taket är 4 [mm] vilket är ett rimligt värde.

3.4.2 Takskivor

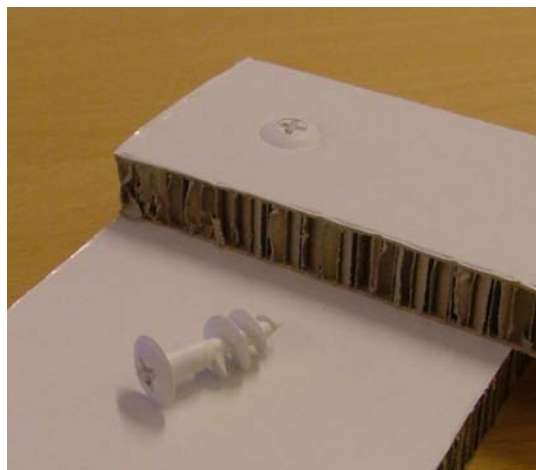
Nedböjningen av takskivorna ligger på en nivå som är fullt godtagbar. Den lilla nedböjning som blir, kommer ej att skapa en känsla av att taket kan rasa in. Finita differensmetoden är ett grovt verktyg, men skivans dimensioner och lasten är väl tilltagna. Därför kan detta anses som ett rimligt resultat.

4 Infästningar

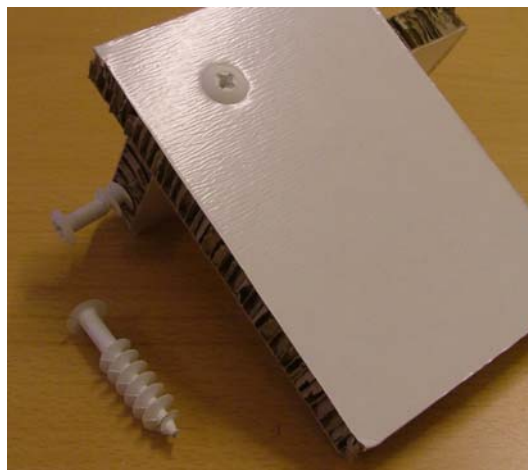
4.1 Analys

4.1.1 Re-boardskruv

En speciell skruvtyp är framtagen för att kunna skruva och fästa i Re-boardskivor. Det finns två olika sorters skruvar med två olika funktioner. Den första (se figur 4.1) är avsedd att kunna fästa två skivor med ytskikten mot varandra. Den andra (se figur 4.2) används för att skruva i gaveln på skivan. Eftersom skruvarna inte är gängade hela vägen upp till huvudet, uppnås samma effekt som vid förborring.



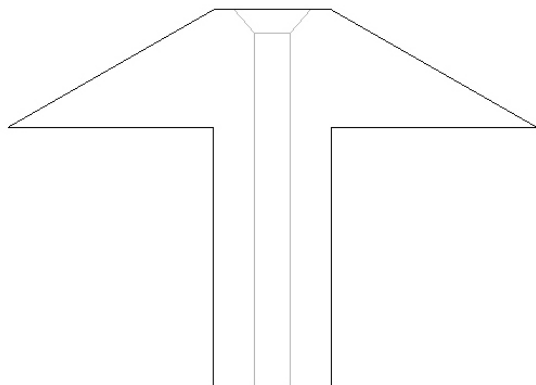
Figur 4.1. Kort Re-boardskruv och tillämpning.



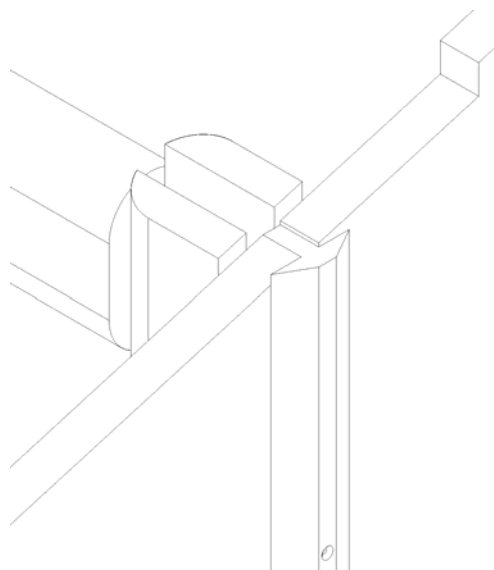
Figur 4.2. Lång Re-boardskruv och tillämpning.

4.1.2 Vägg mot stolpe

Väggarna är infästa i stolpen med hjälp av en list (se figur 4.3). Listen skruvas fast i stolpens mittskiva. Infästningen kan ses i figur 4.4.



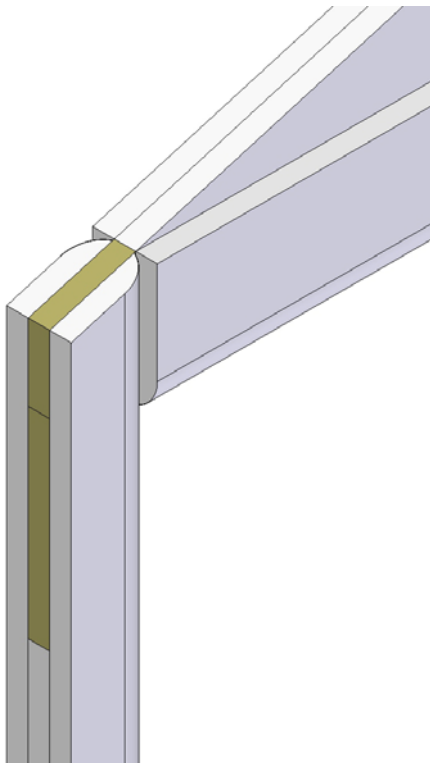
Figur 4.3. List för fixering av vägg mot stolpe.



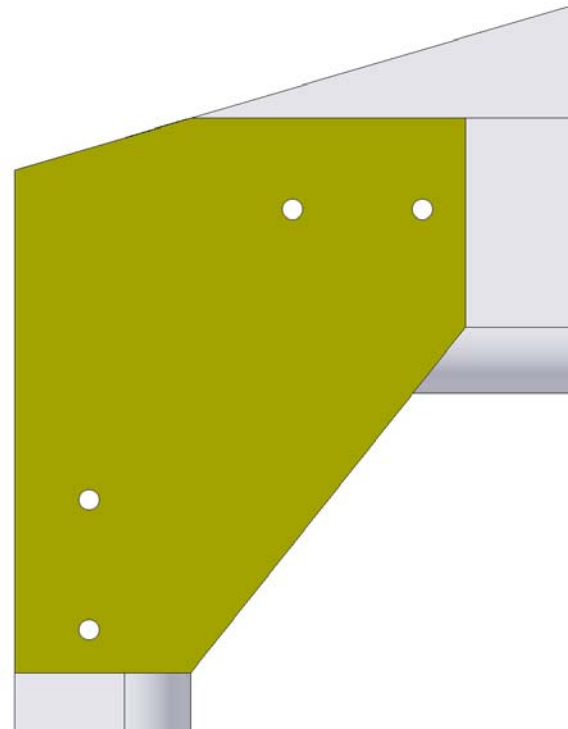
Figur 4.4. Infästning vägg mot stolpe.

4.1.3 Stolpe mot takstol

Stolpen har, i mitten upptill, en MDF-skiva. Det har även takstolen. Dessa passas in enligt figur 4.5. Två plywoodskivor placeras utanpå Re-boardskivorna. Bultar dras genom förborrade hål och fixerar infästningen (se figur 4.6).



Figur 4.5. Inpassning av trä mot MDF.



Figur 4.6. Slutlig infästning med plywood.

4.1.4 Takstol mot tak

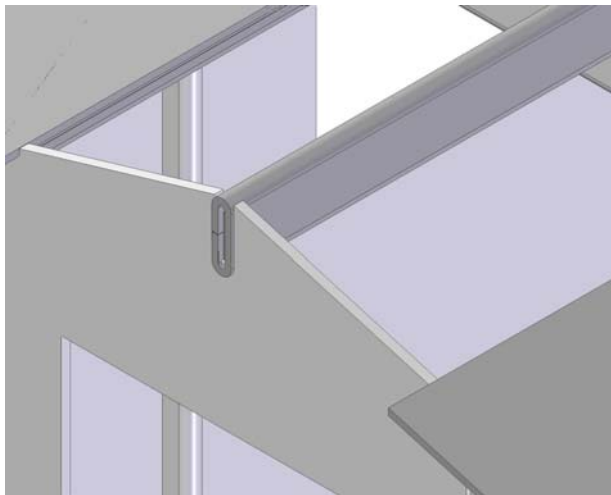
Takskivorna läggs på takstolarna och fixeras sedan med hjälp av en vinklad mindre skiva, som har samma funktion som ett vinkeljärn. Den mindre skivan fästs med Re-boardskruv.

4.1.5 Tak mot vägg

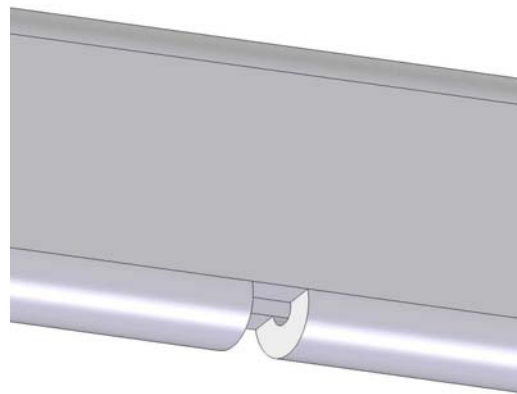
Taket läggs på väggarna och fixeras med hjälp av en vinklad mindre skiva, som har samma funktion som ett vinkeljärn. Den mindre skivan fästs med Re-boardskruv.

4.1.6 Takbalk mot takstol

Takstolarna och gavlarna har en utskärning där takbalken läggs i och fixeras i sidled (se figur 4.7). Takbalken har i underkant en utskärning som passar in på takstolarna och gavlarna. Då fixeras balken i längdled (se figur 4.8).



Figur 4.7. Takbalk i gavel sett från sidan.



Figur 4.8. Utskärning i takbalk sett underifrån.

4.1.7 Hus mot mark

Då huset kommer att ha en relativt låg vikt krävs det att huset förankras i marken, för att det inte skall välta vid högre vindstyrkor.

Golvet kan förankras i marken med kilar, eller så kan golvbalkarna tillåtas att skjuta ut utanför husets golvyta, vilket förhindrar att huset välter. De utskjutande balkarna kan även fästas i marken för att ge ytterligare stabilitet. Båda dessa lösningar kräver att väggsnivåerna är ordentligt fastsatta i golvplattan och att taket sitter stadigt.

Som komplement till de ovanstående infästningarna kan linor fästas i husets övre del. Linorna kan sedan fästas antingen i marken eller i de utskjutande träbalkarna.

Huset kommer att behöva förses med infästningar för linor och eventuella kilar. Exakt hur huset skall förankras i marken kommer att presenteras i den slutgiltiga designrapporten.

4.2 Lim

Lim kommer att användas i följande delar: takstolarna, stolparna, golvplattorna, dörren, takbalken, stöden och fönstret. De olika kombinationerna av fästtyper är ytskikt mot ytskikt, ytskikt mot trä och ytskikt mot plast.

För limning av ytskikt mot ytskikt och ytskikt mot trä kommer det lim som används vid tillverkningen av skivorna (pva-C) att brukas. För limning av papper mot plast kommer ett ”hotmelt” lim att användas.

5 Dörr

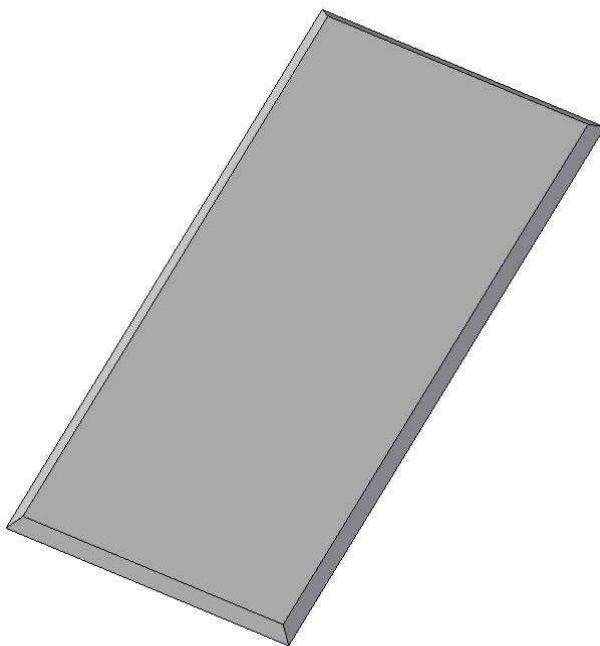
5.1 Analys

Huset ska förses med en dörr som ska tåla normalt slitage i 2 år. Det är viktigt att dörren inte bara är stabil, utan även upplevs som sådan. Därför konstrueras dörren av en dubbel Re-boardskiva, tjocklek 2x16 [mm], och fästs på väggen med gångjärn av plast.

På grund av husets konstruktion placeras dörren mitt på ena gaveln. Anledningen till detta är att den mittersta Re-boardskivan är den enda av gavelskivorna som är tillräckligt bred. Att placera dörren i någon av de andra två skivorna skulle kräva korsande skarvar tvärs över väggens egna, vilket blir svårare att täta och mer instabilt ur hållfasthetssynpunkt.

5.1.1 Dörrskivan

En ingenjörsmässig approximation är att en dubbellimmad Re-boardskiva av två stycken 16 [mm] tjocka skivor är tillräckligt styv och hållbar i sammanhanget. Storleken på dörren är 1800x800 [mm]. Dörren fasas på samtliga kanter med 45°, för att minska eventuellt läckage mellan dörr och dörrkarm. Dessa fasade kanter behandlas med vax för att öka fuktresistensen.



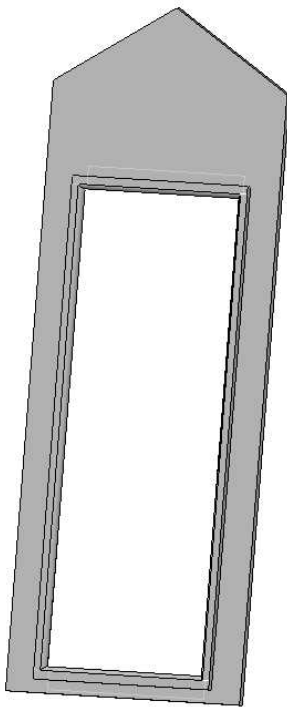
Figur 5.1. Principbild av dörr

5.1.2 Handtag

Dörren ska kunna öppnas och stängas från både utsidan och insidan. Den behöver inte vara låsbar. I nuläget ser handtaget ut som en U-formad klyka, där de två utstickande delarna i stängt läge hamnar på var sin sida om väggen.

5.1.3 Dörrkarm

Dörrkarmen monteras i mittenskivan av ena gaveln. För att stabilisera det utskurna dörrhålet, viks Re-boardskivan på långsidorna utåt. Ytskiktet görs längre än kärnan och limmas mot ytterväggen (se figur 5.2).



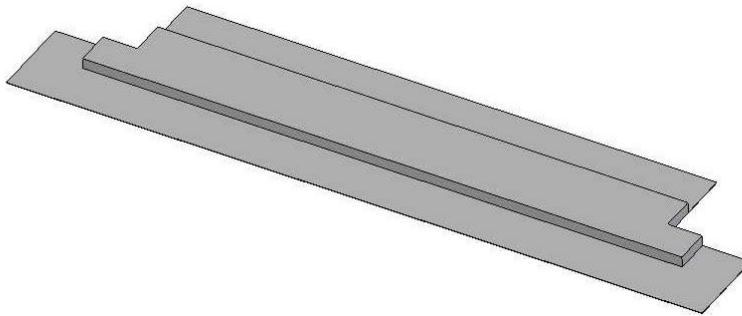
Figur 5.2. Gavelvägg med dörrkarm



Figur 5.3. Detalj av dörrkarm

5.1.4 Tröskel

Tröskeln förstärks genom att en specialformad del av Re-boardskiva limmas på utsidan, viks över dörrehålet och limmas med extra ytskikt fast på insidan väggen. Denna del (se figur 5.4), täcker även sågade ytor på långsidornas Re-boardvikningar. Övre dörrkarmen konstrueras på samma sätt som tröskeln.



Figur 5.4. Specialutformad tröskeldel.

5.2 Beräkningar

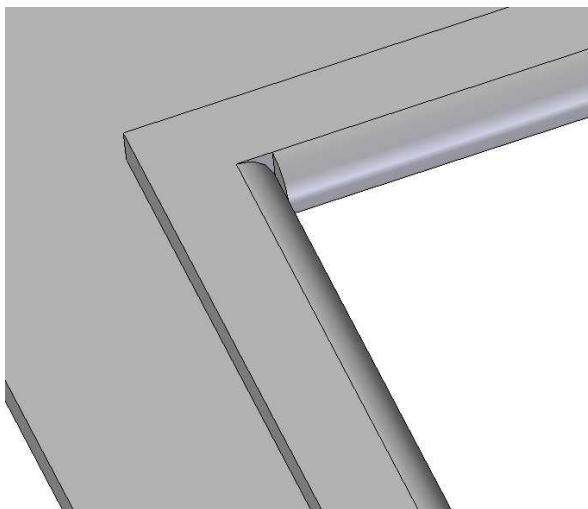
Beräkningar på dörr och dörrkarm kommer att göras i ett senare skede.

5.3 Resultat

Se 5.2

5.4 Diskussion

Inför den slutgiltiga designen bör beräkningar göras på styvhet och hållbarhet, för att kunna verifiera approximationen. Eventuellt blir det tvunget att göra kompletterande tätning med vax i dörrkarmens hörn, eftersom den specialutformade tröskeldelen inte fullständigt täcker skurna ytor (se figur 5.5).



Figur 5.5. Detalj av dörrkarm.

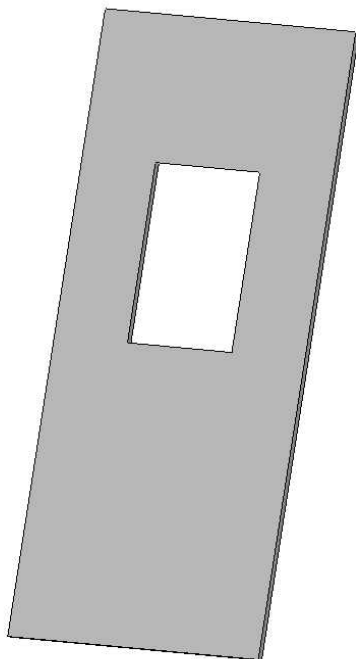
6 Fönster

6.1 Analys

Huset ska ha ett fönster för att släppa in ljus och ge en öppnare känsla till rummet. Fönstret är utskuret ur en Re-boardskiva och täckt med tältplast. Till fönstret ska även höra en stängningslucka, för att ge möjligheten att få det mörkt i rummet.

6.1.1 Fönstervägg

Fönstret ska ha en storlek på 500x600 [mm], baserat på vad som uppfattas som tillräckligt stort att kunna klättra ut igenom. Eftersom fönstret inte kommer att vara öppningsbart kan man inte klättra ut genom det utan att förstöra rutan. Det viktigaste är den upplevda känslan av att möjligheten ändå finns. Placeringen av fönstret är 1 [m] från golvet. Höjden baseras på att det ska gå att se ut om man sitter ner, samt att den Re-boardskiva fönstret ska skäras ut i inte ska tappa för mycket i hållfasthet och styvhet (se figur 6.1). Övre kanten av fönstergluggen är fasad 45° mot utsidan.



Figur 6.1. Väggskiva med utsågad fönsterglugg.

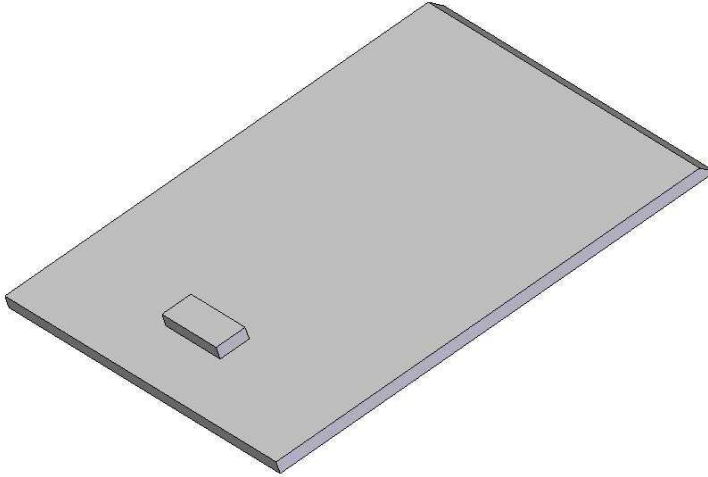
6.1.2 Fönsterruta

Fönstergluggen ska täckas med transparent tältplast av tålig typ, som skyddar mot vind och nederbörd. Plasten limmas fast på utsidan av väggen. Att den limmas på utsidan har sin grund i att den portabla fönsterluckan, enkelt konstruerad, ska vara manövrerbar från insidan.

6.1.3 Fönsterlucka

För att vid behov kunna mörklägga huset, finns en fönsterlucka som man med ett enkelt handgrepp kan täcka fönstergluggen med. Denna skiva är helt löstagbar och konstruerad enligt figur 6.2. Den övre kanten av luckan är fasad i 45°, vilket också fönstergluggen är men i motsatt

riktning (se figur 6.3). På så sätt kan man vinkla in fönsterluckan i överkant och sen placera den på den rakt skurna nederkanten.



Figur 6.3: Fönsterlucka.

6.2 Beräkningar

Beräkningar kommer att göras i ett senare skede.

6.3 Resultat

Se 6.2.

6.4 Diskussion

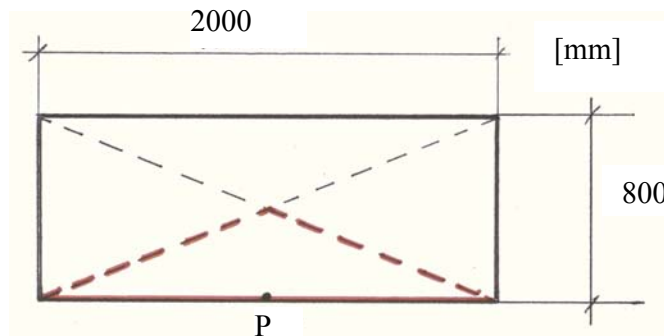
Eventuellt måste handtaget på fönsterluckan omformas om det visar sig vara svårt att greppa. Vilken sorts tältplast som kommer att användas är inte specificerat i nuläget. Ytterligare kontakt med producenter av plastfolier är nödvändig.

7 Säng

Enligt kravspecifikationen för projektet ska huset levereras med två sängar.

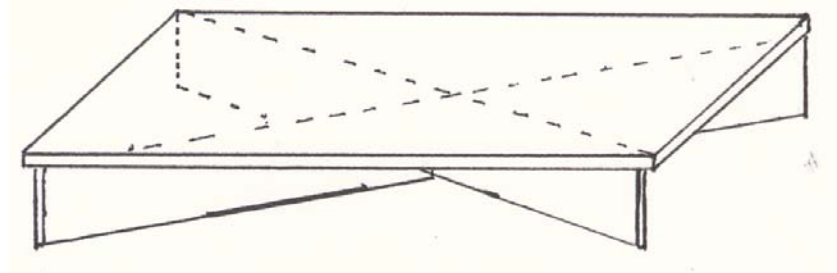
7.1 Analys

Sängen konstrueras av en Re-boardskiva med tjocklek 22 [mm] och övriga mått enligt figur 7.1.



Figur 7.1. Mått på sängskiva och markering av punktbelastning P .

För att få upp skivan en bit från underlaget fixeras den vid ett krysstag (se figur 7.2).

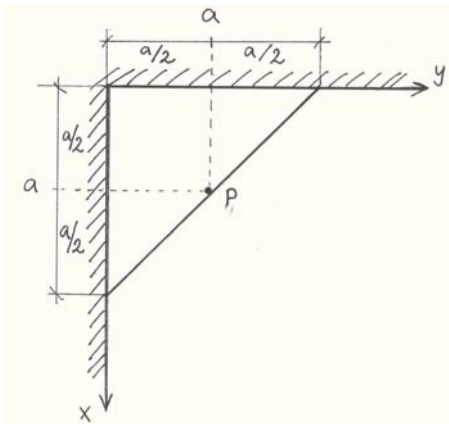


Figur 7.2. Sängskiva med krysstag

För att få ledning till problemet med eventuell nedböjning av sängskivan vid belastning, besöktes institutionen för hållfasthet. Den del av sängen som beräkningarna gällde är den rödmarkerade triangeln (se figur 7.1). Inledande överslagsberäkningar utgående från elementarfallet fast inspänd platta av triangulär form, elementarfall 1, visade sig ge värden på utböjningen som var av rätt storleksordning. Därefter utfördes noggrannare beräkningar.

7.2 Beräkningar

Elementarfall fast inspänd elastisk platta med tjocklek h och punktbelastning P (se figur 7.3).



Figur 7.3. Beräkningsprincip utgående från elementarfall fast inspänd triangulär platta.

Formel för beräkning av utböjning δ

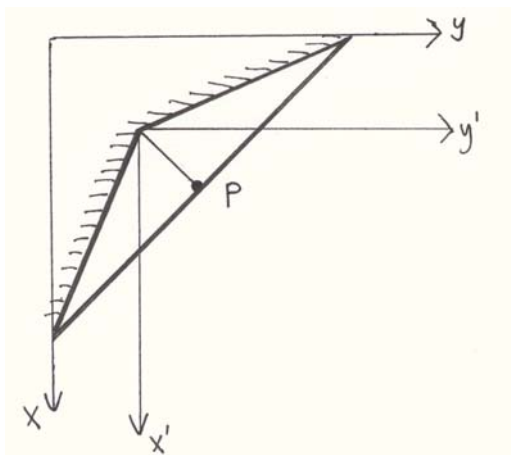
$$\delta = \frac{45}{32(10 - 3\nu)} \frac{P}{Da^2} x^2 y^2 \quad (7.1)$$

där P är punktlasten, x och y anger koordinater för punkten P (i detta fall $a/2$), ν är Poissons tal och a är längden på skivans inspända sida.

Värdet på böjstyvheten för en balk med bredden 50 [mm] har tidigare beräknats [Wennberg O, 2005].

$$D = EI \quad (7.2)$$

För att applicera elementarfallet på det verkliga beräkningsfallet, antogs två nya koordinatsystem (se figur 7.4). Med de koordinatsystemen beräknades sedan nedböjningen och de två erhållna värdena jämfördes och gav en fingervisning om den verkliga nedböjningen.



Figur 7.4. Den verkliga plattan med koordinatsystem för respektive beräkningsfall.

7.3 Resultat

Eftersom det beräknade värdet på D enligt [Wennberg O, 2005] gällde för en 50 [mm] bred provbit, erhöles D för beräkningar med (7.1) genom att dividera med provbitsbredden. Detta gav ett värde på $D = 5 \cdot 10^5$ [Nmm]. Ekvation (7.1) och (7.2) med $\nu = 0.2$, $P = 1000$ [N], $x = y = 707$ [mm] och $a = 1414$ [mm] resulterade i en utböjning $\delta = 37.4$ [mm].

Nedböjningen δ beräknades enligt (1) och (2) med $\nu = 0.2$, $P = 1000$ [N], $x = y = 354$ [mm] och $a = 707$ [mm]. För det andra koordinatsystemet med $x' = y' = 283$ [mm] och $a' = 566$ [mm] blev utböjningen lägre. Resultatet redovisas i tabell 7.1.

Fall	Nedböjning [mm]
1	37,4
2 (xy-koord)	9,4
3 (x'y'-koord)	6

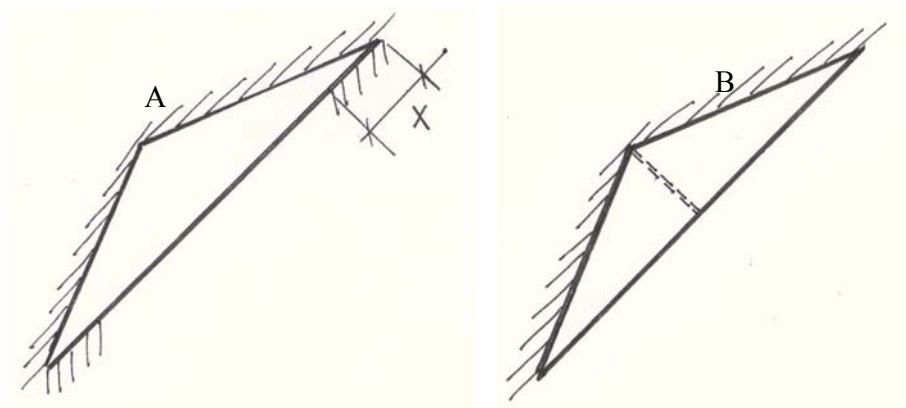
Tabell 7.1. Nedböjning av sängskiva.

7.4 Diskussion

Eftersom elementarfallet och det verkliga fallet inte är geometriskt identiska, finns en risk att de beräknade värdena på utböjningen inte överensstämmer med verkligheten.

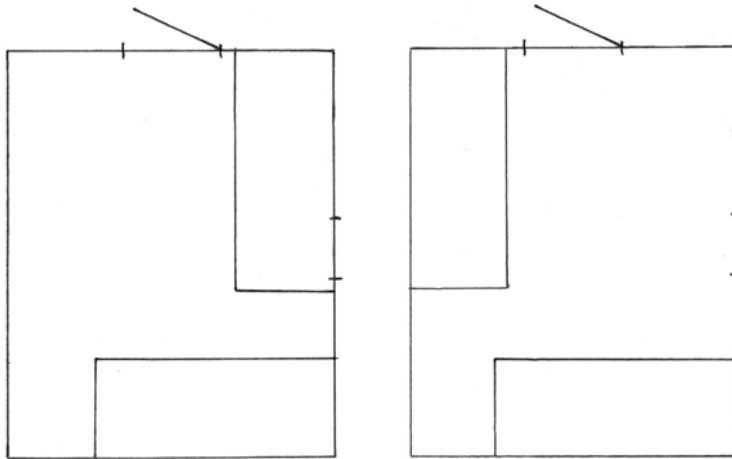
Det beräknade värdet på böjstyvheten D [Wennberg O, 2005] har erhållits med ett begränsat antal försök och kan inte ses som vetenskapligt verifierat.

Om nedböjningen vid framtida experiment kommer visa sig vara för stor, har olika förstärkningsalternativ tagits fram (se figur 7.5). Förstärkningen (se figur 7.5A) innebär att krysstaget förlängs med två längder, som kommer att staga upp sängskivans långsidor. Sträckan x (se figur 7.65A) behöver vidare beräkningar för att fastställas. En annan förstärkning (se figur 7.5B) innebär att krysstaget kompletteras med ytterligare ett tvärgående stag. Sängplattan kan också förstärkas genom att kanterna på långsidan viks 180° som dörrkarmen i kapitel 5.1.3.



Figur 7.5. Två förslag till förstärkning av sängplattan. A) Fast inspänning längs delar av långsidan. B) Ytterligare ett stag på undersidan mitt på långsidan av sängplattan.

Ett förslag på möblering kan ses i figur 7.6.



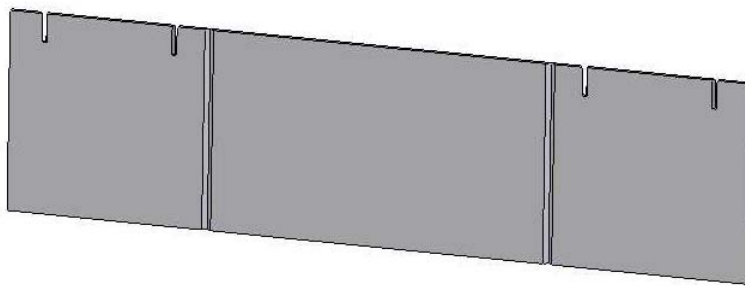
Figur 7.6. Förslag på möblering i huset.

8 Bord

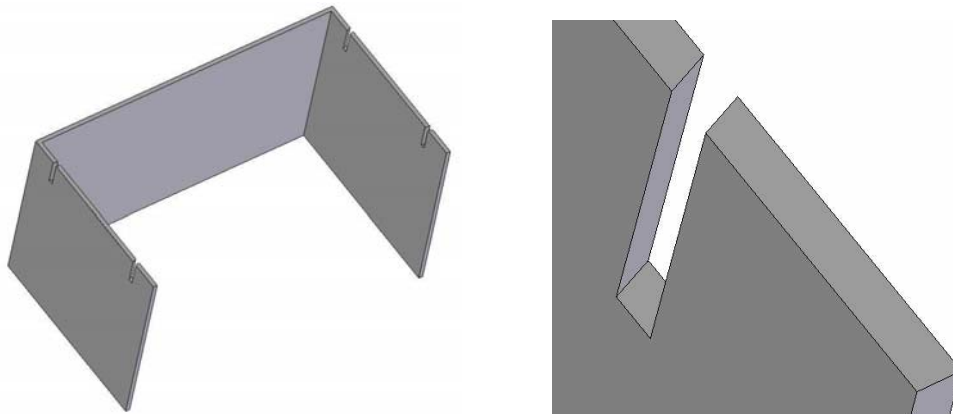
Enligt kravspecifikationen för projektet [Kravspecifikation, 2005] ska huset levereras med ett bord. Uppgiften har lösts genom en tillsats till sängen, som manuellt placeras under sängens krysstag (se figur 7.2). Tillsatsen höjer upp sängskivan till en behaglig skrivbordshöjd.

8.1 Analys

Sängen med krysstag kompletteras med en extrahöjning, som har fasade hål för att sängens krysstag skall kunna passas in ovanpå höjningen (se figur 7.6 och 7.7).



Figur 7.6. Omonterad extrahöjning till säng.



Figur 7.7. Extrahöjning till säng med förstoring av fasning avsett för sängens krysstag.

8.2 Beräkningar

Beräkningar kommer att göras i ett senare skede.

8.3 Resultat

Se 8.2.

8.4 Diskussion

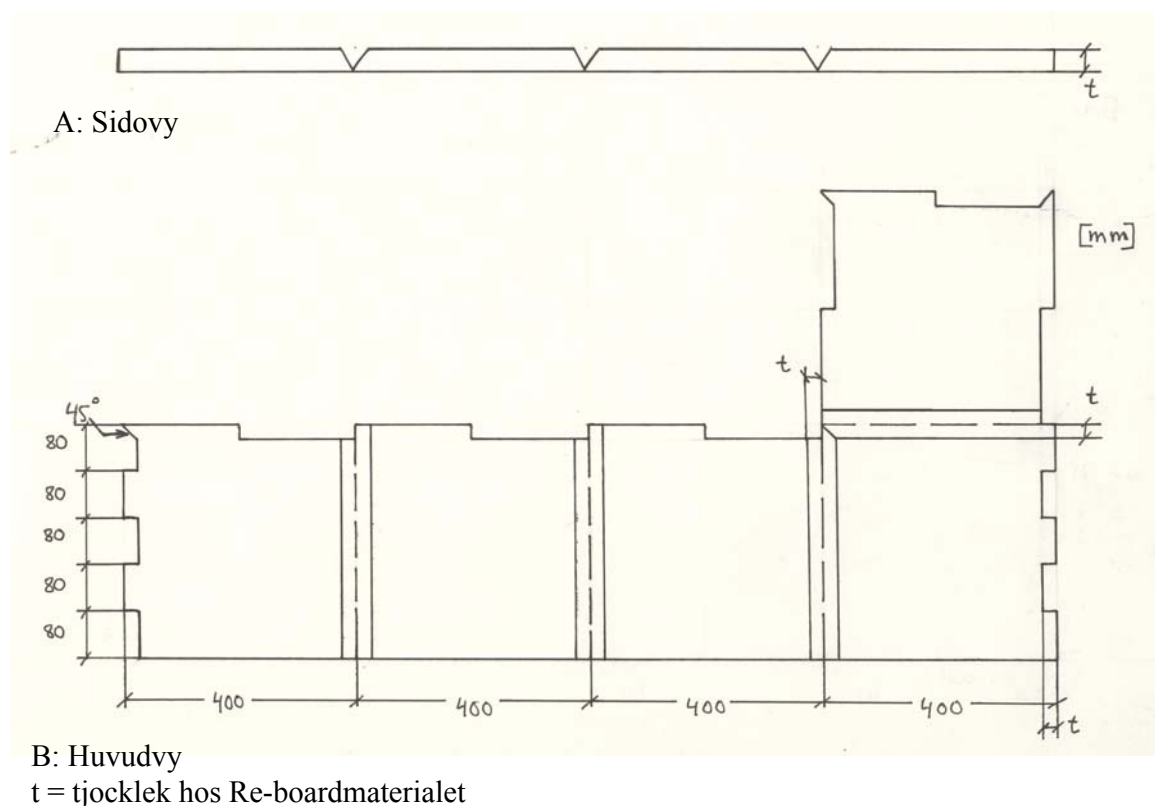
Eventuellt måste extrahöjningen till sängen modifieras lite för att öka stabiliteten när delarna är hopmonterade till ett bord.

9 Pall

Enligt kravspecifikationen för projektet [Kravspecifikation, 2005] ska huset levereras med två stolar/pallar.

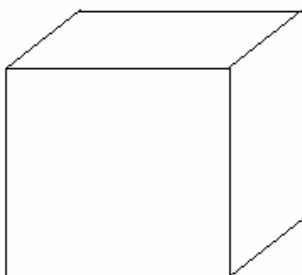
9.1 Analys

Huset skall utrustas med två pallar. De har en enkel och självlåsande design som inte behöver limmas. Detta fungerar om Re-boardbitarna har god inpassning i varandra och om Re-boardmaterialet är av tillräcklig tjocklek (se figur 9.1). Streckade linjer i figuren visar var materialet skall fasas och vikas för att kunna bilda en kub.



Figur 9.1. Ritning över pall såsom den ska skäras ut ur Re-boardmaterialet.

När pallen har vikts ihop kommer den att bli 400 [mm] hög. Figur 9.2 visar en förenklad bild av hur pallen kommer att se ut när den har vikts ihop.



Figur 9.2. Förenklad bild av pallen när den har vikts ihop.

9.2 Beräkningar

Beräkningar kommer att göras i ett senare skede.

9.3 Resultat

Se 9.2.

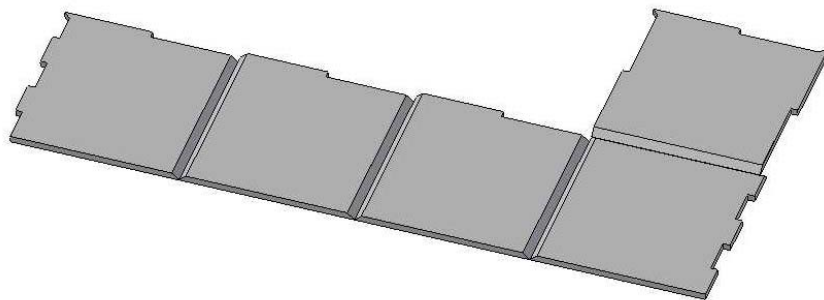
9.4 Diskussion

På grund av pallens utseende kan två pallar ritas in på samma Re-boardskiva så att de passar in i varandra (se figur 9.3). På så sätt utnyttjas Re-boardmaterialet maximalt.



Figur 9.3. Principskiss över två pallars placering på en Re-boardskiva.

Utgående från tidigare beräkningar, på t ex säng, ansågs pallens konstruktion vara överdimensionerad. Därför har inga hållfasthetsberäkningar på pallan gjorts.



Figur 9.4. Tredimensionell bild av pallan.

10 Fortsatta arbetet

Den preliminära designen är klar och nästa steg i projektet är den slutgiltiga designrapporten (27/1-06). Detta kapitel behandlar vad som skall göras till dess.

10.1 Provning

Samtliga materialparametrar för materialet skall bestämmas genom provning. Detta sker genom böj- och dragprov på kärna, ytskikt och hela materialet i olika riktningar, eventuellt även för olika tjocklekar på skivan. Böj och dragprov för material med förändrad fuktkvot liksom utmattningsprov bör göras. Provning kommer även att göras för olika limfogar.

10.2 Beräkningar

Rapporten i stort innehåller styvhetsanalyser. Till den slutgiltiga designen skall hållfasthetsberäkningar göras. Beräkningarna ifrån den preliminära rapporten kan bli nödvändiga att göra om, med de nya materialparametrarna. Om nya resultat uppstår krävs ny diskussion men förhoppningsvis ingen ny analys. Eventuellt kan nya beräkningar tillkomma som stöd för FEM-analys.

10.3 FEM

Samtliga beräkningar för ned- och utböjningar är approximativa, därför kommer FEM-analys att användas för att noggrannare kunna fastställa vad som händer. De komponenter som bör innefattas av FEM-analysen är väggskivor, golvskivor, taksivor, takstol, stolpen, takbalken och sängen.

11 Tack till

Fred Nilsson, professor i hållfasthetslära, Institutionen för hållfasthetslära, KTH
Fredrik Wredenberg, doktorand, Institutionen för hållfasthetslära, KTH

12 Bilagor

[1] Tentamensproblem 2.8.

13 Referenser

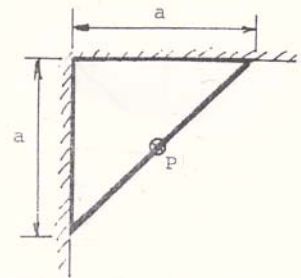
- [Konceptuell design, 2005] PHIR, *Konceptuell design PHIR*, 2005.
[Wennberg O, 2005] Olle Wennberg, *Provning och analys av papper-honeycomb-material*, 2005.
[Kravspecifikation, 2005] PHIR, *Kravspecifikation PHIR*, 2005.
[Zenkert D, 1995] Dan Zenkert, *Sandwich construction*, Engineering materials advisory service ltd., 1995
[Gibson/Ashby, 2001] Lorna J. Gibson, Michael F. Ashby, *Cellular solids 2:nd edition*, Cambridge University press, 2001
[Sundström B, 1998] Redaktör: Bengt Sundström, *Handbok och formelsamling i Hållfasthetslära*, Fingraf AB Södertälje, 1998.
[Zenkert D, 1995 (2)] Dan Zenkert, *An introduction to Sandwich Construction*, Engineering materials advisory services LTD, 1995

Bilaga 1. Tentamensproblem 2.8.

Tentamensexempel med lösning som behandlar nedböjningen av en triangulär platta, fast inspänd längs katedrarna, belastad med punktlasten P .

2.8

En fast inspänd elastisk platta med tjockleken h belastas med en kraft P enl fig. Bestäm approximativt plattans utböjning med satsen om potentiella energins minimum.



$$2.8 \quad w = C x^2 y^2; \quad w = \frac{45}{32(10-3\nu)} \frac{P}{D a^2} x^2 y^2; \quad D = \frac{E h^3}{12(1-\nu^2)}$$