

Prefabricerat tak för flerbostadshus

- förslag till utformning



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för byggvetenskaper/Avdelningen för byggnadskonstruktion**

Examensarbete:
Andreas Rosvall

© Copyright Andreas Rosvall

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2010

Sammanfattning

I dagens byggande ställs det ständigt krav på kortare byggtider, lägre byggkostnader och en hög och jämn kvalitet. Dessa krav har gjort att byggföretagen ständigt söker nya förbättrade material och byggnadsmetoder. Att använda sig av ett prefabricerat takelement skulle kunna innebära ett tidseffektiviserande samtidigt som man bibehåller kvalitén i byggnaden.

Syftet med arbetet är att ta fram en prefabricerad takkonstruktion som kan användas till så många taktyper som möjligt. I rapporten presenteras projekteringsgången vid framtagning av ett takelement tillsammans med bakomliggande teori och allmänna krav som ställs på tak.

Möten med arbetsledare, platschefer och projektledare har utförts för att få kunskap och råd om detaljlösningar, montering samt krav m.m. Därefter utfördes konstruktions- och U-värdesberäkningar för att kontrollera att konstruktionen uppfyller krav om hållfasthet och isoleringsförmåga. Slutligen ritades detaljer och förslag till montering togs fram.

Resultatet av rapporten är en takkonstruktion som går att anpassa till sadeltak och pulpettak där detaljlösningar och monteringsförslag finns beskrivna. Konstruktionen som presenteras är framtagen med hänsyn till ett aktuellt projekt inom JM AB och uppfyller de ställda kraven från JM:s sida.

Nyckelord: Prefabricering, industrialisering, takkonstruktion, takelement.

Abstract

Today's constant demand of shorter construction times, lower costs and a high and uniform quality have caused the construction companies to search for new improved materials and construction methods. The use of a prefabricated roof element could result in time efficiency while the quality of the building is maintained.

The purpose of this work is to propose a prefabricated roof structure that can be used for as many roof forms as possible. The report presents the project design process together with the underlying theory and the general requirements on roofs.

Meetings with foremen, site managers and project managers have been held to get knowledge and advice on detail solutions, mounting and requirements. After that, structural and U-value calculations were carried out to verify that the requirements on strength and insulation were fulfilled. Finally detail drawings and mounting suggestions were developed.

The outcome of the work is a roof construction that can be used for pitched roofs and skillion roofs, including detail solutions and mounting suggestions. The presented construction was developed considering a recent project in JM AB and meets the requirements from JM.

Keywords: prefabrication, industrialization, roof construction, roof element.

Förord

Denna rapport är skriven vid avdelningen för byggnadskonstruktion vid Lunds tekniska högskola. Rapporten är resultatet av ett examensarbete på 22,5 högskolepoäng vid Byggteknikprogrammet på Campus Helsingborg. Idén till arbetet är framtagen tillsammans med Ulf Persson, produktionschef på JM AB syd och grundar sig i intresset från JM:s sida att effektivisera sitt byggande.

Jag hoppas att resultatet ska ge en möjlighet för JM att använda sig av ett prefabricerat takelement och på sikt öka produktionstakten vid resning av tak på flerbostadshus.

Jag vill rikta ett stort tack till alla er som har hjälpt mig under arbetets gång och gjort detta examensarbete möjligt. Ett extra stort tack vill jag rikta till min handledare Ulf Persson på JM som har varit ett stort stöd längs hela arbetet när det gäller hjälp med kontakter till anställda inom JM och värdefulla tips. Jag vill även tacka min kurskamrat Niclas Hackfelt som har bistått med givande diskussioner under hela arbetet. Till sist vill jag tacka Susanne Heyden på LTH för hjälp med rapportskrivning och beräkningarna.

Lund, juni 2010

Andreas Rosvall

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Metod	2
2 Problemformulering	3
2.1 Tid och kvalitet	3
2.2 Bostadsbrist	3
2.3 Fukt vid nybyggnation	3
2.4 Arbete på hög höjd	4
3 Bakgrund	5
3.1 Svensk takhistoria	5
3.2 Byggmetoder	5
3.2.1 Utveckling av byggmetoder	5
3.2.2 Industriellt byggande	6
3.3 JM	7
3.3.1 Byggmetoder	7
4 Teoriavsnitt	9
4.1 Tak	9
4.1.1 Takformer	9
4.1.2 Varma och kalla tak.....	9
4.1.3 Funktionskrav	10
4.1.4 Avvattning.....	11
4.2 Fukt i tak	11
4.2.1 Fuktbalans.....	11
4.2.2 Byggfukt	11
4.3 Värme	12
4.3.1 Värmekonduktivitet.....	12
4.3.2 Värmemotstånd	12
4.3.3 Värmegenomgångskoefficient.....	13
4.3.4 Sammansatta skikt	13
4.4 Bärförmåga	14
4.4.1 Snölast	15
4.4.2 Egentyngd	15
4.4.3 Brottgränstillstånd.....	15
4.4.3.1 Tvärkraft och moment.....	16
4.4.4 Bruksgränstillstånd	18
4.4.4.1 Deformation i balkar.....	19
4.4.5 Tröghetsmoment	20
4.4.6 Dimensionerande materialvärden	20

4.4.7 Tvärkrafts- och momentkapacitet	22
5 Objektbeskrivning.....	23
6 Projektering	25
6.1 Förutsättningar	25
6.2 Konstruktioner.....	26
6.3 U-värdesberäkningar	27
6.3.1 Konstruktion 1	27
6.3.2 Konstruktion 2	29
6.4 Konstruktionsberäkningar	30
6.4.1 Snölast.....	30
6.4.2 Egentyngd.....	30
6.4.3 Plywood	31
6.4.4 Lättbalkar av trä	35
6.5 Lyft	37
6.6 Detaljer och montage	38
6.7 Materialkostnader.....	41
7 Resultat.....	43
7.1 Konstruktion	43
7.2 Upplag och montering	43
7.3 Materialkostnad	44
8 Slutsats	47
9 Källförteckning	49

Bilaga 1 Lättbalk – Dimensionerande bärförmåga

Bilaga 2 Offert – BEIJER BYGGMATERIAL

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Att öka sin produktionstakt samtidigt som man har en hög kvalitet är något som är väldigt aktuellt för många byggföretag. Fuktproblem är något som ett företag inte vill råka ut för vid nybyggnation, både p.g.a. att det kan vara svårt att upptäcka innan den slutgiltiga kunden har fått sin produkt samt att hela byggproduktionen kan försenas när en fuktskadad konstruktion måste torka innan arbetet kan fortsätta.

Ett sätt att minska risken för att känsliga konstruktioner vid nybyggnation utsätts för fukt i form av nederbörd är att få ett tätt klimatskal så fort som möjligt. Med ett tätt klimatskal kan dessutom konstruktionen börja sin uttorkning av byggfukt och på så sätt komma i fuktjämvikt med sin omgivning så fort som möjligt.

En prefabricerad konstruktion är en mer eller mindre färdigställd byggnadsdel som monteras direkt på plats när den kommer ut till byggarbetsplatsen. Idag används prefabricerade byggnadsdelar i stor utsträckning och i olika former, allt från väggar och bjälklag till tegelstenar. Genom att använda sig av en prefabricerad takkonstruktion så kan man minska arbetstimmar ute på byggarbetsplatsen. Dessutom kan man spara tid i projekteringen om man kan standardisera arbetsmetoder och konstruktionslösningar. Genom att tillverka konstruktioner inomhus så säkerställs det redan i byggskedet att konstruktionen är fuktfri.

Prefabricerade tak är något som har använts många år inom byggbranschen, framförallt på enfamiljshus, men i varierande utsträckning inom företagen i Sverige. På JM AB är man intresserad av att börja arbeta mer med prefabricerade takkonstruktioner, och är därför med som partner i detta projekt. JM AB syd har en gång tidigare använt prefabricerade tak på ett enfamiljshusprojekt i Bjärred men aldrig på flerbostadshus. Nationellt så har prefabricerade tak använts i något större utsträckning på JM Stockholm.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att finna en prefabricerad konstruktionslösning för tak som är tidsvinnande vid produktionen på byggarbetsplatsen samtidigt som man har kvar en så hög kvalitet som möjligt.

1.3 Avgränsningar

Den ekonomiska aspekten kommer endast behandla materialkostnaderna för den framtagna konstruktionslösningen. I övrigt kommer inte några kostnader

att beräknas, men kvalitativa ekonomiska hänsyn tas genom att försöka hitta lösningar som är enkla att genomföra. Konstruktionen ska kunna anpassas till sadeltak och pulpettak då detta är de takkonstruktioner som JM använder sig av i störst utsträckning på sina flerbostadshus.

1.4 Metod

För att samla information och ta del av erfarenheter av liknande projekt inom JM så har det utförts intervjuer med arbetsledare, platschefer och projektledare. Det som kom fram under intervjuerna har vävts in i arbetets gång. En del litteraturstudier genomfördes för att ta reda på allmänna krav på tak. Tre olika konstruktionslösningar utvärderades för att finna en konstruktion som uppfyller ställda krav från JM. Till sist kontrollerades den slutgiltiga konstruktionen för att säkerställa att den uppfyller krav om hållfasthet och isoleringsförmåga.

2 Problemformulering

Nedan presenteras några av de problem som finns på byggmarknaden och som gör att det kan vara värt att tillämpa en högre prefabriceringsgrad än vad som redan används.

2.1 Tid och kvalitet

Samtidigt som det ställs krav från kunderna på lägre kostnader så förväntas det kortare byggtider samt en jämn och hög kvalitet. Något som ofta tas upp som en av anledningarna till bristande kvalitet är pressade tidplaner, [1]. Något som hänger samman med att man i branschen anser att det är av hög prioritet att färdigställa sitt bygge så fort som möjligt med hänsyn till att produkten kan börja betala av sig snabbare och att påverkan på omgivningen minimeras.

Med en hög produktionstakt samtidigt som kvalitetsfelkostnader hålls låga krävs det en noggrann projektering och sakkunnig styrning genom hela byggprocessen, [1]. Valet av byggnadsmaterial och tekniska utformningar bör också väljas med omsorg för att säkerställa en långsiktig hållbarhet.

2.2 Bostadsbrist

Historiskt sett så har det påbörjats ovanligt få byggstarter av lägenheter de senaste 15 åren, vilket kan kopplas samman med att bostadsbristen stadigt ökat sedan 1996, [2]. Idag är det 124 av 290 kommuner som anger att de har en brist på bostäder i förhållande till efterfrågan. Hälften av dessa kommuner anger också att de tror att bristen kommer att bestå de kommande två åren. En fjärdedel av kommunerna med bostadsbrist tror att bristen kommer att bestå eller öka.

Enligt statistik från Svensk Byggnäring, [3], har våra grannländer byggt mer än oss, under 2008 påbörjades 2,4 lägenheter per 1000 invånare i Sverige medan man i Danmark, Finland, Norge samt Island påbörjade 3,3, 4,5, 5,5, respektive 10,2 lägenheter per 1000 invånare. Under 2000-2008 påbörjades det 232 000 lägenheter i Sverige vilket i snitt blir 23 800 lägenheter per år. Boverket har prognostiserat att behovet under 2006-2010 är drygt 34 300 samt att det totala behovet fram till 2020 är 30 600 lägenheter per år.

2.3 Fukt vid nybyggnation

Fukt vid nybyggnation förekommer huvudsakligen i form av byggfukt och nederbörd. Byggfukt kan definieras som, [4],

”Den mängd vatten som måste avges för att materialet eller byggnadsdelen skall komma i fuktjämvikt med sin omgivning”.

Otäta klimatskal är extra känsliga för nederbörd, speciellt om byggnadens material är känsliga för väta. Om man kan få ett tätt klimatskal så fort som möjligt kan man minska risken för fuktangrepp på grund av nederbörd, dessutom kan omgivande material påbörja sin uttorkning till fuktjämvikt tidigare.

2.4 Arbete på hög höjd

Arbete på hög höjd innebär alltid många olika risker för olycksfall. För att minimera riskerna har det ställts krav från samhället på byggherren och ägaren att det ska finnas fasta säkerhetsanordningar. Kraven innebär också att arbetsgivaren ska vidta säkerhetsåtgärder innan arbete på tak får utföras. Om arbetstiden på höga höjder minskas ytterligare så minskar också risken för olyckor.

Följande lagstiftningar reglerar ansvaret för olycksfall på hög höjd:

- **Plan- och bygglagen (PBL)**, reglerar byggherrens ansvar vid uppförande av byggnad, vid tillbyggnad eller ändring av befintlig byggnad.
- **Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m.m. (BVI)**, avser bl.a. ägarens ansvar under byggnadens hela brukstid.
- **Arbetsmiljölagen (AML)**, reglerar bl.a. arbetsgivarens och arbetstagarens ansvar vid arbete på tak.

3 Bakgrund

3.1 Svensk takhistoria

Takets utformning har varierat stort genom tiderna, precis som arkitekturen på byggnader i stort. Förr var det takets ytskiktmaterial som styrde hur taket skulle komma att se ut. Man tog vara på de naturtillgångar som man hade i närheten och anpassade taket efter detta, [5]. Torvtak hade t.ex en liten lutning p.g.a. att torven skulle ligga kvar, medan stråtak krävde en större lutning så att vatten enkelt kunde rinna av.

Den äldsta och enklaste takkonstruktionen är åstaket, [5]. Åstaket utgörs av mittås och sidoås som vilar på gavlarna. På 1930-talet så började det låglutande taket att dyka upp, lutning 5-10°, men det blev ingen långvarig historia den gången. Man fortsatte istället med mer lutande tak då man ansåg att dessa hade större fördelar. Man började även se över sina vindsutrymmen och hur man kunde utnyttja dessa. Till en början användes det som förråd för att sedan gå över mer och mer till ett bostadsutrymme efterhand som familjerna krävde större boyta. Vinden döptes om till mansardvåning och fick en trappa istället för en lucka. Detta gjorde att det dominerande sadeltaket fick ge efter för de bredare mansardtaken, uppkallade efter den franska arkitekten Francois Masart. Det skulle dröja ända till 1900-talet innan mansardtaken nådde enklare hus efter att ha varit populära på finare byggnader redan under 1700-talet.

Allt eftersom man ville bygga tak med brantare lutning så krävdes det nya konstruktiva lösningar, en lösning som man började använda var den så kallade takstolen. Takstolen har använts sedan medeltiden men blev vanlig först efter 1850-talet och gjorde det även möjligt att bygga stora takutsprång samt att placera skorstenen mitt i nocken.

Pulpettakets som man kan känna igen från utetoletter och skjul blev populärt först på slutet av 1900-talet, [5]. Under andra hälften av 1900-talet var det återigen dags för det flacka och låglutande taket, denna gången löste man tidigare problem så som vattenavrinningen med invändiga takavlopp. Idag är fortfarande sadeltaket mycket populärt tillsammans med pulpettakets, mycket p.g.a. sina enkla konstruktioner vilket kan medföra låga kostnader.

3.2 Byggmetoder

3.2.1 Utveckling av byggmetoder

Platsbyggandet har under tusentals år varit den dominerande byggmetoden men det har förändrats en hel del allt eftersom det kommit nya redskap och hjälpmedel. Det finns dock material som använts sedan lång tid som kan ses

som ”prefabricerat” även om man inte kallade det så då. Ett exempel på detta är tegelstenen som har använts i stor omfattning vid husbyggande, [6]. Under 1900-talet skedde det ytterligare steg i industrialiseringen bl.a. så standardiserade man mått på t.ex. träreglar och gipsskivor. Istället för att förtillverka hela byggnadselement var det den enskilda komponenten som var förtillverkad för att kunna ingå i ett kundanpassat hus.

Den stora bostadsbristen i Sverige under mitten av 1900-talet satte igång miljonprogrammet. Miljonprogrammets mål var att under 10 år bygga en miljon bostäder. Tanken var att det gamla byggsättet skulle effektiviseras, och industrialisering var då något som uppmuntrades. Den grundläggande idén var att flytta så mycket arbete som möjligt från byggarbetsplatsen och istället börja massproducera byggnadsdelar i verkstäder och fabriker, [6]. En av förutsättningarna för att detta skulle lyckas var att standardisera förtillverkade byggnadsdelar.

Med prefabricerat byggande avses att tillverkningen av byggnadselementen sker på en annan plats än den slutgiltiga. Elementen kan då tillverkas i en säker miljö, t.ex. på en fabrik, [6].

Idag används det i stor utsträckning prefabricerade byggnadsdelar, i både flerbostadshus och småhus, [6]. De vanligaste prefabricerade elementen är pelare och balkar som används i den bärande stommen. Även förtillverkade utfackningsväggar och bjälklag används i stor utsträckning.

Ett nytt moment uppstår på byggarbetsplatsen vid införande av prefabricering, montering. Med montering på byggarbetsplatsen avses den arbetsmetod som används för att sätta ihop enklare förtillverkade beståndsdelar till mer komplexa enheter, [7]. Monteringsbyggande är något som kräver väldigt noggrann projektering. Projektören, tillverkaren, leverantören, och byggarens samverkan blir extra viktigt för att få en snabb, effektiv och kvalitetsmässigt tillfredställande slutprodukt.

3.2.2 Industriellt byggande

Nedan följer ett förslag till en definition av industriellt byggande framtagen i en rapport från Boverket, [7]:

”Industriellt bostadsbyggande innebär en välutvecklad byggprocess med en genomtänkt organisation för effektiv styrning, beredning och kontroll av ingående aktiviteter, flöden, resurser och resultat med användning av komponenter med syfte att skapa maximalt värde för kunderna.”

Som nämns ovan så är industriellt byggande mer än bara prefabricerade byggnadsdelar. En viktig del av industrialisering är att systematiskt använda sig av tekniska system och komponenter med olika grad av standardisering. Att standardisera arbetsmetoder och processer är också något som bör ses som en viktig del i industrialiseringen, [7].

Givetvis är prefabriceringen en central del i industrialiseringen eftersom man kan låta tillverkningen ske i en miljö som ger bättre produktionsmöjligheter, t.ex. effektivare tillverkning och arbetsplatser som är skyddade från yttre påverkan, [7].

3.3 JM

JM har sysslat med projektutveckling av bostäder i 65 år och är idag ett av Sveriges ledande byggföretag och omsätter ca 9 miljarder kronor och har ca 1900 medarbetare, [8]. JM:s verksamhet inriktar sig främst på nyproduktion av bostäder med fokus på storstadsområden och universitetsorter i Sverige, Norge, Danmark, Finland och Belgien.

3.3.1 Byggmetoder

Inom JM syd så är det den platsbyggda metoden som används i störst utsträckning. En av anledningarna till detta är det begränsade utbudet på leverantörer av prefabricerade huselement i södra Sverige, en annan anledning är att JM inte har någon egen industriell tillverkning av huselement. Prefabricerade element har använts vid ett småhusprojekt i Bjärred utanför Lund. Trots att man provade vid projektet i Bjärred så har man inte fortsatt att använda sig av prefabricering vid nybyggnation av småhus. Ofta är det enkla konstruktioner vid småhusproduktion och därför så tar det inte mer än en dag att resa ett 1 1/2 plans hus och få ett tätt klimatskal.

I JM Stockholm, som är JM:s största affärsområde, så används prefabricering i större utsträckning. T.ex. på småhussidan bygger man ofta hela tak på marken för att sedan lyfta dem på plats så fort stommen är färdig. I Stockholmsregionen har man bättre tillgång på leverantörer av prefabricerade element vilket gör att även andra prefabricerade delar används i större utsträckning.

4 Teoriavsnitt

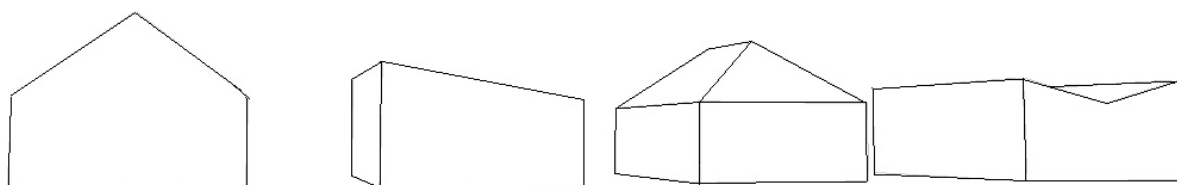
Nedan följer en redovisning av olika teoribitar som är väsentliga för att kunna förstå rapportens syfte, problemformulering och arbetets projekteringsprocess.

4.1 Tak

4.1.1 Takformer

De vanligaste takformerna är sadeltak, pulpettak, valmat tak samt motfallstak, se Figur 1.

- Sadeltak – historiskt sett den vanligaste takformen, och består av tvåsidig lutning utåt från mitten av byggnaden.
- Pulpettak – tak med ensidig lutning.
- Valmat tak – sadeltak med avskurna gavelspetsar.
- Motfallstak – tvåsidig lutning inåt mitten av byggnaden.



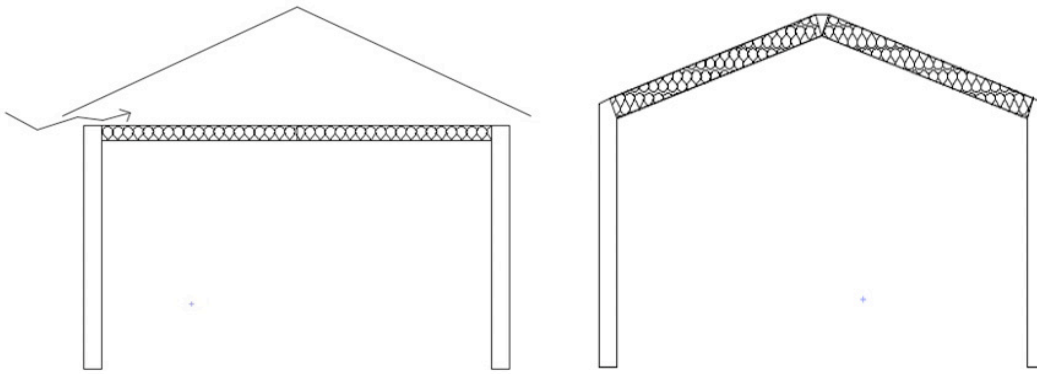
Figur 1: Vanliga takformer, från vänster sadeltak, pulpettak, valmat tak och motfallstak.

4.1.2 Varma och kalla tak

Varma och kalla tak, se Figur 2, är de två konstruktionsprinciper som man brukar skilja på med avseende på värmeisolering, fukt, snösmältning och avvattning, [4]. Kännetecknande för ett varmt tak är att det i stort sett har samma värmeflöde genom hela konstruktionen och luftströmning i eventuella luftspalter kan försummas från värmesynpunkt. Denna egenskap gör att snö som ligger på taket kan smälta även då det är minusgrader ute. Exempel på varma tak är isolerat plåttak och omvänt tak.

På ett kallt tak så kommer snön att ligga kvar på taket tills dess att det är plusgrader ute, detta eftersom den varma inneluften ventileras bort av den kalla luftströmningen i luftspalterna, observera dock att rent praktiskt, kommer inte all värme att ventileras bort [4]. Exempel på kalla tak kan vara träpanel med underlagstäckning av papp täckt med plåt eller takpannor.

Skillnaden mellan varma och kalla tak har dock minskat på senare år då isoleringstjocklekarna har ökat, vilket medför att värmeflödet ut från ett varmt tak är väldigt litet [4].



Figur 2: Kallt tak respektive varmt tak.

4.1.3 Funktionskrav

Takets främsta uppgift, att skydda mot nederbörd och kyla/värme leder till olika krav beroende på utformning, [4].

För att tåla det vattentryck som kan uppkomma så måste flacka tak med en lutning på 1:100-1:16 ha en taktäckning som är helt tät, då vatten kan bli stående. Ojämnheter och nedböjningar som orsakar att vatten blir stående på tak kan uppstå p.g.a. snölast, egentyngd, uppdämning av snö och is, igensatta avlopp m.m. På tak med lutningar under 1:16 så kan man räkna med att smältande snösörja kan hindra vatten att rinna fritt, och på så sätt även då orsaka stående vatten på tak.

På tak med en lutning som är större än 1:16 förutsätts det att vatten rinner fritt. Vatten kan dock föras uppför tak p.g.a. vind och därför är det viktigt att överlappsfogar är utformade för att klara en sådan kombination av vind och regn.

Det ställs mindre krav på överlappsfogar på tak med lutningar större än 1:4 då det inte förekommer något kvarstående vatten. Istället hamnar fokus på taktäckningen och dess uppgift att förhindra att vatten och yrsnö drivs in i konstruktionen p.g.a. vind. Samtidigt är det viktigt att uppnå en så hög lufttäthet som möjligt med hjälp av undertäckning, vilken även ska hjälpa till att förhindra vatteninträning.

En annan viktig aspekt är att ett tak ska konstrueras för att motverka isbildning, då det kan skapa stora laster på taket. Detta kan vara väldigt svårt i snörika områden och då är det extra viktigt att ta hänsyn till detta i projekteringen så att taktäckningen och den bärande stommen klarar dessa krafter.

4.1.4 Avvattning

På tak används antingen invändiga eller utvändiga takavlopp för att leda bort dagvatten. På låglutande tak med stora ytor är det främst invändiga avlopp som används, där vattnet leds via rännदार till takbrunnar som är anslutna till dagvattenavloppet. På tak med större taklutningar så är det hängrännor, gesimsrännor eller fotrännor som utgör takavloppet, vattnet i rännorna leds via utvändiga stuprör ner till dagvattenanordningar i marken, [4].

Som nämnts ovan kan snö smälta på varma tak även vid minusgrader. Då man har en takfot med utvändig avvattning så kan vattnet frysa till is när det ska passera takfoten eftersom värmen inifrån inte når ut och således har en lägre temperatur. När vattnet fryser till is så bildas det en isvall där vatten kan däckas upp och på så sätt orsaka läckage, [4]. På ett kallt tak så är det samma temperatur över hela takytan som det är i luften och därför föreligger det ingen risk att det ska bli någon isbildning vid takfoten.

4.2 Fukt i tak

4.2.1 Fuktbalans

Då inne- och utetemperaturen skiljer sig åt uppstår det tryckskillnader mellan ute och inne p.g.a. olika luftdensiteter, detta skapar termiska drivkrafter s.k. skorstensverkan. P.g.a. denna skorstensverkan i en byggnad, framförallt under den kalla årstiden, så är det vanligt med fuktskador i tak orsakat av fuktkonvektion, [4]. Av den anledningen så ska platsfolie alltid användas för att förhindra fuktkonvektion i träbjälklag samtidigt som det ger en högre lufttäthet. När lättbetong eller betong används som bjälklagselement anses de ge tillräcklig lufttäthet och då är det istället viktigt att fogarna tätas ordentligt.

Då ytskikt på tak ofta både är vatten- och ångtätt är det viktigt att taket utformas så att byggfukt och skadlig kondensation kan avdunsta eller ventileras bort. För att uppnå god ventilation så bör till- och frånluftöppningar ha en sammanlagd area av $0,2 \text{ m}^2$ per 100 m^2 bjälklagsyta och bör vara minst 20 mm bred, [4]. Detta innebär att en 10 m byggnad med sadeltak bör ha 20 mm luftspalt vid takfoten på båda sidor och på minst 50 % av byggnadens längd.

4.2.2 Byggfukt

Byggfukt är den mängd vatten som ett material måste avge för att komma i fuktjämvikt med omgivningen, [4]. Beroende på vilket material som används så varierar begynnelsefukthalten stort. Behandlingen innan ett material byggs in, så som vid tillverkning, lagring, transport och byggnadsproduktion gör också att fuktinnehållet i ett material kan variera i stor utsträckning. Fuktutbyte mellan material kan även ske efter att de byggts in, t.ex. om det

uppstår kontakt mellan ett finporöst och ett grovporöst material så kan det finporösa suga vatten från det grovporösa.

4.3 Värme

För att erhålla ett önskvärt inomhusklimat så måste en byggnad tillföras en viss mängd energi som i huvudsak beror på [9]:

- transmissionsförluster genom golv, väggar, tak och fönster,
- ventilationsförluster genom ventilationsdon och genom otätheter.

Transmissionsförluster kan minskas genom ökad värmeisolering i byggnadsdelar, medan ventilationsförlusterna kan minskas med ett väl fungerande ventilationssystem.

4.3.1 Värmekonduktivitet

Värmekonduktiviteten, λ (lambda), definieras som, [9],

”Den värmemängd som per sekund passerar genom en kvadratmeter av ett material med en meters tjocklek då temperaturdifferensen är en grad”.

λ -värdet som det även kallas, fås från leverantörer av materialet och mäts normalt på torra material vid 10°C. Vid beräkningar ska man använda sig av λ_p som är den praktiskt tillämpbara värmekonduktiviteten. λ_p inkluderar vissa tillägg, bland annat för spridning av mätresultat, fukt och åldring, [9].

4.3.2 Värmemotstånd

Om det råder ett stationärt tillstånd i en homogen byggnadsdel så är värmeflödet konstant och temperaturvariationen rätlinjig, [9]. Värmeflödet, q , ges då av

$$q = \lambda \cdot \frac{T_1 - T_2}{d} \quad [4.1]$$

där T_1 och T_2 är temperaturen på insidan respektive utsidan av byggnadsdelen
 d är tjockleken på byggnadsdelen, m.

Har en vägg flera skikt så måste värmeflödet genom varje skikt vara detsamma, vilket ger

$$q = \frac{\lambda_1}{d_1} \cdot (T_1 - T_{12}) = \frac{\lambda_2}{d_2} \cdot (T_{12} - T_{23}) = \frac{\lambda_3}{d_3} \cdot (T_{23} - T_3) \quad [4.2]$$

omskrivning ger

$$q = \frac{T_1 - T_3}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} = \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{T_1 - T_3}{\sum R} \text{ W/m}^2 \quad [4.3]$$

där R kan ses som ett motstånd mot värmetransporten och kallas därför värmemotstånd [9]. Värmemotståndet definieras alltså som

$$R = \frac{d}{\lambda} \text{ m}^2 \text{ K/W} \quad [4.4]$$

4.3.3 Värmegenomgångskoefficient

Genom att beräkna värmegenomgångskoefficienten för en byggnadsdel kan man se hur stor värmemängd som tar sig igenom byggnadsdelen. En annan benämning på värmegenomgångskoefficient är U-värde som definieras som, [9],

”Den värmemängd som per tidsenhet passerar genom en ytenhet av en byggnadsdel då skillnaden i lufttemperatur på ömse sidor om väggen är en grad”.

Ett lägre U-värde innebär mindre utsläpp av värme och således bättre isolering.

U-värdet för en byggnadsdel kan beräknas som

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}} \text{ W/m}^2 \text{ K} \quad [4.5]$$

där R_{si} är värmeövergångsmotstånd på insidan av byggnadsdelen
 $R_1 - R_n$ är värmemotstånd för de olika väggskikten
 R_{se} är värmeövergångsmotståndet på utsidan av byggnadsdelen.

4.3.4 Sammansatta skikt

I praktiken är det vanligt förekommande med materialskikt som är uppbyggda av olika material. Ett exempel på detta kan vara när isoleringen ligger direkt mellan takstolarna/balkarna. Takstolarna kan då betraktas som köldbryggor eftersom trä har ett betydligt högre λ -värde och på så sätt får ett större värmefflöde per ytenhet jämfört med isoleringen, [9]. U-värdet för en sådan

byggnadsdel kan då förenklat beräknas på två sätt, U-värdesmetod, U_U , och λ -värdesmetod, λ_{res} .

$$U_U = \alpha \cdot U_1 + \beta \cdot U_2 \text{ W/m}^2\text{K} \quad [4.6]$$

$$\lambda_{res} = \alpha \cdot \lambda_1 + \beta \cdot \lambda_2 \text{ W/mK} \quad [4.7]$$

där U_U är värmegenomgångskoefficient för hela väggen, $\text{W/m}^2\text{K}$
 U_1 är värmegenomgångskoefficient för väggdel 1, t.ex. isolering
 U_2 är värmegenomgångskoefficient för väggdel 2, t.ex. regel
 λ_{res} är värmekonduktivitet för hela väggen, W/mK
 λ_1 är värmekonduktivitet för väggdel 1, t.ex. isolering
 λ_2 är värmekonduktivitet för väggdel 2, t.ex. regel
 α är andel av ytan som utgörs av isolering
 β är andel av ytan som utgörs av regel

Med λ_{res} beräknat i det sammansatta skiktet så beräknas sedan U-värdet på vanligt sätt.

Det sanningsenliga resultatet ligger någonstans mittemellan, med U-värdesmetoden blir U-värdet något för lågt då det bortser från tvärströmningar medan λ -värdesmetoden ger ett något högt U-värde.

Det slutgiltiga U-värdet för en konstruktion ska därför enligt BBR, [10], beräknas enligt nedan:

$$U = \frac{2 \cdot U_\lambda \cdot U_U}{U_\lambda + U_U} \text{ W/m}^2\text{K} \quad [4.8]$$

där U_U är U-värde enligt U-värdesmetoden
 U_λ är U-värde enligt λ -värdesmetoden.

4.4 Bärförmåga

Ett bärande system i en konstruktion utsätts kontinuerligt för laster, därför är det viktigt att det bärande systemet dimensioneras för att ha tillräcklig bärförmåga. Dimensionering innebär val av material, dimensioner, materialkvalitet och andra parametrar som påverkar ett konstruktionssystem bärförmåga och funktion, [11]. Lika viktigt som dimensionering av balkar och pelare är t.ex. utformning av detaljer vid anslutningar mellan konstruktionselement.

4.4.1 Snölast

Snölast är en variabel last som varierar med geografisk belägenhet. Den uttrycks som kraft per horisontell ytenhet, även för lutande tak. Vid bestämning av snölast för ett område så hämtas snölastens grundvärde s_0 från Boverkets handbok ”*Snö och vindlast, 1997*”, [12], därefter kan man beräkna det karakteristiska värdet s_k enligt följande:

$$s_k = \mu \cdot s_0 \text{ kN/m}^2 \quad [4.9]$$

där μ är en dimensionslös formfaktor som tar hänsyn till snöanhopningar p.g.a. vind, ras eller glidning och beror på

- taklutning
- takytans beskaffenhet
- vind (utsatt eller skyddat läge)
- temperatur.

Vanligt värde på snölasten ges av

$$s = \psi \cdot s_k \text{ kN/m}^2 \quad [4.10]$$

där ψ är en lastreduktionsfaktor som finns att hämta i BKR, [13].

4.4.2 Egentyngd

Egentyngd från ett material är en permanent och bunden last. Det karakteristiska värdet på egentyngden G_k beräknas som summan av bärverkets tyngd och tyngden från övriga byggnadsdelar, t.ex. yttertak, som konstruktionen bär upp, [10]. Tungheter (kN/m^3) för vanliga byggnadsmaterial finns att hämta i handböcker och produktblad från leverantörer.

4.4.3 Brottgränstillstånd

I brottgränstillståndet så dimensioneras konstruktionen för att klara de laster som den utsätts för utan att det föreligger någon risk för brott. Beroende av vilken lastkombination som en konstruktion ska dimensioneras för så beräknas den dimensionerande lasten q enligt Tabell 1 nedan.

Tabell 1: Lastkombinationer i brottgränstillstånd, BKR, tabell 2:322a, [13].

Last	Lastkombination			
	1	2	3	4
Permanent last				
Tyngd av byggnadsdelar				
- bunden last G_k	$1,0G_k$	$0,85G_k$	$1,15G_k$	$1,0G_k$
- fri last ΔG_k	-	-	-	$-0,1G_k$
Tyngd av jord och vatten G_k	$1,0G_k$	$1,0G_k$	$1,0G_k$	$1,0G_k$
Variabel last				
En variabel last Q_k	$1,3Q_k$	$1,3Q_k$	-	-
Övriga variabla laster vanligt värde ψQ_k	$1,0\psi Q_k$	$1,0\psi Q_k$		

Lastkombination 1 är vanligtvis dimensionerande

Lastkombination 2 kan vara dimensionerande om tyngden av en byggnadsdel är gynnsam och har betydelse för konstruktionens säkerhet, t ex. vid lyftning och stjälpning av konstruktioner.

Lastkombination 3 kan vara dimensionerande, om de variabla lasterna är mycket små i förhållande till de permanenta.

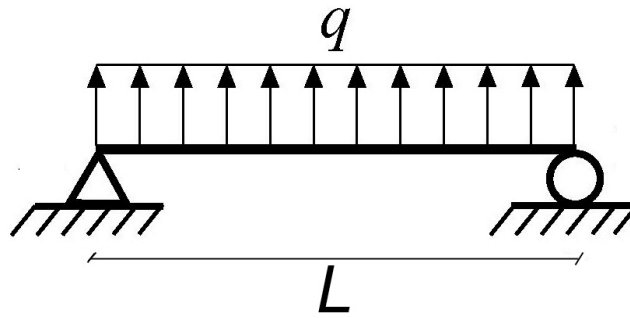
Lastkombination 4 kan vara dimensionerande, om tyngdens fördelning över konstruktionen är av stor betydelse i förhållande till effekten av övriga laster, t.ex. för moment i en bågkonstruktion.

4.4.3.1 Tvärkraft och moment

Tvärkraften i ett snitt för en fritt upplagd balk som har en jämt utbredd last, se Figur 3, ges av, [14],

$$V_{\max} = \frac{qL}{2} \text{ N} \quad [4.11]$$

där q är den utbredda lasten, N/m
 L är längden på balken, m.



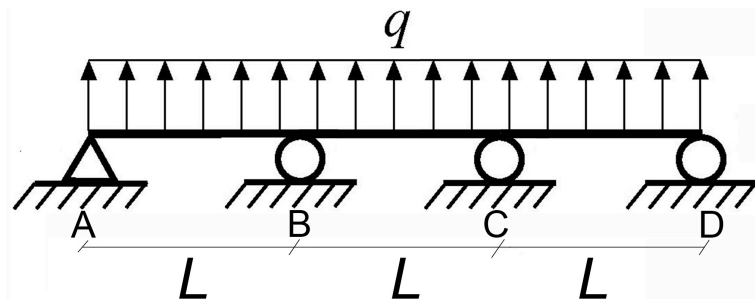
Figur 3: Fritt upplagd balk över två stöd.

Det maximala momentet, M_{max} , för en balk enligt Figur 3 bestäms med följande ekvation

$$M_{max} = \frac{qL^2}{8} \text{ Nm} \quad [4.12]$$

För att beräkna tvärkraft och moment i en kontinuerlig balk som är upplagd över mer än två stöd så finns det tabeller att hämta ekvationer ifrån, t.ex. i *Byggekonstruktion – Regel och formelsamling*, [15]. Nedan redovisas två sådana exempel som kommer att användas i rapporten.

I det första fallet så är det en balk över fyra stöd med utbredd last, se Figur 4



Figur 4: Kontinuerlig balk över fyra stöd med utbredd last.

Den maximala tvärkraften, V_{max} , i lastfallet ovan uppstår vid stöd B och C likaså uppstår det maximala stödmomentet, $M_{s,max}$, i stöd B och C och beräknas enligt nedan

$$V_{max} = 0,6 \cdot qL \text{ N} \quad [4.13]$$

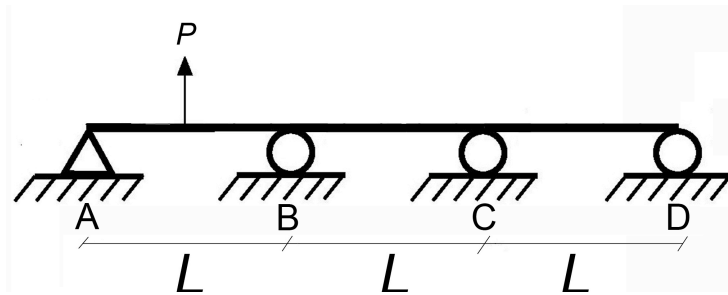
$$M_{s,max} = 0,1 \cdot qL^2 \text{ Nm} \quad [4.14]$$

där q är den utbredda lasten, N/m,
 L är längden mellan stöden, m.

Det maximala fältmomentet, $M_{f,max}$, som är störst i fält A-B samt C-D, är också aktuellt att beräkna och det görs enligt följande,

$$M_{f,max} = 0,08 \cdot qL^2 \text{ Nm} \quad [4.15]$$

I en kontinuerlig balk över fyra stöd som utsätts för en punktlast, så uppkommer den största tvärkraften samt största momentet om punktlasten angriper i ett av de yttre fälten, se Figur 5.



Figur 5: Kontinuerlig balk över fyra stöd med punktlast.

Den största tvärkraften, V_{max} , samt de största momenten, $M_{s,max}$ och $M_{f,max}$, för lastfallet ovan ges av

$$V_{max} = 0,6 \cdot P \text{ N} \quad [4.16]$$

$$M_{s,max} = 0,1 \cdot PL \text{ Nm} \quad [4.17]$$

$$M_{f,max} = 0,2 \cdot PL^2 \text{ Nm} \quad [4.18]$$

där q är den utbredda lasten, N/m,
 L är längden mellan stöden, m.

Den största tvärkraften i Figur 5 uppstår i stöd A medan stödmomentet är störst i stöd B och fältmomentet är störst i fältet A-B.

4.4.4 Bruksgränstillstånd

Utöver krav på brottsäkerhet så ska en balk uppfylla krav avseende deformationer. Som ett exempel så får ett bjälklag i ett hus inte böja ner så pass mycket att det upplevs obehagligt att vistas i lokalen eller att anslutande byggnadsdelar skadas, [10]. Beroende på om byggnadsdelen ska dimensioneras för permanent skada eller tillfällig olägenhet så beräknas dimensionerande last q på två olika sätt där parametrarna i ekvationen hämtas ur Tabell 2

Tabell 2: Lastkombinationer i bruksgränstillstånd, BKR tabell 2:322c, [13].

Last	Lastkombination	
	8	9
Permanenta laster	$1,0G_k$	$1,0G_k$
Variabel last		
En variabel last med karakteristiskt värde Q_k	$1,0Q_k$	-
Övriga variabla laster med vanligt värde ψQ_k	$1,0\psi Q_k$	-
Alla variabla laster med vanligt värde ψQ_k	-	$1,0\psi Q_k$

Lastkombination 8 skall tillämpas vid dimensionering mot permanent skada i bruksgränstillstånd.

Lastkombination 9 skall tillämpas vid dimensionering mot tillfällig olägenhet i bruksgränstillstånd.

4.4.4.1 Deformation i balkar

Mittutböjningen, som är den maximala utböjningen för en fritt upplagd balk mellan två stöd med jämt utbredd last beräknas enligt följande:

$$v_{mitt} = \frac{5qL^4}{384EI} \text{ m} \quad [4.19]$$

där v_{mitt} är utböjningen i, m,
 q är den jämt utbredda lasten över en balk, N/m,
 L är längden på balken, m,
 E är materialets elasticitetsmodul, Pa,
 I är tvärsnittets tröghetsmoment, m^4 .

Den största utböjningen för en kontinuerlig balk på fyra stöd med jämt utbredd last uppstår i fält A-B samt C-D, se Figur 4, och ges av

$$v_{mitt} = 0,677 \cdot \frac{qL^4}{100EI} \text{ m} \quad [4.20]$$

För ett lastfall enligt det i Figur 5, uppstår den största utböjningen i det fält där punktlasten angriper och beräknas enligt följande

$$v_{mitt} = 1,458 \cdot \frac{PL^3}{100EI} \text{ m} \quad [4.21]$$

4.4.5 Tröghetsmoment

För vanliga träbaserade konstruktionsmaterial så som konstruktionsvirke och limträ är det förhållandevis enkelt att beräkna tröghetsmomentet för en balks tvärsnitt. Tröghetsmomentet, I_z , för ett rektangulärt tvärsnitt ges då av

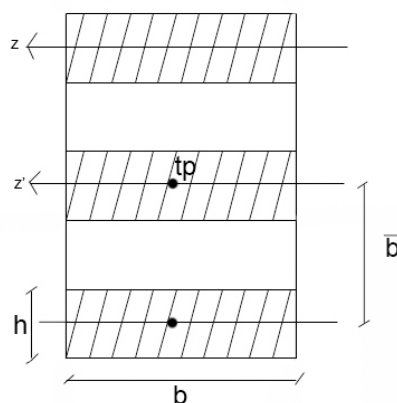
$$I_z = \frac{bh^3}{12} \text{ m}^4 \quad [4.22]$$

där b är tvärsnittets bredd, m,
 h är tvärsnittets höjd, m.

Vid böjning är man ofta intresserad av yttröghetsmomentet kring en axel genom tvärsnittets tyngdpunkt. Om man exempelvis har en plywoodskiva, se Figur 6, där man endast får medräkna de faner som får påkänningar i fiberriktningen, [13], kan man beräkna tröghetsmomentet för de enstaka faneren genom sin egen tyngdpunkt enligt ekvation 4.22, för att sedan addera dessa m.h.a. parallellförflyttningsatsen och därmed fås hela tvärsnittets tröghetsmoment enligt

$$I_{z'} = I_z + \bar{b}^2 \cdot A \text{ m}^4 \quad [4.23]$$

där I_z fås från ekvation 4.22, m^4 ,
 \bar{b}^2 är avståndet från delytans tyngdpunkt till hela tvärsnittets tyngdpunkt, m,
 A är delytans area, m^2 .



Figur 6: Beräkning av tröghetsmoment kring olika axlar.

4.4.6 Dimensionerande materialvärden

Vid framtagning av dimensionerande materialvärden för träbaserade konstruktionsmaterial, så måste det bl.a. tas hänsyn till att trä är ett material vars hållfasthet varierar med fuktkvoten och är starkt beroende av

belastningstiden. Av den anledningen så delas träkonstruktioner in i fyra klimatklasser, klimatklass 0, 1, 2, och 3, [13].

Lasttyperna P, A, B och C tar hänsyn till lasternas varaktighet. Vid bestämning av ett materialvärde i brottgränstillståndet är det den kortvarigaste lasten som bestämmer vilken lasttyp som lasten tillhör, [11].

I brottgränstillståndet beräknas dimensioneringsvärdet för hållfasthet enligt

$$f_d = \frac{\kappa_r \cdot f_k}{\gamma_n \cdot \gamma_m} \text{ Pa} \quad [4.24]$$

där f_d är dimensioneringsvärde,
 f_k är karakteristiskt materialvärde som hämtas ur tabellerna 5:23a-d, i BKR, [13],
 κ_r är en omräkningsfaktor som tar hänsyn till klimatklass och lasttyp, finns att hämta i ur tabellerna 5:3121a-e, i BKR, [13],
 γ_n är beroende av vilken säkerhetsklass som konstruktionen ska ha, säkerhetsklass 1, 2 eller 3 medför en faktor på 1,0, 1,1, respektive 1,2.
 γ_m är partialkoefficient för material. För träkonstruktioner i allmänhet är $\gamma_m=1,25$. För typgodkända konstruktioner eller vid speciell beräknings- och tillverkningskontroll är $\gamma_m=1,15$, [13].

I bruksgränstillståndet beräknas hur stor deformation (nedböjning) som uppstår i en konstruktion. Dimensionerande elasticitetsmodul, E , ges av

$$E_d = \frac{\kappa_s \cdot E_k}{\gamma_n \cdot \gamma_m} \text{ Pa} \quad [4.25]$$

$\gamma_n \cdot \gamma_m = 1,0$ i bruksgränstillståndet vilket medför

$$E_d = \kappa_s \cdot E_k \text{ Pa} \quad [4.26]$$

där E_d är dimensionerings värde,
 κ_s är en omräkningsfaktor som tar hänsyn till klimatklass och lasttyp, finns att hämta i ur tabellerna 5:322a-c i BKR, [13]
 E_k är karakteristiskt materialvärde som hämtas ur tabellerna 5:23a-d, i BKR, [13],

Vid en beräkning av en lastkombination med olika varaktigheter på lasterna så beräknas den totala deformationen av lasteffekten som summan av de enskilda lasteffekterna, [11].

4.4.7 Tvärkrafts- och momentkapacitet

När ett konstruktionselement utsätts för belastning måste detta bl.a. konstrueras för att klara tvärkrafter och moment. De tvärkrafter och moment som en balk ska dimensioneras för kan bestämmas enligt 4.4.3.1.

För ett rektangulärt böjbelastat tvärsnitt ges balkens tvärkraftskapacitet av, [13],

$$V_d = \frac{A \cdot f_{vd}}{1,5} \text{ N} \quad [4.27]$$

där A är tvärsnittsarea, m^2 ,
 f_{vd} är skjuvhållfastheten för den aktuella balken, Pa, och bestäms enligt kapitel 4.4.6.

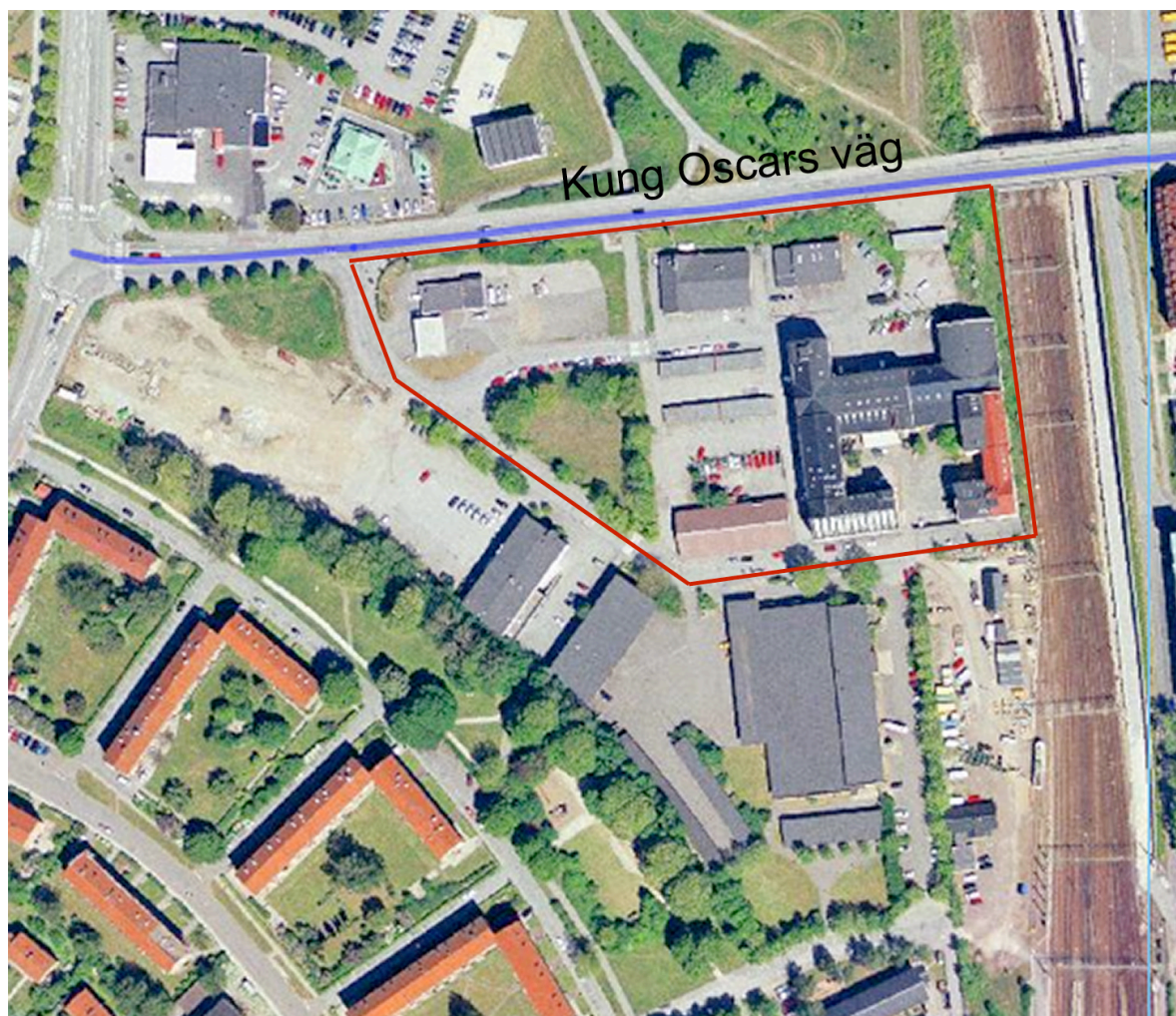
En balks momentkapacitet bestäms enligt följande, [13],

$$M_d = \frac{I_z \cdot f_{md}}{\bar{y}} \text{ Nm} \quad [4.28]$$

där f_{md} är böjhållfastheten för den aktuella balken, Pa, och bestäms enligt kapitel 4.4.6,
 I_z tröghetsmoment, m^4 ,
 \bar{y} är det största avståndet från tvärsnittets ytterkant till dess tyngdpunkt.

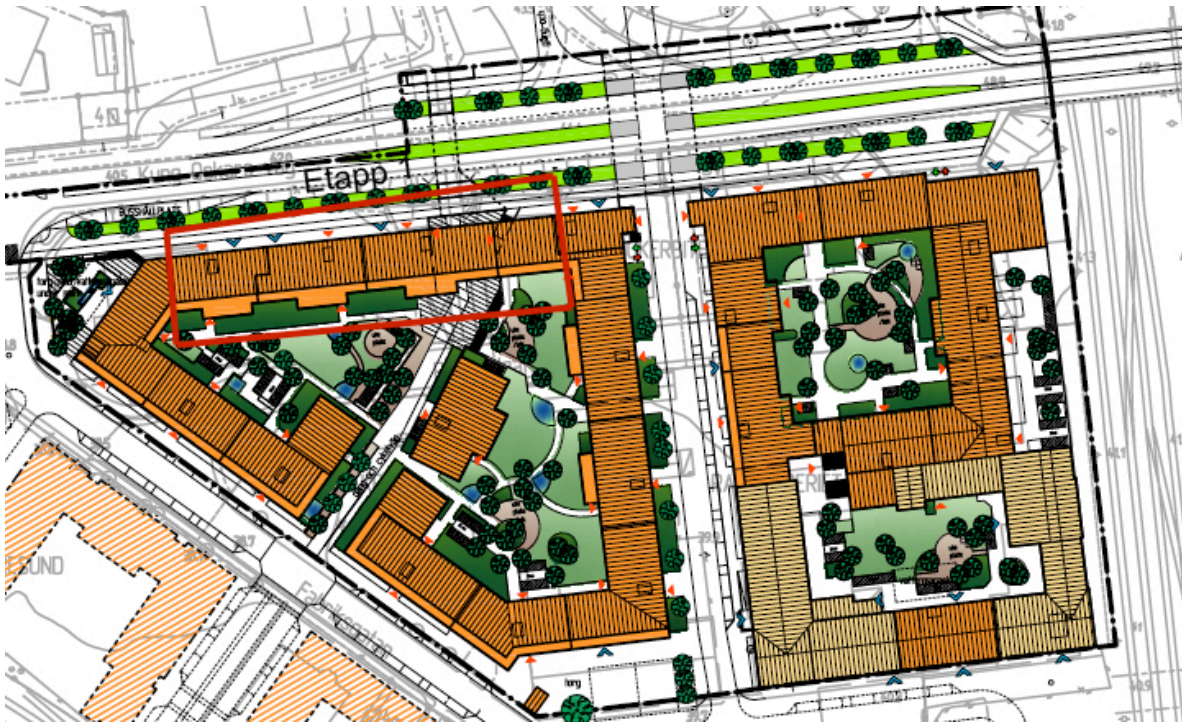
5 Objektbeskrivning

En bit från centralstationen i Lund, utmed Kung Oscars väg, ska JM på en av de sista centrala industritomterna uppföra kvarter Raffinaderiet, se Figur 7.



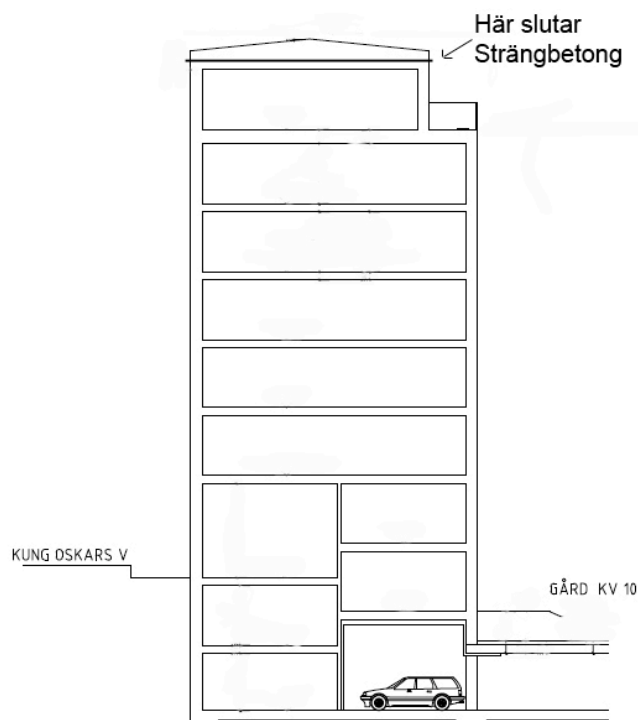
Figur 7: Flygfoto över det planerade området, [16].

I projektet ska det uppföras 290 lägenheter och beräknad inflyttning är kvartal 2 2012. I området planerar kommunen att uppföra 800 bostäder inom en 10-årsperiod. Samtidigt ska kommunen göra Kung Oscars väg till en boulevard med trädplantering och möjlighet för framtida spårvagnstrafik. Se Figur 8 för illustrationsplan.



Figur 8: Urklipp från illustrationsplan, JM.

Den bärande stommen kommer att konstrueras och uppföras av Strängbetong och kommer att vara av betong som kompletteras av pelare och balkar av stål. Efter att Strängbetong har rest stommen, till och med översta bjälklaget, så kommer JM att ta över och slutföra arbetet med rumsbildning, takkonstruktion etc.. I Figur 9 illustreras en sektion från etapp 1 för att tydliggöra byggnadens uppbyggnad.



Figur 9: Sektion etapp 1, JM.

6 Projektering

6.1 Förutsättningar

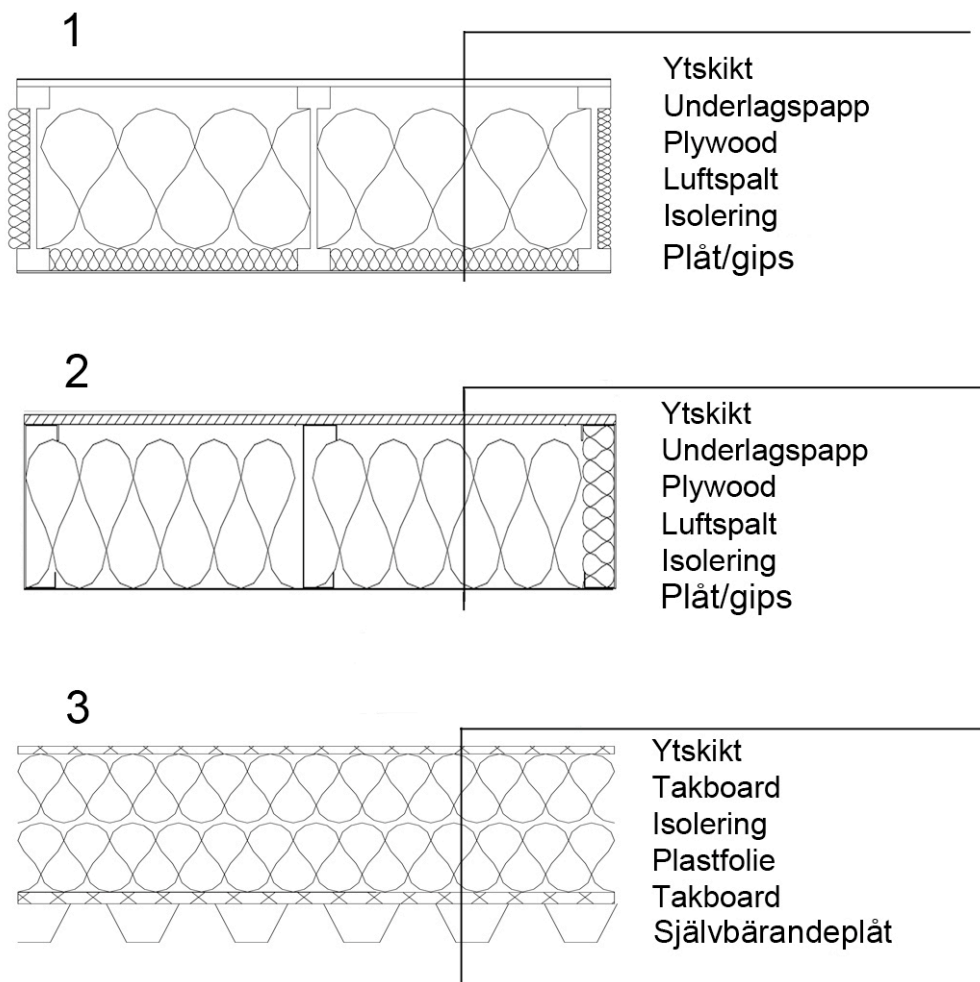
Målet är att komma fram till en konstruktion som har en standardutförning som kan användas till flera projekt. Av den anledningen så har alternativet att bygga hela taket på marken och sedan lyfta det på plats uteslutits, då det anses bevara det unika för varje specifikt projekt. Givetvis så kan man inte utesluta att varje projekt har sina specifika krav på t.ex. detaljlösningar, energiförbrukning samt krav från detaljplan. Detta medför att mindre justeringar kan behöva genomföras på varje projekt.

I standardutförningen ska takelementet uppfylla följande krav:

1. Det ska vara möjligt att m.h.a. konstruktionen bilda de vanligaste takformerna som nämns i kapitel 4.1.1.
2. Det ska vara tidsvinnande att använda konstruktionen framför det platsbyggda alternativet.
3. Konstruktionen ska uppfylla de krav som finns från JM ifråga om isolering, i detta fall ska den motsvara 450 mm lösull.
4. För att kunna användas i så stor utsträckning som möjligt så ska konstruktionen klara de funktionskrav som beskrivs i kapitel 4.1.3, oavsett taklutning.
5. Konstruktionen ska ha en låg vikt för att underlätta vid lyft och montering.
6. Konstruktionen ska vara färdigisolerad vid montering för att minska antalet arbetsmoment på arbetsplatsen.
7. För att underlätta en transport till arbetsplatsen så bör byggelementen inte överstiga 2,4 m i bredd.
8. Konstruktionen ska ge en möjlighet att täcka stora ytor på en dag för att förhindra att övriga byggnadsdelar kan påverkas av nederbörd.
9. För att inte komplicera monteringen av byggelementet så tillförs ytskikt efter att monteringen är färdig. Av den anledningen finns det underlagspapp som enkelt kan överlappas utan genomgående skarvar som standardtäckning vid montering.
10. Det ska vara enkelt att göra genomföringar för t.ex. ventilation.
11. Det ska inte finnas några genomgående skarvar mellan byggelementen.
12. Takfoten ska kunna anpassas efter varje projekt.

6.2 Konstruktioner

Till en början så ritades följande tre konstruktioner upp, se Figur 10:



Figur 10: De tre första takkonstruktionerna.

I konstruktion 1 är det lättbalkar av trä som är bärande, konstruktion 2 har lättbalkar av stål som bärande medan konstruktion 3 har trapetsprofilerad plåt som bärande material. En fördel med samtliga konstruktioner är att de är väldigt lätta, vilket är ett av kraven från kapitel 6.1. Det enda som skiljer konstruktion 1 och 2 åt är de bärande balkarna, medan konstruktion 3 är mer anpassad till den självbärande plåten med takboarden som jämnar ut underlaget för isoleringen samtidigt som den isolerar. I både konstruktion 1 och 2 så finns det en luftspalt för att ventilera bort eventuell kondens på plywoodens undersida. Som nämndes i kapitel 6.1 så är ytskiktet vid montering underlagspapp som senare kompletteras med det slutgiltiga ytskiktet. I konstruktion 1 och 2 är det invändiga ytskiktet antingen en diffusionstät plåt eller gips med glespanel och plastfolie.

Samtliga tre konstruktioner är tänkta att vara takelement som förtillverkas i en klimatskyddad miljö för att sedan levereras till byggarbetsplatsen för montering.

Efter en utvärdering av konstruktionerna med avseende på bl.a. praktiskt arbete, skarvning och lyft så uteslöts konstruktion 3 p.g.a. att det kan bli väldigt svårt och kräver en exakt noggrannhet att skarva den självbärande plåten samt att plåten inte är styv i alla riktningar vilket medför att det kan uppstå problem vid lyft. Alternativet skulle vara om man först hade placerat ut den självbärande plåten för att sedan montera återstående delar som element men detta ses inte som ett alternativ då det skulle skapa fler moment på byggarbetsplatsen än i de andra två konstruktionerna.

6.3 U-värdesberäkningar

Ett av kraven från JM:s sida på projektet Raffinaderiet är att taket ska isoleras med isolering motsvarande 450 mm lösull. Beräkningen nedan visar hur mycket skivisolering med λ -värdet 0,037 W/mK som motsvarar 450 mm lösull med λ -värde 0,042 W/mK. λ -värdena är hämtade från Isover, [17].

$$\frac{d_{lösull}}{\lambda_{lösull}} = \frac{d_{minull}}{\lambda_{minull}}, \left\{ \begin{array}{l} d_{lösull} = 0,45 \text{ m} \\ \lambda_{lösull} = 0,042 \text{ W/mK} \\ \lambda_{minull} = 0,037 \text{ W/mK} \end{array} \right\} \Rightarrow d_{minull} = \frac{d_{lösull}}{\lambda_{lösull}} \cdot \lambda_{minull} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d_{minull} = \frac{0,45}{0,042} \cdot 0,037 = 0,396 \text{ m} \approx 400 \text{ m}$$

Används det 400 mm mineralull med lambdavärde 0,037 W/mK så kommer kravet från JM att uppfyllas. I de kommande beräkningarna för konstruktion 1 och 2 räknas det med ett cc-avstånd på 800 mm för balkarna.

6.3.1 Konstruktion 1

Uppbyggnad för konstruktion 1 väljs enligt nedan för att därefter utföra U-värdesberäkning. Balkens bredd sätts approximativt till 8 mm för att underlätta beräkningen.

Uppbyggnad:

- Ute
- Ytskikt
- Underlagspapp
- Plywood
- Luftspalt

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

- Lättbalk cc 800 mm $\lambda_p = 0,14 \text{ W/mK}$ $b = 8 \text{ mm}$
- Isolering $\lambda_p = 0,037 \text{ W/mK}$ $d = 400 \text{ mm}$
- Plåt
- Inne $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

De fyra yttersta materialen ytskikt till och med luftspalten ger ett gemensamt R -värde, [9], $R_{yttertak} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$.

U-värdesmetoden

M.h.a. ekvationerna 4.6 och 4.5 beräknas U_U enligt följande:

$$U_{trä} = \frac{1}{R_{se} + R_{si} + R_{yttertak} + R_{trä}} = \frac{1}{0,13 + 0,04 + 0,25 + \frac{0,400}{0,14}} =$$

$$= 0,3051 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{\text{min.ull}} = \frac{1}{R_{se} + R_{si} + R_{yttertak} + R_{\text{min.ull}}} = \frac{1}{0,13 + 0,04 + 0,25 + \frac{0,400}{0,037}} =$$

$$= 0,0890 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_U = \frac{0,008}{0,8} \cdot 0,3051 + \frac{0,792}{0,8} \cdot 0,0890 = 0,0912 \text{ W/m}^2\text{K}$$

λ -värdesmetoden

I beräkningen nedan för U_λ används ekvationerna 4.7 och 4.5.

$$\lambda_{res} = \frac{0,008}{0,8} \cdot 0,14 + \frac{0,792}{0,8} \cdot 0,037 = 0,038 \text{ W/mK}$$

$$R_{res} = \frac{0,400}{0,038} = 10,52 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{tot1} = R_{yttertak} + R_{res} + R_{si} + R_{se} = 0,25 + 10,52 + 0,13 + 0,04 = 10,94 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_{\lambda1} = \frac{1}{R_{tot1}} = \frac{1}{10,94} = 0,0914 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Med ekvation 4.8 beräknas det slutgiltiga U -värdet till:

$$U_m = \frac{2 \cdot U_U \cdot U_\lambda}{U_U + U_\lambda} = \frac{2 \cdot 0,0912 \cdot 0,0914}{0,0912 + 0,0914} = 0,0913 \text{ W/m}^2\text{K}$$

6.3.2 Konstruktion 2

Uppbyggnaden för konstruktion 2 är precis som för Konstruktion 1 med undantag för det bärande materialet. För att underlätta beräkningen så antas balken vara 2,5 mm tjock genom hela konstruktionen.

Uppbyggnad:

- Ute $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Ytskikt
- Underlagspapp
- Plywood
- Luftspalt
- Lättbalk cc 800 mm $\lambda_p = 60 \text{ W/mK}$ $b = 2,5 \text{ mm}$
- Isolering $\lambda_p = 0,037 \text{ W/mK}$ $d = 400 \text{ mm}$
- Plåt
- Inne $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

U-värdesmetoden:

M.h.a ekvationerna 4.6 och 4.5 beräknas U_U enligt följande:

$$U_{stål} = \frac{1}{R_{se} + R_{si} + R_{yttertak} + R_{stål}} = \frac{1}{0,13 + 0,04 + 0,25 + \frac{0,400}{60}} = 2,3438 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{min.ull} = \frac{1}{R_{se} + R_{si} + R_{yttertak} + R_{min.ull}} = \frac{1}{0,13 + 0,04 + 0,25 + \frac{0,400}{0,037}} = 0,0890 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_U = \frac{0,0025}{0,8} \cdot 2,3438 + \frac{0,7975}{0,8} \cdot 0,0890 = 0,0960 \text{ W/m}^2\text{K}$$

λ -värdesmetoden

I beräkningen nedan för U_λ används ekvationerna 4.7 och 4.5.

$$\lambda_{res} = \frac{0,0025}{0,8} \cdot 60 + \frac{0,7975}{0,8} \cdot 0,037 = 0,2244 \text{ W/mK}$$

$$R_{res} = \frac{0,400}{0,2244} = 1,7825 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{tot1} = R_{yttertak} + R_{res} + R_{si} + R_{se} = 0,25 + 1,7825 + 0,13 + 0,04 = 2,2025 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_{\lambda 2} = \frac{1}{R_{tot1}} = \frac{1}{2,2025} = 0,4540 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Med ekvation 4.8 beräknas det slutgiltiga U-värdet till:

$$U_m = \frac{2 \cdot U_U \cdot U_\lambda}{U_U + U_\lambda} = \frac{2 \cdot 0,0927 \cdot 0,4540}{0,0927 + 0,4540} = 0,1540 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Man kan tydligt se från resultatet av beräkningarna ovan att Konstruktion 1 får ett bättre U-värde än Konstruktion 2, trots att de har lika mycket isolering. Detta beror på att lättbalkarna av trä har en betydligt lägre värmekonduktivitet än den för lättbalkarna i stål. Dessutom finns det inte lättbalkar av stål högre än 330 mm i de flesta leverantörers standardutbud och på så sätt kan det bli svårt att uppfylla JM:s krav på motsvarande 450 mm lösull. En alternativ lösning skulle kunna vara att man bygger på 330 mm reglarna med 70 mm regler för att klara kraven. Detta skulle dock medföra problem i fråga om konstruktionens hållbarhet vilket skulle medföra komplicerade beräkningar för att kontrollera hållfastheten. Av den anledningen så utesluts Konstruktion 2 och endast Konstruktion 1 kommer att studeras i den fortsatta projekteringen.

6.4 Konstruktionsberäkningar

Både balkarna samt plywooden ska dimensioneras för att klara uppsatta krav med avseende på tvärkraft, moment och nedböjning

6.4.1 Snölast

Konstruktion 1 dimensioneras för snölast i Lund. Takets lutning är 1:10 och det är ett sadeltak. Samtliga värden är hämtade från ”Byggkonstruktion – Regel- och formelsamling”, [15].

- $s_0 = 1,5 \text{ kN/m}^2$
- $\mu = 0,8$

$$[4.1] \Rightarrow s_k = \mu \cdot s_0 = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

Lastreduktionsvärdet $\psi = 0,7$.

6.4.2 Egentyngd

Värdena för egentyngderna på olika material är hämtade från de leverantörer som redovisas bredvid varje material.

Tabell 3: Egentyngder för Konstruktion 1.

Material	Egentyngd kN/m ²	Referens
Takplåt	0,07	[18]
Underlagspapp	0,007	[19]
Plywood 18 mm	0,088	[9]
Isolering 400 mm	0,076	[17]
Lättbalk trä 450 mm	0,018 (kN/m)	[9]
Tunnplåt	0,055	[18]
Summa (exkl. balkar):	0,296	

6.4.3 Plywood

För att kunna beräkna tvärkraftskapacitet, momentkapacitet samt nedböjning så måste tröghetsmomentet I_z beräknas. Nedan visas beräkningen enligt kapitel 4.4.5, för en plywoodskiva med tjockleken 15 mm och bredden 1 m. Tröghetsmomentet för en plywoodskiva med tjocklek 18 samt 21 mm visas i Tabell 4.

$$[4.23] \Rightarrow I_{15} = 2 \cdot \left(\frac{bh^3}{12} + A \cdot b'^2 \right) + \frac{bh^3}{12} \Rightarrow I_{15} = 2 \cdot \left(\frac{1,0 \cdot 0,003^3}{12} + 1,0 \cdot 0,003 \cdot 0,006^2 \right) + \frac{1,0 \cdot 0,003^3}{12} = 2,228 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

Tabell 4: Tröghetsmoment för plywoodskiva med varierande tjocklekar.

Tjocklek mm	15	18	21
Tröghetsmoment m ⁴	2,228·10 ⁻⁷	4,005·10 ⁻⁷	5,490·10 ⁻⁷

De laster som påverkar plywooden är snölast, ytskikt, egentyngd samt punktlaster från personer. Beroende på vilken tjocklek som plywooden har så varierar egentyngden på konstruktionen, därför beräknas tre olika laster. Det kan dessutom vara intressant att se om det är nödvändigt att anpassa tjockleken på plywooden utifrån vilket ytskikt som ska användas. Tre ytskikt tas upp, papp/plåt samt tegelpannor. Eftersom papp och plåts egentyngd är nära densamma utförs beräkningarna för plåt och tegelpannor. I tabellerna nedan visas lasterna som uppstår, maxtvärkraft V_{max} , maxstödmoment $M_{s,max}$ och maxfältmoment $M_{f,max}$ utifrån tjocklek på plywood samt ytskikt.

Nedan följer beräkningar för tvärkraftskapacitet och momentkapacitet för plywoodskiva med varierande tjocklek, beräkningarna är utförda enligt kapitel 4.4.7. Fullständig redovisning av beräkningen redovisas endast för ett fall, plywoodskiva med tjockleken 15 mm, resterande resultat finns sammanställda i Tabell 5. Beräkningarna för maxtvärkraft V_{max} , maxstödmoment $M_{s,max}$ och

maxfältmoment $M_{f,max}$ har utförts enligt kapitel 4.4.3.1 och finns sammanställt i Tabell 5.

Dimensioneringsvärde för böjhållfasthet i brottgränstillståndet för plywood vid böjning, lastkombination 1 enligt Tabell 1 har använts. Förutsättningar för parametrarna i ekvation 4.24 är följande

- Klimatklass 2
- Lasttyp B
- Kvalitetsklass P30
- Säkerhetsklass 2

$$[4.24] \Rightarrow f_{md} = \frac{\kappa_r \cdot f_{mk}}{\gamma_n \cdot \gamma_m} \left\{ \begin{array}{l} \kappa_r = 0,8 \cdot 0,7 \\ f_{mk} = 30 \text{ MPa} \\ \gamma_n = 1,1 \\ \gamma_m = 1,15 \end{array} \right\} \Rightarrow f_{md} = \frac{0,8 \cdot 0,7 \cdot 30}{1,1 \cdot 1,15} = 13,28 \text{ MPa}$$

Momentkapacitet för plywood med tjockleken 15 mm beräknas med ekvation 4.28.

$$M_z = \frac{f_{md} \cdot I_{z,15}}{y_{15,max}} \left\{ \begin{array}{l} f_{md} = 13,28 \text{ MPa} \\ I_{z,15} = 2,228 \cdot 10^{-7} \text{ m} \\ y_{15,max} = 0,0075 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M_z = \frac{13,28 \cdot 10^6 \cdot 2,228 \cdot 10^{-7}}{0,0075} = 394 \text{ Nm} = 0,39 \text{ kNm}$$

Dimensioneringsvärde för skjuvhållfasthet i brottgränstillståndet för plywood vid längsskjuvning.

$$[4.24] \Rightarrow f_{vd} = \frac{\kappa_r \cdot f_{vk}}{\gamma_n \cdot \gamma_m} \left\{ \begin{array}{l} \kappa_r = 0,8 \cdot 0,7 \\ f_{vk} = 1 \text{ MPa} \\ \gamma_n = 1,1 \\ \gamma_m = 1,15 \end{array} \right\} \Rightarrow f_{vd} = \frac{0,8 \cdot 0,7 \cdot 1}{1,1 \cdot 1,15} = 0,443 \text{ MPa}$$

Tvärkraftskapacitet för plywood med tjockleken 15 mm beräknas med ekvation 4.27.

$$V_{vd} = \frac{A_{15} \cdot f_{vd}}{1,5} \left\{ \begin{array}{l} A_{15} = 0,015 \text{ m}^2 \\ f_{vd} = 0,443 \text{ MPa} \end{array} \right\} \Rightarrow V_{vd} = \frac{0,015 \cdot 0,443}{1,5} = 4,43 \text{ kN}$$

Tabell 5: Resultat från hållfasthetsberäkningar i brottgränstillstånd för utbredd last.

Ytskikt	Papp/Plåt	Tegelpannor
Egentyngd ytskikt kN/m ²	0,07	0,35
Underlagspapp kN/m ²	0,007	0,007
Snölast kN/m ²	1,2	1,2

Tjocklek mm	15	18	21	15	18	21
Egentyngd plywood kN/m ²	0,073	0,088	0,103	0,073	0,088	0,103
ΣDim. Last <i>q</i> kN/m ²	1,71	1,73	1,74	1,99	2,01	2,02
<i>V</i>_{max,utbredd} kN	0,82	0,83	0,84	0,96	0,96	0,97
Tvärkraftkapacitet <i>V</i> _{Rd} kN	4,43	5,32	6,20	4,43	5,32	6,20
<i>M</i>_{s,max,utbredd} kNm	0,109	0,111	0,111	0,127	0,129	0,129
<i>M</i>_{f,max,utbredd} kNm	0,087	0,089	0,089	0,102	0,103	0,103
Momentkapacitet <i>M</i> _{Rd} kNm	0,39	0,71	0,83	0,39	0,71	0,83

Tabell 5 visar att plywoodskivan klarar sig bra under nämnda förutsättningar med avseende på tvärkraftskapacitet och momentkapacitet.

Plywooden ska även dimensioneras för att klara punktlast från personer som arbetar på taket. Enligt BKR, [13], så ska punktlasten, Q_k , väljas till 1,0 kN. Nedan följer beräkningarna för hur stort moment samt tvärkraft som uppstår p.g.a. detta. Resultaten kan jämföras med moment- och tvärkraftskapacitet i Tabell 4. Lasten kombineras ej med snölast och 1 m medverkande bredd antas.

$$[4.16] \Rightarrow V_{\max,punkt} = 0,6 \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 0,78 \text{ kN}$$

$$[4.17] \Rightarrow M_{s,\max,punkt} = 0,1 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,10 \text{ kNm}$$

$$[4.18] \Rightarrow M_{f,\max,punkt} = 0,2 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,21 \text{ kNm}$$

Även i detta fall så har plywoodskivan inte några som helst problem att klara de krafter som uppstår enligt beräkningarna, oberoende av vilken tjocklek som används.

För att det inte ska uppstå för stora nedböjningar i plywooden, vilket kan orsaka vattensamlingar på taket, så följer nedan beräkningar av nedböjning för

plywood med tjocklekarna 15, 18 och 21 mm samt med de två ytskikten papp/plåt och tegelpannor. Se Tabell 6 för en sammanfattning av resultatet. Vid bestämning av dimensionerade last har lastkombination 9, permanent skada, använts.

Dimensioneringsvärde för E-modul för plywood i bruksgränstillstånd.

$$[4.26] \Rightarrow E_d = \kappa_s \cdot E_k, \left\{ \begin{array}{l} \kappa_s = 0,7 \\ E_k = 12000 \text{ MPa} \end{array} \right\} \Rightarrow E_d = 0,7 \cdot 12000 = 8400 \text{ MPa}$$

En beräkning för nedböjningen på en plywoodskiva med tjockleken 15 mm redovisas nedan, resterande resultat finns i Tabell 6.

$L = 0,8$ m är konstat i samtliga ekvationer. E-modulen för snölast är $E_s=8400$ MPa respektive $E_E=6000$ MPa för egentygder.

$$[4.20] \Rightarrow v_{mitt} = 0,677 \cdot \frac{L^4}{100 I_{z,15}} \left(\frac{q_E}{E_E} + \frac{q_s}{E_s} \right), \left\{ \begin{array}{l} q_E = 0,15 \text{ kN/m}^2 \\ q_s = 1,2 \text{ kN/m}^2 \\ I_{z,15} = 2,228 \cdot 10^{-7} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{mitt} = 0,677 \cdot \frac{0,8^4}{100 \cdot 2,228 \cdot 10^{-7}} \cdot \left(\frac{0,15 \cdot 10^3}{6000 \cdot 10^6} + \frac{1,2 \cdot 10^3}{8400 \cdot 10^6} \right) = 0,0021 \text{ m}$$

Tabell 6: Resultat från nedböjningsberäkningar i bruksgränstillstånd vid utbredd last

Ytskikt	Papp/Plåt	Tegelpannor
Egentyngd ytskikt kN/m ²	0,07	0,35
Underlagspapp kN/m ²	0,007	0,007
Snölast kN/m ²	1,2	1,2

Tjocklek mm	15	18	21	15	18	21
Egentyngd plywood kN/m ²	0,073	0,088	0,103	0,073	0,088	0,103
Σ Dim. Last q kN/m ²	1,35	1,37	1,38	1,63	1,65	1,66
Nedböjning $v_{utbredd}$ mm	2,1	1,2	0,9	2,7	1,5	1,1

Med en maximal nedböjning på 2,4 mm, vilket motsvarar L/333, vid användning av tegelpannor så anses det inte finnas någon risk för skador på konstruktionen.

Nedan följer beräkningen av nedböjning p.g.a. punktlast. Punktlasten är bestämd till 1,0 kN enligt BKR, [13]. Resultatet finns sammanställt i Tabell 7. Även i detta fall är det lastkombination 9 som tillämpas för dimensionering mot permanent skada.

$$[4.26] \Rightarrow E_d = \kappa_s \cdot E_k, \left\{ \begin{array}{l} \kappa_s = 0,9 \\ E_k = 12000 \text{ MPa} \end{array} \right\} \Rightarrow E_d = 0,9 \cdot 12000 = 10800 \text{ MPa}$$

I detta fall är det Lasttyp C som gäller varav κ_s ändrats till 0,9.

$$[4.21] \Rightarrow v_{mitt} = 1,458 \cdot \frac{PL^3}{100EI_{z,15}}, \left\{ \begin{array}{l} P = 1,0 \text{ kN} \\ I_{z,15} = 2,228 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{mitt} = 1,458 \cdot \frac{1,0 \cdot 10^3 \cdot 0,8^3}{100 \cdot 10800 \cdot 10^6 \cdot 2,228 \cdot 10^{-7}} = 0,0031 \text{ m}$$

Tabell 7, resultat från nedböjningsberäkningar i bruksgränstillstånd vid punktlast

Tjocklek mm	15	18	21
Punktlast kN	1,5	1,5	1,5
Nedböjning	3,1	1,7	1,3
Vutbredd, mm			

Även nedböjningarna p.g.a. punktlast blir mycket små och är inget som påverkar plywoodskivan negativt då det handlar om en kortvarig last.

6.4.4 Lättbalkar av trä

På träguiden.se, [20], finns det tabellvärden som visar vad en balk med valda dimensioner klarar för krafter, se Bilaga 1, därför så kommer endast beräkningar av vilka krafter som konstruktionen utsätts för beräknas för att sedan jämföras med tabellvärdena. Värdena på snölast och egentyngder samt konstruktionens uppbyggnad finns i kapitel 6.4.1 respektive 6.4.2. Förutsättningar för balken är följande:

- Längd 5 m
- Liv 8 mm
- Fläns 47x70 mm
- Tvärsnittsarea 0,0018 m²

Brottgränstillstånd:

Lastkombination 1 i Tabell 1 $\Rightarrow q_d = 1,0G_k + 1,3Q_k$

$$\Rightarrow q_d = 1,0 \cdot (0,0094 \cdot 0,5 \cdot 9,81 + 0,296 \cdot 0,8) + 1,3 \cdot (1,2 \cdot 0,8) = 1,53 \text{ kN/m}$$

Maximal tvärkraft och moment ges av ekvationerna 4.11 respektive 4.12.

$$V_{\max} = \frac{qL}{2} = \frac{1,53 \cdot 5}{2} = 3,83 \text{ kN}$$

$$M_{\max} = \frac{qL^2}{8} = \frac{1,53 \cdot 5^2}{8} = 4,78 \text{ kNm}$$

Enligt träguidens dimensionerande bärförmåga för en lättbalk av trä, Bilaga 1, så klarar en lättbalk med dimensionerna enligt ovan, både moment och tvärkraft med god marginal, $V_{dim} = 15,4 \text{ kN}$, $M_{dim} = 16,5 \text{ kNm}$.

Bruksgränstillstånd (permanent skada):

Lastkombination 8 i Tabell 2 $\Rightarrow q_d = 1,0G_k + 1,0Q_k$

$$\Rightarrow q_d = 1,0 \cdot (0,0094 \cdot 0,5 \cdot 9,81 + 0,296 \cdot 0,8) + 1,0 \cdot (1,2 \cdot 0,8) = 1,24 \text{ kN/m}$$

Enligt Bilaga 1, så är $EI = 2442 \text{ kNm}^2$ för den valda balken. Med ekvation 4.19 kan utböjningen beräknas enligt

$$v_{\text{mitt}} = \frac{5qL^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 1,24 \cdot 5^4}{383 \cdot 2442} = 0,0041 \text{ m} = 4,1 \text{ mm}$$

Nedböjningskravet för balken sätts till

$$\frac{L}{200} = \frac{5}{200} = 25 \text{ mm}$$

vilket balken klarar med god marginal.

Maximal spännvid

M.h.a. angiva maxvärden på tvärkraft och moment från träguidens tabell samt nedböjningskravet på $L/200$ så kan balkarnas maximala spännvid beräknas enligt nedan

Brottgränstillstånd

$$V_{\max} = \frac{1,53 \cdot L}{2} = 15,4 \text{ kN} \Rightarrow L = \frac{2 \cdot 15,4}{1,53} = 20,13 \text{ m}$$

$$M_{\max} = \frac{1,53 \cdot L^2}{8} = 16,4 \text{ kNm} \Rightarrow L = \sqrt{\frac{8 \cdot 16,5}{1,53}} = 9,28 \text{ m}$$

Bruksgränstillstånd

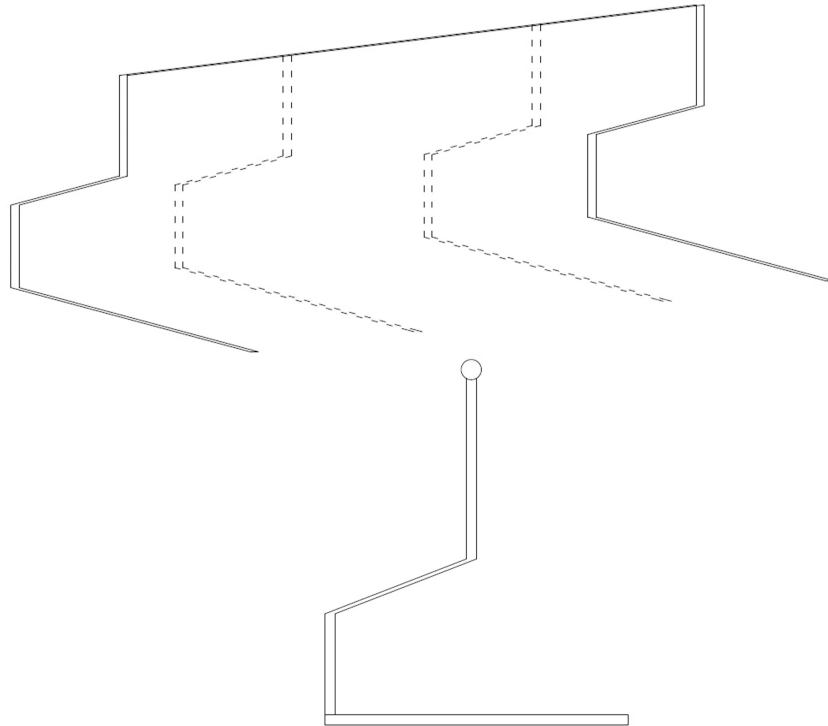
$$\frac{L}{200} = \frac{5qL^4}{384EI} \Rightarrow L = \sqrt[3]{\frac{384 \cdot 2442}{200 \cdot 5 \cdot 1,24}} = 9,11 \text{ m}$$

Med hänsyn till nedböjningen i bruksgränstillståndet så bör spännvidden inte överstiga 9,11 m med den nuvarande konstruktionen. Om ett projekt kräver en större spännvid så är det möjligt att minska cc-avståndet mellan balkarna från 800 mm till 600 alternativt 400 mm. Approximativt är den maximala längden på balken med hänsyn till nedböjning proportionell mot tredjoroten ur $1/q$. Detta betyder att om cc-avståndet sänks till 400 mm, vilket medför att q nästan halveras jämfört med q vid 800 mm, så ökar den maximala spännvidden till ca 11,5 m. Sänks cc-avståndet till 600 mm ökar den maximala spännvidden till ca 10 m.

6.5 Lyft

Precis som grundidén med att försöka standardisera en konstruktion för att öka produktionstakten så underlättas det om man även försöker standardisera arbetsmoment. Ett arbetsmoment som kommer att finnas vid montering av ett takelement är lyft. Att finna en effektiv och säker lösning till lyft med den framtagna konstruktionen kräver erfarenhet och kunskap om just detta.

I Figur 11 presenteras ett förslag till en lyftanordning, förslaget är inte beprövat i praktiken utan befinner sig endast i skisstadiet.



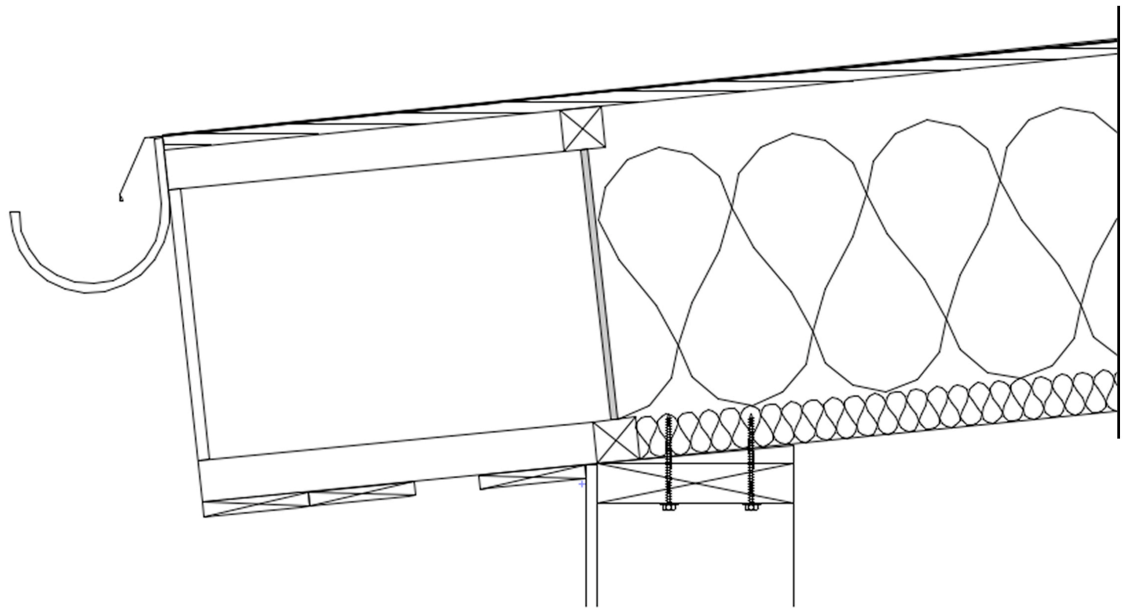
Figur 11: Förslag till lyftanordning.

Tanken är att lyftanordningen ska fungera som truckgafflar, där gafflarna förs in under konstruktionen för att sedan lyfta den på plats. De streckade linjerna i Figur 8 ska illustrera att gafflarna ska kunna flyttas i sidled för att kunna anpassas till varierande konstruktionslängder.

Fördelar med det nämnda förslaget är att det inte behöver göras några infästningshål i konstruktionen vilket minskar risken för otätheter. Konstruktionen behöver inte speciellt dimensioneras för att klara lyft eftersom den kommer att lyftas på ett sätt som är likt dess slutgiltiga position.

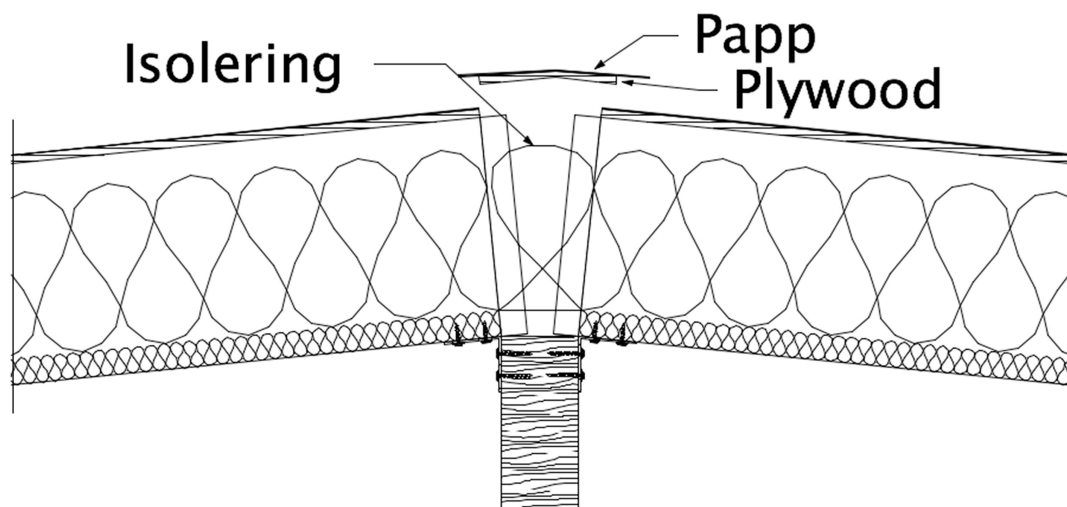
6.6 Detaljer och montage

För att få en tydlig inblick i hur anslutningarna vägg-tak,nock-tak,takelement-takelement kan se ut illustreras detta i detalj bilderna nedan med medföljande montageförslag.



Figur 12: Anslutning vägg-tak.

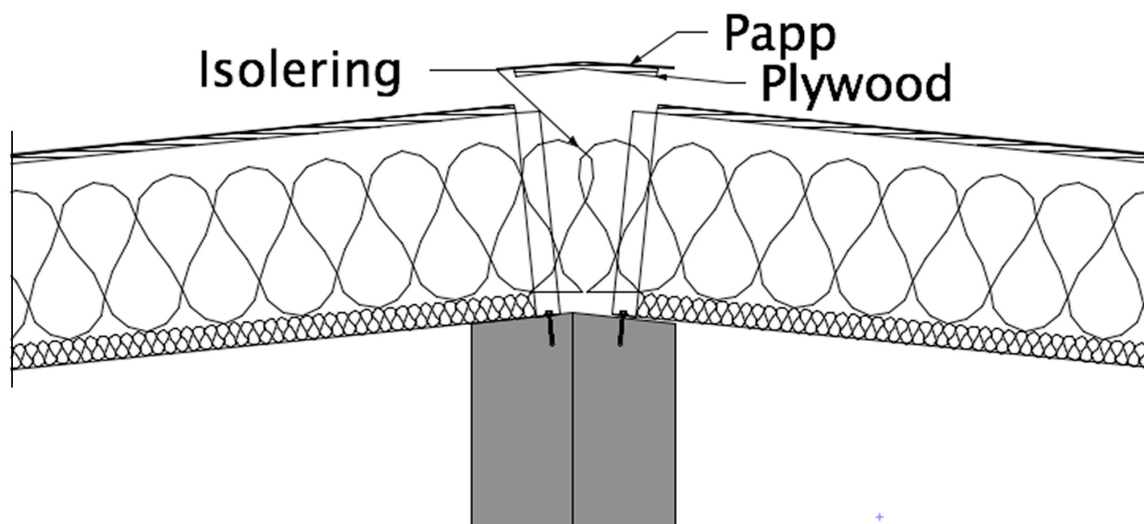
Figur 12 visar hur anslutningen mellan vägg och tak kan se ut, i detta fall är det en utfackningsvägg som bär takkonstruktionen. Taket placeras på hammarbandet och fästes underifrån med två skruvar upp i balken. Fördelen med detta förslag är att man slipper att fästa konstruktionen uppifrån vilket skulle medföra att det blir genomgående infästningshål. I det fall plastfolie används som diffusionsspärr så dras denna ner på väggen för att uppfylla krav om överlappning. Luftning av konstruktionen sker genom att slitsar görs i den tvärgående balken. Hängränna rännkrok, fotplåt samt takfotslåda monteras efter att takkonstruktionen placerats på sin plats.



Figur 13: Anslutning nock, vid uppläggning på limträbalk.

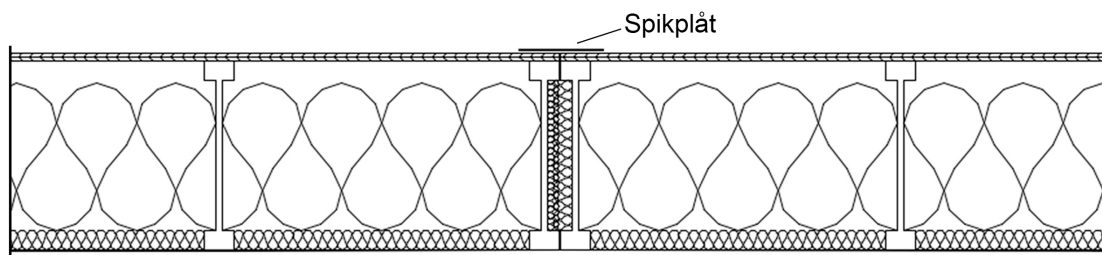
Figur 13 visar ett anslutningsalternativ med hjälp av en bärlina av limträ. Även här sker infästningarna underifrån upp i takkonstruktionen. Med hjälp av vinkeljärn skruvas balkarnas fläns fast i limträbalken. Dimensionering av limträbalk kommer att vara nödvändig. Därefter krävs det även att pelarna som bär limträbalken dimensioneras.

För att konstruktionen ska vara lufttät så ska plastfolien läggas över limträbalken och överlappa nästa konstruktion. Då plåt används som invändig beklädnad så trycks denna mot limträbalken med en tätningslist mellan. Om limträbalken ska vara synlig så bör infästningen ske ovanifrån för att den inte ska synas. Detta sker då med hjälp av spännband som dras över fläns och liv för att sedan fästas i limträbalken, se Figur 14. När monteringen är färdig isoleras mellanrummet mellan konstruktionerna för att sedan täckas med plywood och papp.



Figur 14: Anslutning nock, uppstolpat.

Om vindsutrymmet inte ska användas till förvaring eller dylikt så kan man välja att placeras en pelare i kortändan av takkonstruktionen under varje bärande balk. Detta är förmodligen det billigaste alternativet men medför väldigt begränsat utrymme, speciellt om cc är 400 mm. Lufttätningen bör utföras på samma sätt som nämns till Figur 12. Infästningarna kan utföras på samma sätt som anges till Figur 13.



Figur 15: Skarv mellan två takelement, långsida.

Figur 15 visar skarven mellan två element. Om man vill skapa skivverkan i hela takkonstruktionen så spikas elementen samman m.h.a. spikplåtar. Då plåt används som invändigt ytskikt viks denna upp mellan takelementen och tätas med en förmonterad tätningslist. Om gips ska användas som invändigt ytskikt så utförs lufttätning med plastfolie som överlappar enligt standarder. Om tegelpannor ska användas som utvändigt ytskikt placeras en ny remsa underlagspapp över skarven med erforderligt överlapp. Om papp eller plåt används som ytskikt ska underlagspappen från det ena elementet överlappa det andra. Detta eftersom papp och plåt kan vara känsliga för skarvar i underlagspappen.

6.7 Materialkostnader

Nedan redovisas priserna på materialkostnaderna för ett takelement. Priserna är sammanfattade från offerten från Bejier Bygg i Bilaga 2.

Tabell 8: Materialkostnader exkl. moms, SEK.

Artikel	Antal/enhet	Å-pris	Belopp
Lättbalk 450 mm	1 Lpm	90,00	90,00
Plywood 15 mm	2,88 m ²	60,45	174,10
Plywood 18 mm	2,88 m ²	86,00	247,68
Plywood 21 mm	2,88 m ²	100,00	288,00
Isolering 195 mm	3,25 m ²	68,00	220,86
Underlagspapp	1 RLE*	260,00	260
Plastfolie	1 RLE*	327,00	327,00
Gips	1,08 m ²	40,80	44,06
Tätningslist	1 RLE*	400,00	400,00
Plåt 0,9*2,5 m ²	1 st	306,00	306,00

*En RLE= 0,7*15 m² för underlagspappen, 2,7*25 för plastfolien samt 0,1*25 för tätningslistan, (b*1).

Nedan redovisas mängderna samt kostnaderna för varje material i ett takelement med dimensionerna 2,4*5 m²

Tabell 9: Materialkostnader för ett element, SEK.

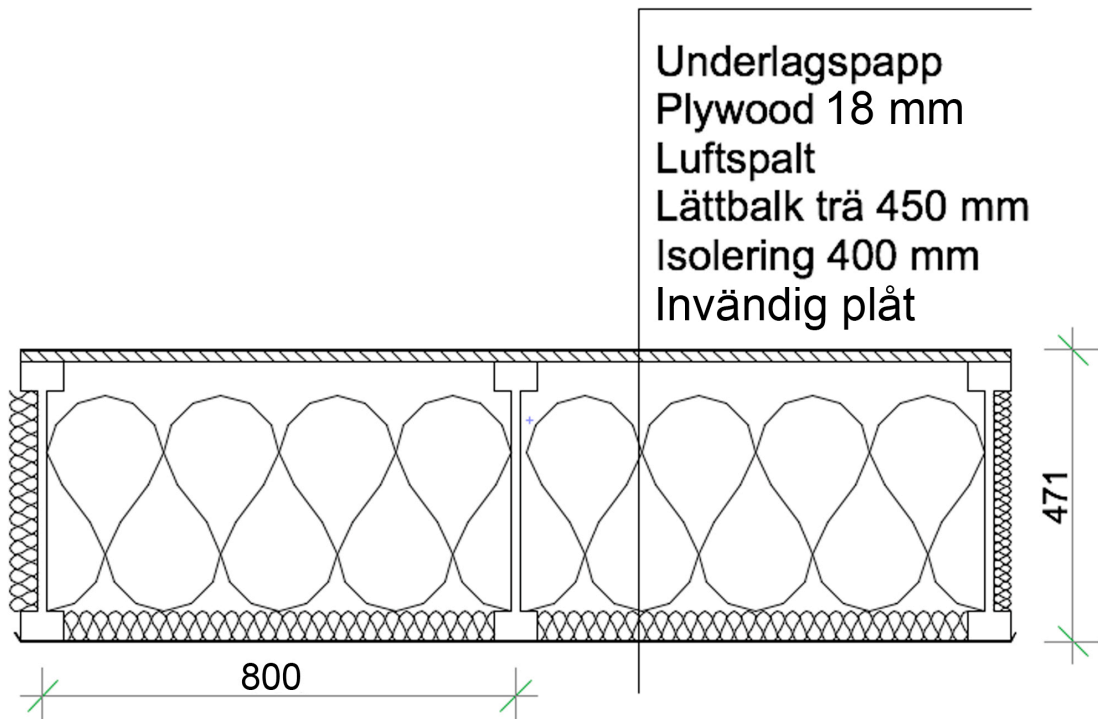
Artikel	Antal	Å-pris	Totalt
Lättbalk 450 mm	4 st á 5,4 m	90,00	1944
Plywood 15 mm	4,2 st	174,10	731,2
Plywood 18 mm	4,2 st	247,68	1040,3
Plywood 21 mm	4,2 st	288,00	1209,6
Isolering 195 mm	7,4 st	220,86	1634,4
Underlagspapp	1,1 st	260,00	286
Plastfolie	0,2 st	327,00	65,4
Gips	11,1 st	44,06	489,1
Tättningslist	0,4 st	400,00	160
Plåt 0,9*2,5 m ²	5,33 st	306,00	1631

Beroende på den slutgiltiga uppbyggnaden så kommer materialkostnaderna att variera.

7 Resultat

7.1 Konstruktion

Den slutgiltiga konstruktionen till Raffinaderiet ser ut enligt Figur 15. Konstruktionen kan tillverkas med olika bredder t.ex. 800, 1600 eller maximala 2400 mm. Figur 15 visar en konstruktion med bredden 1600.



Figur 15: Slutgiltig konstruktion till raffinaderiet.

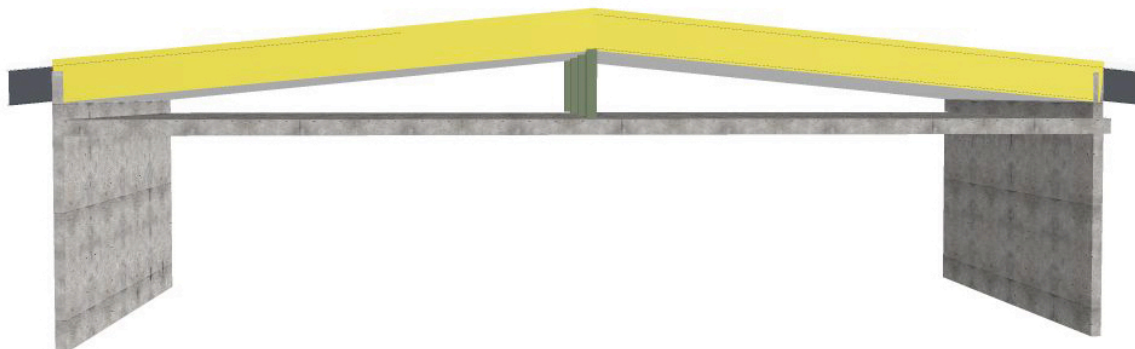
Då det inte finns några estetiska krav på det invändiga ytskiktet kan det vara fördelaktigt att använda sig av plåt på insidan om man vill minska antalet arbetsmoment. Då gips hade används så kan det bli besvärligt att montera detta p.g.a. det begränsade utrymmet, se Figur 16. Konstruktionen har en 50 mm luftspalt parallellt med balkarna för att ventilera eventuell kondens på plywoodskivan.

7.2 Upplag och montering

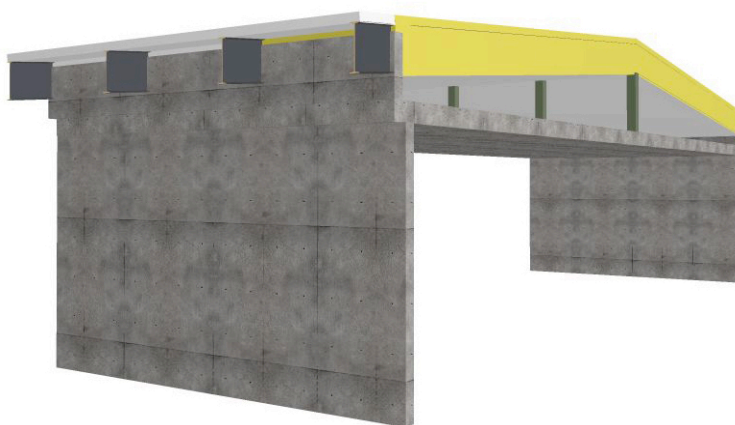
Upplagsform är något som kan behövas anpassa med hänsyn till varje projekts förutsättningar så som takform, lutning spännvidd m.m.

Eftersom vindsutrymmet på det aktuella projektet inte kommer att användas till något så spelar det inte någon roll ifall takkonstruktionen bärs utav enbart pelare.

Förslag till utseende på utformning till Raffinaderiet.



Figur 16: Utseende raffinaderiet.



Figur 17: Utseende raffinaderiet.

P.g.a. det begränsade utrymmet så är det fördelaktigt om monteringen sker ovanifrån.

7.3 Materialkostnad

Ett takelement till Raffinaderiet kommer att vara uppbyggt enligt nedan:

1. Underlagspapp
2. Plywood, 18 mm
3. Isolering 400 mm
4. Lättbalkar 5,4 m, 4 st.
5. Plåt
6. Tätningslist

Med kostnader från Tabell 9 blir den totala kostnaden för ett takelement 2,4*5 m² följande

1. 286:-
2. 1040,3:-
3. 1634,4:-
4. 1944:-
5. 1631:-
6. 160:-

Totalt: 6696:-

Den totala summan motsvarar ett kvadratmeterpris på 558:-.

Denna kostnad är exklusive utvändigt ytskikt, takfotsbeklädning samt avvattningssystem. Observera att kostnaden endast gäller denna konstruktionsuppbyggnad och ändras då t.ex. cc-avstånd mellan balkar sänks och om det invändiga ytskiktet ändras.

8 Slutsats

Den slutgiltiga konstruktionen innebär några olika alternativ vid projektering till ett projekt. Cc-avståndet mellan balkarna kan varieras mellan 400-800 mm om man önskar att ha en längre spännvidd än de ca 9 m som är standard med cc 800. Ytskiktet monteras efter att takelementet är monterat vilket betyder att inga särskilda åtgärder behöver göras för detta i projekteringen. Som standard har takkonstruktionen en tjocklek på ungefär 450 mm, detta för att uppfylla krav på isoleringsförmåga till Raffinaderiet. Detta gör att den kan ses som överdimensionerad ur hållfasthetssynpunkt för spännvidden 5 m, detta p.g.a. att det främst var isoleringsförmågan som styrde tjockleken. Önskas längre spännvidder än vad den valda balken klarar, oavsett cc-avståndet mellan balkarna, kan utredningar genomföras där man ändrar dimensionerna på flänsar och liv.

Lyftet av takkonstruktionen är något som behövs undersökas ytterligare då förslaget som nämns i rapporten inte är beprövat. Om ett lyft av ett element som inte är stabilt i alla riktningar ska genomföras bör man dimensionera konstruktionen för detta, t.ex. med tvärgående balkar.

Att använda sig av prefabricerade konstruktioner medför att större fokus hamnar på logistik och samverkan mellan fabrik och byggarbetsplats. När stommen är klar ska man kunna montera taket direkt om det ska fylla sin funktion med att få ett tätt klimatskal så fort som möjligt.

En förändring så som att införa prefabricerade konstruktioner medför inte enbart annorlunda arbetsmetoder på byggarbetsplatsen utan medför även att arkitekter, konsulter, installatörer etc., måste ändra sitt arbetssätt. Om det ska medföra en tidseffektivisering måste alla inblandade anpassa sig efter de aktuella förutsättningarna för att nå målet. Även projekteringen måste bli mer exakt för att minska risken för fel när konstruktionen ska monteras på sin slutgiltiga plats. Detta då det kan bli svårt att åtgärda bristerna på byggarbetsplatsen. Med trä som bärande material kan mindre justeringar göras på plats. Viktigt är också att ta hänsyn till toleranser. Detta är inget som är upptaget i rapporten men är något som bör undersökas.

9 Källförteckning

- [1] Sonny Modig, Åsa Ärlebrant, Olle Hörell, (2002). *Skärpning Gubbar! Om konkurrensen, kvaliteten, kostnaderna och kompetensen i byggsektorn*, Statens offentliga utredningar (SOU), Finansdepartementet.
- [2] Boverket, (2009). *Bostadsmarknaden 2009-2010, -Med slutsatser från bostadsmarknadsenkäten*, Boverket.
- [3] Svensk Byggnäring, (2009). *Sammanställning, Samhällsbyggnadssektorn i reella tal*, Svensk byggnäring.
- [4] Lars Erik Nevander, Bengt Elmarsson, (2006) *Fukthandbok, Praktik och teori.*, tredje utgåvan., Svensk Byggtjänst.
- [5] Kvalitetstak, www.kvalitetstak2000.se, informationen hämtad 2010-03-08.
- [6] Peter Adler, (2005). *Bygga industrialiserat*, Svensk Byggtjänst.
- [7] Boverket, (2008). *Industriellt bostadsbyggande, Koncept och processer*, Boverket.
- [8] JM AB, www.jm.se, information hämtad 2010-03-14.
- [9] Kenneth Sandin, (2008). *Värme och Fukt*, Studentlitteratur.
- [10] Boverket, (2008). *Regelsamling för byggande, BBR*, Boverket.
- [11] Tord Isaksson, Annika Mårtensson, Sven Thelandersson, (2005). *Byggkonstruktion*, Studentlitteratur.
- [12] Boverket, (1998). *Snö och vindlast, utgåva 2, BSV 97*, Boverket.
- [13] Boverket, (2003). *Regelsamling för konstruktion – Boverkets konstruktionsregler, BKR*, Boverket.
- [14] Susanne Heyden, Ola Dahlblom, Anders Olsson, Göran Sandberg, (2007). *Introduktion till strukturmekaniken*, Studentlitteratur.
- [15] Tord Isaksson, Annika Mårtensson, (2007). *Byggkonstruktion, Regel och formelsamling*, Studentlitteratur.
- [16] Eniro, www.eniro.se, informationen hämtad 2010-05-17.

[17] Saint-Gobain Isover AB, www.isover.se, informationen hämtad 2010-04-14.

[18] Plannja, www.plannja.se, informationen hämtad 2010-04-04.

[19] Icopal, www.icopal.se, informationen hämtad 2010-04-04.

[20] Träguiden, www.traguiden.se, informationen hämtad 2010-04-30.

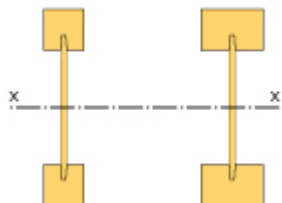
Bilaga 1

www.traguiden.se

TräGuiden / Anvisningar och produktion / Dimensionering / Dimensioneringsvärden och bärförmåga /



Lättbalk - Dimensionerande bärförmåga



Säkerhetsklass 2***. Klimatklass 1. Lasttyp B.

Partialkoefficienten för material = 1,15.

Inverkan av höjdeffekt beaktad.

Värdena beräknade enligt typgodkännande nr 1422 från SITAC.

Typ	Höjd (mm)	Fläns (mm×mm)		N_c^* (kN)	T (kN)	M_x^* (kNm)	EI_x^{**} (kNm ²)	GA^{**} (kN)
H	200	47×47	C30	64	7,5	5	275	1254
H	220	47×47	C30	64,8	8,4	5,6	350	1439
H	250	47×47	C30	66,1	9,9	6,6	480	1716
H	300	47×47	C24	60,9	12,3	7,1	638	2178
H	350	47×47	C24	63,1	14,8	8,5	923	2640
H	400	47×47	C24	65,3	15,7	9,9	1265	3102
HI	200	47×70	C30	94	7,5	7,5	410	1254
HI	220	47×70	C30	94,9	8,4	8,4	522	1439
HI	250	47×70	C30	96,2	9,9	9,8	716	1716
HI	300	47×70	C24	87,1	12,3	10,6	946	2178
HI	350	47×70	C24	89,3	14,8	12,6	1363	2640
HI	400	47×70	C24	91,5	15,7	14,5	1861	2102
HI	450	47×70	C24	93,7	15,4	16,5	2442	3564
HI	500	47×70	C24	95,9	15,2	18,4	3108	4026
R	170	47×47	C18	56,2	6	3	126	977
R	200	47×47	C18	57,9	7,5	3,8	192	1254
R	220	47×47	C18	58,9	8,4	4,3	245	1439
R	240	47×47	C18	60	9,4	4,8	305	1624

Bilaga 1

R	300	47×47	C18	63,2	12,3	6,3	529	2178
---	-----	-------	-----	------	------	-----	-----	------

* Avser bärförmåga utan hänsyn till risk för knäckning eller vippning.

** Avser bruksgränstillstånd.

*** I säkerhetsklass 3 reduceras tabellvärdena med 10% och i säkerhetsklass 1 får de ökas med 10%.



Skriv ut

Leveransadress

Er ref
 Telefon

.D

Märke/ordnr

Önsk.lev.tid
 Lev.sätt HÄMTAS

Bet.villkor 30 DAGAR NETTO

* Lev. från: ARLÖV *

Lev.villk

T Rad Artikelnr

Antal Enh Apris Rabatt Belopp
 exkl moms

ALLMÄNNA LEVERANSBESTÄMMELSER ENLIGT ABM 92

10	0800099						
M	LÄTTBALK 60/450	1,00	LPM	90,00			90,00
20	900047153						
M	BYGGPLYW 12X2400X1200 OPUTS 2,88M2 EN III-III (60) 5-PLY 1 SKI * 2400 * 1200	2,88	M2	60,45			174,10
30	900083647						
M	KONSTR PLYW 15X2400X1200 LÄTTP 2,88M2 C+C P30 (50) 5-PLY 1 SKI * 2400 * 1200	2,88	M2	86,00			247,68
50	900083648						
M	KONSTR PLYW 18X2400X1200 LÄTTP 2,88M2 C+C P30 (40) 5-PLY 1 SKI * 2400 * 1200	2,88	M2	100,00			288,00
70	900083650						
M	KONSTR PLYW 21X2400X1200 LÄTTP 2,88M2 C+C P30 (35) 7-PLY 1 SKI * 2400 * 1200	2,88	M2	127,00			365,76
90	004119138						
M	UNI-SKIVA 36 601-120 560X1160 5,20M2/PKT 20PKT/HÄCK 1 PKT * 1160 * 560	5,20	M2	43,00			223,47

Forts

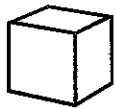
BEIJER BYGGMATERIAL AB
 BONDEVÄGEN 8

Tel 075 241 2707
 Fax 075 241 2730
 WWW.BEIJERBYGG.SE
 VAT nr SE556012522001

Bankgiro 812-7300
 Plusgiro 716350-4

227 64 LUND
 Säte: Stockholm

F-skattebevis finns

Bilaga 2**BEIJER**
BYGGMATERIAL

OFFERT 30 7011074-00

Offertdatum 100520
Giltig tom 100619

Sida 2

Leveransadress

Er ref
Telefon

.D

Märke/ordnr

Önsk.lev.tid

Lev.sätt HÄMTAS

Bet.villkor 30 DAGAR NETTO

Lev.villk

* Lev. från: ARLÖV *

T	Rad	Artikelnr	Antal	Enh	Apris exkl moms	Rabatt	Belopp
	100	004119144					
M		UNI-SKIVA 36 601-195 560X1160 3,25M2/PKT 20PKT/HÄCK 1 PKT * 1160 * 560	3,25	M2	68,00		220,86
	120	002364888					
M		UNDERLAGSPAPP MACOFLEX KL-KANT 15X0,7 YAP2200 (24) 312P	1,00	RLE	260,00		260,00
	130	900147987					
M		BYGGFOLIE RAW 0,2MM 25M/RLE BR=2700MM ÅLDR BEST (50)	1,00	RLE	327,00		327,00
	140	900013175					
M		KORTPLANK GIPS GKP 13X600X1800 1,08M2 (50) 1 SKI * 1800 * 600	1,08	M2	40,80		44,06
	150	900013203					
M		KORTPLANK GIPS GKP 13X600X2400 1,44M2 (50) 1 SKI * 2400 * 600	1,44	M2	40,80		58,75
	170	004068377					
M		SYLLISOLERING 438 100MMX25M 6RLE/FRP (6)	1,00	RLE	400,00		400,00
	180	900139706					
M		INBROTTSPLÅT IBP1-900X2500MM RAW TJ=1MM (50)	1,00	ST	306,00		306,00

Forts

BEIJER BYGGMATERIAL AB
BONDEVÄGEN 8Tel 075 241 2707
Fax 075 241 2730
WWW.BEIJERBYGG.SE
VAT nr SE556012522001Bankgiro 812-7300
Plusgiro 716350-4227 64 LUND
Säte: Stockholm

F-skattebevis finns