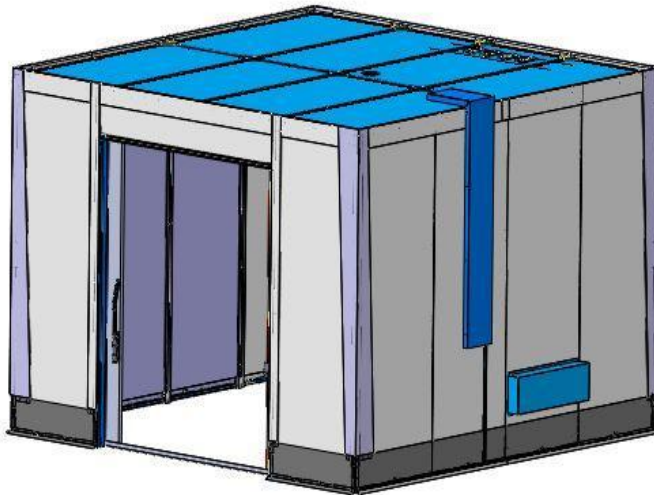


# CHALMERS



Vidareutveckling av Permaflex-konceptet  
Maskinskydd för robotiserad laserbearbetning

Development of the Permaflex concept  
Protective housing for robotic laser processing

*Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom  
Maskiningenjörsprogrammet*

Miranda Ljungberg  
John Sjöberg

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik  
Avdelningen för Avancerad oförstörande provning  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sweden, 2013  
Examinator: Gert Persson Examensarbete No. 91/2013



# FÖRORD

Detta examensarbete är utfört på företaget Permanova lasersystem AB i Mölndal. Examensarbetet utfördes som en del av maskiningenjörsprogrammet, med inriktning konstruktion, på Chalmers Tekniska Högskola. Utbildningen omfattar 180 hp varav examensarbetet utgör 15 hp/person.

Vi skulle vilja tacka all personal på Permanova för deras bemötande samt hjälpsamma inställning som gjort att vi känt oss varmt välkomna. Ett speciellt tack riktas till våra handledare Niclas Wikström och Anna Wallner som stöttat oss arbetet igenom och tagit sig tid för att svara på återkommande frågor samt bidragit med ovärderlig kunskap och goda råd. Tack till Ivan Agapiev samt Gustav Holmdahl som tålmodigt hjälpt till med alla frågor och problem vi stött på angående CAD-arbetet i SolidWorks.

Vi vill till slut även tacka vår handledare Gert Persson på Chalmers Tekniska Högskola som på ett snabbt och givande sätt hjälpt oss med våra frågor och problem.

John Sjöberg, Miranda Ljungberg

Göteborg juni 2013

# SAMMANFATTNING

Permanova Lasersystem AB, beläget i Mölndal, levererar anläggningar för materialbearbetning i plåt med användning av laserteknik. Anläggningarna består ofta av robot, processverktyg samt robotcell. På senare tid har det uppkommit ett intresse från företagets sida att kunna standardisera de produkter som erbjuds. Detta för att underlätta arbetet samt kunna rikta sig mot mindre kunder. Till lasermässan i Jönköping våren 2012 tog Permanova fram standardcellen Permaflex med ett bestämt basmått på 4x4x3 meter. Syftet med rapporten är att undersöka hur robotcellen Permaflex kan skalas upp för att byggas i större storlekar gällande höjden samt basen. Detta innebär en omkonstruktion av dess beståndsdelar så som tak, väggar, fästianordningar och stomme. Stommen ska bestå av system som går att skruvas på plats och ska inte behöva svetsas vid montering. På grund av säkerhetsmässiga skäl utrustas cellen med dubbla lager av väggar med ett hålrum i mitten vilket måste tas i beaktande vid konstruktion av nya delar eller vid ändringar av befintliga lösningar. Potentiella lösningar och förbättringar tas fram konceptuellt med skisser samt CAD-underlag från Solidworks utan redovisning av detaljritningar. Vid utveckling av ett nytt koncept behandlas ej cellens öppning samt bygge i höjded vid denna.

För att ta fram en stomme som medger skalning av cellen utförs FEM-beräkningar på olika modeller där spänningar och utböjningar undersöks. Beräkningarna visar att med installationsteknik från vald leverantör kan cellen som störst utformas med måtten 8x6x6 m för att möta de krav på spänningar och utböjningar som utformats av Permanova. Vid framtagning av lösningar för hur elementen i Permaflex kan utformas vid skalning av cellen lades störst fokus på väggarnas utformning. Lösningförslagen tas fram genom handskisser och brainstorming för att utvärderas och vidareutvecklas tillsammans med handledare från företaget. Utifrån förslagen väljs ett koncept ut för hur yttre samt inre väggar kan konstrueras tillsammans med nya skyddande lister. Konceptet tillsammans med stommen presenteras i en CAD-modell. En enkel kostnadskalkyl utförs över tre celler med storlekarna 4x4x3 m, 8x6x6 m samt 8x6x4 m.

De presenterade förslagen i CAD-modellen behöver vidareutvecklas för att fullständigt kunna integreras till en tillfredställande helhetslösning. Detta innebär för det framtagna konceptet fortsatt detaljarbete och justeringar gällande mått, toleranser samt placering av fästianordningar. Då taket består av skenor i olika längder behövs beslag för att skarva ihop dem. Dessa beslag kommer till stor del avgöra takets hållfasthet och behöver ses över för att erhålla lämpliga dimensioner. Dimensionering av beslagen behandlas ej här men är viktigt för fortsatt arbete.

Vi rekommenderar att fortsätta utveckling av det presenterade konceptet där plats lämnas till vidare förbättringar. Ytterligare analys av stommen bör genomföras där modellen och dess randvillkor kontrolleras.

## ABSTRACT

The Permanova Laser System Company delivers installations for processing of sheet metal with laser technology. An installation delivered from Permanova usually consists of three parts; a robot, a robot cell and a process tool. Recently, Permanova has started to show an interest in standardizing their products. This is done to simplify the development phase as well as making their products more attractive to smaller companies. As a result of this Permanova developed a standard robotic cell called Permafex measuring 4x4x3 meters. The purpose of this study is to investigate the possibilities to scale Permafex in different sizes with regards to the base and height dimensions. This involves a reconstruction of current Permafex components such as the roof, wall panels, fasteners and framework. The frame has to consist of a system that uses screws and bolts during the assembly, no welding is allowed. For laser safety reasons the cell is constructed with a double layer of walls, thus creating an empty space between the panels. This has to be taken into account when developing new parts or modifying existing parts of the cell. Solutions and improvements are developed conceptually and presented with sketches and 3D-models from SolidWorks, without engineering drawings. During development of a new concept of how to construct Permafex, allowing it to be larger, the side that holds the door will not be taken into account.

In order to develop a framework that allows scaling of Permafex a series of FEM-calculations are performed on different models of the cell where von Mises stresses and deflections are analysed. Calculations show that, with the selected installation system, a cell with the upper limit of 8x6x6 meters can be built to meet the requirements on stresses and deflections. Solutions to the wall panels are developed from hand sketches and brainstorming. The solutions are evaluated by supervisors at Permanova for further development. Further on, a concept containing solutions for the inner and outer wall panels is created. The concept combined with the chosen framework is presented in a final conceptual CAD-model. A simplified costing of three cells of different sizes is made.

To acquire a solution that fully integrates the presented elements into a complete construction further development must take place. Tolerances, details regarding dimensions and placements of fasteners will have to be adjusted. The roof consists of rails of different lengths and needs to be joined by connectors. The size and shape of the connectors is critical for the strength of the roof. Due to this the connectors must be designed properly. This will not be processed here but is important for further development.

We recommend continuing the development of the presented concept regarding detail work on the structural components. Further analysis of the frame should be made where the boundary conditions of the model are overlooked.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING .....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Syfte .....	1
1.3 Avgränsningar .....	1
1.4 Precisering av frågeställning .....	2
2 PERMAFLEX .....	3
2.2 Skensystem från Hilti .....	3
2.3 Aktiv lasersäkerhet .....	3
2.4 Utformning av Permaflex .....	5
3 METOD .....	8
3.1 Metod för framtagning av koncept .....	8
3.2 Metod för framtagning av stomme .....	9
4 FRAMTAGNING AV KONCEPT .....	10
4.1 Lösningsgenerering .....	10
4.1.1 Ytterväggar .....	10
4.1.2 Innerväggar .....	12
4.2 Konceptförslag .....	14
4.3 Utvärdering av konceptförslag .....	19
4.4 Nya innerväggar .....	21
4.4.1 Lösningförslag .....	21
4.4.2 Utvärdering av nya innerväggar .....	23
4.4.3 Prototyper .....	24
4.5 Vidareutveckling av ytterväggar .....	26
4.6 Vidareutveckling av ytterhörnlist .....	27
5 STOMME OCH TAK .....	30
5.1 Undersökning av Hilti-skenor .....	30
5.2 Beräkningar på stomme .....	31
5.2.1 Randvillkor och laster .....	32
5.2.2 FEM-beräkningar .....	32
6 KOSTNADSKALKYL .....	40
7 RESULTAT .....	41
8 SLUTSATS .....	47

KÄLLFÖRTECKNING .....	49
BILAGOR .....	49

# 1 INLEDNING

Det här arbetet är utfört åt Permanova Lasersystem AB som är ett svenskt företag beläget i Mölndal. I det här kapitlet följer en beskrivning av uppgiftens innehåll samt dess avgränsningar.

## 1.1 Bakgrund

Permanova Lasersystem AB levererar kompletta anläggningar för laserbearbetning i plåtmaterial riktat mot tillverkningsindustrin. Anläggningarna utgörs normalt av en kombination av processverktyg, robot samt robotcell. Permanova konstruerar och utvecklar egna processverktyg vilka monteras på robot. De flesta av de projekt Permanova är delaktiga i specialanpassas till kund. Dock har man på senare tid börjat intressera sig för att även tillhandahålla standardiserade robotkablage, verktyg samt celler (Permanova Lasersystem AB, 2012). Detta för att underlätta arbetet samt att även kunna rikta sig mot mindre företag. Standardiseringen av celler gör dem mer kostnadseffektiva samt ger en kortare leveranstid. Som ett led i detta har Permanova tagit fram en standardcell, Permafex, med måtten 4x4x3 meter.

## 1.2 Syfte

Syftet med uppgiften är att vidareutveckla standardcellen Permafex så att den går att skala upp till annan storlek beroende på kundens önskemål. Konstruktionen skall utformas på ett sådant sätt att den klarar att bära vikten av en människa med utrustning motsvarande totalt 200 kg. Uppgiften innebär en omkonstruktion av den bärande strukturen. För att kunna bygga en högre cell krävs att de ingående elementens utformning och infästning ses över.

Redovisningen av uppgiften skall bestå av ett koncept ritat i SolidWorks, en enkel kostnadskalkyl samt beräkningsresultat på stommen. Konceptet tillsammans med stommen redovisas principiellt i en CAD-modell som visar elementens utformning samt deras integrering med varandra. Kostnadskalkylen ska utgöras av en grov kostnadsberäkning på vad det framtagna konceptet kostar att tillverka i representativa storlekar.

## 1.3 Avgränsningar

I arbetet med utveckling av Permafex behandlas ej portlösningen. Detta då öppningen utformas efter kundens önskemål och kan bestå av en skjutdörr eller ett vändbord tillsammans med en mandörr. Öppningens storlek kan därmed variera vilket kräver specialutformade byggelement. Även placeringen av öppningen kan variera och beror på lokalen cellen ska placeras i.



Framtagna lösningar ritas endast konceptuellt i SolidWorks, därmed utelämnas detaljritningar och övrigt tillverkningsunderlag. Kostnadskalkylen baseras på kostnaden av de berörda elementen och tar ej hänsyn till transporter, montering samt övriga detaljkostnader.

## 1.4 Precisering av frågeställning

Uppgiften består av att arbeta fram ett koncept för att kunna skala Permaflex till önskad storlek. Detta med en övre begränsning i storlek på 12x10x6 m. Detta kan preciseras i punktform på följande sätt:

- Arbeta fram en konstruktion för att kombinera de ingående elementen i Permaflex till större och högre stationer.
- Ta fram en ny utformning för den bärande stommen. Stommen skall kunna skalas till önskad storlek.
- Genomföra beräkningar på vald stomme med takplåt med hänsyn till egenvikt samt en last motsvarande 200 kg. Säkerhetsfaktorn med avseende på spänningar skall vara som lägst 2,5.
- Ta fram en enklare kostnadskalkyl för cellen.

Vid utveckling av den modulära cellen skall transporten av delarna hållas i åtanke, dvs. de skall hållas inom rimliga dimensioner för att undvika specialtransporter. Det gäller också att cellen ska vara lasersäker enligt standard SS-EN 60825-4 samt ljusstät. Vid omkonstruktion av element skall hänsyn tas till att cellen skall se estetiskt tilltalande ut. Tiden för montering av cellen samt tillverkningskostnader skall tas i beaktande.

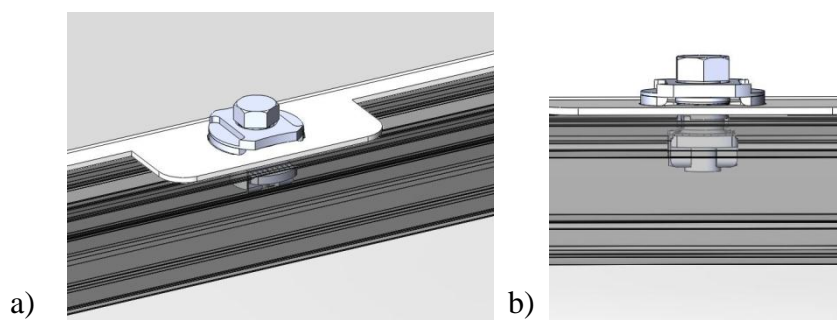
## 2 PERMAFLEX

Permaflex är en standardcell som presenterades av Permanova för första gången under lasermässan i Jönköping våren 2012. Den har ett kvadratisk basmått på ca 4x4 m och en höjd på ca 3 m. Då Permaflex benämns i rapporten syftar det till standardcellen på 4x4x3 m. Det här kapitlet förklarar mer ingående hur Permaflex är uppbyggd.

### 2.2 Skensystem från Hilti

Då Permanova utvecklade Permaflex ville man ta fram en robotcell som ska byggas i olika storlekar med ett byggsystem vilket ska kunna gå att skruvas ihop direkt på plats. Detta för att undvika att svetsa på plats hos kunder vilket kräver speciella krav på montör samt försvårar eventuell flytt av cellen.

Företaget Hilti Svenska AB utvecklar och tillverkar produkter och tjänster för företag inom bygg och industribranschen (Hilti Svenska AB 2013). Deras sortiment av installationsteknik erbjuder skenor kapade till 3 eller 6 meter samt tillhörande beslag och fästelement, se bilaga 1 för beskrivning av skenor samt de aktuella tillbehören. Vid längder längre än 6 meter skarvas skenor med hjälp av beslag. Skenorna kan delas in i MI, MQ samt MM-system där MQ och MI används vid tyngre montage och MM för lättare applikationer. Fördelen med Hiltis system är möjligheten till enkel och intuitiv montering mellan de olika skenorna i samma system samt möjligheten till sammankoppling mellan MQ och MI-skenor. All montering är baserad på beslag samt skruvteknik vilket gör att monteringssekvensen går snabbt samt att man slipper svetsning eller lödning vid sammanfogning de olika elementen. Speciellt av intresse är Hiltis vingmutter MQN vilket tillåter enkel montering av plåtar som används vid konstruktionen av Permaflex på Hiltis skenor, se figur 2.1 nedan.



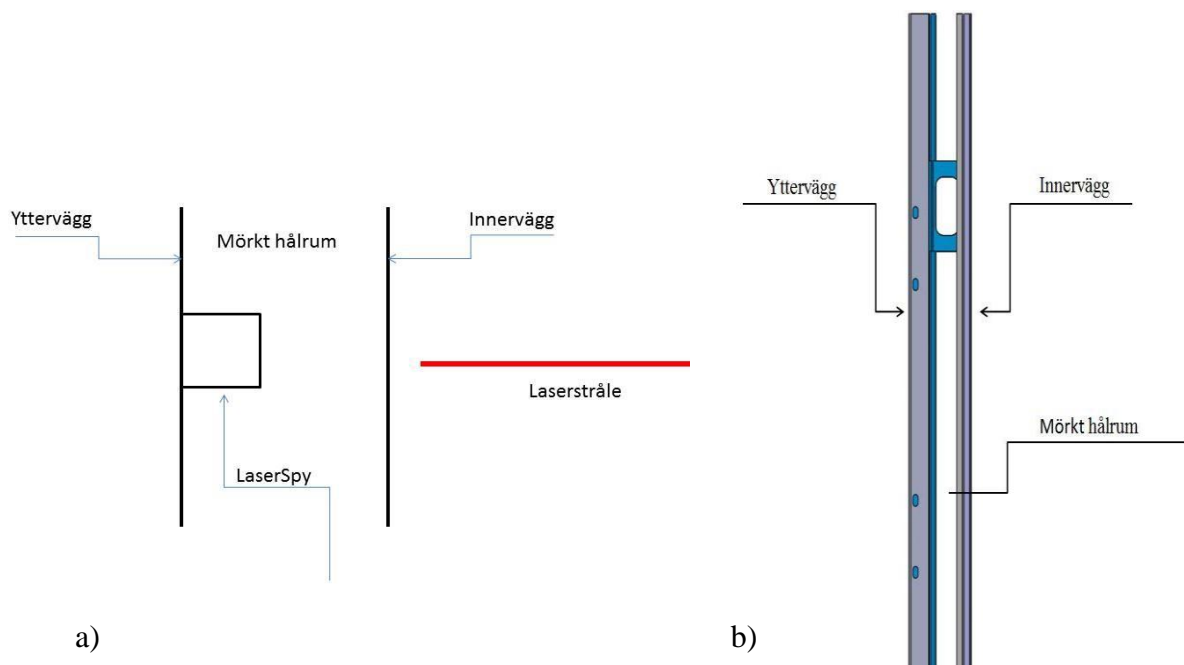
Figur 2.1: a) och b) Montering av plåt på hiltiskena med vingmutter MQN.

### 2.3 Aktiv lasersäkerhet

Vid arbete med högeffektiv laserstrålning gäller det att speciella skyddsåtgärder måste tas i beaktande för att strålning ej ska kunna nå omgivning utanför robothus (Laser-Säkerhet, 2007). Ett sätt att arbeta på är med så kallad aktiv lasersäkerhet. Aktiv lasersäkerhet bygger på två huvudkomponenter, en fysisk barriär samt ett kontrollsystem med en sensor som kan

detektera laserstrålning. Barriären skall fungera som ett första skydd vilket kan motstå lägre strålningsnivåer och som vid högre effekt på lasern skall fördröja tiden till läckage. Kontrollsystemet skall vid detektion av laserstrålning bryta all pågående laseraktivitet (Skyddsskärmar för laser, 2006). I Permaflex består den fysiska barriären av två lager av plåtväggar. Kontrollsystemet utgörs av en LaserSpy.

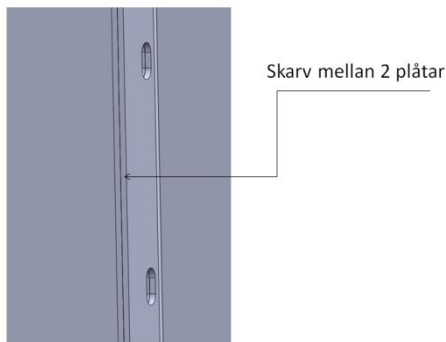
LaserSpy är en produkt utvecklad av det tyska företaget Reis Lasertec som fungerar som en sensor enligt beskrivning ovan (Reis Lasertec, 2013). I praktiken placeras LaserSpy i ett så kallat mörkt rum. I Permaflex åstadkommer man detta genom att ha två lager av väggar. Mellan ytterväggar och innerväggar lämnas ett hålrum runt hela cellen som är fritt från ljus, se figur 2.2 för principbilder. Om lasern skär igenom den första innerväggen upptäcks detta av LaserSpy som via koppling till laserkällan bryter fortsatt laseraktivitet. LaserSpy täcker en yta i form av en cirkel med en radie på 2,5 meter.



Figur 2.2: a) Principskiss över var LaserSpy placeras. b) CAD-modell över hur ett mörkt hålrum kan åstadkommas

Viktigt att tänka på då man arbetar på detta sätt är att inte ha så kallade skuggade områden (Wallner, 2013), dvs. zoner där Laser Spy ej kan upptäcka ljusläckage på grund av element som blockerar. Det får heller inte finnas några ljusglipor i konstruktionen, vilket innebär att det skall vara ljustätt utifrån samt inifrån cellen. Detta är viktigt av två orsaker. Dels ska Laserspy inte reagera på andra ljuskällor än lasern så som lysrör och dagsljus. Den andra orsaken är att lasern inte ska kunna gå direkt ut genom glipan och eventuellt skada personer eller utrustning i omgivningen. Skarvar som uppstår där två plåtar ligger dikt an räknas som en ljusglipa, se figur 2.3 nedan. På grund av tillverkningstekniska skäl garanteras inte plåtarna att ligga tätt och skarvarna måste därför täckas på lämpligt sätt. Samtliga delar i en

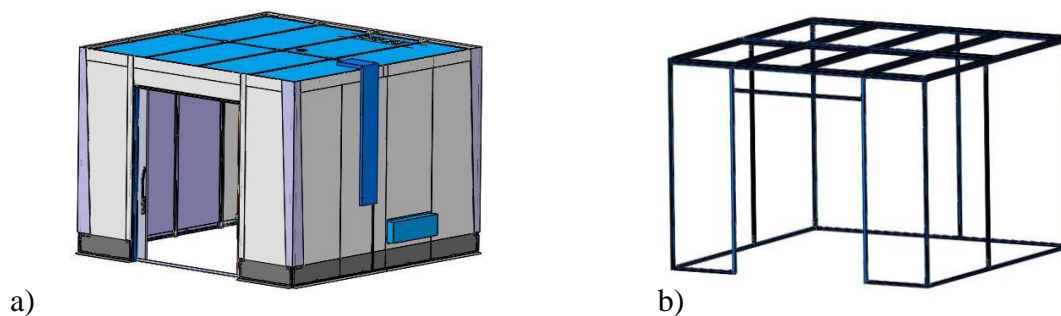
konstruktion, vilka fungerar som skydd mot laserstrålning skall fästas med skruvförband för att anses vara ett godkänt laserskydd (Laser-Säkerhet, 2007).



Figur 2.3: En skarv mellan två ytterväggar som bildar en ljusglipa i vertikalled

## 2.4 Utformning av Permaflex

Stommen i Permaflex består av stålskenor från Hilti och är uppbyggd som ett rektangulärt block med ett rutnät i taket, se figur 2.4 nedan.

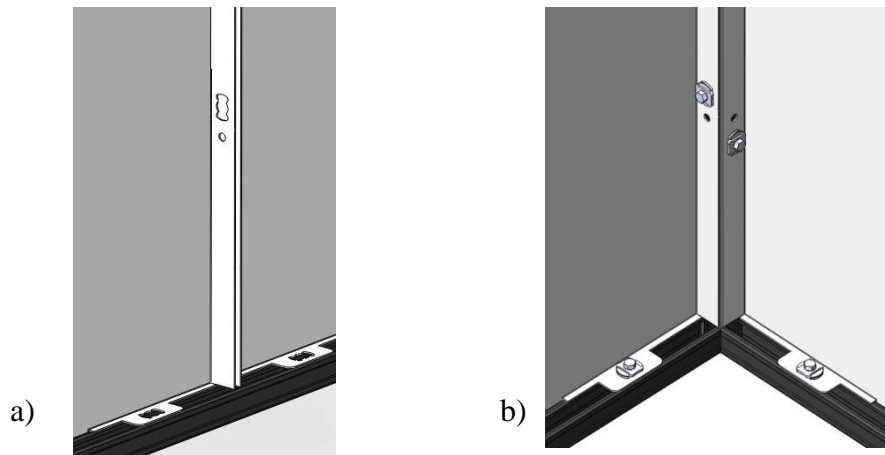


Figur 2.4: CAD-modell av Permaflex a) fullständigt monterad, b) stommen av Hilti-skenor

Längs sidorna sitter vertikala stöd Stolpar, en på varje sida. Skenorna från Hilti som utgör bottenram samt hörn och vertikala stolpar är av sorten MQ-41-F, ramen i tak utgörs av MQ-41 D-F.

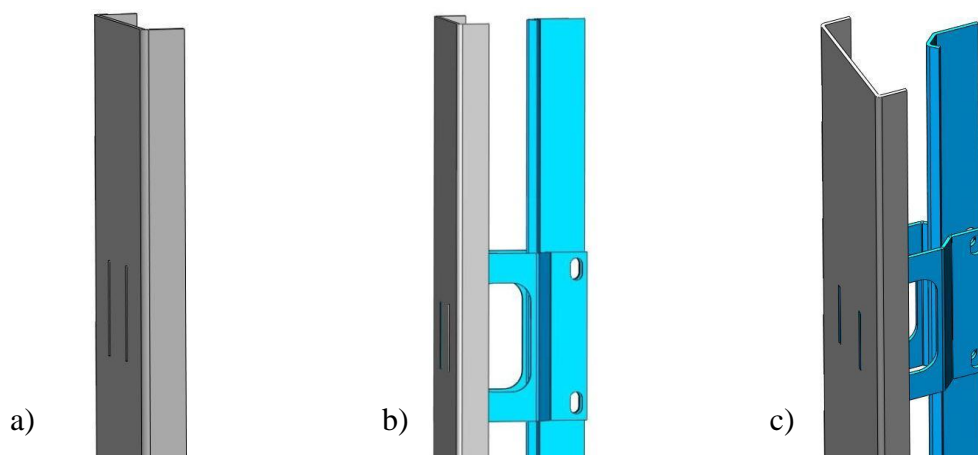
Förutom stomme samt tillhörande beslag och fästelement består Permaflex till stor del av bockade plåtar i olika storlekar. Bockade plåtar används med fördel då detta medför enkel montering av plåtarna. De bockade kanterna styvar även upp plåten, vilket underlättar hanteringen då stora plåtar har en tendens att börja svänga. Nedan följer en beskrivning av utvalda delar samt monteringen av dessa, fler ingående delar redovisas i bilaga 2.

Permaflex har två stycken lager av väggelement för att bilda ett hålrum runt hela cellen. Som tidigare nämnts görs detta för att kunna placera en LaserSpy mellan väggarna för att få ett aktivt laserskydd. Cellens ytterväggar består av 1 m breda och 3 m höga plåtar, vilka är 2 mm tjocka och bockade längs kanterna i vertikalled. I nederkant är de segmentvis bockade, för att enkelt kunna fästas i nedre Hilti-ramen med vingmutter MQN. Ytterväggarnas bockning i vertikalled medger fästning i hörnstolparna samt intilliggande vägg, se figur 2.5.

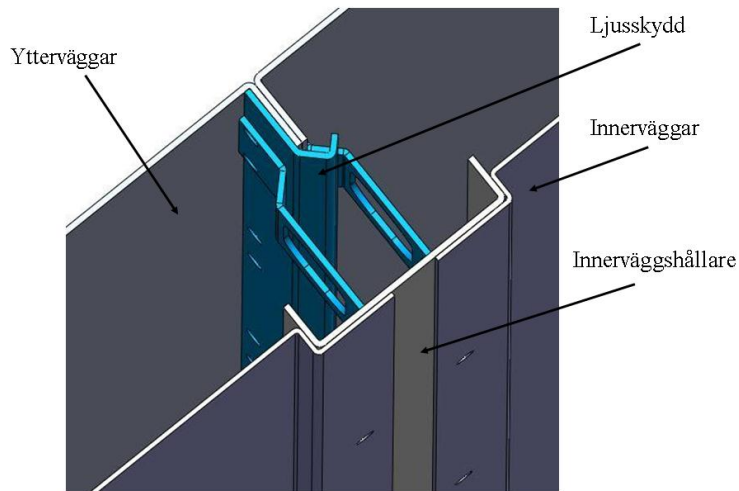


Figur 2.5: Ytterväggarnas infästning a) i bottenramen samt i varandra b) vid hörn

Inre väggen består av innerväggselement och innerväggshållare, vilka tillsammans utgör ett ljustätt skydd. Innerväggshållarna består av en avlång kantbockad plåt med fyra par påsvetsade fästen, så kallade öron, samt ett J-format ljusskydd. Figur 2.6 visar innerväggshållare med och utan ljusskydd samt öron. Öronen har förborrade hål vilket medför att hållaren kan fästas i skarven mellan två ytterväggar tillsammans med ljusskyddet. Skyddet skall täcka den glipa som uppstår i vertikalled mellan väggarna, se figur 2.7 nedan för utförligare beskrivning. Innerväggshållarna är cirka 10 cm breda och täcker från golv till tak. Innerväggarna är cirka 3 m höga med 1,5 mm plåttjocklek och har bockade kanter i vertikalled. Väggarna fästs framifrån mellan två innerväggshållare i förborrade hål.

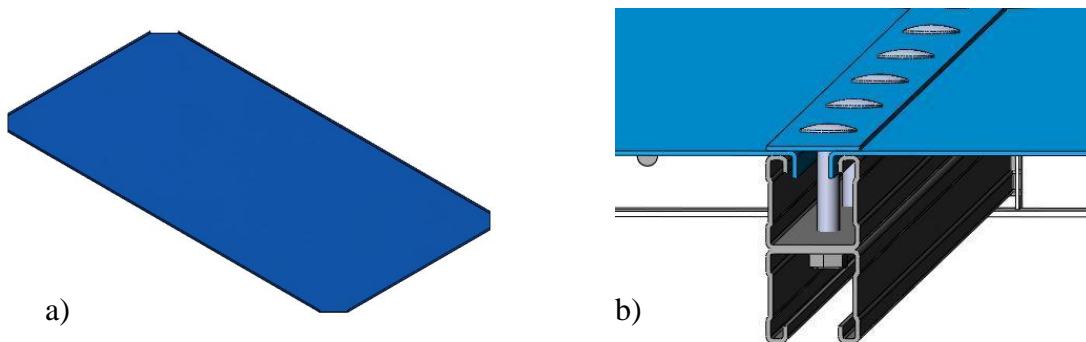


Figur 2.6: Innerväggshållare a) själva hållaren, snett framifrån, b) och c) med påsvetsade öron och ljusskydd.

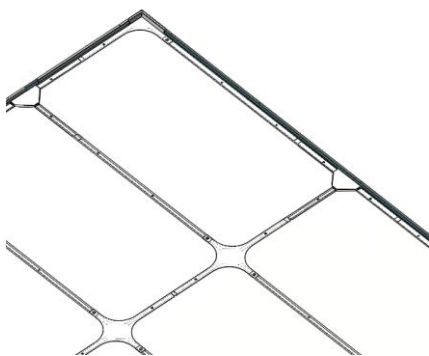


Figur 2.7: Monterade ytter- och innerväggar samt innerväggshållare med ljusskydd.

Taket i Permaflex utgörs av 2x1 m plåtar med tjockleken 2 mm. Samtliga fyra kanter är nedböckade och hörnen är avskurna för att plåtarna ska placeras ned i takbalkarna, se figur 2.8 nedan. På ovansidan av takplåtarna fästs taklister över skarvarna mellan plåtarna, se figur 2.9. Listerna fästs med bultar i takskenorna och fixerar därmed takplåtarna.



Figur 2.8: Takplåtarnas utformning samt dess placering i takskenorna. a) En takplåt, b) montering av takplåtar.



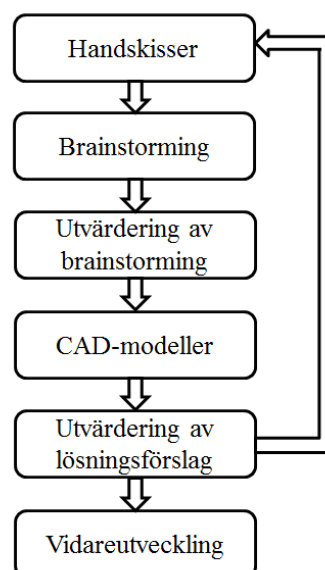
Figur 2.9: Monterade takplåtar med lister som täcker skarvarna.

### 3 METOD

För att arbeta fram en konstruktion som möjliggör att standardcellen Permaflex kan skalas till större mått studerades dess uppbyggnad mer ingående, både genom Cad-modellen i SolidWorks och den monterade stationen hos Permanova. Speciellt undersöktes stommens uppbyggnad, innerväggar och ytterväggar samt hur hörnen var utformade. Vid framtagning av en fungerande lösning delades problemet in i två huvuduppgifter, stommens uppbyggnad och väggelementens utformande. Då både stommen och övriga element ska presenteras i en CAD-modell i SolidWorks användes litteratur samt programmets inbyggda hjälpavsnitt för att få kunskap om de olika funktionerna i programmet (DS SolidWorks, 2011).

#### 3.1 Metod för framtagning av koncept

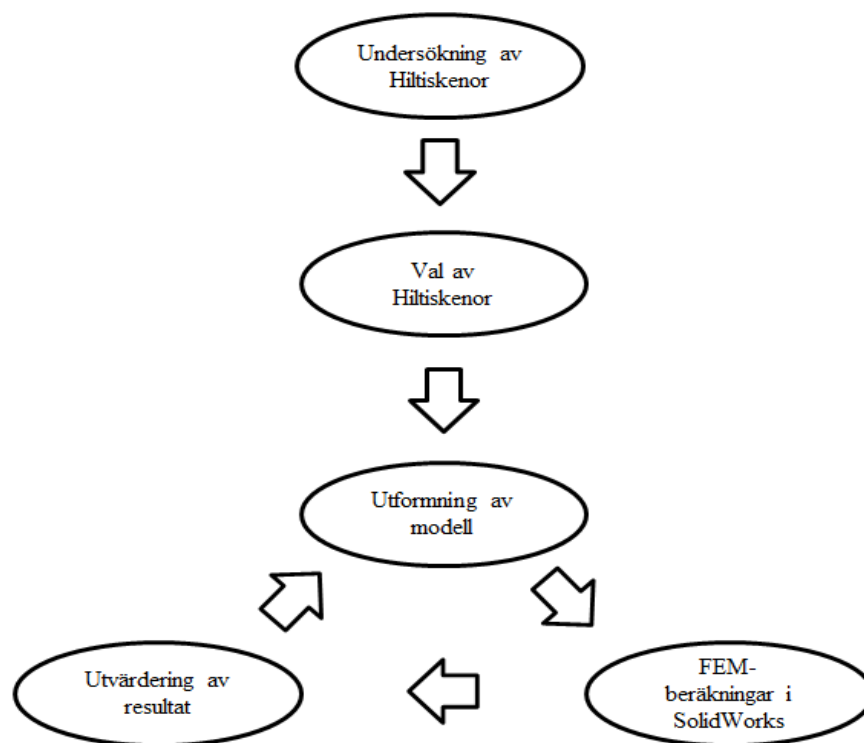
Efter att den befintliga cellen undersökts grundligt söktes ett koncept för hur de ingående elementen kan utformas vid en större och framförallt högre cell. I konceptutvecklingen lades störst fokus på lösningar för innerväggarnas och ytterväggarnas utformning. Första steget i lösningsgenereringen var att handskissa idéer. Som komplement till skisserna gjordes sedan en brainstorming för att åstadkomma fler lösningsförslag. Brainstormingen utvärderades genom att för- och nackdelar hos idéerna diskuterades. För de förslag i brainstormingen som ansågs mest lämpliga ritades CAD-modeller upp i SolidWorks och presenterades som konceptförslag. Konzepten utvärderades tillsammans med handledare och inblandade från Permanova. Utvärderingarna skedde genom diskussioner där förslagets för- och nackdelar behandlades och där handledarna kom med förslag till förbättring samt gav feedback på framtagna koncept. Förslag som ansågs vara tillräckligt bra valdes sedan ut för att vidareutvecklas. I de fall då inget av förslagen ansågs vara möjliga lösningar återupprepades tillvägagångssättet ovan tills en lämplig lösning var funnen. Metoden för att ta fram ett fungerande koncept illustreras i figur 3.1 nedan.



Figur 3.1: Metod för framtagning av koncept, steg för steg.

## 3.2 Metod för framtagning av stomme

För att göra beräkningar på taket och stommen till en större cell undersöktes först Hiltis utbud av skenor i MQ-serien. Detta genomfördes med en statisk analys av utböjningar i SolidWorks för att jämföra de olika skenorna sinsemellan. Skenorna behandlades som balkelement och beräkningar gjordes med hänsyn till balkarnas egenvikt samt en varierad punktlast. De skenor som visade på bäst resultat med avseende på utböjningar valdes att jobba vidare med. En modell över stommen ritades med de valda skenorna för vidare analys i SolidWorks. FEM-beräkningar med avseende på spänningar och utböjningar genomfördes. Om modellen ej uppfyllde de önskvärda kraven på utböjningar och spänningar ändrades utformningen av stommen. Detta innebar ändringar av takskenornas placering, antal och dess längder samt placering av stödstoppar. Ovanstående metod itererades till önskvärda resultat uppnåts och kan beskrivas enligt modellen i figur 3.2 nedan.



Figur 3.2: Metod för framtagning av stommens utformning, steg för steg.



## 4 FRAMTAGNING AV KONCEPT

För att kunna skala standardcellen Permaflex skulle ett koncept för väggarnas utformning tas fram. Konceptet ska möjliggöra en skalning från 4x4x3 meter upp till 10x12x6 meter och innehålla en lösning för innerväggarna och ytterväggarna. För att ta fram en lösning till innerväggarna behöver även dess hörnlösningar ses över. Lösningar för inner- och ytterväggar tas fram enligt metoden beskriven i avsnitt 3.1. En enklare lösning för hur ytterhörnlisterna kan utformas skulle även ingå i konceptet. Ytterhörnlistan tas fram separat för ingå i det slutgiltiga konceptet.

### 4.1 Lösningsgenerering

Vid framtagningen av väggelement för att bygga större och högre stationer låg det största problemet främst i höjdbygget samt gliporna som uppstår där. En begränsning vid tillverkning av kantbockade plåtar är att bockningsmaskinerna vanligtvis ej kan hantera plåtar längre än 3 meter (Wallner, 2013). På grund av plåtarnas maximala bockningslängd var höjden tvungen lösas genom en ny våning efter 3 meter. För att dela upp problemet behandlades innerväggar och ytterväggar för sig vid lösningsgenerering för att senare kombineras till konceptförslag.

#### 4.1.1 Ytterväggar

De bockade sidokanterna på ytterväggarna i Permaflex gör dem styvare och relativt lätta att montera i varandra och Hilti-ramen. Dessa fördelar gjorde att bockningen i vertikalled behölls som utgångspunkt för samtliga förslag på nya ytterväggar. Gliporna i vertikalled kunde då lösas med samma ljusskydd som används i Permaflex. I Permaflex fästs ytterväggarna upptill på utsidan av takramen. Då en påbyggnad måste ske efter minst 3 meter gavs här två alternativ; behålla kantramen efter 3 meter eller ställa övre plåten direkt på den undre. I båda fallen uppstår nya ljusglipor som måste åtgärdas.

Vid framtagning av möjliga lösningar till ytterväggar användes metoden som beskrivits i föregående kapitel. Först handskissades idéer för höjdbygget upp och diskuterades. Efter det gjordes en brainstorming för att få fram ytterligare lösningsidéer. Resultatet av brainstormingen utvärderades sedan genom att för- och nackdelar spaltades upp, se bilaga 3. Följande tre förslag är baserade på brainstormingen och utvecklades vidare för att ingå i konceptförslagen.

För samtliga av förslagen gäller att väggelementens bredd är densamma som för väggarna i Permaflex. Det gäller även att de undre väggelementen är ca 3 meter höga och de övre elementen görs upp till 3 meter höga, beroende på önskad höjd.

### *Ytterväggförslag 1:*

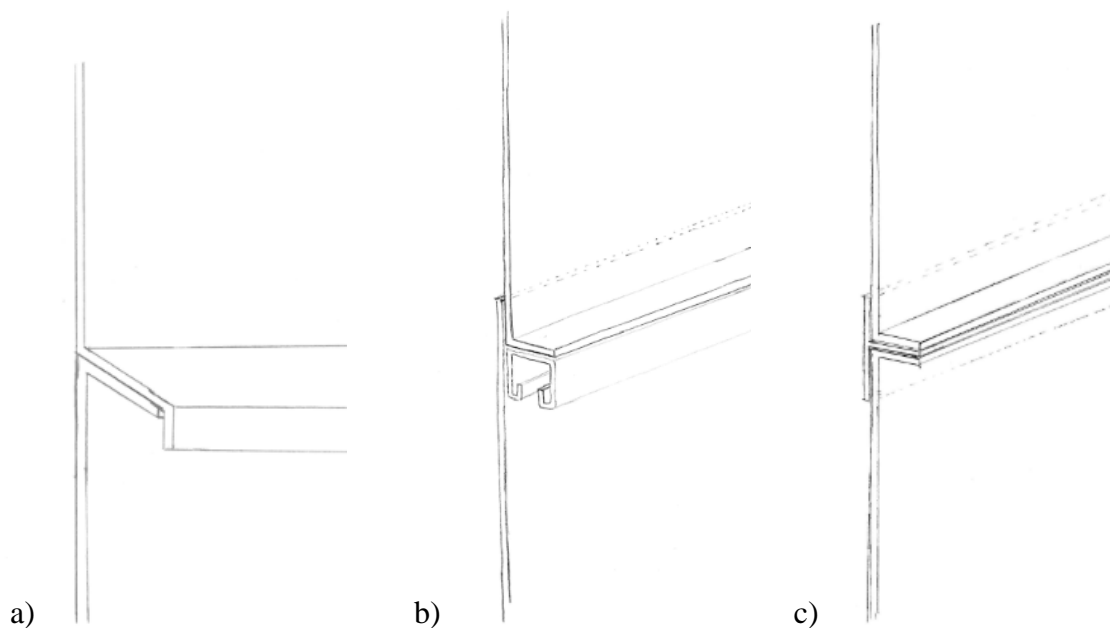
Utan mellanram. Undre väggelementen är bockade i övre kanten, inåt cellen. Övre väggelementen har en två-stegsbockning nedtill, se figur 4.1a. Detta gör att de kan placeras på de undre elementens bockning och samtidigt täcka ljusglipan i horisontalled. Gliporna i skarvarna mellan de vertikala ljusskydden täcks med ett löst skydd som fästs i nedbockningen på övre vägg eller på de vertikala ljusskydden.

### *Ytterväggförslag 2:*

Med mellanram. Undre väggelement har samma utformning samt monteras på samma sätt som de befintliga väggarna i Permaflex. De övre väggelementen är bockade i underkant och monteras på mellanramen innanför den undre väggen. Den horisontella glipan där väggarna möts täcks av att den undre väggen överlappar den övre, se figur 4.1b. Gliporna som uppstår mellan de vertikala ljusskydden löses på samma sätt som i första förslaget.

### *Ytterväggförslag 3:*

Utan mellanram. Väggelementen utformas på samma sätt som väggarna i Permaflex, med skillnaden att de undre elementen bockas upptill och de övre elementen bockas nedtill, inåt cellen. Väggarna placeras på varandra med en list som kläms fast emellan, se figur 4.1c. Listen är T-formad och täcker gliporna i horisontalled från utsidan.



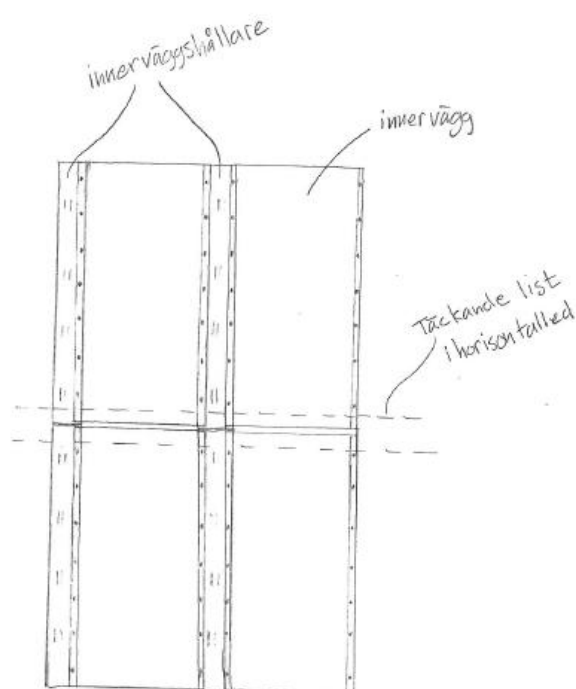
*Figur 4.1: Handskisser över montering av övre och undre vägg. a) Ytterväggförslag 1, b) ytterväggförslag 2 och c) ytterväggförslag 3.*

## 4.1.2 Innerväggar

Innerväggarna ska monteras efter att ytterväggarna är på plats. Lösningförslag på innerväggselementens utformning togs därav fram utifrån de tre utvalda ytterväggslösningarna. Samtliga ytterväggslösningar använder befintligt ljusskydd från Permaflex vid skarvarna i vertikalled och till innerväggarna valdes då samma innerväggshållare som utgångspunkt. Detta gjordes på grund av att det redan fanns en fungerande lösning för infästningen av dessa hållare och ytterväggarnas ljusskydd. Hållarnas utformning gjorde att en likadan kantbockning som på innerväggarna i Permaflex användes i samtliga av förslagen. Med hjälp av handskisser arbetades två lösningförslag på innerväggselementen fram. Nedan följer en idébeskrivning av dessa.

### *Innerväggsförslag 1:*

Innerväggarna utgörs här av liknande väggar som i Permaflex, med skillnaden att de konstrueras plana i övre och nedre kant. Innerväggshållarna är av samma utformning och storlek som i Permaflex och fästs ovanför varandra. Undre väggen når 3 meter upp på konstruktionen och övre väggen placeras ovanför denna och täcker upp till taket, infästning sker i innerväggshållarna på samma sätt som i Permaflex, se figur 4.2. Gliporna som uppstår i väggövergångarna täcks med en list i horisontalled, som fästs i hållaren.

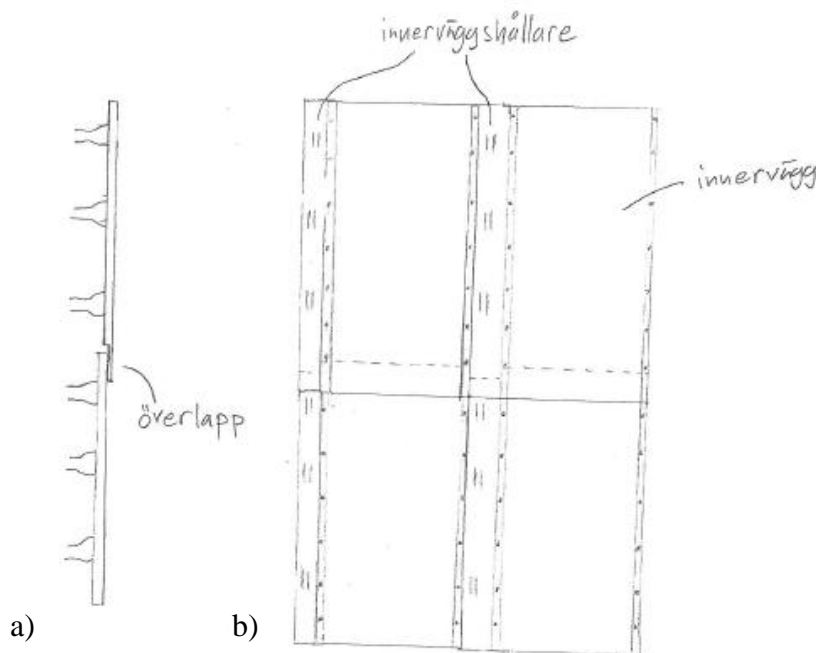


Figur 4.2: Innerväggsförslag 1. De streckade linjerna visar den täckande listens placering.

### *Innerväggsförslag 2:*

Även här gäller att övre och undre väggar samt innerväggshållare möts efter 3 meter. Innerväggshållarna utformas så att den övre hållaren har en förlängd obockad del nedtill och tillåts överlappa den undre hållaren, se figur 4.3a. Övre hållaren fästs utanför den undre.

Innerväggarna konstrueras plana i övre och nedre kant. De övre innerväggarna tillverkas lite längre och monteras med överlappning mot de undre, se figur 4.3b. Överlappningen hos innerväggar och hållare förväntas täcka de glipor som uppstår vid höjdpåbyggnad.



Figur 4.3: Innerväggsförslag 2. a) Innervägghållare från sidan och b) väggarnas montering framifrån, streckade linjer visar överlapp av hållare och väggar.

Till innerväggsförslagen ovan togs även tre olika lösningsförslag för utformningen av hörn fram. Dessa hörnförslag går att implementera på båda innerväggsförslagen.

#### *Hörnförslag 1:*

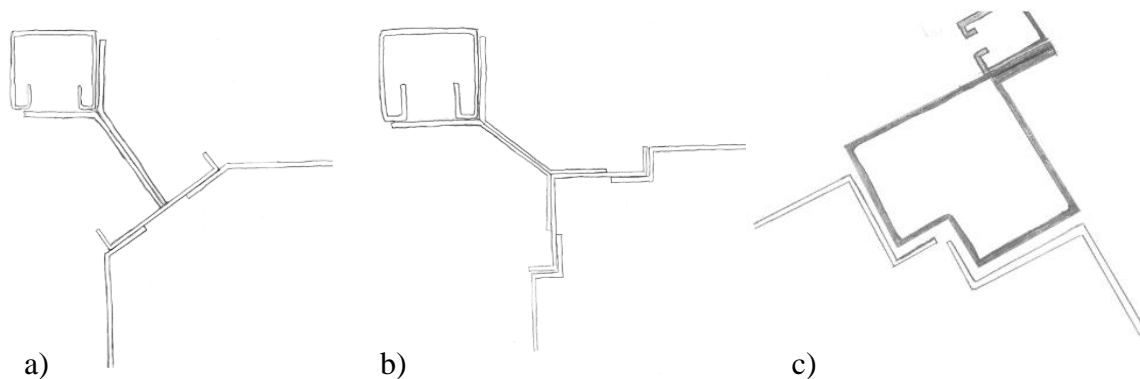
Hörnhållaren är likadan som de vanliga hållarna och monteras i en 45-graders vinkel från väggarna. Detta kräver specialutformade väggelement vid hörnen, i form av en 45-graders enkelbockning av kanten som ligger mot hörnhållaren, se figur 4.4a.

#### *Hörnförslag 2:*

Hörnhållaren liknar de vanliga hållarna, med skillnaden att de bockas i vertikalled på mitten, se figur 4.4b. Det gör att väggelementen vid hörnen inte behöver modifieras.

#### *Hörnförslag 3:*

Behåller befintlig lösning av Permaflex hörnhållare, se figur 4.4c. Kräver ingen specialutformning av väggelementen närmast hörnen.



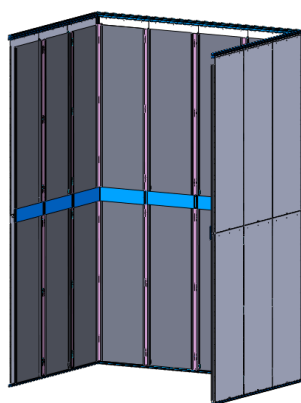
Figur 4.4: Handskisser över hörnhållare och innervägg monterade på hörnstolpe, sett rakt ovanifrån. a) Hörnförslag 1, b) hörnförslag 2 och c) hörnförslag 3.

## 4.2 Konceptförslag

Utifrån väggarnas och hörnens lösningsförslag ovan kombinerades tre konceptförslag ihop. Förslagen ritades sedan i SolidWorks för att få ett bra underlag inför diskussioner och utvärderingar av idéerna med handledare på Permanova. Varje konceptförslag i SolidWorks utgörs av en 6 meter hög modell med en kortsida på 4 meter samt två hörn med tillhörande långsidor. CAD-modellerna består av en stomme av Hilti-skenor, inner- och yttreväggar samt förslag på hörnlösningar. Samtliga konceptförslag utgörs av att de undre elementen är ca 3 m höga och de övre dimensioneras så att den önskade totala höjden på cellen erhålls.

### *Konceptförslag 1:*

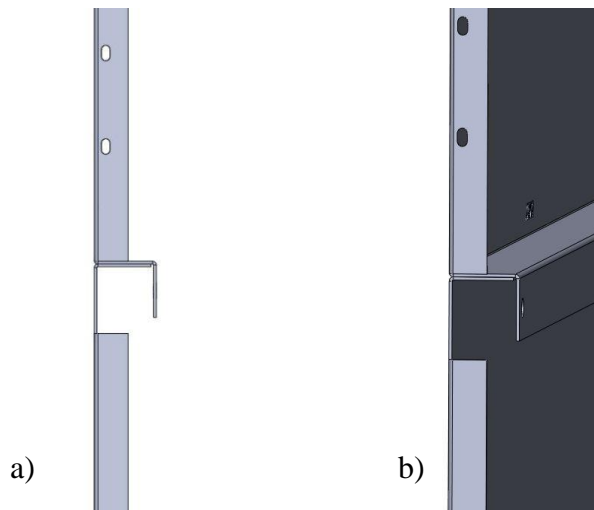
Det här konceptförslaget består av yttreväggförslag 1, innerväggförslag 1 samt hörnförslag 1, se figur 4.5



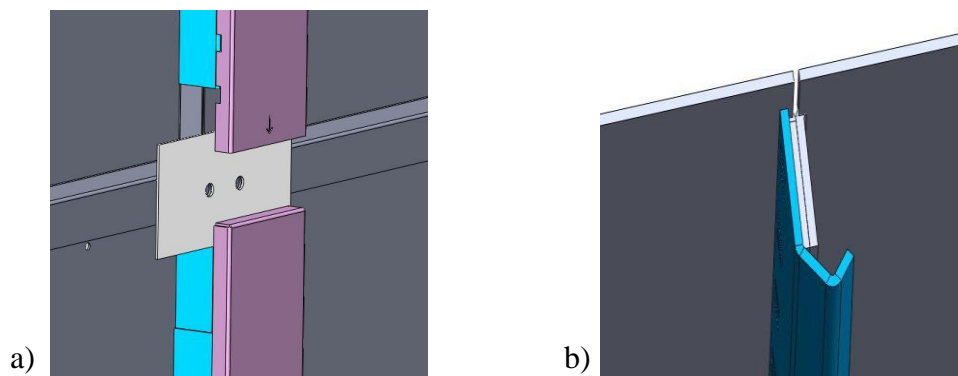
Figur 4.5: CAD-modell av konceptförslag

Här används ingen mellanram utan yttreväggarna monteras i höjddled direkt på varandra. De övre yttreväggarna har dubbelbockade kanter och placeras på underväggens bockade överkant. Bockningen och placeringen av två väggar i höjddled illustreras i figur 4.6. I vertikalled täcks gliporna mellan två väggar med ett J-format ljusskydd såsom i Permaflex.

För att täcka glipan som uppstår då fyra väggelement möts används ett löst skydd i form av en plåtbit. Detta skydd fästs antingen i nedbockningen på övre väggelementen eller svetsas fast på det J-formade ljusskyddet, se figur 4.7.

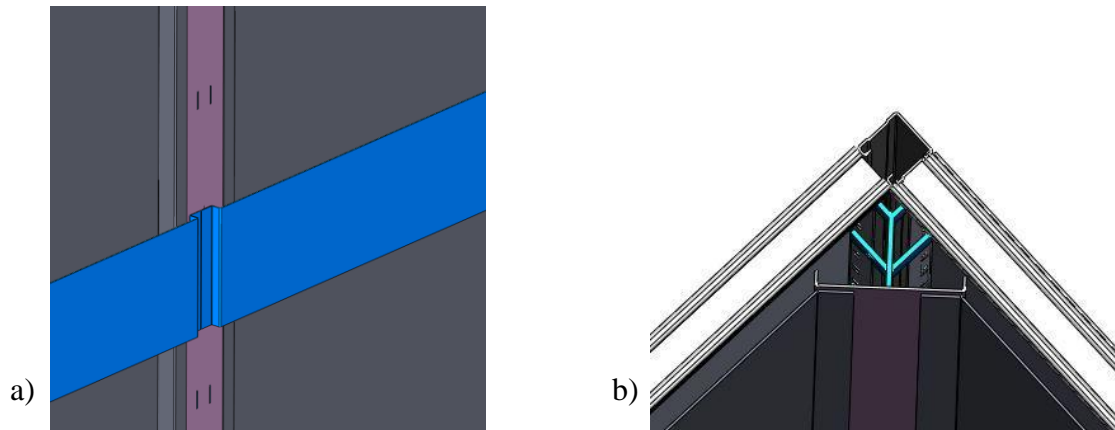


Figur 4.6: Konceptförslag 1. a) och b) Ytterväggarnas montering på varandra.



Figur 4.7: Konceptförslag 1. Ytterväggarnas ljusskydd a) där fyra väggar möts och b) i vertikalled.

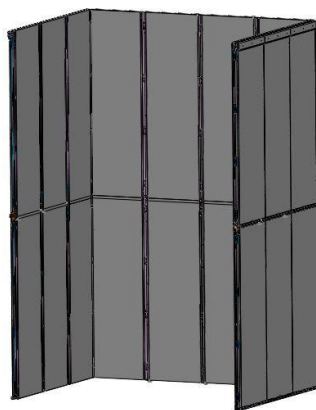
Innerväggarna har dubbel bockning längs kanterna i höjdlid så att de kan fästas framifrån på innerväggshållarna, som utformas likadant som de i Permafex. Den undre innerväggen är obockad upptill och den övre är obockad nedtill. Övre väggelementen fästs rakt ovanför de undre och de horisontella gliporna som uppstår täcks med en list, se figur 4.8a. Listen täcker även skarven mellan övre och undre innerväggshållare. Innerväggarnas kanter vid ett hörn är bockade med en 45-graders vinkel för att fästas framifrån på de vinklade hörnhållarna, se figur 4.8b nedan.



Figur 4.8: Konceptförslag 1. Innerväggslösning. a) Horisontell skyddslist och b) hörn, snett ovanifrån

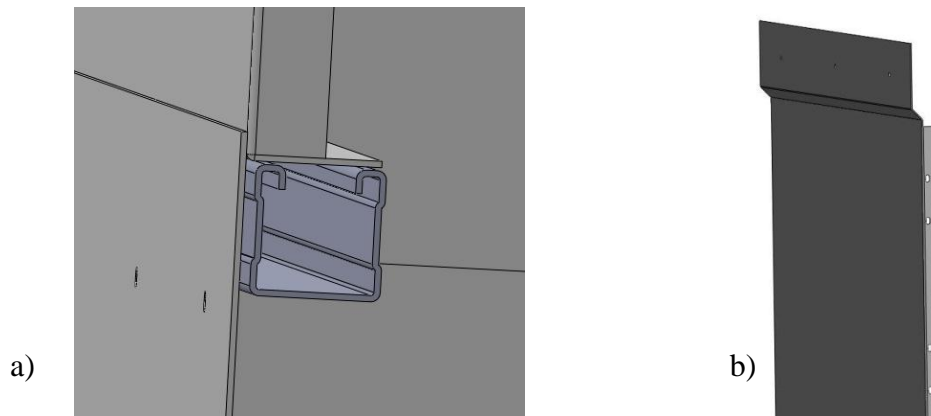
*Konceptförslag 2:*

Konceptförslaget utgörs av ytterväggförslag 2 kombinerat med innerväggförslag 2 och hörnlösning 2. Det här förslaget utgår från att mellanramen är kvar och den övre delen byggs på denna. Figur 4.9 nedan visar hur förslaget ser ut i sin helhet.



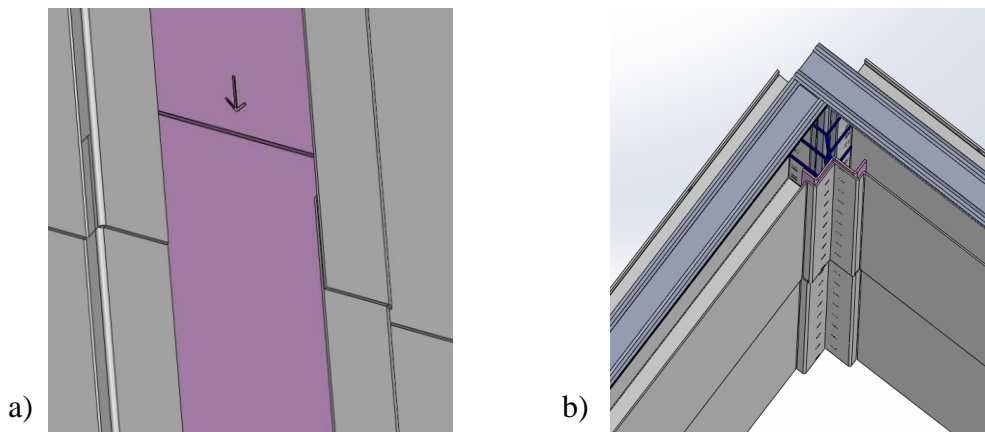
Figur 4.9: CAD-modell av konceptförslag 2

De övre ytterväggarna monteras strax innanför de undre, med en bockad kant mot mellanramen, se figur 4.10a. Detta medför att de övre väggarna måste bockas ut upptill för att inte slå i den övre takramen. Bockningen upptill visas i figur 4.10b nedan. De undre väggarna överlappar skarven mellan väggarna för att täcka gliporna i horisontalled. De glipor som uppstår i vertikalled täcks av ett ljusskydd med samma utformning som i konceptförslag 1, se figur 4.7 ovan. Där fyra ytterväggselement möts täcks glipan av en lös plåtbit som fästs in i mellanramen.



Figur 4.10: Konceptförslag 2. a) Ytterväggarnas montering i mellanramen. b) Utböckning upptill på övre yttervägg.

Innerväggshållarna utformas på liknande sätt som i Permafex, med skillnaden att där två hållare möts i höjdlid är de båda obockade i kanterna. Den övre hållaren monteras framför den undre och tillåts gå ner över den, därmed täcks gliporna mellan dem. Innerväggarna är bockade i vertikalled och fästs framifrån på hållarna. Den övre väggen monteras med överlappning framför den undre för att täcka horisontella glipor, se figur 4.11 a. Vid hörnen används specialutformade hållare som visas i figur 4.11 b. Dessa fästs med överlappning på samma sätt som de vanliga hållarna. Innerväggarna vid hörnen är likadana som övriga innerväggar.

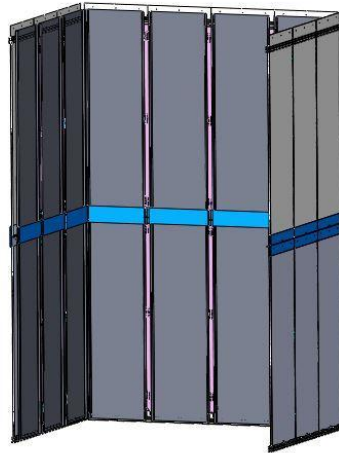


Figur 4.11: Konceptförslag 2. Innerväggarnas och innerväggshållarnas överlappning a) vid möte av fyra innerväggar och b) vid hörn.



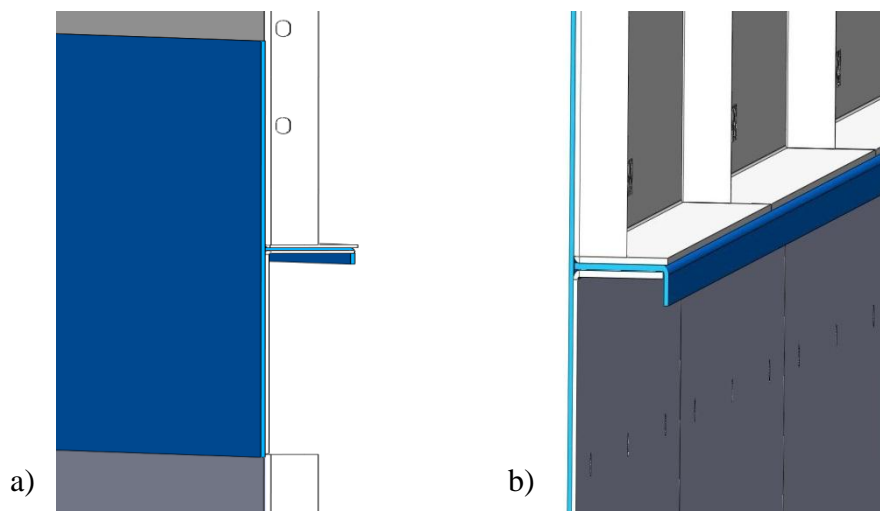
### *Konceptförslag 3:*

Konceptförslaget består av ytterväggförslag 3, innerväggförslag 1 samt hörnförslag 3, se figur 4.12 nedan.



*Figur 4.12: CAD-modell av konceptförslag 3.*

I det här förslaget används ingen mellanram. De undre ytterväggselementen bockas upp till och de övre elementen bockas ned till. Väggarna monteras på varandras bockningar med en T-format list fastklämd mellan dem, se figur 4.13 nedan. Listen täcker gliporna i horisontalled från utsidan. På samma sätt som i de andra förslagen täcks de vertikala gliporna mellan två väggar med ett J-format ljusskydd.



*Figur 4.13: Konceptförslag 3. Ytterväggarnas montering i höjdlängd med en list fastklämd mellan.*

Innerväggarna och hållarna utformas på samma sätt som i konceptförslag 1, övre väggen fästs ovanför den undre och gliporna täcks med en list framifrån. Hörnlösningen består av två innerväggshållare, av samma utformning som i Permaflex, som monteras rakt ovanför varandra. Deras form gör att samma väggelement kan användas vid hörnen som i övriga cellen, se figur 4.14 nedan.



Figur 4.14: Konceptförslag 3. Innerväggar och innerväggshållare vid hörn.

### 4.3 Utvärdering av konceptförslag

Efter att konceptförslagen ritats i SolidWorks utvärderades de på ett möte tillsammans med handledare från Permanova. Under mötet diskuterades förslagets för- och nackdelar samt om någon lösning ansågs vara tillräckligt bra för att gå vidare med.

En av de viktigaste aspekterna vid utvärderingen var hanterbarheten hos de olika byggelementen samt hur monteringen av dem går till. Även ljusskyddslösningarna var av stor vikt för att få ett fungerande aktivt laserskydd. Möjligheten till infästning av stödbalkar diskuterades för de olika förslagen, då dessa behövs för att stötta upp stommen.

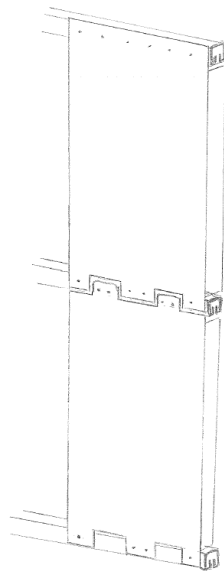
Ytterväggslösningen i konceptförslag 1 innebär svårigheter vid monteringen av de övre elementen. Detta då de placeras från utsidan av cellen och det finns inget stöd som håller dem på plats i nederkant. För att undvika att de faller in i cellen krävs någon form av anvisning. Ytterväggarnas ljusskydd då fyra väggar möts består av en plåtbit som fästs i nedbockningen av de övre väggarna, se figur 4.7a ovan. Under mötet framkom det att skyddet inte hindrar ljus från lokalen utanför cellen att komma in, då det är monterat en bit framför glipan. Då ytterväggarna här är bockade där undre och övre element möts kan stödbalkar endast placeras mellan väggarna. Ett förslag för att lösa detta var att skära ut hål i nedbockningen, men det kräver viss passning och även ytterligare ljusskydd. Vid presentationen av innerväggslösningen i det här förslaget konstaterades snabbt svårigheterna i monteringen av de övre elementen. Det finns inte några stöd att placera väggarna på, vilket gör att de måste hållas på plats av montören samtidigt som de skruvas fast. Då plåtarna är 3x1 meter och väger cirka 35 kg medför det stora svårigheter. Hörnlösningen i det här förslaget kräver att väggelementen närmast hörnen måste utformas på annat sätt än övriga väggelement, vilket inte är att föredra.

I konceptförslag 2 uppstår samma problem med monteringen av ytterväggarna som i förslag 1. På samma sätt behövs även här ett stöd för att hindra att väggarna faller in i cellen.

I det här förslaget kan stödbalkar placeras upp till mellanramen på samma sätt som i Permaflex. För att placera stödbalkar mellan mellanramen och takramen krävs utskurna hål i den övre väggens bockning i nederkant. Innerväggslösningen i det här konceptförslaget innebär samma problem vid montering som innerväggarna i förslag 1. Överlappningen av innerväggarna är inte heller att föredra, då det innebär svårigheter med passning. Fördelar med innerväggshållarna vid hörnen är att de inte kräver specialutformning av väggarna och kan fungera i kombination med andra innerväggslösningar.

Monteringen av ytterväggarna i konceptförslag 3 innebär svårigheter att få den övre väggen på plats efter att den T-formade listen är på plats. Det skulle kräva en anvisning av samma anledning som i konceptförslag 1. Även vid placeringen av stödbalkar uppstår samma problem som i förslag 1. Det här konceptförslaget innehåller liknande innerväggslösning som förslag 1, med skillnaden att här behövs inga specialväggar vid hörnen.

Utifrån ovanstående svårigheter med ytterväggslösningarna utan mellanram togs beslutet att behålla mellanramen och arbeta vidare med ytterväggarna från konceptförslag 2. Diskussioner på mötet resulterade i en idé där överlappningen av väggarna tas bort och övre elementet utformas nedtill på samma sätt som det undre, vilket gör att de kan monteras lättare i mellanramen. För att det nedre elementet ska kunna fästas upptill i ramen utformas det som ett pussel mot det övre elementet, se figur 4.15 för skiss. Ljusgliporna i horisontalled skulle kunna lösas med en list på utsidan. Lösningen med mellanram tillåter även att stödbalkar kan fästas hela vägen upp till taket.



*Figur 4.15: Handskiss över vidareutveckling av ytterväggar från konceptförslag 2*

Utvärderingen ovan ledde till slutsatsen att ingen av innerväggslösningarna var tillräckligt bra för att arbeta vidare med, då det uppstår problem vid montering av de övre väggelementen. För att underlätta monteringen av övre väggar behövs stöd att placera dem på. Det krävdes därav en omkonstruktion av väggelementen, där nya förslag tas fram. Under mötet diskuterades även väggelementens storlek då stora element är svårare att hantera. Slutsatsen

blev att de nya elementen skulle utformas cirka 1x1 meter, till skillnad från nuvarande 3x1 meter. Två av hörnlösningarna kräver inga specialutformade väggelement. Av dem ansågs hörnförslag 2 vara lättare att anpassa så att bredden på väggarna inte behöver ändras, vilket gjorde att det valdes som lösning att kombinera med nya innerväggar.

Nästa steg i konceptgenereringen var att vidareutveckla ytterväggarna från konceptförslag 2 enligt ovan samt ta fram nya lösningar till innerväggar och kombinera dessa med den valda hörnlösningen.

## 4.4 Nya innerväggar

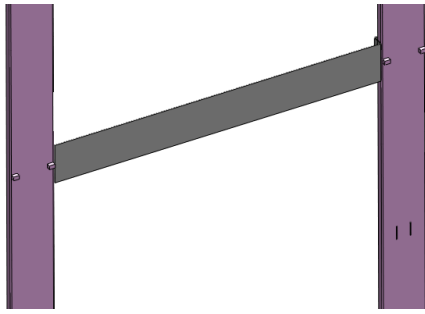
Eftersom ingen av de tidigare innerväggsförslagen innehöll en lösning för hur de övre väggarna kunde monteras på ett tillfredsställande sätt behövdes nya förslag tas fram från grunden. Mellanrummet mellan inre och yttre väggar innebär att de övre innerväggsselementen inte kan monteras genom att fästas i mellanramen på det sätt ytterväggarna fästs. För att montera innerväggarna på höjden krävs istället någon form av stöd som håller dem på plats medan de fästs i hållarna. Utgångsläget för att ta fram nya lösningar var att utforma väggarna cirka 1x1 meter, detta då det blir mer lätthanterligt än 3x1 meter.

### 4.4.1 Lösningförslag

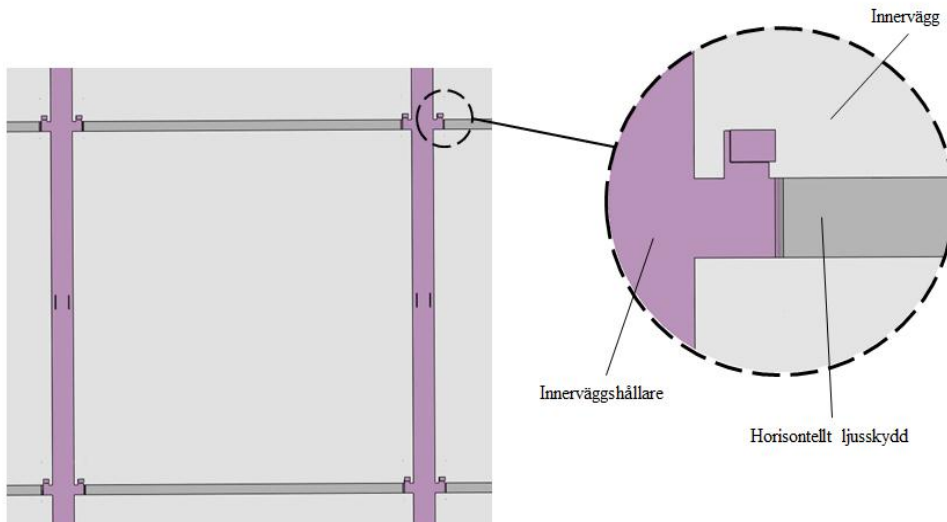
Med hjälp av brainstorming och handskisser togs två lösningförslag fram. Förslagen ritades i SolidWorks för att kunna presenteras och utvärderas tillsammans med Permanova. För de nya lösningarna gäller att de översta väggelementen specialutformas upptill samt dimensioneras utefter höjden på cellen så att innerväggarna efter montering når upp till taket. Båda innerväggsförslagen utgår från befintliga hållare i Permaflex, två stycken staplade på höjd. Detaljer på hållarna samt höjd och bredd justeras och anpassas till förslagen.

#### *Innerväggsförslag 1:*

Innerväggshållarna förses här med fastsvetsade kvadratiske stopp vid varje meter. Mellan dessa vertikala hållare fästs horisontella skydd vid varje meter, för att täcka glipor mellan innerväggarna. Skydden fästs i hållarnas kantbockning, se figur 4.16. Innerväggarna utformas plana med speciella utskärningar nedtill vilket medför att väggarna kan placeras på och hållas på plats av stoppen på innerväggshållarna under montering, se figur 4.17. Vid påbyggnad på höjden efter 3 meter löses glipan mellan innerväggshållarna i horisontalled med en påskruvad eller eventuellt fastsvetsad plåtbit som fungerar som ett skydd på samma sätt som i tidigare lösningar.



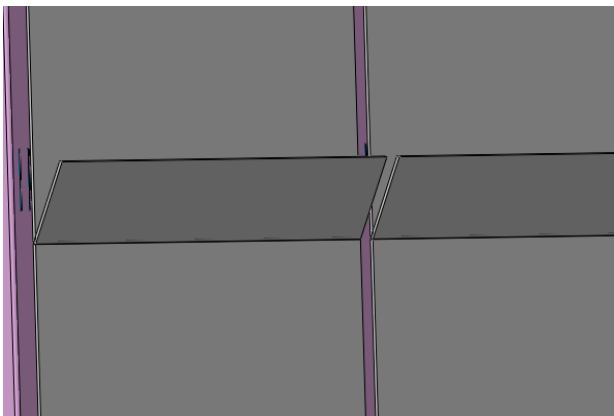
Figur 4.16: Innerväggsförslag 1. Horisontellt ljusskydd mellan två innerväggshållare



Figur 4.17: Innerväggsförslag 1. Innerväggar monterade på innerväggshållare

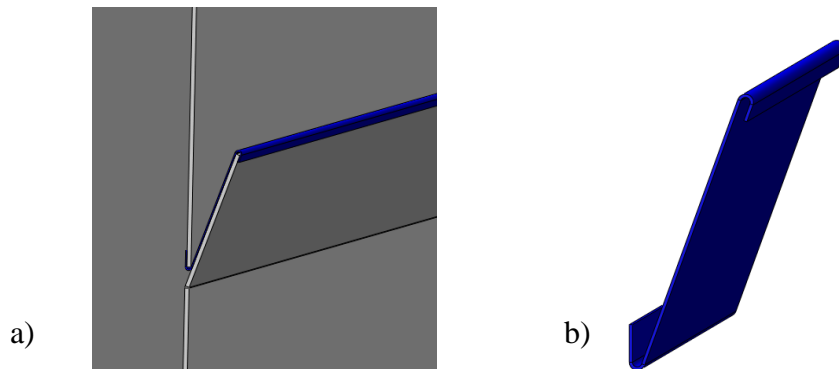
#### *Innerväggsförslag 2:*

Grundidén i det här förslaget var att övre väggar placeras direkt på de undre, som därmed håller dem på plats vid montering. Innerväggarna utformas plana med en bockning i övre kanten, se figur 4.18. Bockningen fungerar då både som stöd för övre vägg och ljusskydd. Precis som i förslag 1 beskrivet ovan måste gliporna mellan innerväggshållare täckas efter 3 meter. Detta görs på samma sätt som i förslag 1 med en extern täckklapp som kan monteras separat eller svetsas fast.



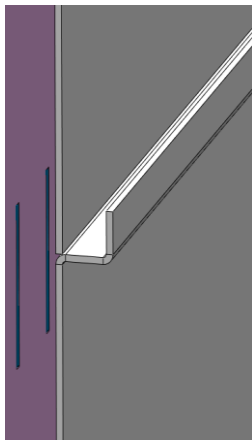
Figur 4.18: Innerväggsförslag 2. Fyra innerväggar monterade på innerväggshållare

Eventuellt innebär ovanstående lösning att det finns risk för att de övre väggarna hamnar snett och i värsta fall fastnar när väggarna placeras på varandra. En idé på hur detta skulle kunna undvikas var att utforma hängare som fästs på underliggande innervägg och fungerar likt ett stöd åt övre vägg, se figur 4.19 nedan.



Figur 4.19: Innerväggsförslag 2; variant med hängare. a) Övre och undre vägg monterade med hängare. b) Hängare.

Ytterligare en variant på innerväggar som placeras på varandra skissades fram, se figur 4.20. Väggarna dubbelbockas här upptill med 90-graders vinkel och övre vägg placeras på bockningen.

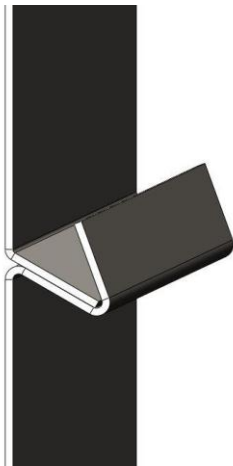


Figur 4.20: Innerväggsförslag 2; variant med 90-graders dubbelbockning.

#### 4.4.2 Utvärdering av nya innerväggar

De nya innerväggarna utvärderades under ett möte med handledare från Permanova, på samma sätt som de tidigare förslagen. Båda förslagen ansågs vara lättare att montera än de föregående förslagen. De horisontella skydden i första förslaget medför dock problem då de är svåra att fästa i hållaren. Skydden kan även buckla och ger då inte fullt ljusskydd. På grund av dessa nackdelar valdes det här förslaget bort.

Under mötet diskuterades problemet med att övre väggar i förslag 2 kan hamna snett och fastna. Den S-formade hängaren ansågs vara en bra, möjlig lösning till problemet och så även varianten med 90-graders bockning. Vidare diskussioner kring hur väggarna lättast placeras på varandra ledde fram till ytterligare en variant på förslag 2. Denna lösning består av en tvåstegsbockning med olika vinklar i övre kant och en enkelbockning i nedre kant, se figur 4.21. Tvåstegsbockningen fungerar som en avsats att placera den övre på, samtidigt som det ger ett fullt ljusskydd.

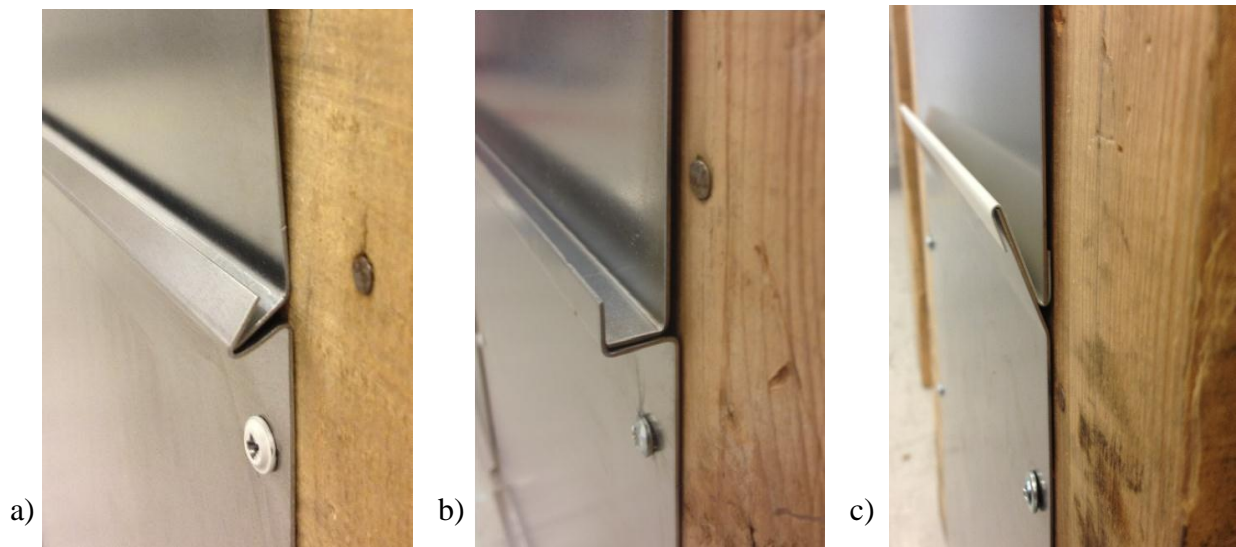


*Figur 4.21: Innerväggförslag 2; variant med tvåstegsbockning i olika vinklar.*

Då alla tre ovan nämnda varianter av förslag 2 upplevdes jämgoda krävdes mer kunskap om dem för att kunna gå vidare och välja ut ett av förslagen. För att få en känsla av hur väl monteringen av dessa fungerar jämfört med varandra beslutades det att nedskalade prototyper av dem skulle beställas och undersökas.

#### **4.4.3 Prototyper**

Förslagen på innerväggarna som gått vidare från utvärderingen är alla tre av storleken 1x1 meter, med 1,5 mm plåttjocklek. För att få en uppfattning av monteringen av dessa beställdes 3 prototyper av varje sort, nedskalade till 0,3x0,3 meter och tjockleken 1 mm. Ritningar togs fram i SolidWorks och skickades till Allan Anderssons plåtslageri för tillverkning, se bilaga 4. Prototyp 1 är varianten med en tvåstegsbockning upptill i olika vinklar, prototyp 2 har 90-graders tvåstegsbockning och prototyp 3 är varianten med den S-formade hängaren, se figur 4.22. Prototyperna skruvades upp på en rigg i form av en träpall där träplankorna på undersidan användes för att efterlikna innerväggshållare, se figur 4.23.



Figur 4.22: Prototyper monterade på en träpall a) prototyp 1, b) prototyp 2 och c) prototyp 3.



Figur 4.23: Prototyperna monterade på en träpall där plankorna illustrerar innerväggshållare.

Utvärderingen av prototyperna skedde under ett möte med handledare från Permanova där deltagarna själva fick testa att montera samt känna på plåtarna. Inför mötet togs prisuppgifter fram för de olika varianterna. Priserna är framtagna för plåtar med storlek 1x1 m utan lackering och återfinns i tabell 4.1.



Tabell 4.1: Prisuppgifter för prototyperna i full storlek, 1x1 m, olackerade.

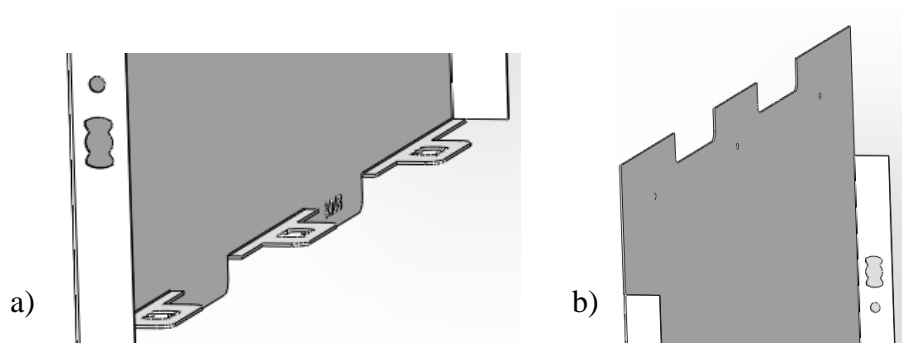
Prototyp i full storlek 1x1 m	Pris [kr]
Prototyp 1	630
Prototyp 2	600
Prototyp 3 inklusive hängare	780

Under utvärderingen monterades prototyperna och det undersöktes om några ljusglipor uppkommer när väggarna är på plats. Samtliga prototyper ansågs vara likvärdigt enkla att montera. Största skillnaden i monteringen var hängaren i prototyp 3, vilket upplevdes negativt då fler delar inte är önskvärdt. Utbockningen i prototyp 2 ansågs innebära risk för skador på grund av skarpa kanter, både vid och efter montering. Prototyp 1 och 2 har fullt ljusskydd, medan det för den tredje prototypen uppkommer en glipa längs hållaren på grund av hängaren. Glipan skulle kunna täckas med gummilist då den enbart innebär att dagsljus kan nå in i mellanrummet mellan inre och yttre väggar. Kostnaden för prototyp 1 och 2 skiljer sig inte nämnvärt men prototyp 3 inklusive hängare är dyrare. Utseendemässigt ansågs prototyp 1 och 3 vara mest tilltalande.

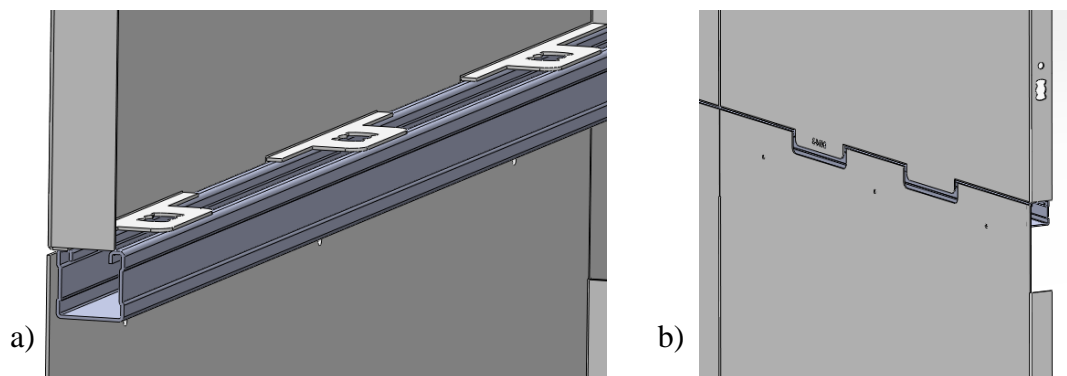
Diskussionerna under utvärderingen ledde fram till att prototyp 1 utsågs till den mest lämpliga lösningen och valdes därmed att ingå i det slutgiltiga konceptet. Innerväggarna kombinerades med den tidigare valda hörnlösningen.

## 4.5 Vidareutveckling av ytterväggar

Ytterväggslösningen som valdes att gå vidare med var den från konceptförslag 2, med de ändringar som diskuterats under dess utvärdering i avsnitt 4.3. Med detta som utgångspunkt ritades ett nytt lösningsförslag i SolidWorks. De övre väggarna utformades nedtill på samma sätt som de undre väggarna, se figur 4.24a. Detta medför att vid montering hindras väggen från att falla in i cellen av att de obockade delarna av nederkanten möter mellanramen. De undre väggarna är plana upptill och formade för att inte ta i de övre på utsidan av ramen, se figur 4.24b. I höjd med mellanramen fästs en list som täcker gliporna i horisontalled. Väggaras montering mot mellanramen, utan list, visas i figur 4.25.



Figur 4.24: Vidareutveckling av yttervägg. a) Väggelementens nedre kant. b) Undre väggelementens övre kant.

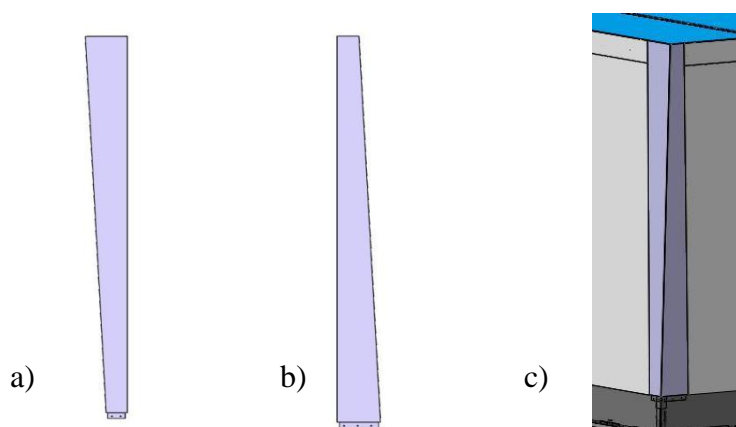


Figur 4.25: Vidareutveckling av yttervägg. Övre och undre väggelement monterade på mellanramen.

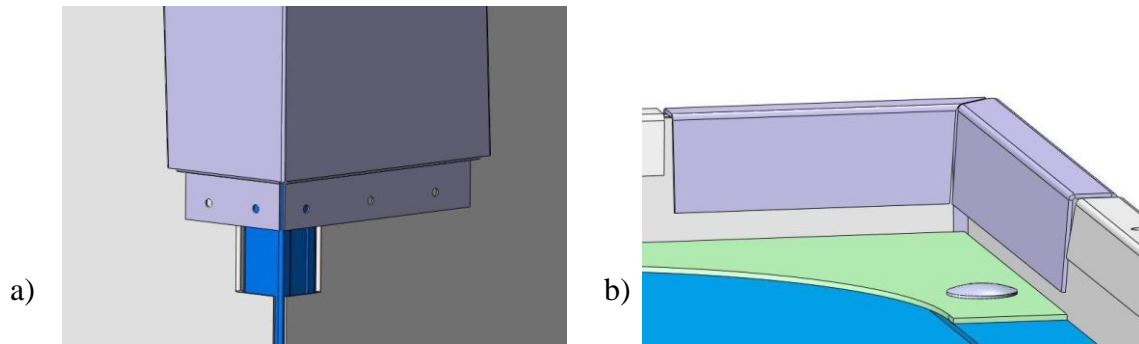
Det vidareutvecklade ytterväggförslaget utvärderades tillsammans med handledare från Permanova. Förslaget bedömdes vara realiserbart och uppfylla de kriterier som tidigare diskuterats. Främst monteringen av övre delen ansågs vara förbättrad jämfört med tidigare förslag, men även placering av stödbalkar genomförs nu lättare. Därmed valdes förslaget att ingå i det slutliga konceptet.

#### 4.6 Vidareutveckling av ytterhörnlist

I Permaflex finns fyra stycken lister som sitter på utsidan av cellen och är placerade i vardera fyra hörn, se figur 4.26 nedan. Dessa lister fungerar dels som ett yttre skydd mot laserstrålning och ger samtidigt cellen en designad look. Vid ett bygge på höjden var dessa lister tvungna att ses över konstruktionsmässigt. Önskan var att behålla dess design fullständigt, samtidigt som ett fullfärdigt laserskydd uppnås. Figur 4.27 nedan visar hur dess ursprungliga konstruktion fästs i Permaflex.

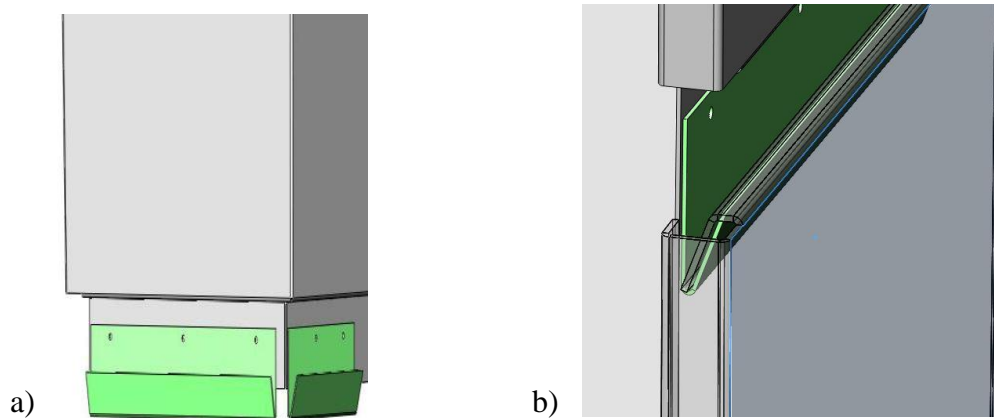


Figur 4.26: Yttre hörnlist. a) och b) Hörnlist från sidan, c) Montering av yttre hörnlist i Permaflex.

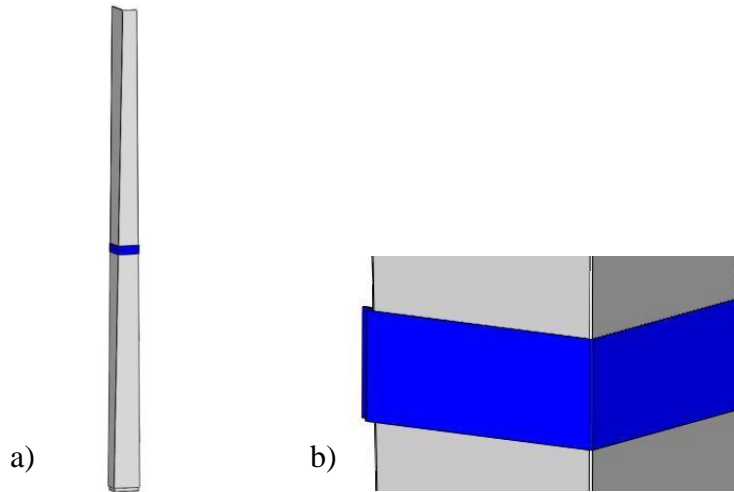


Figur 4.27: Yttre hörnlist. a) Fästning i nedre del. b) Fästning i övre del.

I arbetet med att vidareutveckla listerna skissades förslag upp på papper vilka i sin tur diskuterades med handledare vid ett möte. Ett av förslagen innebar att listen utgörs av två likadana delar som möts vid mellanramen. Denna idé valdes att jobba vidare med. Tanken med detta koncept var att de båda listerna utformas på samma sätt som idag. Då den övre listan skruvas fast i cellen monteras samtidigt en hängare i listens nedre kant. Dessa hängare fungerar som krokar och tillåter att den undre hörnlistan kan hängas på den övre, se figur 4.28. Från utsidan fästs en yttre list för att täcka skarven som uppstår mellan övre och undre hörnlist, se figur 4.29. Den yttre täckande listan skall vara av samma kulör och bredd som den redan existerande list tillhörande ytterväggarna som täcker glipor längs mellanramen. Detta för att skapa ett tilltalande helhetsintryck.



Figur 4.28: Nya hörnlist. a) Hängare monterad på övre list och b) montering av undre list på hängare.



*Figur 4.29: Yttre hörnlist med blå list som täcker glipan mellan hörnlisterna i höjded. a) Övre och undre del monterad med list, b) närbild över list.*

## 5 STOMME OCH TAK

Konstruktionen av stommen till Permaflex var, av Permanova, sedan tidigare baserad på Hiltis skensystem. På grund av dess fördelar vid montering samt flexibilitet valdes dessa att arbeta vidare med.

### 5.1 Undersökning av Hiltiskenor

I Permanovas grundkonstruktion hade man valt MQ-41 D-F i taket samt MQ-41-F som bas och hörnstolpar. Vid arbetet med att ta fram en stomme för att kunna bygga cellen större låg fokus på att hitta lämpliga takskenor. Det hade observerats att takskenorna hade varit den svaga länken vid konstruktionen av Permaflex, då dessa hade börjat svikta vid 4x4 m. Vertikala stolpar samt bottenram beslöts till en början att behållas oförändrade för att undersöka hur de uppträder vid en större konstruktion. För att undersöka vilka skenor som skulle vara lämpliga att använda för en större cell genomfördes en analys av de olika skenor från Hilti som var av intresse, se bilaga 1 för beskrivning av skenorna. Syftet med analysen var att undersöka den maximala utböjningen vid varierande längder på skenorna, med förbestämda lastfall. De skenor som valdes att undersöka var:

- MQ-41-F
- MQ-41 D-F
- MQ-52-F
- MQ-72-F
- MQ-72-52 D-F
- MI-90

Analysen genomfördes i SolidWorks där varje skena betraktades enskilt. Skenorna fick randvillkoren fritt upplagda där hänsyn togs till egenvikt samt en punktlast placerad i mitten av balken motsvarande 100 kg samt 200 kg. Lasterna valdes efter rekommendationer från Permanova för att representera en fullvuxen människa, 100 kg, samt en människa plus eventuell extrautrustning, 200 kg. Längden på varje enskild skena varierades från 1 meter till 6 meter vilket är maxlängd som Hilti levererar. Resultaten från analysen behandlades i programmet Matlab där varje balks utböjning plottades mot dess längd. Diagram över detta redovisas i bilaga 5.

För att kunna verifiera analysen som gjorts på fritt upplagda balkar i SolidWorks jämfördes resultaten med handberäkningar. Handberäkningarna genomfördes enligt Bernoulli-Eulers balkteori där redan framtagna elementarfall användes som underlag (Dahlberg, 2001). Beräkningar utfördes för 3 av de 6 undersökta balkarna vid längden 6 meter där de belastas med egenvikt samt en punktlast på 200 kg i mitten av balken. Balkarna som undersöktes var MQ-41-F, MQ-41-D-F samt MQ-72-52 D-F. Beräkningsgången och uppställningen av ekvationer står att finna i bilaga 6. Resultatet av beräkningarna visar att de teoretiska samt numeriska resultaten stämmer bra överens gällande två av balkarna. För fallet med balk MQ-

41-F är skillnaden lite större. Troligtvis beror det på att deformationerna blir för stora för att Bernoulli-Eulers balkteori ska kunna ge tillförlitliga svar. Med två goda resultat som underlag ansågs modellerna vara lämpliga att arbeta vidare med.

Ur diagrammen i bilaga 5 framstår det att samtliga skenor av typen F, dvs. MQ-41-F, MQ-52-F och MQ-72-F, vid 200 kg belastning och en längd av 6 m gav en utböjning som var långt över 100 mm. Denna utböjning ansågs vara för stor vilket medförde att dessa skenor fick anses olämpliga att använda till taket. Utböjningen av skena MQ-41 D-F vid 200 kg last och en längd på 6 meter blev även den för stor, strax över 130 mm. Resultatet ansågs vara för högt för att kunna användas till en cell större än 4x4 meter. Skenorna MI-90 samt MQ-72-52 D-F visade intressanta värden då deras utböjningar hamnade i området runt 30-50 mm vid fallet med en punktlast på 200 kg. Problemet med MI-90 är den befintliga infästningen som tillhandahålls av Hilti. Då denna används sammankopplas MQ-skenorna på utsidan av MI, se figur 5.1, vilket försvårar konstruktionen att ha MI-90 som takbalkar tillsammans med MQ som bas. Alternativet att enbart bygga cellen med MI-system valdes bort på grund av dess höga kostnad samt att montagebulten MQN ej kan användas till dessa skenor.



Figur 5.1: Sammankoppling mellan MI-90 skena, undre, och MQ-41-F skena, övre (Hilti Svenska AB 2013).

Efter interna diskussioner med handledare på Permanova valdes skenan MQ-72-52 D-F att arbeta vidare med då den visade på en utböjning inom gränserna för vad som ansågs rimligt.

## 5.2 Beräkningar på stomme

För att vidare undersöka vilka storlekar på cellen som skulle vara möjligt att konstruera ritades hela stommen upp i SolidWorks för fortsatt analys. Eftersom Hilti inte levererar skenor längre än 6 m valdes bredden att begränsas till 6 m som blir den dimensionerande sidan, detta för att kunna placera hela skenor, som bärande, längs en sida av cellen utan att behöva skarva. Utgångsläget valdes till en cell på 8x6x6 meter för att titta närmare på utböjningar och spänningar. Vid konstruktion av modellen i SolidWorks valdes det att inte ta med mellanramen efter 3 meter. Detta beslut gjordes för att få ett värre fall i beräkningarna då ramen har en uppstöttande funktion i konstruktionen.

Riktvärden för spänningar, uppsatta av Permanova, var att få en konstruktion där en säkerhetsfaktor på lägst 2,5 infaller vid full belastning. Full belastning innebär att takplåtarnas vikt, egentyngheden av balkarna samt punktlasten på 200 kg tas i beaktande. Jämförelsespänningar som granskades var von Mises spänningar. Säkerhetsfaktorn som visades i spänningsplottar beräknades med sträckgränsen dividerad på aktuell von Mises spänning i modellen.

### 5.2.1 Randvillkor och laster

I SolidWorks sattes randvillkoren fast inspänd på ramen som ligger mot golvet, då cellen vid montering bultas fast i golv. Beräkningar utfördes med hänsyn till balkarnas egenvikt, lasten av takplåtarna samt en extern punktlast på 200 kg som representerar en montör med extra utrustning. Punktlasten placerades på mitten av taket då det motsvarar det värsta lastfallet. Lasten från takplåtarna delades upp till utbredda laster på de hela 6 m balkarna som ej var skarvade. De utbredda lasternas storlek räknades ut beroende på modellens utformning och återfinns i bilaga 7. Eftersom de kortare balkarna är skarvade mot 6-meters-balkarna lades ingen last på dessa då de längre balkarna ansågs vara de bärande. Ingen last lades på balkarna i kanten, återigen för att åstadkomma det värsta lastfallet.

Skenorna i stommen betraktades som balkelement i SolidWorks. Skarvarna mellan två eller fler balkar behandlades då i programmet som rigida, dvs. liknande svetsade. Stommen fästs i verkligheten med skruvförband vilket innebar att modellerna då genererade ett bättre resultat än vad som kunde förväntas. I de fall då säkerhetsfaktorn 2,5 uppnåts för en modell med rigida skarvar togs en nedre gräns för säkerhetsfaktorn fram. Detta gjordes genom att beräkningar utfördes på modellerna där skarvarna behandlas som momentfria leder, för att illustrera fallet då mycket svaga skruvförband används.

### 5.2.2 FEM-beräkningar

Enligt metoden för framtagning av en stomme skulle en modell tas fram för att undersökas och utvärderas med hjälp av FEM-beräkningar i SolidWorks. Till en början studerades enbart spänningarna för modellen, då den bör uppnå en säkerhetsfaktor på minst 2,5. Skulle modellen ha en otillräcklig säkerhetsfaktor förkastades den och en ny modell togs fram. För en modell som når riktvärdet på 2,5 utfördes vidare beräkningar med momentfria leder vid skarvarna samt beräkningar av utböjningen. Efter det avgjordes det om modellen var tillräckligt bra eller om en ny modell skulle tas fram. Då flera modeller testades med varierande resultat redovisas plottar över säkerhetsfaktorn för modeller som inte når upp till önskat resultat i bilaga 8.

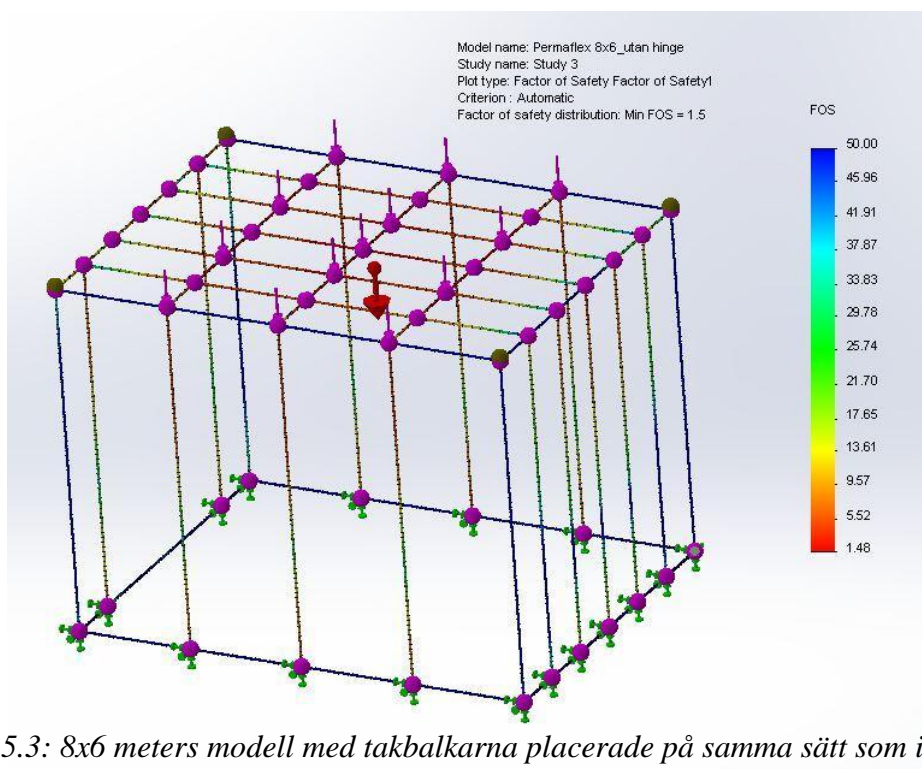
Samtliga modeller utformades och belastades i SolidWorks enligt beskrivningen i avsnitt 5.2.1. Vid utformning av en modell måste hänsyn tas till att takbalkarnas placering ska medge att takplåtar med måtten 2x1 meter kan monteras.

För att ta fram en modell för utformningen av stommen till en större cell utfördes först beräkningar på en modell där taket har samma utformning som i Permaflex, uppskalad till 8x6 m med skenor av sorten MQ-72-52 D-F på samtliga takbalkar, se figur 5.2. Modellens vertikala stolpar samt bottenram utgjordes fortfarande av MQ-41-F, som i Permaflex.



Figur 5.2: 8x6 meters modell med takbalkarna placerade på samma sätt som i Permaflex. Takbalkarnas placering ovanifrån.

Beräkningarna visade en lägsta säkerhetsfaktor på 1,48 i det kritiska området i mitten närmast punktlasten, se figur 5.3 nedan. Säkerhetsfaktorn var därmed lägre än riktvärdet på 2,5 vilket innebar i att en ny modell måste tas fram.

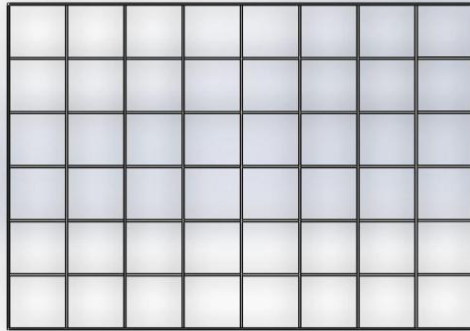


Figur 5.3: 8x6 meters modell med takbalkarna placerade på samma sätt som i Permaflex. Spänningsplot visande säkerhetsfaktorn.



### 5.2.2.1 Modell 1

Utifrån modellen ovan skapades en modell där fyra extra bärande balkar tillsattes, se figur 5.4. Taket utgjordes här av ett rutnät av balkar med 1x1 meters rutor. Samtliga takbalkar utgjordes av MQ-72-52 D-F och resterande balkar var oförändrade.

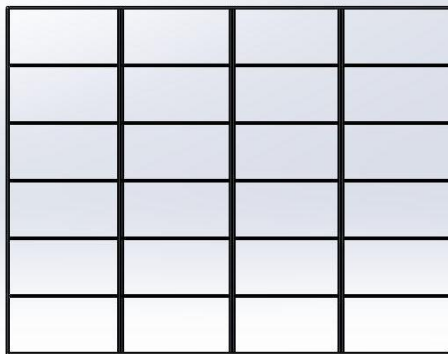


Figur 5.4: Modell 1 med 7 stycken bärande 6-meters balkar. Takbalkarnas placering ovanifrån.

De extra bärande balkarna påverkade säkerhetsfaktorn positivt, modellen erhöll en lägsta säkerhetsfaktor på 2,07, se bilaga 8 för spänningsplot. Detta ansågs dock inte tillräckligt bra då en faktor på 2,5 eftersträvades, vilket gjorde att en ny modell utformades.

### 5.2.2.2 Modell 2

I modell 1 utgörs takstommen delvis av balkar av storleken 1 m. Kortare balkar än det ansågs inte vara tillräckligt monteringsvänligt, då det innebär fler beslag samt mindre takplåtar. Därav utgick den här modellen från samma takutformning som i Permaflex, med skillnaden att det lades dubbla balkar, även de av sorten MQ-72-52 D-F, vid de tre bärande balkarna, se figur 5.5.

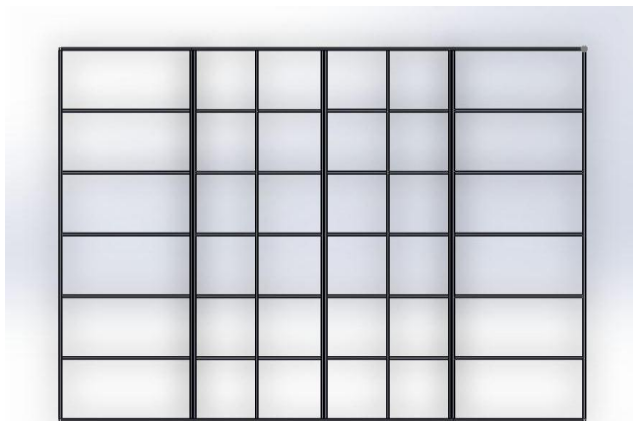


Figur 5.5: Modell 2 med tre stycken dubbla bärande balkar. Takbalkarnas placering ovanifrån.

Lägsta säkerhetsfaktorn blev då 2,08, se bilaga 8, vilket är en förbättring jämfört med taket med utformning enligt det i Permaflex. Då modellen inte når upp till en lägsta säkerhetsfaktor på 2,5 krävdes ytterligare förbättring varav en ny modell togs fram.

### 5.2.2.3 Modell 3

Den här modellen utgår från modell 2 ovan, där två extra bärande balkar lagts till mellan de andra för att öka hållfastheten, se figur 5.6. Samtliga takbalkar utgörs som tidigare av MQ-72-52 D-F-skenor.



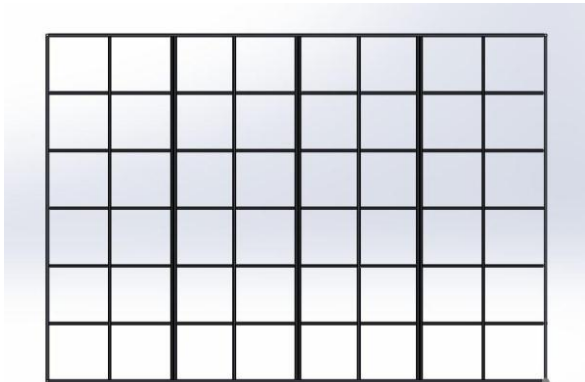
*Figur 5.6: Modell 3 med tre stycken dubbla och två extra bärande balkar. Takbalkarnas placering ovanifrån.*

Säkerhetsfaktorn här blev som lägst 2,5 vilket är en förbättring mot tidigare modell. Modellen når upp till önskemålet om 2,5 som lägsta säkerhetsfaktor, vilket gjorde att vidare undersökning av modellen gjordes. Då balkarnas skarvar hittills behandlats som rigida utfördes beräkningar då skarvarna mellan de kortare balkarna längs 8-meters sidan behandlades som momentfria leder. Modellen erhöll då en säkerhetsfaktor på 1,46. Det här fallet innebar en nedre gräns för säkerhetsfaktorn och förväntades motsvara att skarvarna fästs med svaga beslag. Spänningsplottar över säkerhetsfaktorn för de båda fallen återfinns i bilaga 8.

Då skarvarna betraktas som rigida motsvarar det fallet då de är svetsade, vilket de inte kommer att vara i verkligheten. Detta gör att säkerhetsfaktorn 2,5 tolkades som en övre gräns för vad den här modellen kan uppnå. Modellen har därmed en säkerhetsfaktor mellan 1,46 och 2,5. Den övre gränsen ansågs inte vara möjlig att nå upp till med enbart beslag, det skulle krävas svetsning för att åstadkomma detta. Då modellen har utrymme för fler extra bärande balkar utfördes beräkningar på ytterligare en modell.

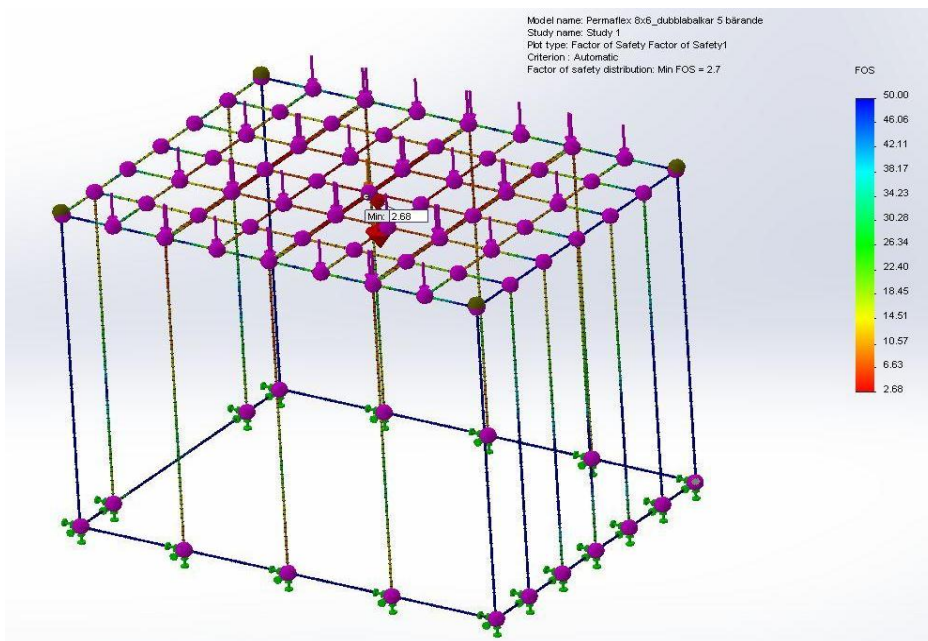
#### 5.2.2.4 Modell 4

För att förstärka modell 3 lades ytterligare två extra bärande balkar till enligt figur 5.7. Modellen liknar nu modell 1, ett rutnät av balkar med 1x1 meters rutor, med skillnaden att det är dubbla balkar vid varannan av de bärande.

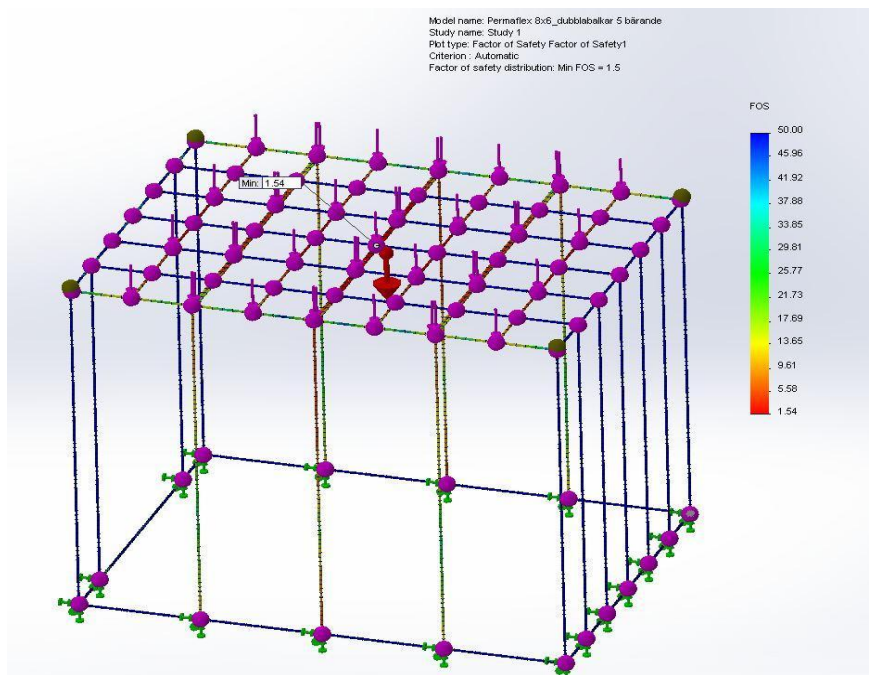


Figur 5.7: Modell 4 med tre stycken dubbla och fyra extra bärande balkar. Takbalkarnas placering ovanifrån.

Säkerhetsfaktorn blev vid full belastning som lägst 2,68, vilket innebär att det når upp till önskemålet om en lägsta säkerhetsfaktor över 2,5. Spänningsplotten visas i figur 5.8 nedan. Vid beräkning av säkerhetsfaktorn har skarvarna betraktats som rigida i SolidWorks, vilket gör att det tolkas som ett övre värde för modellen på samma sätt som för föregående modell. För att ta fram ett nedre gränsvärde för säkerhetsfaktorn gjordes en beräkning där skarvarna behandlas som momentfria leder, se figur 5.9. I detta fall erhöles en säkerhetsfaktor på 1,54.



Figur 5.8: Modell 4 med tre stycken dubbla och fyra extra bärande balkar. Spänningsplot visande säkerhetsfaktorn.



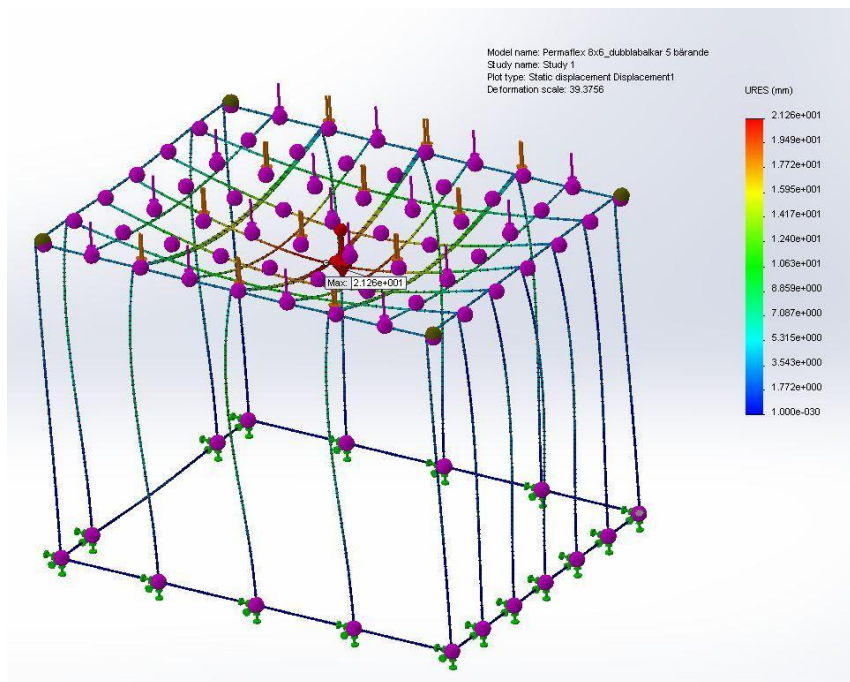
Figur 5.9: Modell 4 med tre stycken dubbla och fyra extra bärande balkar. Spänningsplot visande säkerhetsfaktorn med momentfria leder vid skarvarna.

Säkerhetsfaktorn för den här modellen förväntades därmed ligga mellan 1,54 och 2,68. Det lägre värdet motsvarar svaga beslag vid skarvar och det högre representerar sammansvetsade skarvar. Det verkliga värdet på säkerhetsfaktorn beror till stor del av utformningen av beslagen vid skarvarna. För att åstadkomma ett värde på säkerhetsfaktorn i närheten av riktvärdet 2,5 är det viktigt att beslagen specialutformas för att åstadkomma bättre sammankoppling av skarvarna.

Då modellen har en högre säkerhetsfaktor än riktvärdet för det svetsade fallet ansågs det vara fullt möjligt att åstadkomma en tillräckligt bra säkerhetsfaktor med hjälp av kraftiga beslag. I den föregående modellen, modell 3, låg säkerhetsfaktorn precis på riktvärdet vilket gjorde att det ansågs vara svårt att nå upp till detta i verkligheten. Därmed valdes modell 4 ut för vidare beräkningar.

### 5.2.2.5 Vidare beräkningar på vald modell

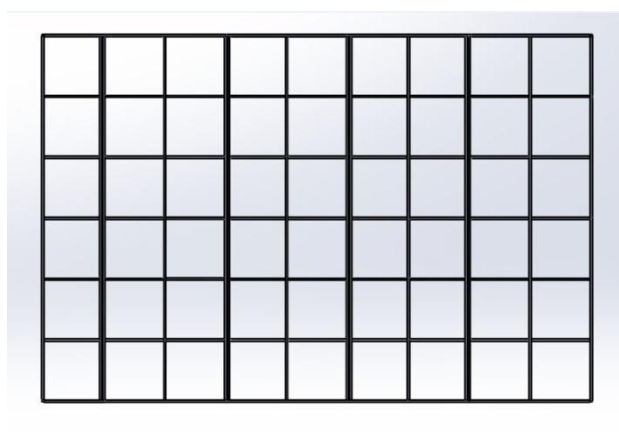
Eftersom modell 4 ansågs kunna nå upp till önskad säkerhetsfaktor genomfördes beräkningar över dess utböjning vid full belastning, se figur 5.10 nedan. Störst utböjning infaller som väntat i mitten på taket. Utböjningarna håller sig inom acceptabla värden med en maximal utböjning på 21,3 mm. Beräkningarna över utböjningarna gjordes då skarvarna betraktades som rigida. Då takelementen utgörs av 2x1 meters plåtar som fästes i takskenorna förväntas dessa stödja upp takbalkarna med avseende på utböjningar, vilket gjorde att inga ytterligare beräkningar utfördes på dessa.



Figur 5.10: Modell 4 med tre stycken dubbla och fyra extra bärande balkar. Plot över utböjningarna.

Observera att beräkningarna ovan endast gäller för en cell upp till 8x6 meter. Då de valda skenor inte tillverkas längre än 6 meter begränsas längden på de bärande balkarna av detta. Den 8 meter långa sidan är redan skarvad en gång och därmed undersöktes det om cellen går att byggas större genom att göra den sidan längre.

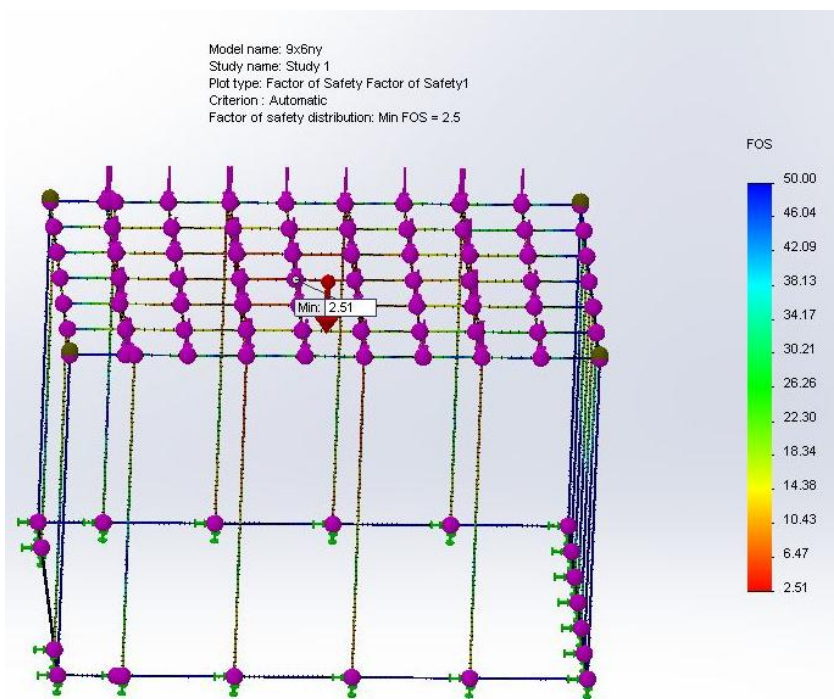
En modell med basmåtten 9x6 m samt höjden 6 m ritades för vidare undersökning. Modellen består av 4 dubbla och 4 enkla bärande balkar i taket, se figur 5.11 nedan. Längs långsidan placerades stödbalkar vid varannan meter. I övrigt är modellen utformad som modell 4.



Figur 5.11: Modell 4 utformad med basmått 9x6 meter. Takbalkarnas placering ovanifrån.

Modellen belastades på samma sätt som tidigare, dvs. med balkarnas egenvikt, takets vikt samt en punktlast på 200 kg i mitten av taket. Beräkningar över säkerhetsfaktorn visade ett lägsta värde på 2,51, se figur 5.12. Säkerhetsfaktorn var därmed över riktvärdet men ansågs dock vara för låg då skarvarna här betraktades som rigida. På samma sätt som i modell 3 krävs mer marginal för att kunna nå en säkerhetsfaktor på över 2,5 utan att svetsa skarvarna. Därmed ansågs modell 4 enbart vara lämplig för konstruktion av stomme till celler med basmått upp till 8x6 meter.

Begränsningen att modellen endast kan skalas till 8x6x6 meter och ej når upp till den önskade storleken 12x10x6 meter diskuterades med handledare på Permanova. Eftersom takplåtarnas utformning ville behållas gavs få vidare alternativ till takets konstruktion. Placering av fler skarvade 1-meters skenor ansågs vara besvärligt att montera och ökar inte hållfastheten avsevärt. Modell 4 valdes därav trots begränsningarna till att utgöra stommen i det slutgiltiga konceptet. I stommen ingår även en mellanram som placeras efter 3 m i höjddled, som utelämnats vid beräkningarna enligt avsnitt 5.2.



Figur 5.12: Modell 4 utformad med basmått 9x6 meter. Spänningsplot visande säkerhetsfaktorn.

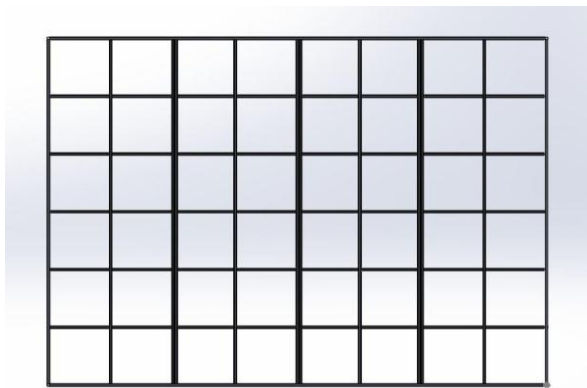
## 6 KOSTNADSKALKYL

En enkel kostnadskalkyl gjordes över de ingående elementen i det framtagna konceptet tillsammans med den valda stommen. Kostnadskalkylen utfördes på tre celler av olika storlekar; 4x4x3 m, 8x6x6 m samt 8x6x4 m. Detta för att överlämnas till Permanova för vidare utvärdering och jämförelse med Permaflex. Kalkylen redovisas i bilaga 9.

För att ta fram priser för de olika elementen skickades kostnadsförfrågningar till olika tillverkare. Permanova bidrog med prisuppgifter över de element som ingår i Permaflex, och dessa användes för de element som inte genomgått några större justeringar. I kostnadskalkylen för de olika elementen ingår material samt tillverknings- och lackeringskostnad i priserna. Priserna anges exklusive moms och frakt. En överslagsräkning har även gjorts över antalet bultar samt beslag som hör till konstruktionen. I kalkylen ingår ej kostnad för mantimmar.

## 7 RESULTAT

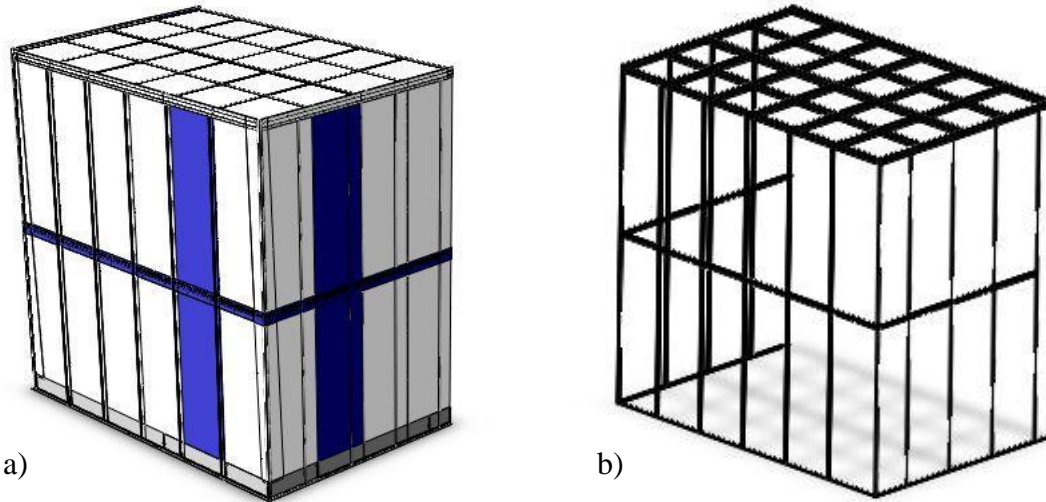
I arbetet med att skala Permaflex till större storlek vad gäller både basmått och höjd har en ny utformning för stommen tagits fram. Den nya stommen på konstruktionen består fortsatt av skenor från Hilti. I bottenramen samt vertikala stolpar är dessa av sorten MQ-41 F. Taket består av dubbelskenorna MQ-72-52 D-F, se figur 7.1. Efter 3 meter i höjddled används en mellanram. Denna består av dubbelskenan MQ-41 D-F, se figur 7.2b. Mellanramen används endast vid konstruktioner högre än 3 meter. Nästa våning av plåtar ställs då på denna ram med en total maxhöjd på cellen av 6 meter. Med Hiltis installationsskenor har beräkningar visat att cellen kan konstrueras till en max storlek på 8x6x6 m för att inte överskrida uppsatta gränser för spänningar.



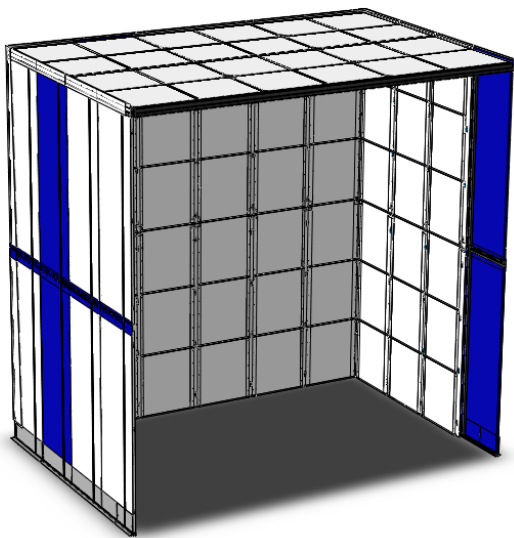
*Figur 7.1: Vald stomme, takbalkarnas placering ovanifrån.*

För att möjliggöra skalning har ett koncept med nya komponenter till cellen tagits fram. Komponenterna togs fram genom nydesign samt omkonstruktion av befintliga element i Permaflex. Resultatet presenteras i en CAD-modell som visar två hörn av en cell med bredden 6 m samt höjden 6 m, se figur 7.2, 7.3 samt 7.4. Då portlösningen ej behandlats och CAD-modellen ska ge en överskådlig bild av det framtagna konceptet valdes denna utformning. Konceptet är framtaget så att delen upp till mellanramen utformas på samma sätt för samtliga höjdmått mellan 3 och 6 meter. Höjden, eller antalet, på elementen som ingår i övre delen avgörs av totala höjden på cellen. Konceptet är endast principiellt och inga exakta mått på komponenterna har tagits fram.

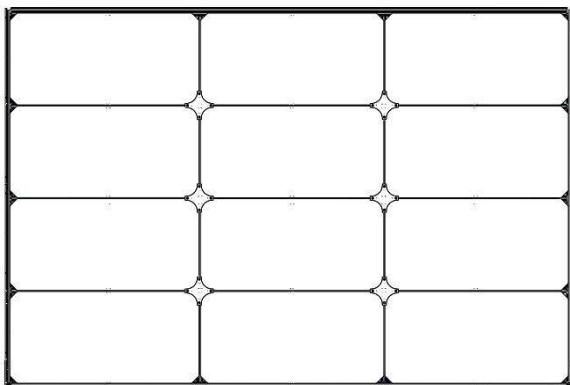




*Figur 7.2: CAD-modell över koncept, utsida. a) Med ingående element monterade och b) stommen.*



*Figur 7.3: CAD-modell över koncept, insida.*

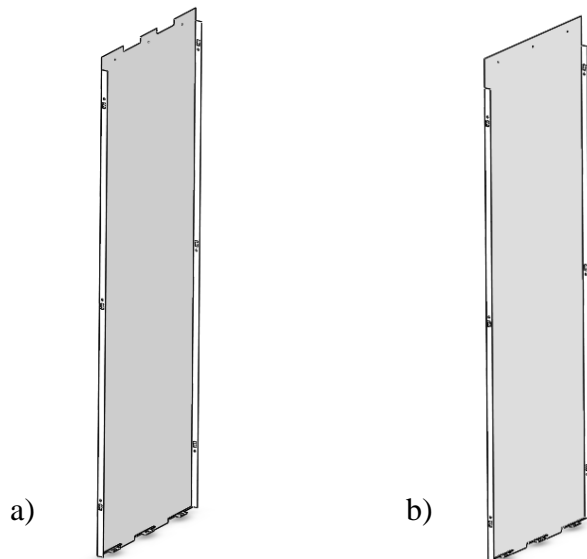


*Figur 7.4: CAD-modell över koncept, tak ovanifrån.*

Nedan följer en kort beskrivning med bilder över de nya komponenter som valts att ingå i det slutgiltiga konceptet. För ytterligare beskrivning se respektive avsnitt.

*Nya ytterväggar från avsnitt 4.5:*

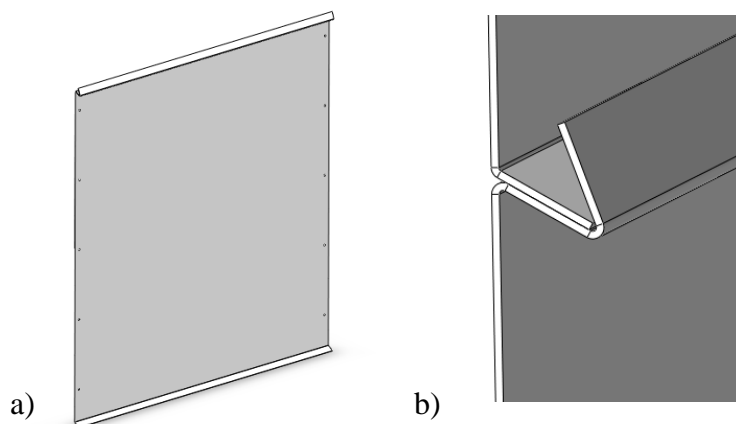
Ytterväggarna har bockade kanter i längdsled och undre och övre vägg fästs på samma sätt nedtill i bottenram respektive mellanram, se figur 7.5. Vid montering hjälper anvisningarna i nederkant till och förenklar arbetet. Undre vägg har utskurna detaljer upptill för att inte ta i övre vägg vid mellanramen.



*Figur 7.5: Ytterväggar. a) Undre vägg, b) övre vägg.*

*Nya innerväggar av typ prototyp 1 från avsnitt 4.4:*

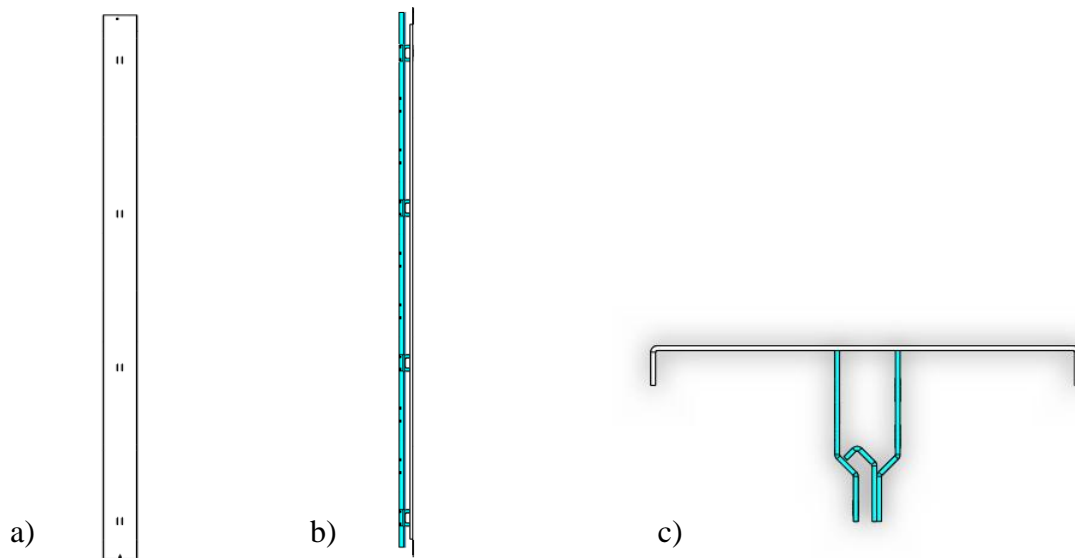
Innerväggarna har en bockning i nedre kant och en tvåstegsbockning i olika vinklar i övre kant, se figur 7.6a. Bockningen upptill gör att man får ett naturligt stöd vid placering av nästkommande vägg i höjdlid, se figur 7.6b. Bockningen täcker även gliporna i horisontalled.



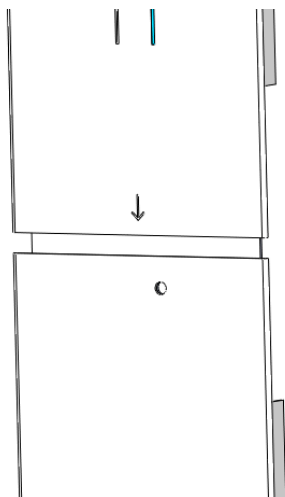
*Figur 7.6: Innervägg, a) snett framifrån, b) placeringen av två innerväggar i höjdlid.*

*Innerväggshållare med täcklapp:*

Innerväggshållarna används för att fästa innerväggarna på. På innerväggshållarna svetsas fästena fast, för att monteras i ytterväggarnas skarvar tillsammans med ett ljusskydd, se figur 7.7. Hållarna monteras två stycken i höjd enligt figur 7.8. En täcklapp i form av en plåtbit används för att täcka gliporna som uppstår efter 3 meter då en undre innerväggshållare möter en övre. Innerväggshållarna utgår från de i Permaflex och har breddats för att kunna ta upp spel mellan innerväggar.



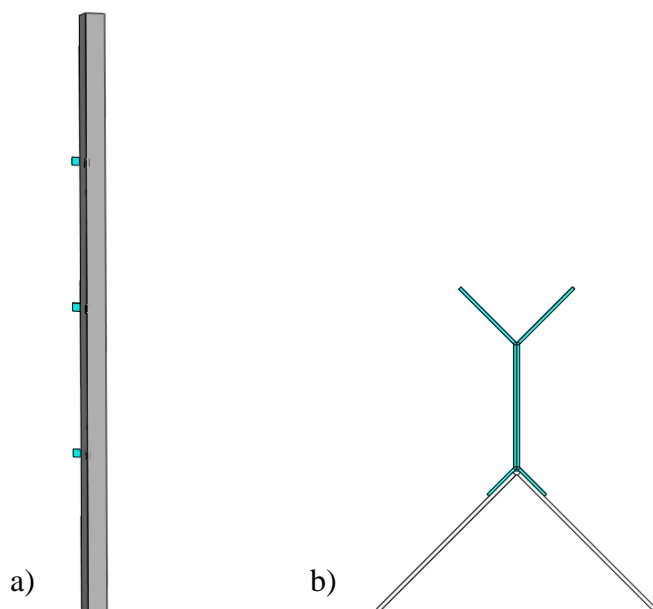
*Figur 7.7: Innerväggshållare med påsvetsade fästena samt ljusskydd till ytterväggarna. a) Framifrån, b) från sidan och c) ovanifrån.*



*Figur 7.8: Möte mellan två innerväggshållare i höjled. Glipan mellan dem täcks med en plåtbit.*

*Innerväggshållare vid hörn, hörnlösning 2 från avsnitt 4.1.2:*

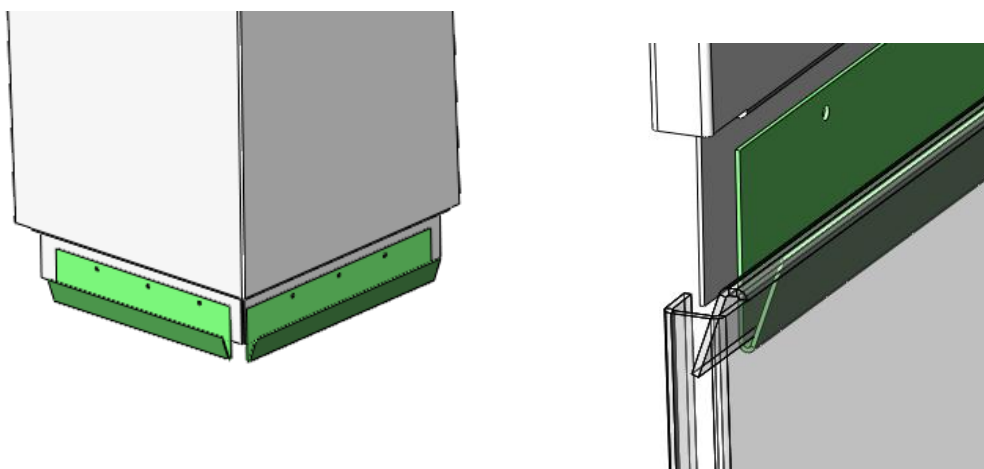
Innerväggshållarna vid cellens hörn specialutformas och består av en smal bockad plåt med fastsvetsade fästen, se figur 7.9. Dess utformning tillåter att innerväggarna kan vara av samma sort även vid hörnen.



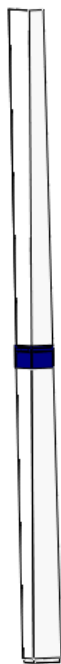
*Figur 7.9: Innerväggshållare vid hörn a) snett framifrån och b) ovanifrån.*

*Ny ytterhörnlist från avsnitt 4.6:*

Den övre delen av ytterhörnlisten hängs på cellen upptill och skruvas fast. En separat hängare skruvas fast samtidigt som den övre listen skruvas mot cellen i nederkant, se figur 7.10. Den nedre delen av ytterhörnlisten kan då hängas i denna. Yttre blå hörnlist täcker glipa som uppstår vid skarven efter 3 meter, se figur 7.11.



*Figur 7.10: Ytterhörnlist, a) med hängare som skruvas nedtill på övre delen och b) montering av nedre del på hängaren.*



*Figur 7.11: Ytterhörnlist med blå list som täcker skarven mellan övre och undre del.*

*Ytterlist till nya ytterväggar från avsnitt 4.5 :*

En list, se figur 7.12, fästs på utsidan av cellen efter 3 meter för att täcka glipan i horisontalled mellan undre och övre del av cellen. Listen fungerar även som en dekorlist. Av hänsyn till transport kan den inte tillverkas längre än tre meter och behöver därmed skarvas. Skarvarna som uppstår måste täckas för att listen ska ge fullt skydd.



*Figur 7.12: Ytterlist som monteras vid 3 m och täcker glipor mellan övre och undre del av cellen.*

Ytterligare delar som ingår i konceptet är; taklist längs cellens övre kant, golvlist, hörngolvlist, takplåt samt lister till taket. Dessa har utformats på samma sätt som befintliga element i Permafex med endast enklare justering av längder och återfinns i bilaga 2 över Permafex ingående delar.

En enkel kostnads kalkyl utfördes över konceptet och överlämnades till Permanova för utvärdering. Kalkylen genomfördes för tre olika storlekar på cellen; 4x4x3 m, 8x6x6 m samt 8x6x4 m och återfinns i bilaga 9.

## 8 SLUTSATS

De ingående delarna, bortsett från stommen, i det framtagna konceptet möjliggör att cellen kan skalas till det uppsatta målet 12x10x6 meter. Det återstår vidareutveckling av delarna vad avser detaljmått, toleranser samt eventuella skruvhål och dess placering. De nya innerväggarna utformas mindre än de i Permaflex och innefattar en bra lösning vid montering. Det kvarstår dock arbete med detaljutformning samt hur de understa och översta innerväggarna ska utformas vid mötet med golv respektive tak. Ytterväggarna innehåller redan en lösning för hur de ska utformas vid mötet med golv och tak. Innerväggshållarna vid hörnen innebär problem vid montering då det är svårt att komma åt att skruva och kan därmed behöva ytterligare justeringar gällande dess utformning. Vid arbetet med utvecklingen av cellen lades mindre fokus på ytterhörnlisternas utformning. Då både övre och undre del av hörnlisten ska monteras så tätt mot cellen som möjligt krävs att måtten på dess bockningar ses över. Ytterlisten som täcker skarvar i horisontalld längs mellanramen kan inte tillverkas längre än 3 meter lång av hänsyn till transporter. Det medför att den kräver en skarvning som i sin tur behöver täckas. Detta skulle kunna lösas med en täcklapp eller en bockning som medger överlappning.

Vid framtagning av stommen har takskenorna varierats med avseende på antal och placering. Den valda stommen möter kraven för maximala spänningar men tillåter då endast skalning upp till 8x6x6 meter. Beräkningar som utförts på en modell av denna storlek visar att, för att nå upp till en säkerhetsfaktor på 2,5 krävs att beslagen mellan skenorna specialutformas. På samma sätt som i Permaflex måste beslagen utformas kraftigare än de som leverantören erbjuder. För att erhålla en stabilare förbindning mellan skenorna kan beslag även fästas på ovansidan av skarvarna. Beslagens utformning är av stor vikt då beräkningar i FEM-analysen har baserats på sammansvetsade skenor.

Den framtagna stommen når inte upp till det uppsatta målet på 12x10x6 meter. Vi tror att med den aktuella modellen på Permaflex är detta mycket svårt att uppnå med Hiltis skenor. De dubbla väggarna gör att snedstag för att stödja upp taket ej går att placera på ett tillfredsställande sätt. Att placera stöd Stolpar inuti cellen är heller inget alternativ då det begränsar robotens arbetsområde. Ett alternativ för att kunna skala cellen upp till 12x10x6 meter är att använda en svetsad stomme. En svetsad stomme skulle öka hållfastheten men då en förutsättning för Permaflex var att stommen skulle monteras utan svetsning undersöktes inte detta vidare. Vid framtagning av stommen utgick vi från takplåtarna som finns i Permaflex, vilket innebär begränsningar för hur takstommen kunde utformas. En lösning för att bygga cellen större än 8x6x6 m och samtidigt använda Hiltis skenor skulle kunna vara att utforma takstommen annorlunda, till exempel med en lutning, och omkonstruera takplåtarna i efterhand.

Vid fortsatt utveckling av cellen rekommenderar vi att mellanramen och hur den ska skarvas för bästa resultat undersöks. Detta då stöd Stolparna antingen kan vara lika höga som cellen eller skarvas mot mellanramen. Det senare fallet gör att mellanramen tillåts vara oskarvad upp

till 6 meter. Vidare rekommenderar vi även beräkningar på mellanramen då väggarna är monterade.

Avslutningsvis tror vi att med fortsatt arbete gällande detaljutformning av byggelementen i Permaflex samt en djupare analys av stommen med tillhörande beslag har ett fungerande koncept tagits fram. Förhoppningsvis kommer fortsatt arbete leda till att delar av resultatet används vid vidare utveckling av Permaflex konceptet.

# KÄLLFÖRTECKNING

Dahlberg, T. (2001) *Formelsamling i hållfasthetslära*. Upplaga 3. Lund: Studentlitteratur. (Supplement till hållfasthetslära).

DS SolidWorks. (2011) *Solidworks Grundkurs*. Waltham: Dassault Systemès SolidWorks Corporation.

Permanova Lasersystem AB. (2012) *Laser processing - En kundtidning utgiven av Permanova Lasersystem AB*. Stockholm: Roxx Communication Group AB

2007: SS-EN 60825-1. *Laser-Säkerhet Del 1, Klassificering av utrustning samt fordringar*. Stockholm, SEK Svensk Elstandard.

2006: SS-EN 60825-4. *Laser -Säkerhet Del 4, Skyddsskärmar för laser*. Kista, SEK Svenska Elektriska Kommissionen.

Hilti Svenska AB. (2013) *Hilti MI industrial pipe support system*. (Elektronisk produktkatalog).

Hilti Svenska AB. (2013) *Installationsteknik*.

[http://www.hilti.se/holse/page/module/product/prca\\_catnavigation.jsf?lang=sv&nodeId=-50108](http://www.hilti.se/holse/page/module/product/prca_catnavigation.jsf?lang=sv&nodeId=-50108) (2013-05-06).

Reis Lasertec (2013) *LaserSpy Safety Sensor*. <http://www.reislasertec.de/produkte/laser-safety-systems/laserspy--safety-sensor> (2013-05-06).

## Muntliga källor:

Anna Wallner (Konstruktör, Permanova Lasersystem AB) Handledarmöte i mars 2013.

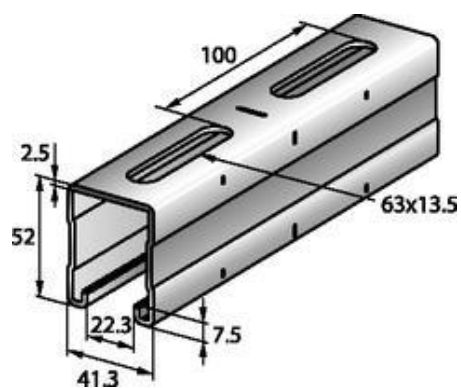


# BILAGOR

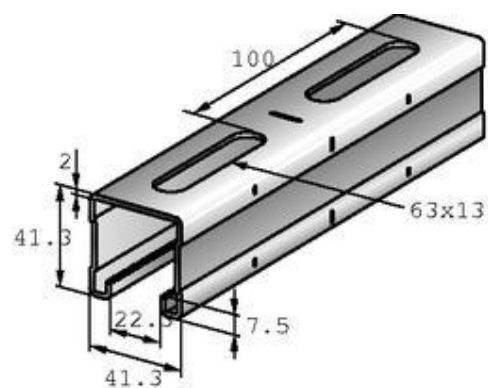
## Skenor och tillbehör från Hilti Svenska AB

Samtliga bilder nedan är hämtade, med tillstånd, från Hiltis webbsida (Hilti Svenska AB, 2013). Alla angivna mått i figurena nedan anges i mm.

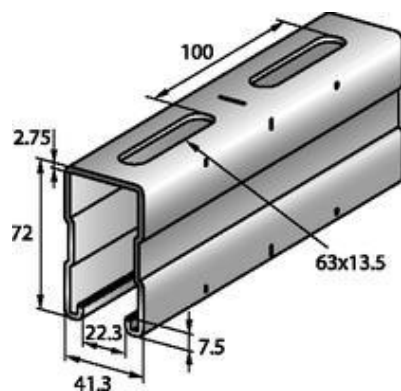
### Enkelskenor



Figur 1: Visande Hiltiskena MQ-52-F

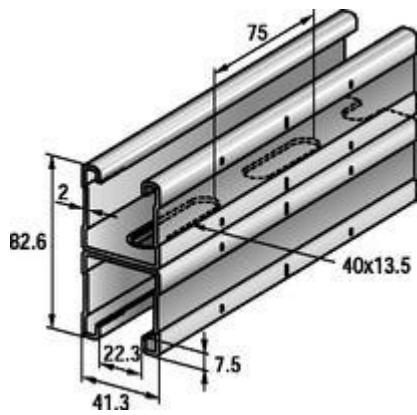


Figur 2: Visande Hiltiskena MQ-41-F

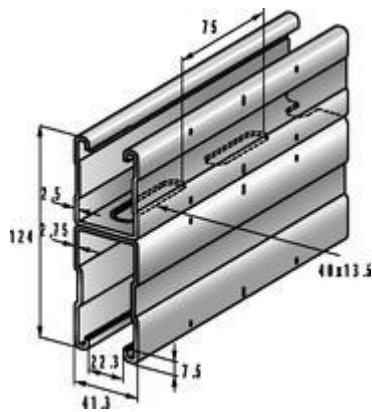


Figur 3: Visande Hiltiskena MQ-72-F

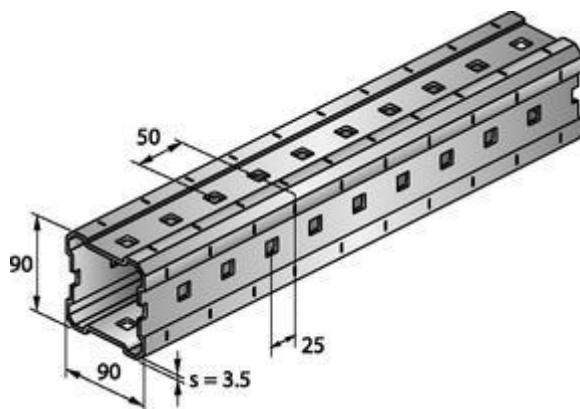
## Dubbelskenor



Figur 4: Visande Hiliskena MQ-41 D-F

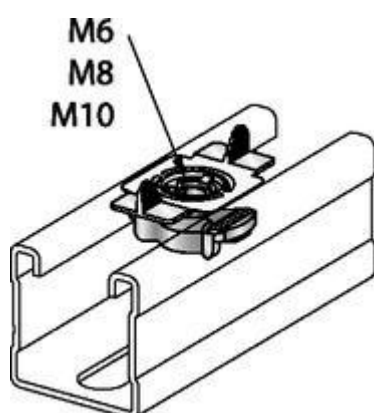


Figur 5: Visande Hiliskena MQ-72-52 D-F

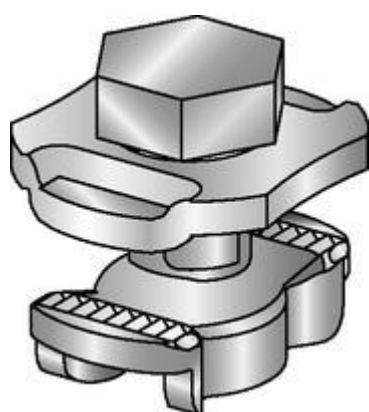


Figur 6: Visande Hiliskena MI-90

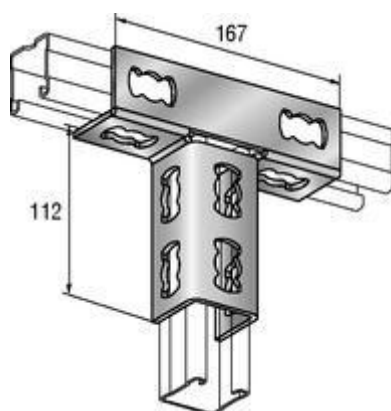
## Beslag och muttrar



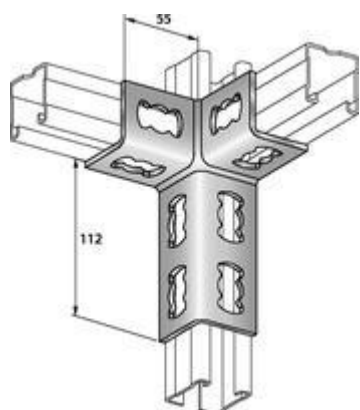
Figur 7: Visande montering av vingmutter MQM



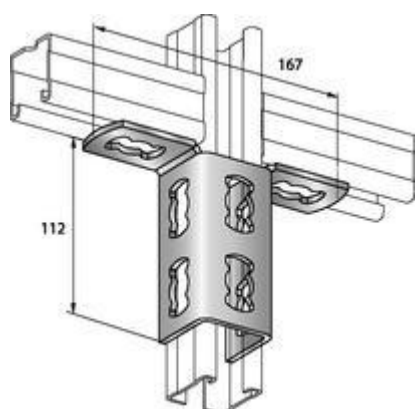
Figur 8: Visande vingmutter MQN



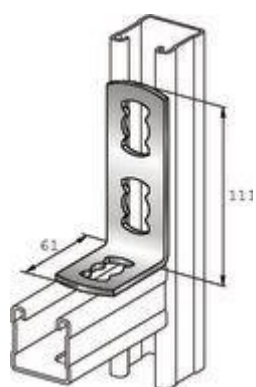
Figur 9: Visande skenkoppling MQV-3/2 D



Figur 10: Visande skenkoppling MQV-3D



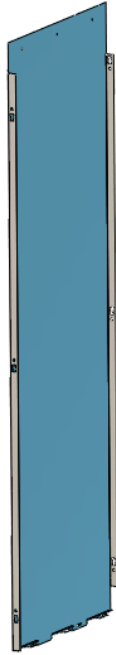
Figur 11: Visande skenkoppling MQV-2/2 D



Figur 12: Visande vinkelbeslag MQW-3-F

## Ingående delar i Permaflex

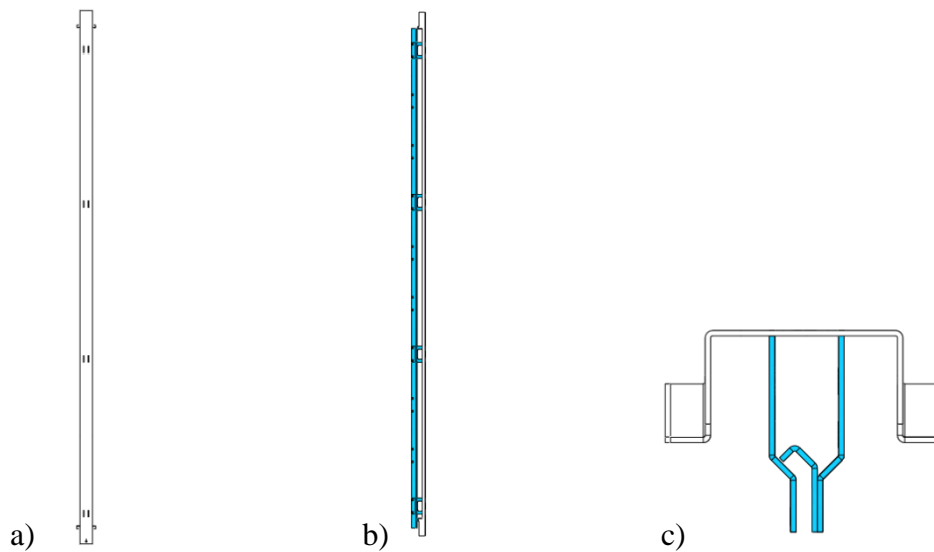
I nedanstående figurer redovisas ingående delar i standardcellen Permaflex. Då delar som ingår i cellens öppning ej berörts utelämnas de här.



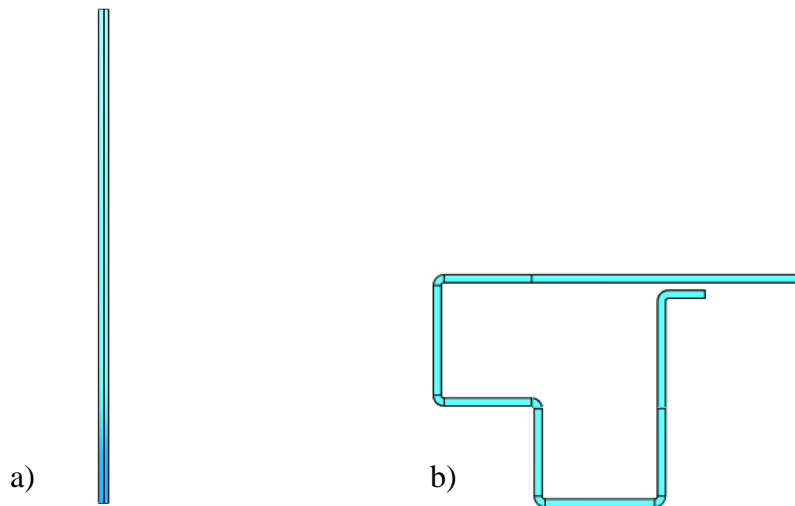
*Figur 1: Yttervägg.*



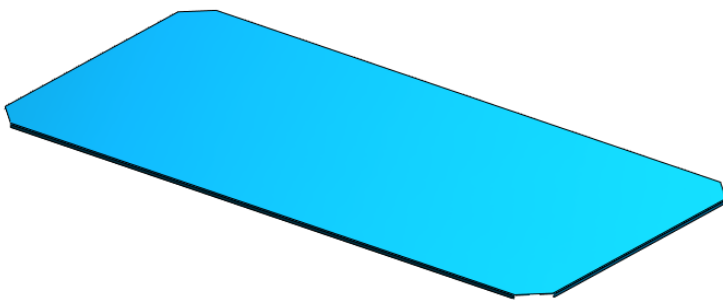
*Figur 2: Innervägg*



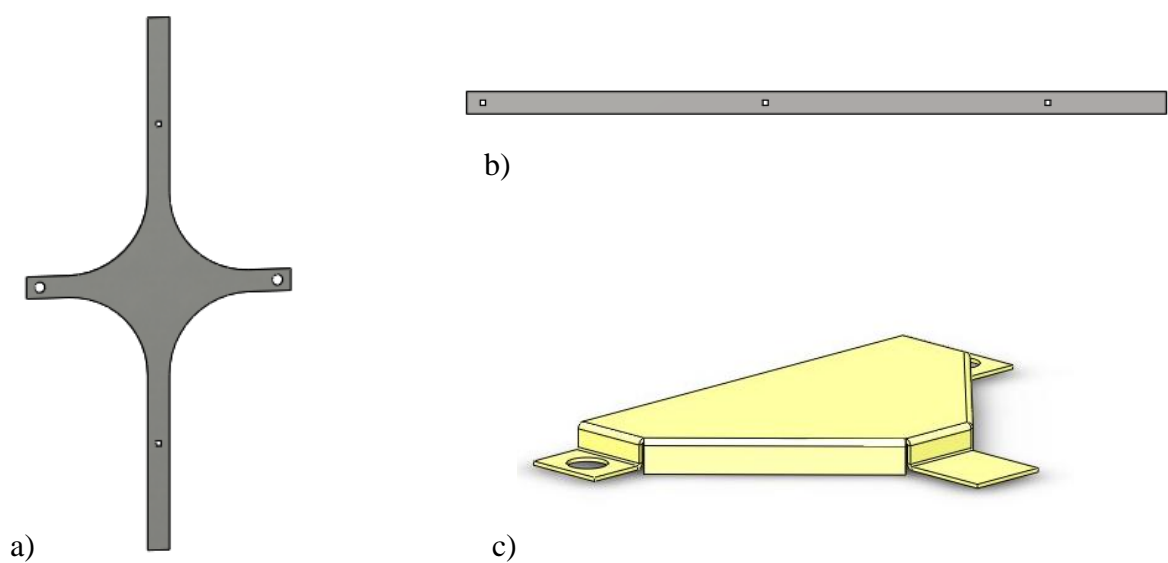
*Figur 3: Innerväggshållare med ljusskydd samt öron a) framifrån, b) från sidan och c) ovanifrån.*



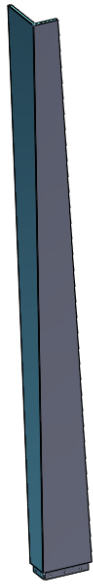
Figur 4: Innerväggshållare vid hörn a) från sidan samt b) ovanifrån.



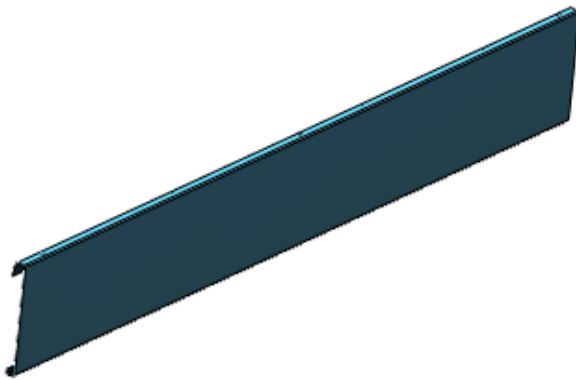
Figur 5: Takplåt.



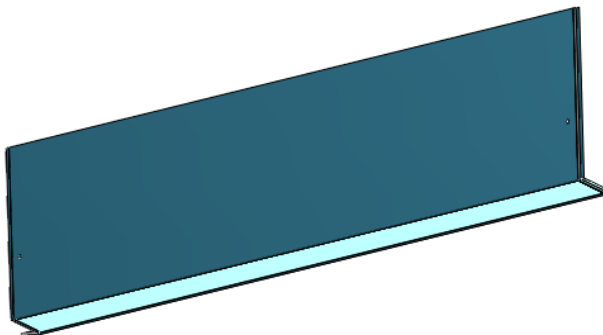
Figur 6: Taklister som täcker skarvar i taket. a) Vid möte av fyra takplåtar, b) mellan två plåtar och c) täckhatt som placeras där takbalkarna möter kantramen.



*Figur 7: Hörnlist som sitter på utsidan av cellen.*

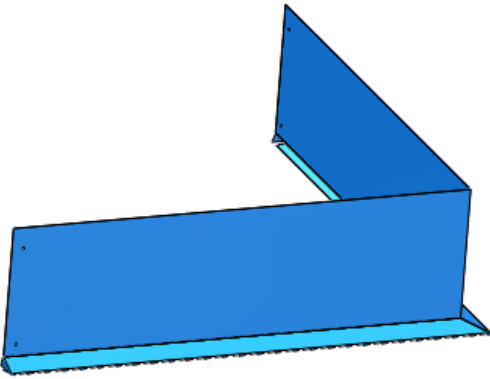


*Figur 8: Taklist i horisontalled. Monteras över kanten på övre yttervägg.*



*Figur 9: Yttre golvlist. Placeras längs golvet och fästs i ytterväggarna.*



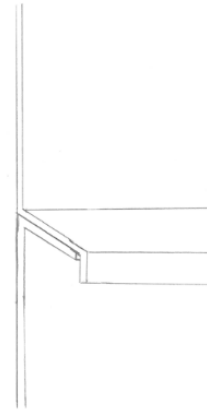


*Figur 10: Yttre golvlist vid hörn.*

## Brainstorming över yttervägglösningar vid påbyggnad på höjden

Resultatet av brainstormingen presenteras med skisser samt för- och nackdelar med idéerna.

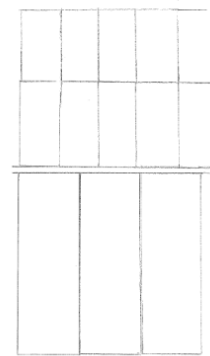
Dubbelbockning på övre väggelement,  
enkel bockning på undre.  
Övre vägg placeras direkt på undre  
och dess bockning täcker horisontala ljusglipan.  
3 meter höga plåtar.



+ Täcker horisontala ljusglipan

- Kräver extra skydd vid krysset av fyra väggar, i form av tex plåtplattor

Hatten byggs med mindre,  
dvs. kortare och smalare, element.  
Behåller mellanramen.

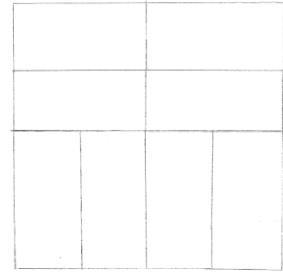


+ Lättare att hantera mindre element

- Fler element att hantera

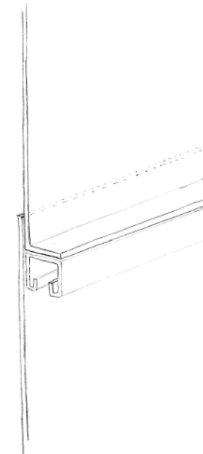
- Val av mått mer problematiskt

Liggandes element upptill,  
dvs. efter tre meter är plåtarnas långsida  
placerad i horisontalled.



- Svårt att anpassa de övre plåtarnas längd till olika basmått på cellen

Ha kvar mellanramen.  
Övre vägg bockas nedtill och  
byggs på genom att fästas i mellanramen,  
väggelementen utformas som i Permaflex.  
Undre väggelement tillåts överlappa mellanram  
för att täcka glipor i horisontalled



+ Enkel påbyggnad mha. Hiltiskenorna

- Risk för krock på utsidan i höjddled

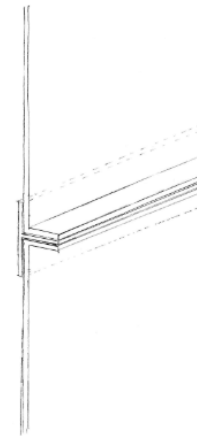
Övre och undre väggar ser likadana ut,  
övre väggen ställs omvänt den undre.



+ Likadana element

- Kräver lösning av ljusskydd i horisontalled

Ytterväggarna placeras på varandra med en mellanliggande list, fastklämd från utsidan.



- + Löser ljusskydd runt hela cellen utifrån
- Listen kräver svetsning

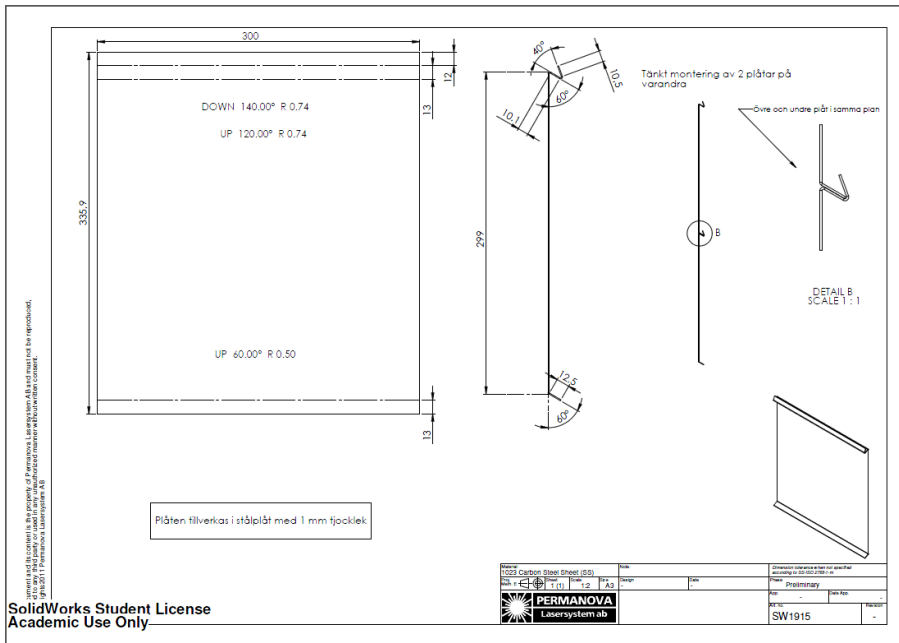
Väggelement utformas i två storlekar, till exempel 2 och 1 meter. Kombineras sedan till önskad höjd. Väggar har likadan bockning uppe som nere, eventuellt dubbelbockning vid nedre kant.



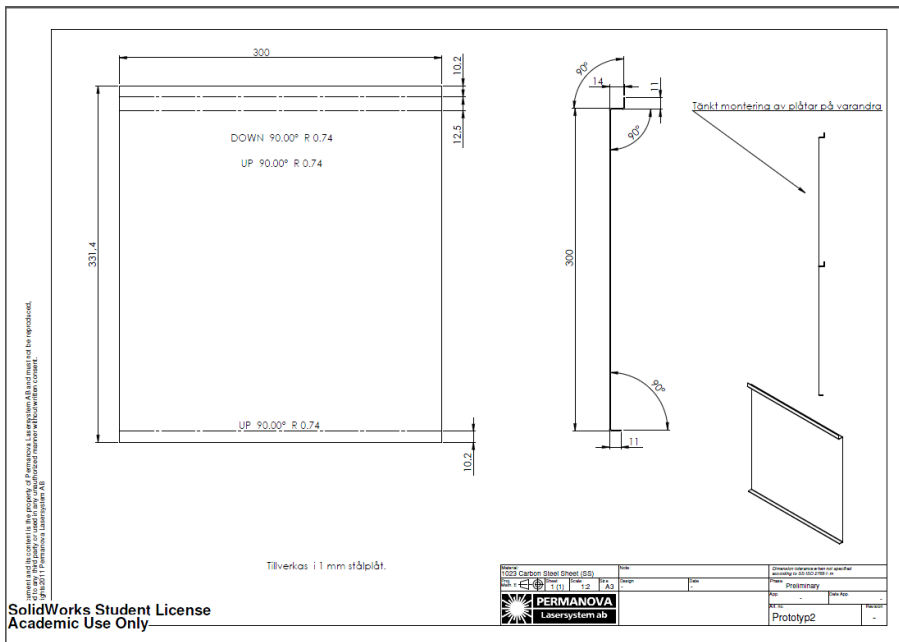
- + Lätt att lagerhålla då likadana element kombineras till önskad höjd
- Löser inte andra höjdmått än hela metrar

# Ritningar över beställda prototyp-plåtar

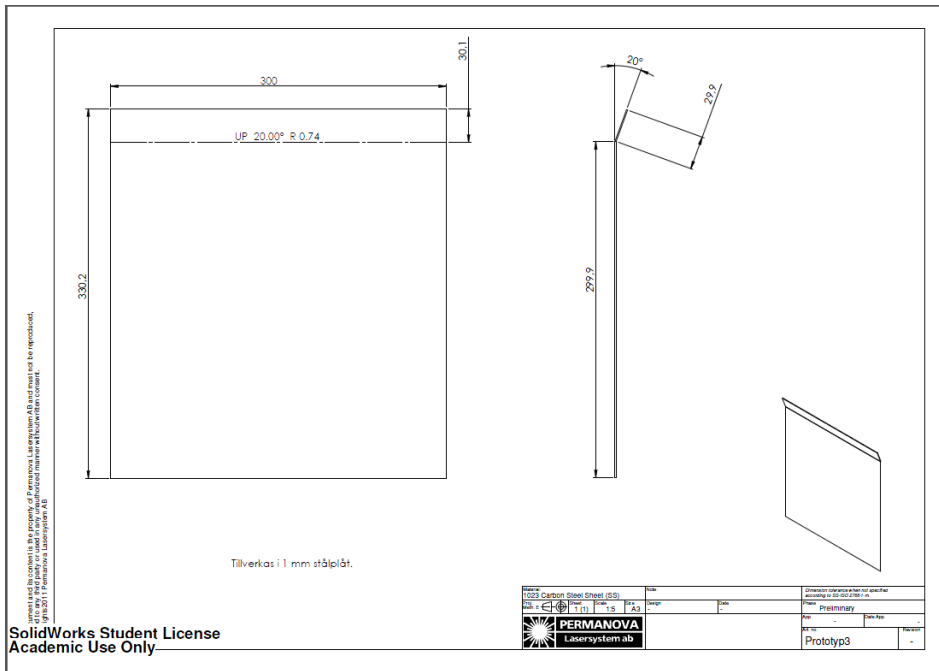
I nedanstående figurer visas ritningarna över de tre prototyper som skickats till tillverkare. Ritningarna är framtagna i SolidWorks.



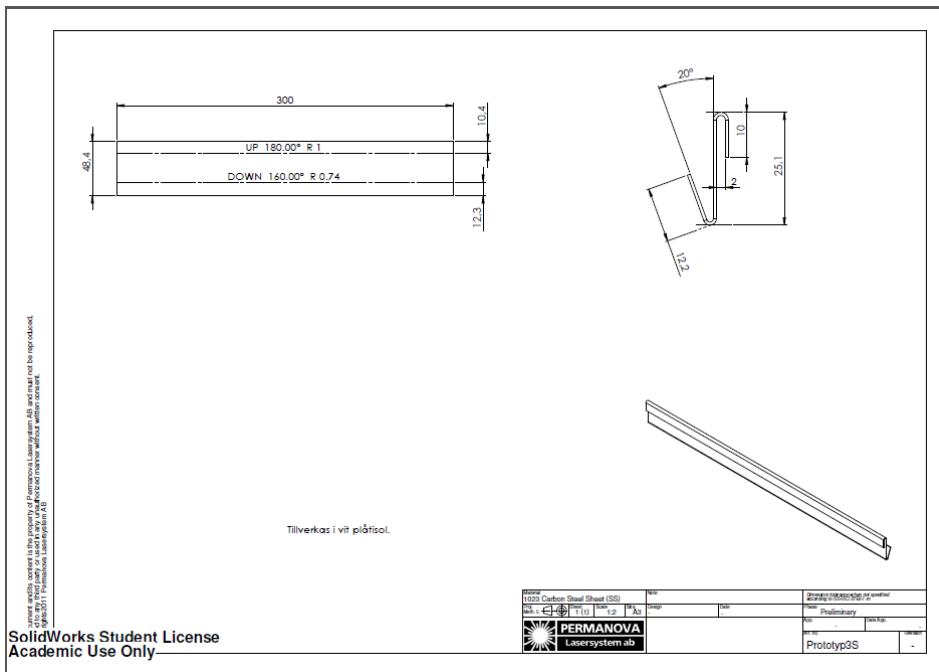
Figur 1: Ritning över prototyp 1.



Figur 2: Ritning över prototyp 2.



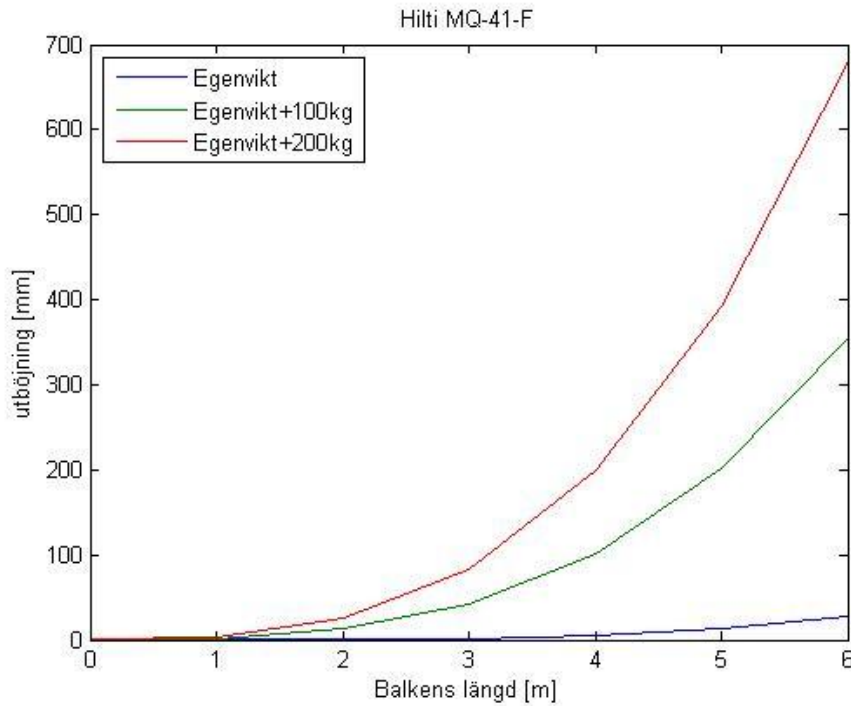
Figur 3: Ritningar över prototyp 3.



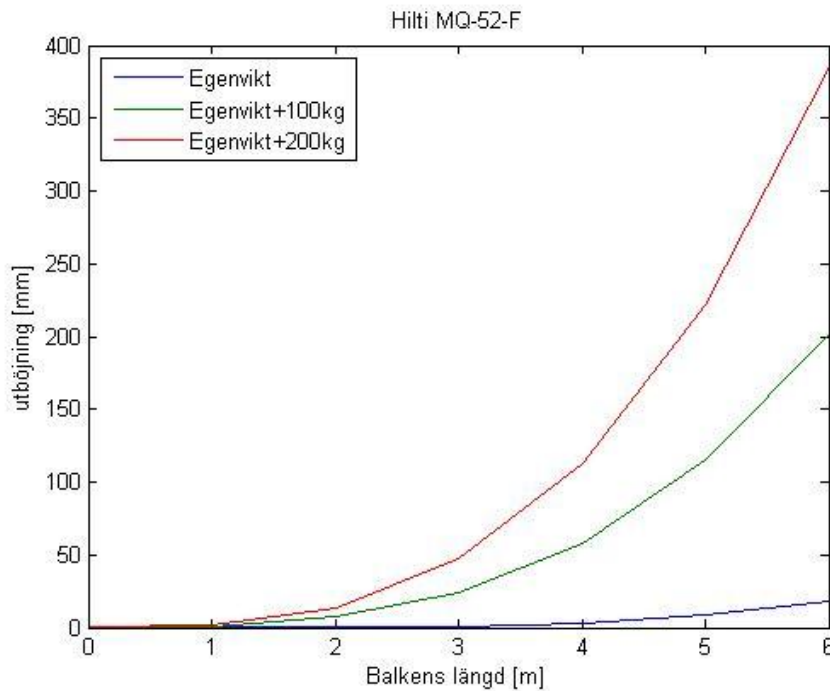
Figur 4: Ritning över hängare till prototyp 3.

## Undersökning av Hiltiskenor

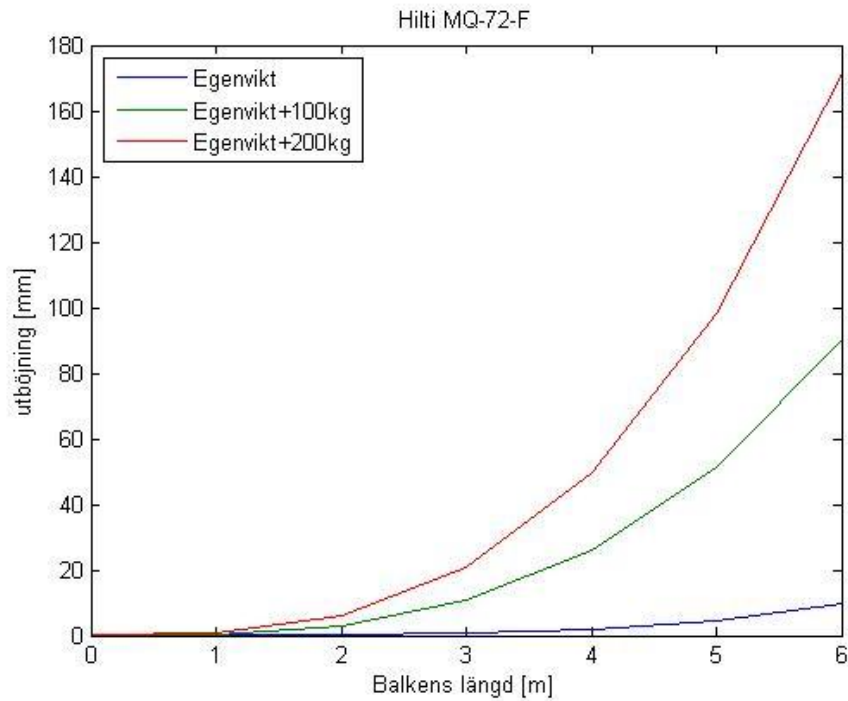
Utvalda skenor ur Hiltis sortiment studeras genom att utböjningen plottas som funktion av balkens längd för olika lastfall. Matlabkod för plottarna återfinns längst bak i bilagan.



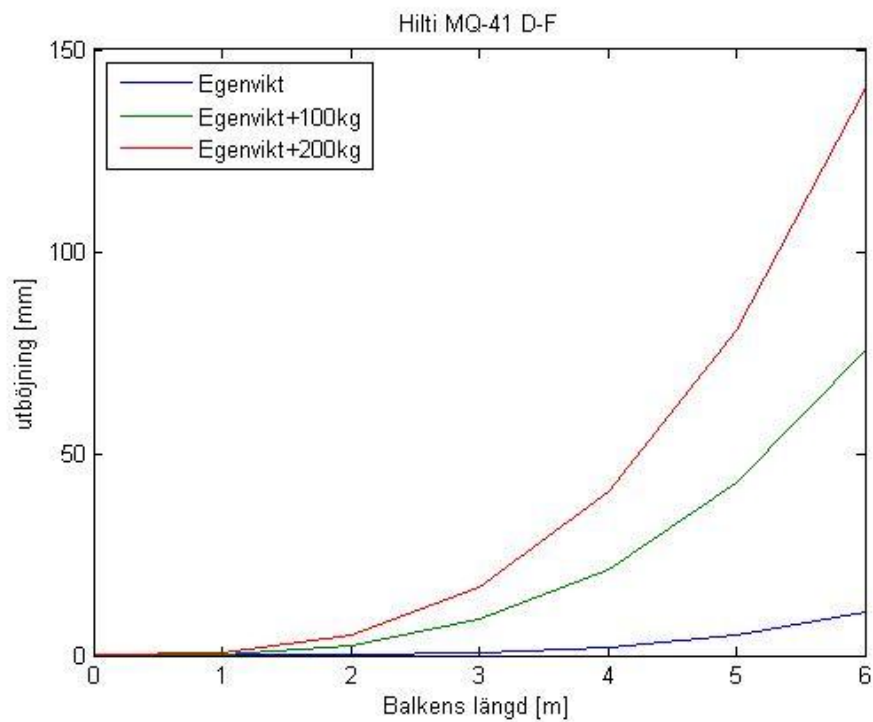
Figur 1: Visande utböjningen som funktion av balkens längd för MQ-41-F



Figur 2: Visande utböjningen som funktion av balkens längd för MQ-52-F

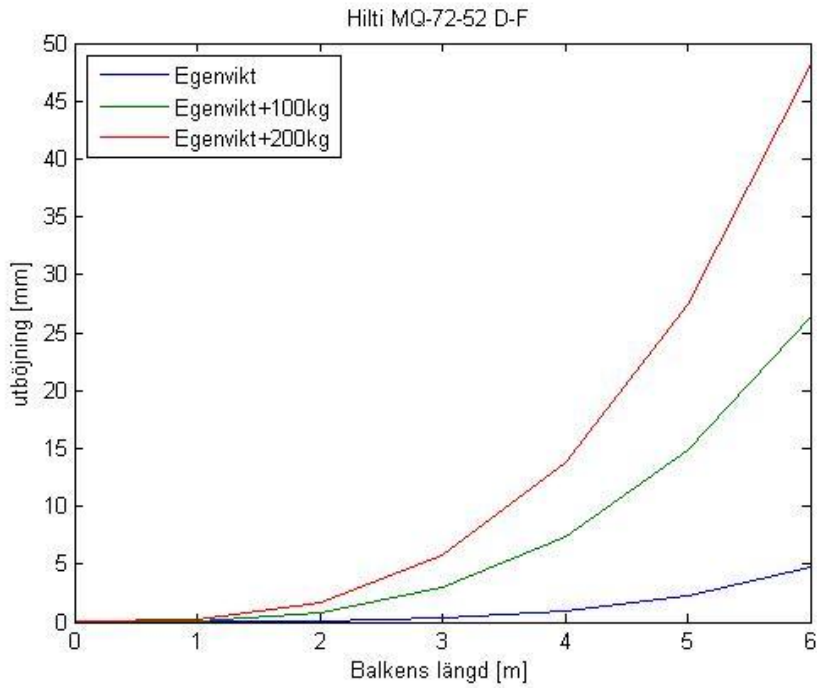


Figur 3: Visande utböjningen som funktion av balkens längd för MQ-72-F

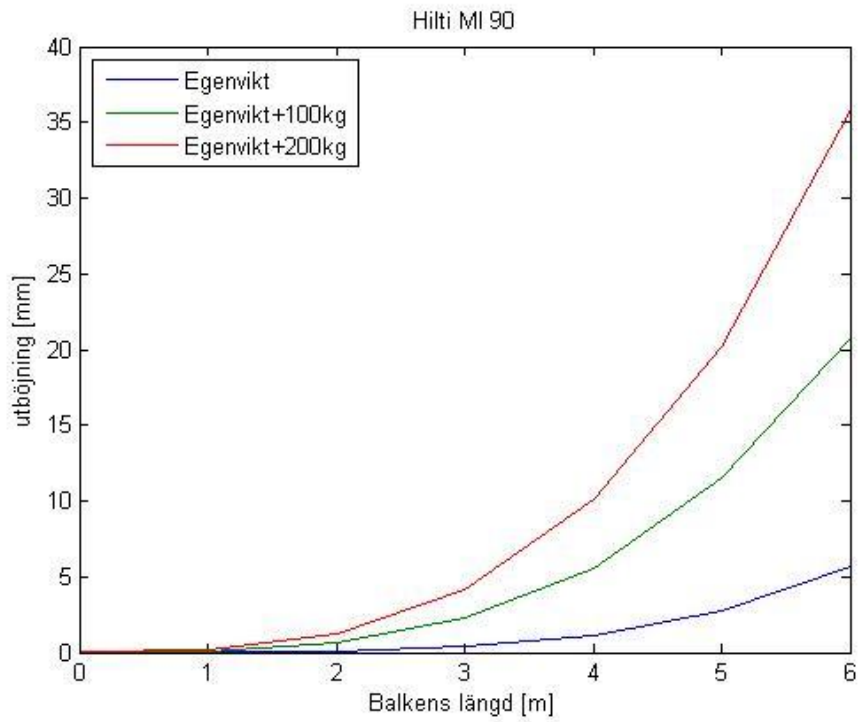


Figur 4: Visande utböjningen som funktion av balkens längd för MQ-41 D-F





Figur 5: Visande utböjningen som funktion av balkens längd för MQ-72-52 D-F



Figur 6: Visande utböjningen som funktion av balkens längd för MI-90

## Matlabkod för plottar av Hiltiskenor

```

clear all;close all; clc; clf;
x=[0 1 2 3 4 5 6];
%hilti enkel 41,3
y1=[0 0.0213 0.338 1.712 5.400 13.2 27.37];
y2=[0 1.557 12.49 42.63 102.3 202.4 354.3];
y3=[0 3.0393 24.64 83.54 199.2 391.6 681.2]

plot(x,y1,x,y2,x,y3)
title('Hilti MQ-41-F')
legend('Egenvikt','Egenvikt+100kg','Egenvikt+200kg','location',
'northwest')
xlabel('Balkens längd [m]')
ylabel('utböjning [mm]')
%holti enkel 52
y4=[0 0.01387 0.2192 1.107 3.497 8.534 17.69];
y5=[0 0.8813 7.054 24.11 57.96 114.9 201.4];
y6=[0 1.749 13.89 47.11 112.4 221.2 385.1];
figure
plot(x,y4,x,y5,x,y6)
title('Hilti MQ-52-F')
legend('Egenvikt','Egenvikt+100kg','Egenvikt+200kg','location',
'northwest')
xlabel('Balkens längd [m]')
ylabel('utböjning [mm]')
%hilti enkel 72
y7=[0 0.007663 0.1203 0.6068 1.916 4.674 9.689];
y8=[0 0.3935 3.135 10.74 25.89 51.46 90.51];
y9=[0 0.7794 6.15 20.87 49.86 98.25 171.3];

figure
plot(x,y7,x,y8,x,y9)
title('Hilti MQ-72-F')
legend('Egenvikt','Egenvikt+100kg','Egenvikt+200kg','location',
'northwest')
xlabel('Balkens längd [m]')
ylabel('utböjning [mm]')
%hilti dubbel 41.3
y10=[0 0.008616 0.136 0.6809 2.149 5.243 10.87];
y11=[0 0.3194 2.557 8.817 21.4 42.82 75.77];
y12=[0 0.6301 4.98 16.95 40.65 80.39 140.7];

figure
plot(x,y10,x,y11,x,y12)
title('Hilti MQ-41 D-F')
legend('Egenvikt','Egenvikt+100kg','Egenvikt+200kg','location',
'northwest')

```

## BILAGA 5. Sid 5(5)

```
xlabel('Balkens längd [m]')
ylabel('utböjning [mm]')
%hilti dubbel 72-52
y13=[0 0.003819 0.05866 0.2947 0.9288 2.265 4.693];
y14=[0 0.1112 0.8753 3.025 7.378 14.84 26.4];
y15=[0 0.2186 1.692 5.754 13.83 27.42 48.12];
figure
plot(x,y13,x,y14,x,y15)

title('Hilti MQ-72-52 D-F ')
legend('Egenvikt','Egenvikt+100kg','Egenvikt+200kg','location',
'northwest')
xlabel('Balkens längd [m]')
ylabel('utböjning [mm]')

%hilti MI 90
y16=[0 0.004713 0.0714 0.377 1.126 2.745 5.687 ];
y17=[0 0.081 0.642 2.258 5.611 11.49 20.77];
y18=[0 0.1573 1.213 4.159 10.1 20.23 35.86];
figure
plot(x,y16,x,y17,x,y18)
title('Hilti MI 90')
legend('Egenvikt','Egenvikt+100kg','Egenvikt+200kg','location',
'northwest')
xlabel('Balkens längd [m]')
ylabel('utböjning [mm]')
```

## Handberäkningar på skenor från Hilti

Nedan följer beräkningsgången för att ta fram maximala utböjningen för tre skenor från Hilti, belastade med en punktlast på 200 kg samt egenvikt. Beräkningen utfördes för att jämföra och kontrollera uppställningar i SolidWorks. För att få fram maximala utböjningen adderades 2 stycken elementarfall till varandra. Dessa två står att finna i Tore Dahlbergs formelsamling i hållfasthetslära på sidan A13 (Dahlberg, 2001). De som använts är första respektive fjärde räknat uppifrån. Det första representerar punktlasten och det andra används för att lägga egentyngden som en jämt utbredd last. I båda fallen har utböjningen sökts i mitten på balken för att få största utböjningen. Detta resulterar i följande två ekvationer:

$$w_1(L/2) = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot EI} \quad (1)$$

$$w_2(L/2) = \frac{5 \cdot Q \cdot L^3}{384 \cdot EI} \quad (2)$$

P = Punktlast [N]

Q =  $\rho \cdot g \cdot L$  = Balkens tyngd, betraktad som en utbredd last [N]

$\rho$  = Densitet balk [kg/m]

L = Balkens längd [m]

E = Böjstyvhetsmodul [N/m<sup>2</sup>]

I = Yttre röghetsmoment [m<sup>4</sup>]

$w_1$  = Utböjningen pga. punktlast [m]

$w_2$  = Utböjningen pga. egentyngd [m]

$w_{solidworks}$  = Utböjningen från analys i SolidWorks [m]

g = Tyngdaccelerationen [m/s<sup>2</sup>]

Ekvation 1 och 2 används för att räkna ut utböjningen för respektive lastfall. Materialdata för balkarna har hämtats från Hiltis produktkatalog (Hilti Svenska AB, 2013). Tabell 1 visar indata som användes vid beräkningarna.

Tabell 1: Visande indata tillhörande de undersökta balkarna

	<i>MQ-41-F</i>	<i>MQ 41- F-D</i>	<i>MQ -72-52 D-F</i>
$\rho$ [kg/m]	2,13	4,29	7,26
$E$ [N/m <sup>2</sup> ]	$210 \cdot 10^9$	$210 \cdot 10^9$	$210 \cdot 10^9$
$I$ [m <sup>4</sup> ]	$5,37 \cdot 10^{-8}$	$30,69 \cdot 10^{-8}$	$115,41 \cdot 10^{-8}$
$L$ [m]	6	6	6
$P$ [N]	1962	1962	1962
$Q$ [N]	125,4	252,5	427,3

Data från tabellen ovan stoppades in i ekvation 1 respektive 2. Utböjningarna från vardera lastfallet adderades sen till en total utböjning  $w_{tot}$  för de olika balkarna. I tabellen nedan visas resultatet från de olika beräkningarna samt jämförelsen med värdet som erhållits i SolidWorks. Utböjningarna redovisas i mm i tabellen.

Tabell 2: Visande resultat över beräkningar av utböjningarna för de undersökta balkarna

	<i>MQ-41-F</i>	<i>MQ 41- F-D</i>	<i>MQ -72-52 D-F</i>
$w_1(L/2) = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot EI}$ [mm]	782,9	136,9	36,4
$w_2(L/2) = \frac{5 \cdot Q \cdot L^3}{384 \cdot EI}$ [mm]	31,27	11,0	5,0
$w_{tot} = w_1 + w_2$ [mm]	814,2	147,9	41,4
$w_{solidworks}$ [mm]	681,2	140,7	48,1

## Beräkningar av laster på takbalkarna pga. takets vikt

Plåtarnas massa samt lasterna på takbalkarna pga. takets vikt beräknades enligt följande tre ekvationer och resultatet för de olika modellerna redovisas i tabell 1 nedan.

$$m = V \cdot \rho = b \cdot t \cdot L \cdot \rho \quad (1)$$

$$Q = \frac{m \cdot g}{L_{balkar}} \text{ [N/m]} \quad (2)$$

$$Q_{dubbla balkar} = \frac{Q}{2} \text{ [N/m]} \quad (3)$$

$m$  = plåtarnas sammanlagda massa [kg]

$V$  = plåtarnas sammanlagda volym [ $m^3$ ]

$t$  = plåttjocklek [m]

$b$  = takets bredd [m]

$L$  = takets längd [m]

$L_{balkar}$  = belastade balkars totala längd [m]

$\rho$  = plåtens densitet [ $kg/m^3$ ]

$Q$  = takbalkarnas last pga. takets vikt [N/m]

$Q_{dubbla balkar}$   
= takbalkarnas last pga. takets vikt då två balkar placeras inpå varandra [N/m]

$g$  = gravitationskonstanten 9,81 [ $m/s^2$ ]

Vid beräkning av  $L_{balkar}$  räknas två balkar placerade direkt bredvid varandra, så kallade dubbla balkar, endast som en balk. Där dubbla balkar placeras delas lasten  $Q$  lika mellan dem. För samtliga takplåtar gäller följande för plåttjocklek och densitet:

$t = 0,0015 \text{ m}$

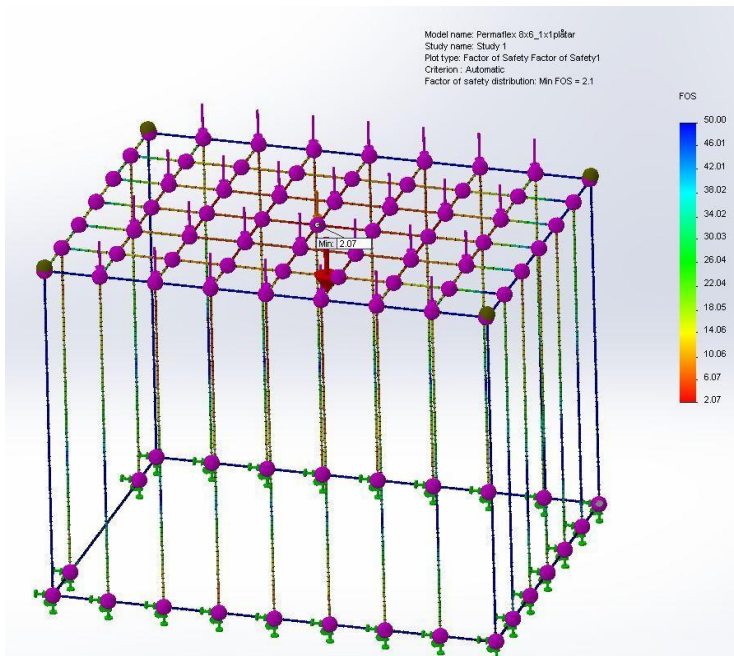
$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$

*Tabell 1: Sammanställning över lasterna på takbalkarna pga. takets vikt för de olika modellerna*

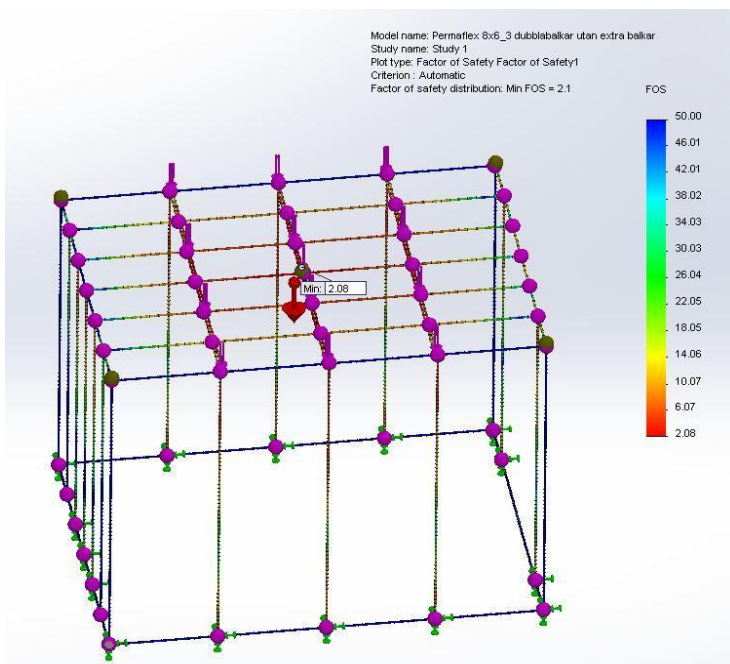
Modellnamn	L [m]	b [m]	L <sub>balkar</sub> [m]	m [kg]	Q [N/m]	Q <sub>dubbla balkar</sub> [N/m]
Permaflex 8x6 m	8	6	18	561,6	306,1	153,0
Modell 1	8	6	42	561,6	131,2	65,59
Modell 2	8	6	18	561,6	306,1	153,0
Modell 3	8	6	30	561,6	183,6	91,82
Modell 4	8	6	42	561,6	131,2	65,59
Modell 4 9x6 m	9	6	48	631,8	129,1	64,56

## Spänningsplottar

Nedan visas spänningsplottar över säkerhetsfaktorn för olika modeller på stommens utformning.

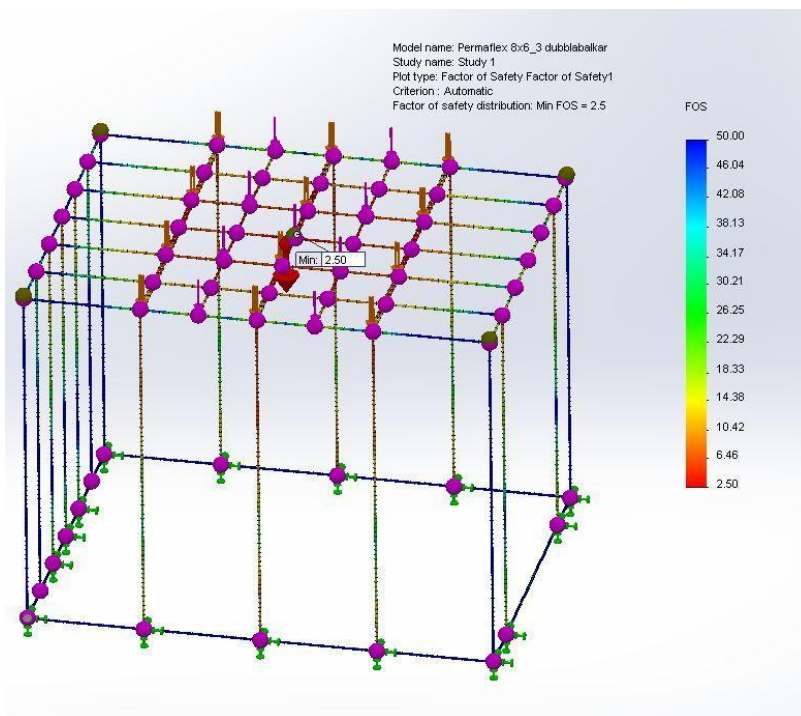


Figur 1: Modell 1 med 7 stycken bärande 6-meters balkar. Spänningsplot visande säkerhetsfaktorn.

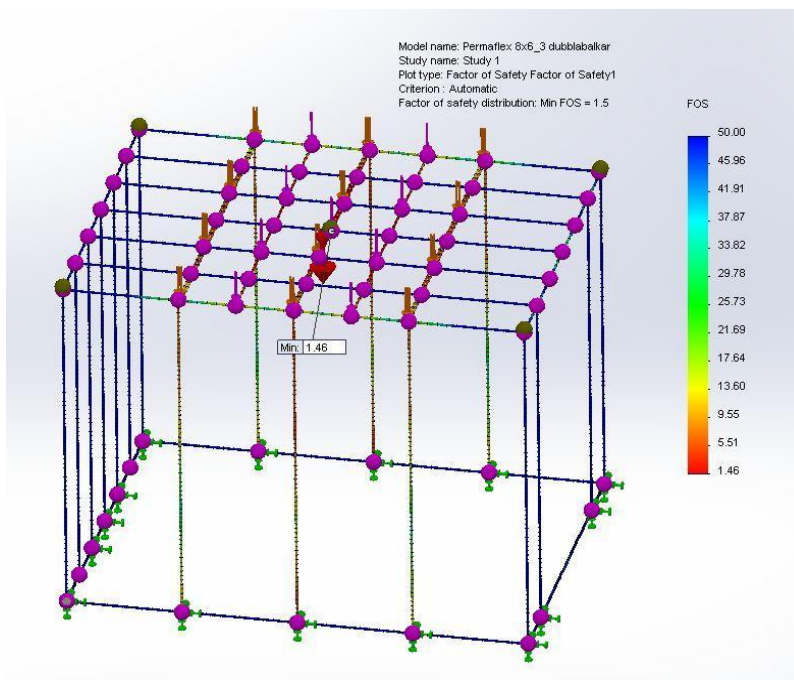


Figur 2: Modell 2 med tre stycken dubbla bärande balkar. Spänningsplot visande säkerhetsfaktorn.





Figur 3: Modell 3 med tre stycken dubbla och två extra bärande balkar. Spänningsplot visande säkerhetsfaktorn.



Figur 4: Modell 3 med tre stycken dubbla och två extra bärande balkar. Spänningsplot visande säkerhetsfaktorn med momentfria leder vid skarvar.

## Kostnadskalkyl

I tabellerna nedan visas kostnadskalkyler för det nya konceptet i tre representativa storlekar. Kalkylerna är utförda på en hel cell där portsidan ej tas med i beräkningarna. Därav utelämnas en kortsida på varje cell.

Tabell 1: Kostnadskalkyl Permaflex 4x4x3 m med en 4-meters sida utelämnad

Stomme	Antal meter	Pris per meter [kr/m]	Summa [kr]
MQ-41-F	33	113,75	3753,75
MQ-72-52 D-F	32	431,6	13811,2
<b>Totalsumma stomme:</b>			17564,95

Väggelement	Antal	Styckpris [kr]	Summa [kr]
Ytterväggar	12	668	8016
Innervägg	36	820	29520
Innerväggshållare med öron och ljusskydd	9	500	4500
Hörnhållare	4	500	2000
<b>Totalsumma väggelement:</b>			44036

Tak	Antal	Styckpris [kr]	Summa [kr]
Takplåt	8	1610	12880
Taklist till skarvar, långa	10	210	2100
Taklist till skarvar, korta	12	120	1440
Kryssformad taklist	3	195	585
Täckhatt	8	470	3760
<b>Totalsumma tak:</b>			20765

Yttre skydd	Antal	Styckpris [kr]	Summa [kr]
Ytterhörnlist	4	675	2700
Horisontell list mellan våningar	-		
Övre kantlist	6	462	2772
Golvlis	6	463	2778
<b>Totalsumma yttre skydd:</b>			8250

Skrudar och beslag	Antal	Styckpris [kr]	Summa [kr]
Montagebult MQN	130	23,07	2999,1
L-Beslag Hilti	6	51,17	307,02
Beslag Hilti hörn	8	150,69	1205,52
Beslag tak	3	1000	3000
<b>Totalsumma skruvar och beslag:</b>			7511,64

**Totalsumma cell:** 98127,59

Tabell 2: Kostnadskalkyl Permaflex 8x6x6 m med en 6-meters sida utelämnad

Stomme	Antal meter	Pris per meter [kr/m]	Summa [kr]
MQ-41-F	112	113,75	12740
MQ-41 D-F	22	326,9	7191,8
MQ-72-52 D-F	104	431,61	44887,44
<b>Totalsumma stomme:</b>			64819,24

Väggelement	Antal	Styckpris [kr]	Summa [kr]
Ytterväggar	44	668	29392
Innervägg	132	820	108240
Innerväggshållare med öron och ljusskydd	38	500	19000
Hörnhållare	8	500	4000
<b>Totalsumma väggelement:</b>			160632

Tak	Antal	Styckpris [kr]	Summa [kr]
Takplåt	24	1610	38640
Taklist till skarvar, långa	21	210	4410
Taklist till skarvar, korta	16	120	1920
Kryssformad taklist	14	195	2730
Täckhatt	24	470	11280
<b>Totalsumma tak:</b>			58980

Yttre skydd	Antal	Styckpris [kr]	Summa [kr]
Ytterhörnlist	4	675	2700
Horisontell list mellan våningar	8	350	2800
Övre kantlist	11	462	5082
Golvlist	11	463	5093
<b>Totalsumma yttre skydd:</b>			15675

Skrudar och beslag	Antal	Styckpris [kr]	Summa [kr]
Montagebult MQN	480	23,07	11073,6
L-Beslag Hilti	38	51,17	1944,46
Beslag Hilti hörn	16	150,69	2411,04
Beslag tak	14	1000	14000
<b>Totalsumma skruvar och beslag:</b>			29429,1

<b>Totalsumma cell:</b>	329535,3
-------------------------	----------

Tabell 3: Kostnadskalkyl Permaflex 8x6x6 m med en 6-meters sida utelämnad

Stomme	Antal meter	Pris per meter [kr/m]	Summa [kr]
MQ-41-F	112	113,75	12740
MQ-41 D-F	22	326,9	7191,8
MQ-72-52 D-F	104	431,61	44887,44
<b>Totalsumma stomme:</b>			64819,24

Väggelement	Antal	Styckpris [kr]	Summa [kr]
Ytterväggar	44	668	29392
Innerväggar	132	820	108240
Innerväggshållare med öron och ljusskydd	38	500	19000
Hörnhållare	8	500	4000
<b>Totalsumma väggelement:</b>			160632

Tak	Antal	Styckpris [kr]	Summa [kr]
Takplåt	24	1610	38640
Taklist till skarvar, långa	21	210	4410
Taklist till skarvar, korta	16	120	1920
Kryssformad taklist	14	195	2730
Täckhatt	24	470	11280
<b>Totalsumma tak:</b>			58980

Yttre skydd	Antal	Styckpris [kr]	Summa [kr]
Ytterhörnlist	4	675	2700
Horisontell list mellan våningar	8	350	2800
Övre kantlist	11	462	5082
Golvlist	11	463	5093
<b>Totalsumma yttre skydd:</b>			15675

Skrudar och beslag	Antal	Styckpris [kr]	Summa [kr]
Montagebult MQN	480	23,07	11073,6
L-Beslag Hilti	38	51,17	1944,46
Beslag Hilti hörn	16	150,69	2411,04
Beslag tak	14	1000	14000
<b>Totalsumma skruvar och beslag:</b>			29429,1

<b>Totalsumma cell:</b>	329535,3
-------------------------	----------