

IKEA varuhus

- Stomsystem och konstruktionshöjder



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Byggteknik / Konstruktion**

Examensarbete:
Taha Al-Janabi
Peter Muzinic

© Copyright Taha Al-Janabi, Peter Muzinic

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

Vid dimensionering av en byggnad är man tvungen att ta hänsyn till en rad olika parametrar. Dessa parametrar kan skilja sig från plats till plats. Gemensamt är dock att varje byggnad måste dimensioneras med hänsyn till väder, ändamål samt livslängd.

Då ett material eller en byggnadsdel utsätts för en yttre påverkan kan förändringar uppträda som bl.a. nedböjningar. IKEA-varuhus, med dess olika beståndsdelar, upplever denna förändring vare sig det är en balk, bjälklag eller pelare.

Utformningen och ytan av IKEA-varuhusen ser olika ut från land till land. Ett hus har parkering över, ett annat har under och det finns varuhus som inte har någon parkering alls. De har löst parkeringsproblemet genom att bygga ett parkeringshus vid sidan om eller något dylikt.

Metoder för uppbyggnaden av stommen skiljer sig åt. En del länder har inte kommit ikapp den västerländska byggtekniken och arbetar fortfarande med lite mer tidskrävande arbetssätt som platsgjutna element. Skillnaden blir bland annat tidsåtgången eller mängden material som krävs under byggnationen så som ställningar och formar.

Jämförelser mellan länderna visar att volym kan vinnas i IKEA-varuhusen beroende på vilket sätt det byggs på. En slutsats som kan dras, är att platsgjutning innebär lägre konstruktionshöjd, dock ökas byggtiden.

För att uppnå den mest slimmade konstruktionen så ska Sveriges lösningar för balk och bjälklag användas, eftersom dessa ger lägst konstruktionshöjd. Rent teoretiskt skulle det gå att kombinera olika lösningar för att optimera konstruktionshöjden ännu mer.

Nyckelord: Stomsystem, konstruktionshöjd, våningshöjd, tag-självlager, utställning, saluhall, IKEA.

Abstract

For the design of a building, you must take into account a range of parameters. These parameters often differ from place to place. It is common that each building be designed with regards to weather, purpose and its useful life expectancy.

When a material or a structural unit is subjected to external influences, changes occur, for example deflections. Each IKEA-warehouse, with their various components, are subjected to this change, be it beams, pillars or both.

The layout and structure of the different department stores vary between both buildings and countries. For example, some of the IKEA-buildings may have a parking lot on the roof or in the basement; others buildings lack parking all together and have instead solved the parking problem by building a parking garage on the side of the building.

Methods of setting up the load bearing systems differ, this is mainly due to the fact that some countries have not caught up to western technology or standards. In these countries, construction methods and therefore construction times are lagging in comparison to their western counter parts; for example when it comes to spot casting. The implications of these different building methods include the quantity of materials required during construction, and naturally the prolonged time aspect.

Comparisons between countries indicate that the IKEA-buildings volume is subjected to differences depending on the building method used. Therefore our conclusion is that place casting results in a thinner construction, but lengthens the construction time.

To achieve the slimmest design, the building should have the Swedish solutions for beams and joists, because they give the thinnest constructions. In theory, it is possible to combine different solutions to optimize the thickness even more.

Keywords: Structural systems, dimensional options, elevation height, self serve warehouse, show room, market hall, IKEA.

Förord

Detta är ett examensarbete skapat vid ingenjörhögskolan Lunds Tekniska Högskola (LTH), Campus Helsingborg. Arbetet är skapat av två studenter som ett sista delmoment i ingenjörutbildningen Byggteknik med arkitektur, och är i samarbete med Tyréns för IKEA:s räkning.

Ett stort tack till följande personer Christian Westerberg (Tyréns), Ola Sundelin (INTER IKEA), Thomas Pettersson (Strängbetong) Mats Persson (Tyréns) samt examinatorn Anders Ekholm (LTH) för deras obrutna stöd under arbetes gång, ett stort tack till er.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Arbetets omfattning	2
1.4	Metod	2
2	Laster	4
2.1	Lastkombinationer och beräkningar	5
2.2	Säkerhetsklasser	7
2.3	Lastpåverkan för olika byggnadsdelar	8
2.3.1	Deformationer	8
2.3.2	Deformationer hos material	9
2.3.3	Moment och tvärkraft	10
3	Bjälklag, balkar och pelare	13
3.1	TT-kassetter, håldäck och plattbärlag	13
3.1.1	TT-kassett	14
3.1.2	Håldäck	14
3.1.3	Plattbärlag	15
3.1.4	Samverkansbjälklag	16
3.2	Balkar	16
3.2.1	Stålbalkar	16
3.2.2	Betongbalkar	17
3.2.3	Samverkansbalkar	17
3.3	Pelare	18
4	Platsgjutning	20
4.1	Fördelar med platsgjutning	20
5	Inventering av fem IKEA varuhus	22
5.1	Uppbyggnad av IKEA-varuhus	22
5.2	IKEA:s krav på invändiga höjder	24
5.3	Bjälklag	24
5.3.1	Olika bjälklagsalternativ	25
5.3.2	Konstruktionshöjd för bjälklag	25
5.4	Balk	26
5.4.1	Olika balkalternativ	26
5.4.2	Konstruktionshöjd för balk (+bjälklag)	26
5.5	Placering av parkering i ett varuhus	28
5.5.1	Pelarnas dimensioner och förlorad area	28
6	Slutsatser av inventeringen - Ultimata lösningen	30
6.1	Show room (SR), 4kN/m ²	30
6.2	Market hall (MH), 5kN/m ²	31

6.3 Self serv warehouse, SS	31
7 Spännvidder och byggelement i Sverige	33
7.1 Konsekvenser för bjälklag till följd av ökade spännvidder .	34
7.1.1 Alternativ till TT-kassetter och håldäck	34
7.1.2 Slutsatser av bjälklag	35
7.2 Konsekvenser på balk till följd av ökade spännvidder	35
7.2.1 Ökad balkspännvidd från 8 m till 16 m.....	36
7.2.2 Slutsatser av balkar	37
8 Balktyper vid olika spännvidder och laster	38
8.1 Self serv.....	39
8.2 Market hall.....	39
8.3 Show room	40
9 Sammanfattande slutsatser	41
Källförtäckning.....	43
Bilaga 1	
Förklarande figur till tabellerna.....	47
Tabell för self serv/TS-lager, market hall/saluhall.....	48
Tabell för show room/utställning, parking/parkering1.....	49
Tabell för parking/parkering2, parking/parkering3.....	50
Bilaga 2	
Strängbetong.....	52
Bilaga 3	
Ordlista.....	56
Bilaga 4	
Dimensionering av balkar i self serv warehouse	58
Bilaga 5	
Dimensionering av balkar i market hall.....	62
Bilaga 6	
Dimensionering av balkar i show room.....	67

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

IKEA – Ingvar Kamprad Elmtaryd Agunnaryd

IKEA grundades 1943 av Ingvar Kamprad i den lilla småländska byn Älmhult. Till en början handlade inte IKEA om möbler utan mindre komponenter så som kontorsmaterial och dylikt. Inte förens 1947 började IKEA sälja möbler som till en början var egendesignade av Ingvar Kamprad. Några år senare började IKEA med nationell postorderförsäljning.

År 1958 stod det första IKEA varuhuset klart. Detta varuhus byggdes i närheten av den lilla affären som Ingvar Kamprad åren tidigare hade startat.

Idag är IKEA ett av de största multinationella möbelföretagen i världen med över 300 varuhus i 38 olika länder världen över, samt ca 135000 medarbetare och med en omsättning på över 20000 miljoner Euros och över 660 miljoner besökare (2009).

Inter IKEA systems är ägare av IKEA koncept och är en holländsk stiftelse. Varuhusen utformas av lokala arkitektkontor som säkerställer rätt funktion och storlek efter IKEA:s krav på utformning.

Utformningen av IKEA varuhusen varierar mycket från plats till plats. De kommer i tre olika storlekar small, medium och large, med en yta från ca 25000 kvadratmeter upptill ca 35000 kvadratmeter. Gemensamt för alla varuhusen är sättet kunderna slussas genom varuhuset. Kunden går först genom möbelutställningen och vidare till restaurangen för att sedan komma till saluhallen och sist till det karakteristiska tag-självlagret, där varor plockas på kundvagnen och vidare till kassorna.

1.2 Syfte

Detta examensarbete handlar om IKEA:s stomsystem och är skapad för att först ge läsaren en grundläggande förståelse för stomuppbyggnad av pelare-balksystem och sedan en insikt på hur olika val av lösningar kan minimera konstruktionshöjder för att anpassa våningshöjder.

Arbetet ska vara skrivet på en lätt nivå för att enkelt kunna förstås av personer som inte är ingenjörsmässigt insatta. På detta sätt ska det brygga över glappet

mellan arkitekter och ingenjörer. Detta kommer att bidra till att tidseffektivisera arbetsgången för arkitekterna i själva planeringsstadiet.

I varuhus som IKEA, så strävar man efter en ”slimmad konstruktion”, det vill säga minimal konstruktionshöjd för att utnyttja så mycket volym som möjligt. I examensarbetet ska olika lösningar undersökas för att klargöra vilka lösningar som är effektivast för att i senare skede bygga den mest ultimata stommen.

1.3 Arbetets omfattning

Arbetet beskriver väldigt övergripande olika lösningar på balk, pelare och bjälklag som kan bygga upp IKEA:s stomsystem. I arbetet framgår även förklaringar till olika konstruktionsbegrepp.

Det redovisas studier på fem olika varuhus i fyra olika länder. Det förkommer även kortare beskrivningar och jämförelser mellan de olika lösningar som har använts samt vilka konsekvenser det medför om man ändrar spännvidder, balk- och bjälklagstyper i stomsystemet.

Alla IKEA-byggnader omfattar följande aktiviteter:

- Tag-självlager (Self Serve)
- Möbelutställning (Show Room)
- Saluhall (Market Hall)
- Restaurang/exit
-

Detta examensarbete behandlar endast tre av dessa, nämligen tag-självlager, möbelutställning och saluhall, men även parkering för de varuhus som innehar detta.

Konstruktionen är i fokus i alla studier. Stomkonstruktioner med olika lösningar på balkar, bjälklag och pelare redovisas. Olika spännvidder redovisas samt vilka för- och nackdelar dessa medför.

1.4 Metod

Teoridelen i detta arbete är framställt delvis av kunskap som har lärts in genom ingenjörutbildningen och delvis genom faktaböcker, se källförteckning.

Inventeringen av husen är baserad på konstruktions- och arkitekturritningar som levererades i pdf- och dwg format. Med hjälp av mätningar i ritningarna så framställdes tabellerna i bilaga 1. Tabellerna användes i sin tur för att dra slutsatser i arbetet.

2 Laster

Vid dimensionering av byggnader är man tvungen att ta hänsyn till yttre- och inre påverkningar. Dessa påverkningar utgörs av variabla laster och permanenta laster. Variabla laster ändras med tiden, medan permanenta laster finns och förblir den samma under hela byggnadens livslängd, ett exempel på detta är byggelementens egentyngder. (*Isaksson et al. 2005*):43-44)

Nyttig last är ett annat begrepp som dyker upp i konstruktionens värld. Det delas upp i två parametrar, nämligen fri last och bunden last. Den fria lasten kan omfatta människor som ständigt är i rörelse, medan den bundna lasten gäller för möbler och liknande. (*Ibid*):44)

Vid dimensionering är det viktigt att ta hänsyn till väderlek. Vindkraften ökar ju högre byggnaden är. En annan faktor som spelar en viktig roll för vindkraften är om det är ett tätbebyggt eller glesbebyggt område. Detta är för att andra byggnader i det tätbebyggda området, hindrar den starkare luftströmmen. (*Ibid*):49)

Snölast kan också vara dimensionerande. Städer där det snöar mycket och länge, kan snön ligga kvar under vintermånaderna och det innebär en extra last, en yttre påkänning på byggnaden. (*Ibid*):48)

En kombination av vind och snö på en byggnad med lutande tak kan öka tyngden på en sida av taket, medan den andra sidan blir lättare, se figur 2.1.



Figur 2.1 Snö i kombination med vind

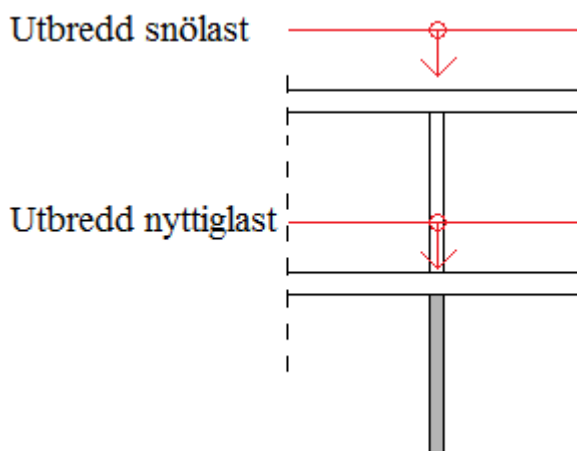
Vid dimensionering med hänsyn till snö- och vindlast, utgår man från dess karakteristiska värden. Detta innebär det typiska värdet på lasten i frågan. Det påverkas bl.a. av taklutning, byggnadshöjd och i vilken del av landet byggnaden ska byggas i, eftersom vädret varierar i mycket stor utsträckning. (*Ibid*):48)

När en konstruktör dimensionerar en byggnad, ska den alltid räkna med att byggnaden utsätts för väderlaster (vind och snö), nyttiga laster (fri och bunden) och permanenta laster (egentyngder). En metod som konstruktörer använder vid dimensionering är att "följa lasten". Målet är att lasterna leds ner till marken via stomsystemet, d.v.s. genom tak, ytterväggar/pelare och vidare ner till väggsula/fundament i marken. Den nyttiga lasten, som är inne i själva byggnaden, över mellanbjälklagen, leds ner till marken via bjälklag, balkar, ytterväggar/pelare och eventuella hjärtväggar och sedan också ner till väggsula/fundament i marken.

2.1 Lastkombinationer och beräkningar

Med olika lastkombinationer kan konstruktören dimensionera en byggnad efter det tänkta användningsområdet. Det innebär att vid beräkningar, ska det göras ett antagande som utgår från att byggnaden kommer att utsättas för maximal last någon gång under en längre tidsperiod på 50år, men att detta inte ska inträffa samtidigt som en "30 års fest". Med en "30 års fest" menar man en större nyttiglast än det vanliga, hela 30 % mer. Värdet som adderas med 30 % (multiplikeras med faktorn 1,3), blir den så kallade huvudlasten, vare sig det vore en nyttig-, snö- eller vindlast. Endast en av lasterna får betraktas som huvudlast, för att inte överdimensionera konstruktionen.

En typisk lastberäkning för en innerpelare som bär upp laster från både tak och bjälklag redovisas nedan. Beräkningarna avser laster som ska hanteras av den gråmarkerade pelaren i figur 2.2.



Figur 2.2 Laster från snö- och nyttiglast till en pelare.

$$F_d^{Sn\ddot{o}} = bjl_{spv} \cdot blk_{spv} (1.0(G_k) + 1.3(Q_k^{Sn\ddot{o}}) + 1.0(\psi^{Fri} Q^{Fri} + \psi^{Bunden} Q^{Bunden}))$$

(Ekv 1.1)

$F_d^{Sn\ddot{o}}$, last på innerpelaren, snö last är huvudlast	(kN)
bjl_{spv} , bjälklagsspännvidd	(m)
blk_{spv} , balkspännvidd	(m)
G_k , egentyngder	(kN/m ²)
$Q_k^{Sn\ddot{o}}$, karakteristiskt värde för snö	(kN/m ²)
ψ^{Fri} , lastreduktionsfaktor för fri last	(-)
Q^{Fri} , vanligt värde för fri last	(kN/m ²)
ψ^{Bunden} , lastreduktionsfaktor för bunden last	(-)
Q^{Bunden} , vanligt värde för bunden last	(kN/m ²)

Nästa steg blir att göra exakt samma beräkning, men att den nyttiga lasten räknas ut till ett karakteristiskt värde och multipliceras med faktorn 1,3 för att bli en huvudlast. Snölasten, i icke karakteristisk form, multipliceras med $\psi^{Sn\ddot{o}}$, snölastens reduktionsfaktorvärde.

$$F_d^{Nyttig} = bjl_{spv} \cdot blk_{spv} (1.0(G_k) + 1.3(Q_k^{Fri} + Q_k^{Bunden}) + 1.0(Q^{Sn\ddot{o}} \psi^{Sn\ddot{o}}))$$

(Ekv 1.2)

F_d^{Nyttig} , last på innerpelaren, nyttig last är huvudlast	(kN)
bjl_{spv} , bjälklagsspännvidd	(m)
blk_{spv} , balkspännvidd	(m)
G_k , egentyngder	(kN/m ²)
Q_k^{Fri} , karakteristiskt värde för fri last	(kN/m ²)
Q_k^{Bunden} , karakteristiskt värde för bunden last	(kN/m ²)
$Q^{Sn\ddot{o}}$, vanligt värde för snö	(kN/m ²)
$\psi^{Sn\ddot{o}}$, lastreduktionsfaktor för snö	(-)

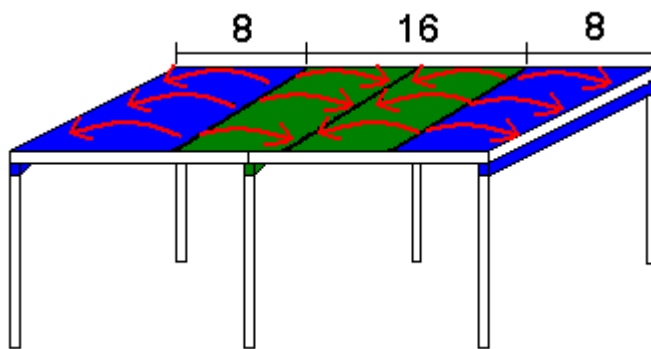
Pelaren påverkas av både snö, fri och bunden last. Formlerna ovan tar hänsyn till alla tre. Ekvation 1.1. visar lasten vid snölast som huvudlast, medan ekvation 1.2 så är den nyttiga lasten huvudlast.

Den last som byggnaden ska dimensioneras efter, är den högsta utav $F_d^{Sn\ddot{o}}$, F_d^{Nyttig} . På så sätt blir inte byggnaden överdimensionerad, samtidigt som

den är stabil och kommer, med mycket stor sannolikhet, att klara av sin planerade livslängd.

Då lastens enhet är i kN/m^2 , så innebär det en utbreddlast på ett bjälklag. För att överföra laster från bjälklag till innerbalkar så multipliceras lasten över bjälklaget med balkarnas cc-avstånd, eftersom en innerbalk bär upp bjälklag från både sidorna.

Beräkningar på ytterbalkar som tar last enbart från en sida, multipliceras lasten istället med halva cc-avståndet, se figur 2.3. Den blå delen av bjälklaget bärs av de blåa ytterbalkarna och det gröna området bärs av den gröna innerbalken. De röda pilarna visar lasternas övergång.



Figur 2.3 Lastfördelning från ett bjälklag till tre olika balkar.

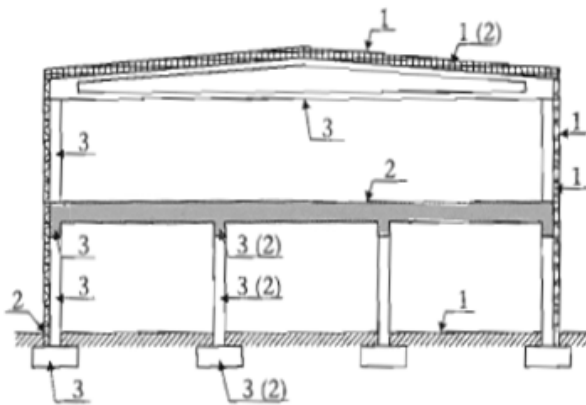
2.2 Säkerhetsklasser

Säkerhetsklasser används för att öka tryggheten i byggnaden. Byggkomponenterna i huset, bl.a. tak, väggar och bjälklag, klassindelas i tre olika klasser, klass 1, 2 och 3, beroende på hur stor skada det skulle innebära om de skulle rasa.

Klass 1 innebär minst risk vid ett eventuellt ras. Detta kan omfatta byggkomponenter som takbeläggning, golv på mark och fasadbeklädnad. Om något av dessa skulle bryta samman, orsakar det ingen människoskada, därav den låga klassningen.

Byggedelar som dimensioneras med säkerhetsklass 2, är de delar som har stor och viktig betydelse i stommen, men skulle de rasa så ska huset stå kvar och inte kollapsa. Exempel på dessa kan vara bjälklag, takåsar och sockelbalkar.

Säkerhetsklass 3 omfattar bärande konstruktioner som har direkt koppling till husets stabilitet. Takbalkar, pelare och bärande väggar (inkl hjärtväggar), är exempel på komponenter med klass 3. Se figur 2.4 som visar exempel på olika byggedelar i ett hus, markerade med respektive klasser. (*Ibid*):31-32)

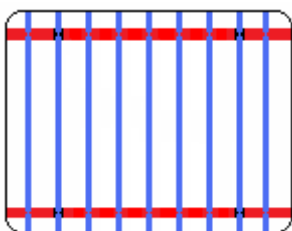


Figur 2.4 Indelning av säkerhetsklasser. (Ibid):68-69)

2.3 Lastpåverkan för olika byggnadsdelar

När en byggnad belastas, kommer lastpåverkan att variera för olika byggnadsdelar i stommen. Gemensamt är att alla laster leds ner till marken. Då en balk, pelare eller ett bjälklag belastas, uppträder alltid konstruktionsbegreppen tvärkraft och moment i respektive del av stommen (se delkapitel 2.3.3 Moment och tvärkraft).

Balkar, som bär ett bjälklag kan delas upp i två delar, primär- och sekundärbalkar. Den primära delen har till uppgift att leda ner lasterna till pelarna och den sekundära skall leda lasterna till den primära delen, se figur 2.5. Figuren visar en del av stommsystemet som bär upp ett mellanbjälklag. De blå linjerna symboliserar sekundärbalkar som spänner över till de röda primärbalkarna som i sin tur för över lasterna till pelarna, de svarta rutorna.



Figur 2.5 Sekundär-, primärbalkar och pelare som bär upp ett mellanbjälklag

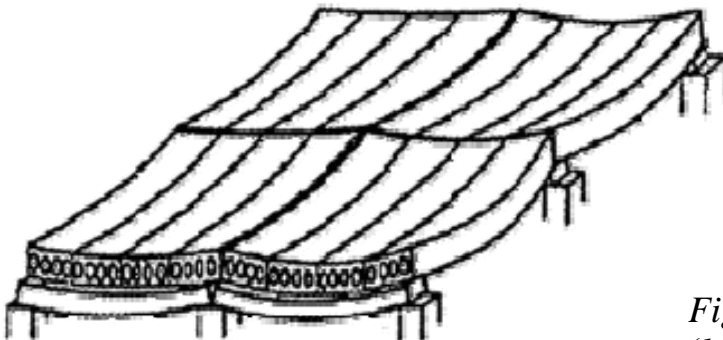
2.3.1 Deformationer

Deformation uppträder både kortsiktigt och permanent. Den kortsiktiga deformationen kan bero på en ökad tillfällig last som resulterar i en temporär nedböjning. Det innebär att när den ökade lasten försvinner, så återgår materialet till sin ursprungliga form. Det resulterar till en tillfällig olägenhet. (Ibid): 26, 422)

Den permanenta nedböjningen handlar om att materialet har skadats och åtagit sitt slutgiltiga läge och form. Det inträffar när materialet belastas med högre laster än vad det kan klara av. Resultat blir att materialet inte längre kan återgå till sin grundläggande form.

Ytterligare konsekvenser av varierande laster är svängningar och svikt som kan upplevas som obehagligt för personer som vistas i byggnaden.

Både kortsiktiga och permanenta deformationer kan upplevas som besvärande för personer som brukar byggnaden, även om byggnaden står stabilt och uppfyller ställda krav. Deformationer kan orsaka lokala problem som t.ex. resulterar i att dörrar och fönster blir svåra att öppna/stänga. Ett annat exempel är att takavvattningen försvåras. Detta p.g.a. att deformationer kan medföra fel riktning på taklutningen, vilket i sin tur leder till att vatten blir stående. Figur 2.6, visar ett deformerat håldäcksbjälklag. Observera att även balkarna som spänner över pelarna och lyfter upp bjälklaget, har deformerats.

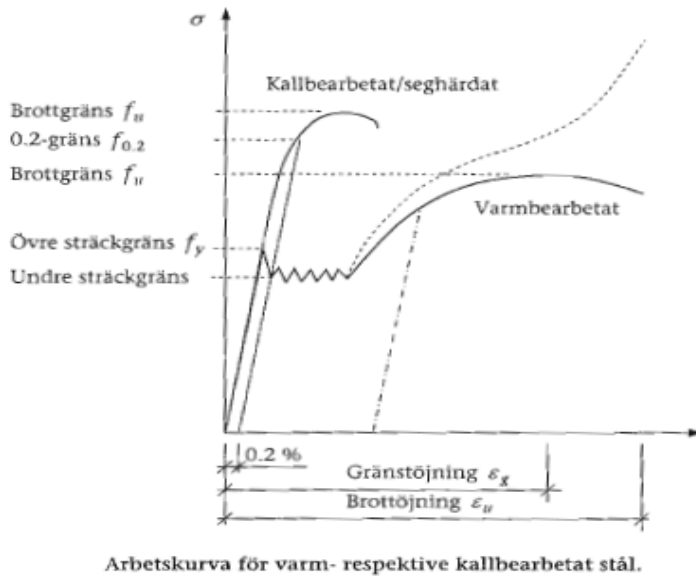


*Figur 2.6 Deformerat håldäcksbjälklag
(<http://www.betongvaruindustrin.se>)*

2.3.2 Deformationer hos material

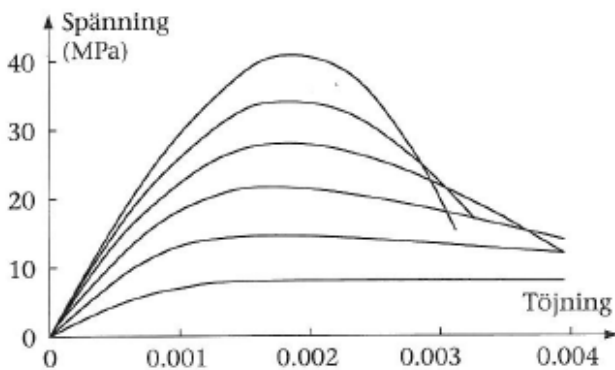
Olika material har olika deformationsegenskaper. Betong och stål som är mycket vanliga byggnadsmaterial, uppvisar olika beteende vid en eventuell deformation. Betong får uppsprickningar till följd av lastens storlek, medan stål kan få buckling som försämrar hållfastheten. När det gäller armering så kan flytning uppstå. Med flytning menas att armeringen har passerat sin elasticitetsgräns och aldrig kommer att återgå till sitt ursprungliga läge, vilket medför en permanent deformation.

Se figur 2.7, när den övre sträckgränsen nås, då har flytning i materialet börjat ske. Flytningsområdet är den sicksackade delen. Arbetskurvan är från dragförsök på armeringsstänger.



Figur 2.7 Arbetskurva för stål
(Ibid): 206)

Spännings-töjningssambandet som visas på figur 2.8, är resultat från ett tryckförsök på cylindriska provkroppar av olika betongkvaliteter.

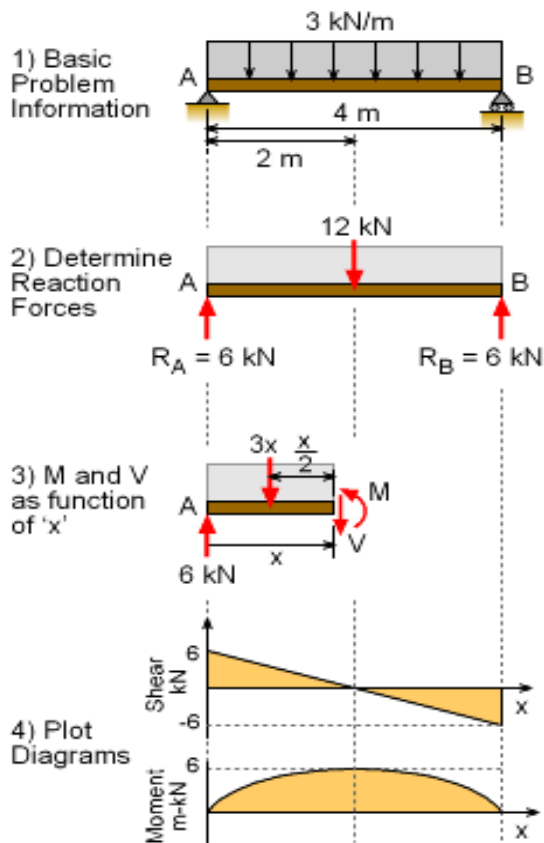


Figur 2.8 Spänning för betong
(Ibid):284)

Deformation av stål och betong sker under olika omständigheter. Betongelement är väldigt stabila vid trycklast. Dragkrafter orsakar däremot problem och elementen måste därför armeras, eftersom stål är betydligt bättre på att hantera dragpåkänningar. Det är därför det alltid utförs dragförsök på armeringsstänger och tryckförsök på betongkroppar.

2.3.3 Moment och tvärkraft

Då en byggnadsdel utsätts för en belastning t.ex. en utbredd last eller en punktlast uppstår alltid ett moment och en tvärkraft i materialet. Bild 1, i figur 2.9 visar en utbreddlast på en balk som spänner över pelarna/bärande väggarna A och B. Enheten i kN/m visar att lasten är på en balk, se även kapitel 2.1 för mer förklaring av lastövergång.



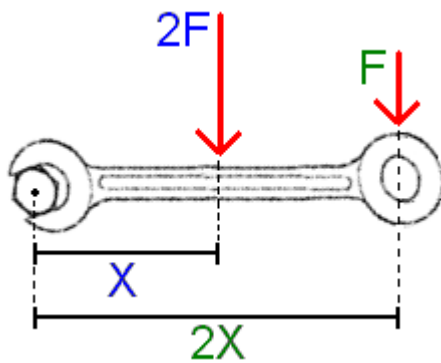
Figur 2.9 Moment & Tvärkraft på en balk
(<http://www.ecourses.ou.edu>)

I bild 2, har 3kN/m (från bild 1) multiplicerats med antal meter den utbredda lasten sträcker sig över, som är 4m, och resultatet blir 12kN. Eftersom det är två upplag A och B, som symboliserar pelare eller bärande väggar, fördelas den totala lasten på 12kN på dessa två. Resultatet blir att upplagen, A och B, ska klara av att bära 6 kN vardera.

Bild 3 visar hur man räknar fram moment och tvärkraft i olika delar av balken, vilket används för att rita moment- och tvärkraftsdiagram som presenteras i bild 4. Detta behandlas inte i denna skrift.

Moment beräknas som resultat av en kraft multiplicerat med dess hävarm. Moment används ofta i det vardagliga livet, t.ex. när en person använder sig av en skiftnyckel, se figur 2.10. Bilden visar två olika alternativ för hur en skiftnyckel kan användas.

Alternativ 1, det blåa alternativet, används dubbelt så mycket kraft på avstånd X, mitt i skiftnyckeln. Alternativ 2, det gröna alternativet, har istället hävarmen dubblerats. Då behövs endast halva kraften för att åstadkomma samma effekt på muttern, samma moment. Se ekvation 1.3.

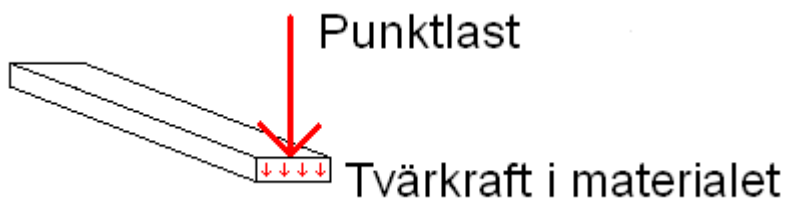


Figur 2.10 Moment på en mutter

$$M^1 = M^2 \Rightarrow 2F \cdot X = F \cdot 2X \quad (\text{Ekv 1.3.})$$

- | | |
|----------------------------|---------|
| M^1 , det blåa momentet | (kNm) |
| M^2 , det gröna momentet | (kNm) |
| F , kraft | (kN) |
| X , hävarm | (m) |

Tvärkraft är en kraft som verkar vinkelrätt mot planet. En annan definition är att tvärkraft är den kraft som löper parallellt med en snittad yta, se figur 2.11. Tvärkraften är alltså ett begrepp som både dyker upp när det är en punklast samt en utbreddlast och kan ändras vid varje snitt, beroende på hur lasten ser ut. Ett tvärkraftsdiagram visar tvärkraften vid alla snitt i materialet, se figur 2.9, bild 4 (Shear). Observera att diagrammet gäller för en utbredd last.



Figur 2.11 Tvärkraft

3 Bjälklag, balkar och pelare

Det finns många olika sätt att bygga industribyggnader. Stål och betong är vad som används i regel, men under olika former och dimensioner. Det bestäms bl.a. av laster, traditioner och tillgänglighet till materialen. En viktig ekonomisk faktor som är av stor betydelse, är hur marknaden ser ut vid den tid då huset ska byggas. Är t.ex. betongen billigare än stål under den perioden, blir varuhuset ett tungt betonghus.

De varuhus som har inventerats i detta arbete, har använt sig av båda prefabricerade lösningar (både stål- och betongelement) samt platsgjutna element. Det har även förekommit en blandning av dessa två, så kallade samverkans-element. Under delkapitlen 3.1, 3.2 och 3.3 kommer en kort förklaring av olika prefabricerade element och samverkans-element.

Balkar och bjälklag kommer oftast förspända för bättre bärighet. Med förspända balkar och bjälklag innebär det att de är böjda på så sätt att de har högsta punkten i mitten och lägsta i kanterna. Det bidrar till att elementen får högre lastkapacitet samt en jämnare deformation. Figur 3.1 visar ett förspänt element. Observera att bilden är överdriven för att visa principen i ett förspänt element. När elementet belastas kommer det att böja ner och på så sätt få en planare yta.



Figur 3.1 Förspänt element

Det är armeringen i elementet som är förspänd. Slakarmerat element innebär att armeringen är rak och ej belastad, till skillnad från förspänd där armeringen får redan arbeta innan den belastas och på så sätt kan klarar av större laster.

3.1 TT-kassetter, håldäck och plattbärlag

Följande bjälklagselement är väldigt vanligt förekommande i industribyggnader som t.ex. ett IKEA-varuhus. I nordliga Europa är elementen alltid gjorda på fabrik enligt beställares önskemål och krav. I Japan, där platsgjutning är ledande i byggbranschen, kan element med stor likhet och utformning platsgjutas med formar direkt på byggarbetsplatsen. Dessutom så är platsgjutna element aldrig förspända eftersom det är praktiskt omöjligt.

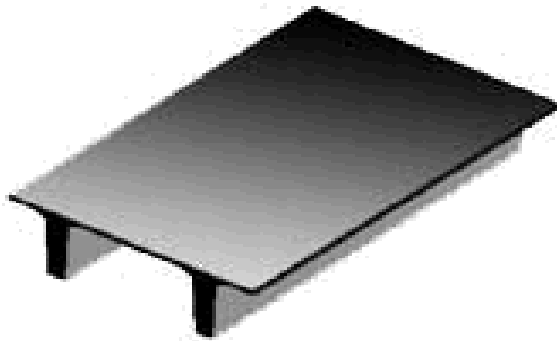
3.1.1 TT-kassett

TT-kassetten är en kassett med dubbla liv, se figur 3.2. Främsta användningsområdet för dessa är i varuhus eller industribyggnader för att klara av de större laster som förekommer. Spännvidderna kan variera mellan 8m och 24m, beroende på lastens storlek, elementens höjd/armering och om kassetten är förspänd eller slak. TT-formens design syftar på att öka avstånd mellan dragzon i armeringen och tryckzonen i betongen.

Kassetterna byggs upp i par, det är därför de heter TT-kassetter, men det är inte alltid en hel TT-kassett får plats på kanterna, och då förekommer även ”T-kassett” för att få plats.

Det är viktigt att det gjuts på ett lager med armerad betong av minst 60mm, en så kallad pågjutning. Detta är viktigt för att öka stabiliteten på bjälklaget. Det ger även bjälklaget en slätare yta.

TT-kassetten kan mycket väl platsgjas på formar som sedan tas bort när betongen har härdat.



Figur 3.2 TT-kassett

3.1.2 Håldäck

Håldäcken är en betongplatta med längsgående hål inuti. Dessa element tillverkas i väldigt långa mått i fabriken, ibland över 100m, som senare kapas upp i önskade längder.

Användningsområdena är de samma som för TT-kassetterna med undantag för att dessa även kan förekomma i väggar. Normalt klarar inte ett håldäck lika stora laster som en TT-kassett, även om håldäcket skulle förspännas. Däremot har håldäck i regel lägre konstruktionshöjd, vilket i sin tur minskar våningshöjden. Det är därför håldäck väljs framför TT-kassetter, vid begränsad last. Pågjutning är även här ett viktigt delmoment för att skapa en slätare yta.

Håldäcket förekommer också internationellt, men endast prefabricerat, eftersom det är opraktiskt att gjuta dessa på plats.



Figur 3.3 Håldäck
(<http://kynningsrud.se>)

3.1.3 Plattbärlag

Plattbärlag är ett betongelement där hälften är prefabricerat och den andra halvan platsgjuts. Det levereras som platta ytor med armering som sticker ut på ovan sidan i ett speciellt mönster (se figur 7.2), för att få samverkan. Efter att de monteras på plats över balkar eller väggar, läggs det på med eventuellt extra armering innan det gjuts på ett lager av betong.

Denna variant av bjälklag, kan likna en kvarvarande form, eftersom det platta bärlaget som levereras från fabriken bildar en form för att senare hålla kvar den nya betongen som gjuts över på plats.

Betongelementen tillverkas mot en slät stålyta och får därför en slät undersida direkt vid montering. På så sätt kräver den ingen nämnvärd efterbehandling.

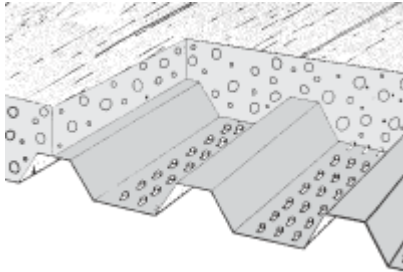


Figur 3.4 Plattbärlag
(<http://byggkatalogen.byggstjanst.se>)

3.1.4 Samverkansbjälklag

Samverkansbjälklaget som visas på figur 3.5, består av räfflad plåt på undersidan, med ett lager av platsgjuten betong över. Det påminner om ett plattbärlag, då de båda har gemensamt att de fungerar som kvarvarande formar och förblir en permanent del av konstruktionen.

Plåten påminner om en vanlig korrigerad takplåt, med räfflor i dalarna, för att betongen ska fästa bättre och på så sätt samverka med plåten. Plåten fungerar då som underkantsarmering, d.v.s. plåten blir dragen medan betongens överkant blir tryckt när konstruktionen böjs (se figur 3.9). Oftast räcker inte plåten som armering, utan betongen armeras även med armeringsnät för att utöka stabiliteten.



Figur 3.5 Samverkansbjälklag
(<http://www.cbsnordic.se>)

3.2 Balkar

Vid val av balkar finns ett urval med alternativ. Stål och betong är vad som används i industribyggnader, men även samverkansbalkar. Beroende på tillgång till material och storlek på laster, väljs rätt balk för uppgiften att föra över laster från ett bjälklag till en pelare. Nedan följer kort beskrivning av några olika balktyper.

3.2.1 Stålbalkar

Stålbalkarna kommer bl.a. i profilerna: HEA, IPE, och UPE. Dessa är de vanligaste. Balkarna har ett liv och två flänsar, se figur 3.6. Skillnaden på profilerna är dimensionerna.



Figur 3.6 IPE-balk
(<http://www.sjmab.se>)

Stålbalkarna är en del av den bärande stommen. De kan både vara i och under ett bjälklag. De behöver inte alltid ha en direkt koppling till den bärande stommen, utan kan även byggas in i fasaderna för att hålla dem stabilare. Detta används t.ex. vid höga våningshöjder för att t.ex. fästa fasadplåt.

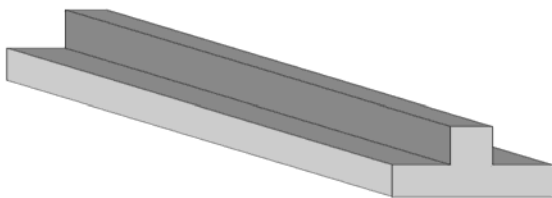
3.2.2 Betongbalkar

Betongbalkarna kan beställas färdiga (prefabricerade) eller gjutas på plats. Det finns många varianter på utformning och dimensioner, där de allra vanligaste är massiva betongbalkar, se figur 3.7.



*Figur 3.7 Massiv betongbalk
(<http://www.conpave.se>)*

Ett annat vanligt alternativ är flänsbalkar av betong, se figur 3.8. Fördelen med denna balk, jämfört med den massiva varianten, är att flänsbalken bäddas in i bjälklaget och minskar den totala konstruktionshöjden. Resultatet blir att endast nedre delen sticker ut under bjälklaget, istället för hela balken.

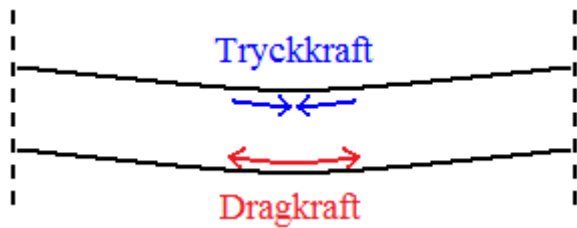


Figur 3.8 Dubbelsidig betongflänsbalk

3.2.3 Samverkansbalkar

Samverkansbalkar levereras enbart av stål från fabriken. Efter montering gjuts det på med betong, både inuti balken och även runt om, för att öka stabiliteten. Samverkansbalkar fungerar på samma sätt som samverkansbjälklag, stålet tar hand om dragkrafter som uppstår och betongen hanterar tryckkrafter.

När balkarna belastas och vill böja ner, så uppstår drag i underkant och tryck i överkant, se figur 3.9. Detta gäller alla horisontella huselement, alltså även tak och bjälklag.



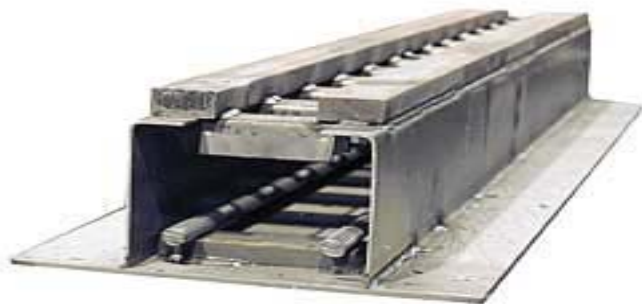
Figur 3.9 Drag-, tryckkraft på huselement som vill böja ner (<http://www.byggfaktadocu.se>)

SWT-balkar och deltabalkar är två typer av samverkansbalkar, se figur 3.10 och 3.11. Fördelen med dessa balkar, jämfört med de tidigare nämnda balkarna, är att dessa knappt bygger ner under bjälklaget, vilket resulterar till minimal konstruktionshöjd, däremot klarar de inte av lika stora laster.



Figur 3.10 Deltabalk (<http://www.byggfaktadocu.se>)

Bild 3.11 SWT balk (<http://swt.eu>)



3.3 Pelare

Pelarna är en del av stommen och kan förekomma i olika tvärsnitt, bl.a. runda, kvadratiska eller rektangulära. Materialet kan vara armerad betong eller stålrör, i olika form och dimensioner. Vanligaste stålröret är den s.k. VKR, men finns även andra som t.ex. KKR.

Samverkans variant finns även hos pelare. Då är det stålrör, där det gjuts in betong och på så sätt blir pelaren stabilare och kan föra ner större laster till marken.

Figur 3.12. VKR pelare
(<http://www.solidcomponents.com>)



Figur 3.13 Betongpelare

4 Platsgjutning

Förr så använde sig alla länder av platsgjutningsmetoden, men när de prefabricerade lösningarna utvecklades så gick många länder istället över till det. IKEA-husen i Frankfurt och Helsingborg är ett exempel på varuhus som är byggda med prefabricerade element.

Det är dock många länder som fortfarande använder sig av den traditionella formsättningen. Det innebär att man sätter upp tillfälliga formar, placerar ut armering, gjuter betong och när det har härdat så rivs formarna. IKEA-huset ”Kobe” i Japan, byggdes t.ex. med denna metod.

En annan variant av platsgjutning, är den med kvarvarandeform. Det är precis som det låter, att formarna får sitta kvar och materialen får samverka, en så kallad samverkansbjälklag, se figur 3.5. Denna metod användes i IKEA-huset i USA, Charlotte.

Vilken metod är då bäst? Svaret är inte det samma i olika tid och rum. Det finns många olika faktorer som spelar in:

- I vilket land ska det byggas?
- Finns det fabriker som tar fram prefabricerade lösningar?
- Är transportsträckan rimlig? (Hur långt är byggarbetsplatsen från fabriken)
- Hur ser marknaden ut för just den tiden? Är betongen billig? Eller är andra alternativ billigare?
- Vilka spännvidder vill man klara av?
- Är det tidspress? (Med prefabricerade lösningar får man t.ex. upp väggarna snabbare).

4.1 Fördelar med platsgjutning

Ett platsgjutet hus ger tätare fogar och hindrar oönskad ventilation. Vilket i sin tur leder till att luftströmmen tar den väg som den är planerad att ta. På så sätt får byggnaden ett behagligare klimat. Dessutom blir det bättre kvalitet på byggnaden och resulterar till en längre livslängd. Detta gäller främst kopplingar mellan bjälklag och väggar.

Folke Alkbrandt, Betongbanken (1991), menar att platsgjutna element ger i regel bättre brandskydd. Dessutom så ska platsgjutning ge en mycket bra ljudisolering, bättre än prefabricerade element.

Platsgjutna stommar är bättre ur drift- och underhållskostnads synpunkt. Därför kan det vara lönsammare i det långa loppet.

Med platsgjutna alternativ kan det innebära lägre bjälklagshöjder, vilket leder till lägre våningshöjder, samtidigt som husvolymen som används förblir den samma, alltså avståndet mellan färdigt golv till undertak. Detta är nödvändigt då kommuner kan ha krav på byggnadshöjder.

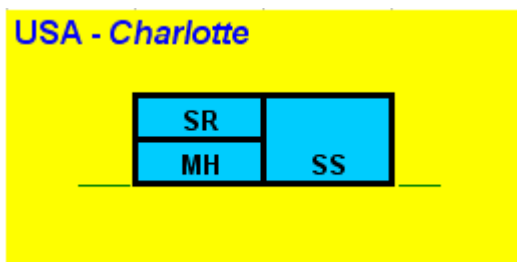
Vid ändringar av installationers utformning och placering sent i bygg-stadiet, så kan det vara lätt att borra nya hål i balkar och bjälklag, utan att förlora stabiliteten, medan prefabricerade element är mycket känsliga för sådan hantering och bör undvikas (Betongbanken, s 7-8).

5 Inventering av fem IKEA varuhus

Inventering av fem IKEA varuhus utfördes för att ta reda på vilket alternativ som är bäst att använda för att minimera konstruktionshöjderna. Stomsystemet ska ligga som bas för inventeringen. Eftersom alla varuhus är uppbyggda på pelardäck, så utfördes följande studier av just pelare, bjälklag och balkar.

5.1 Uppbyggnad av IKEA-varuhus

Alla IKEA-varuhus är byggda på så sätt att tag-själv lagret (Self Serv) motsvarar två våningar över varandra, utan något mellanbjälklag. På det viset kan lagerhyllorna bygga ut i höjd, 8m från färdigtgolv till undertak. Vid sidan om lagret så är det alltid saluhall (Market Hall) med utställning (Show Room) över. Figur 6.1 och 6.2 visar en enkel sektion på varuhusen i USA-Charlotte och Japan-Shinimisato. Deras utformning är i princip den samma, dock är konstruktionen mycket olika.

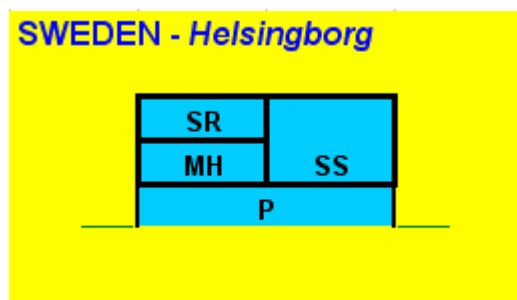


Figur 6.1 USA-Charlotte



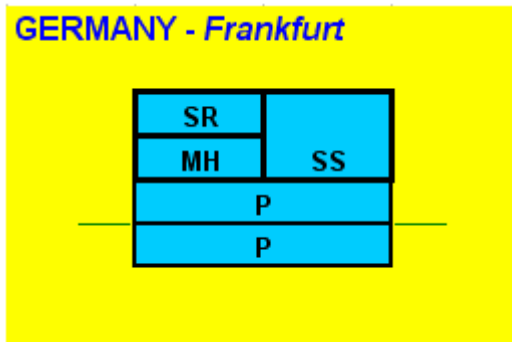
Figur 6.2 Japan-Shinimisato

De resterande tre husen har byggnaden kompletterats med olika antal parkeringsdäck, med olika placering. Varuhuset i Helsingborg, Sverige (Figur 6.3) är i princip som husen USA-Charlotte och Japan-Shinimisato, men skillnaden är att hela varuhuset är upphöjt på pelare. På så sätt uppnås ett utrymme, med lika stor area som hela byggnaden, en ny våning har skapats. Denna bottenvåning används till större delen för parkering.



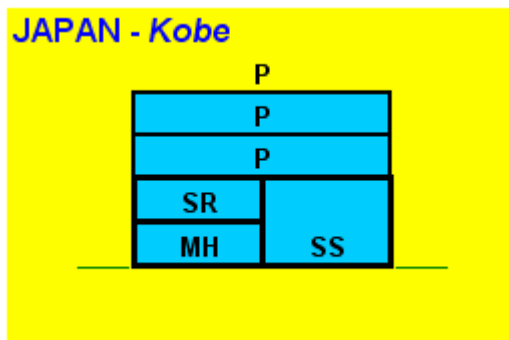
Figur 6.3 Sweden-Helsingborg

Varuhuset i Frankfurt, Tyskland (Figur 6.4), har ännu ett parkeringsdäck undertill sammanlagda två våningars parkering. Dessa är fortfarande uppstaplade på pelare, dock så är de delvis nedgrävda i mark.



Figur 6.4 Germany-Frankfurt

Det andra huset i Japan, Japan-Kobe, som visas i figur 6.5, har en helt annan lösning. Parkeringsdäcken har nämligen byggts över själva varuhuset. Tre våningars parkering, varav den som är högs upp är utan täckande tak.



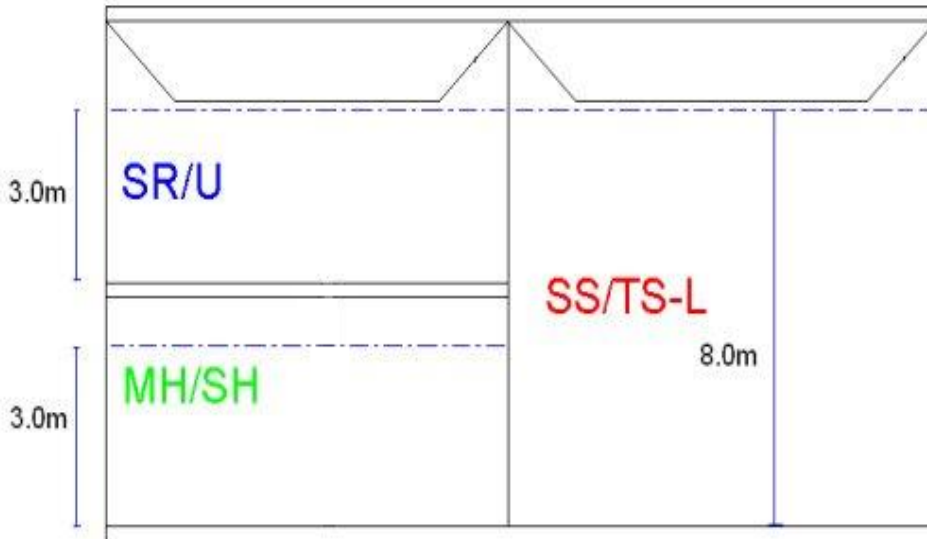
Figur 6.5 Japan-Kobe

Ett parkeringsdäck ligger på omkring 4kN/m^2 , jämfört med tag-själv lagret som är ca $13\text{-}15\text{kN/m}^2$. Alltså är lasten från lagret ungefär tre gånger så mycket som lasten från ett parkeringsdäck, därför kan det vara effektivare att bygga parkeringar uppe på taket, hellre än under byggnaden och låta den tyngre lasten från tag-själv lagret vila på mark.

Om parkeringen är ovanpå varuhuset, krävs det en "sidobyggnad", någon typ av spiral med begränsad lutning och bredd så att bilarna ska kunna köra upp och ner till parkeringen. Problemet med en sådan lösning kan vara att byggnaden byggs ut på bredden, vilket kan vara begränsat av tomtgränserna. Därför är denna lösning inte aktuell i alla områden.

5.2 IKEA:s krav på invändiga höjder

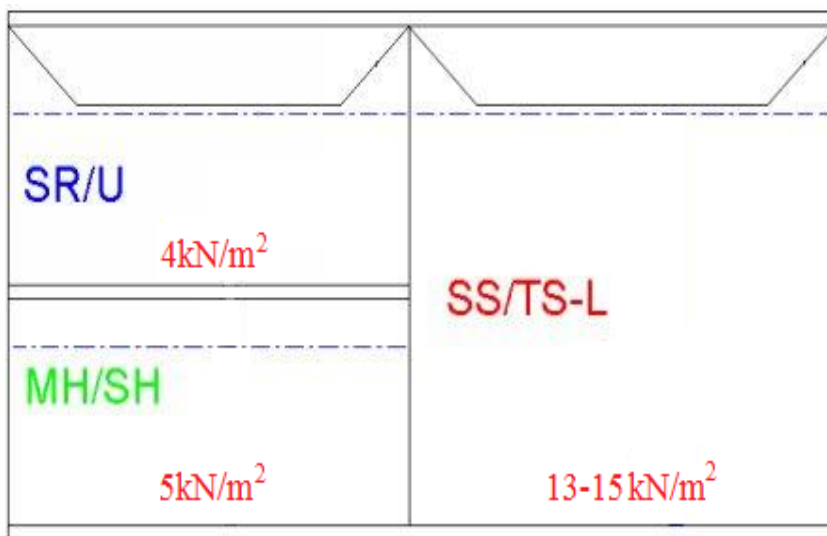
IKEA har krav på invändiga höjder d.v.s. avstånd från färdigt golv till undertak. Figur 6.6 visar kravmått för de olika lokaler som har studerats.



Figur 6.6 Invändiga kravmått

5.3 Bjälklag

Varuhusens bjälklag såg annorlunda ut från hus till hus, dessutom är det, som tidigare nämnt, olika laster på olika områden i ett IKEA-varuhus. Det medförde att det kunde bli flera alternativ till bjälklagselement i ett och samma hus.



Figur 6.7 Nyttiglast i IKEA

5.3.1 Olika bjälklagsalternativ

Bjälklagen som undersöktes är de som bär show room/utställning (SR), market hall/saluhall (MH) och self serv/TS-lager (SS). För resultat, se följande tabeller:

SWE – Sweden, Helsingborg
JAK – Japan, Kobe
USA – USA, Charlotte
GER – Germany, Frankfurt
JAS – Japan, Shinimisato

Figur 6.8 Förklaring för förkortningarna i nedanstående tabeller.

Tabell 6.1 visar vilka bjälklagstyper som har använts i de olika länderna. Samverkansbjälklag (se figur 3.5), är ett typiskt alternativ i USA. Tyskland och Sverige använder samma tekniker och har därför likartade lösningar, medan i Japan är det fortfarande platsgjutningsvarianter som är ledande i marknaden.

Anledningen till att USA och Japan-husen, inte är med i MH och SS, är för att dessa utrymmen, bygger direkt på mark och bärs alltså inte av något mellanbjälklag.

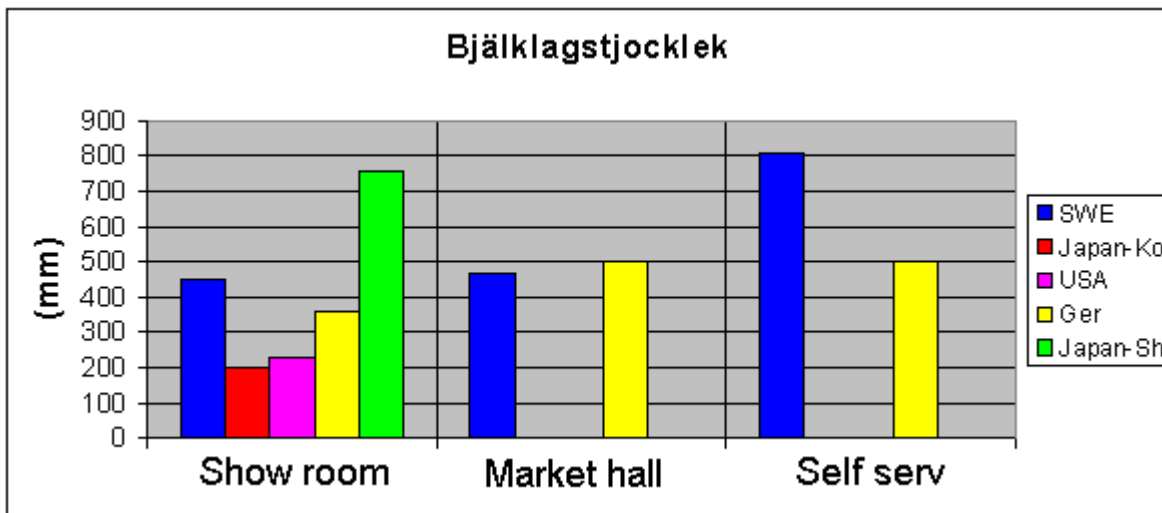
Bjälklag	Samverkansbjlk	Platsgjutet	TT	Plattbärlag	HD
SR	USA	JAS, JAK			GER, SWE
MH				GER	SWE
SS			SWE	GER	

Tabell 6.1 Olika alternativ på mellanbjälklag som har använts. (Förklaring till förkortningar är i figur 6.8)

5.3.2 Konstruktionshöjd för bjälklag

Det visade sig att bjälklagstjocklekar kunde minskas rejält vid olika val av lösningar. Däremot kan det medföra fler sekundärbalkar för att bära upp bjälklaget.

Figur 6.9 visar uppskattade bjälklagshöjder för de fem respektive husen.



Figur 6.9 Bjälklagshöjder för show room, market hall och self serv i de olika varuhusen. (Spännvidderna 16/8 i samtliga, dock 12/9 i USA)

5.4 Balk

Balkar som bär bjälklag kan ha olika dimensioner, utformning och klarar av olika spännvidder. Beroende på detta, kan balkar väljas med olika c/c-avstånd så att de klarar av respektive laster.

5.4.1 Olika balkalternativ

FB/F-balken (se figur 3.8) har använts i IKEA huset i Sverige (Helsingborg). FB/F är förkortning för flänsbalk som är förspänd och är en prefabricerad armerad betongbalk. I-balk är en stål balk och är mycket vanligare internationellt, se tabell 6.2.

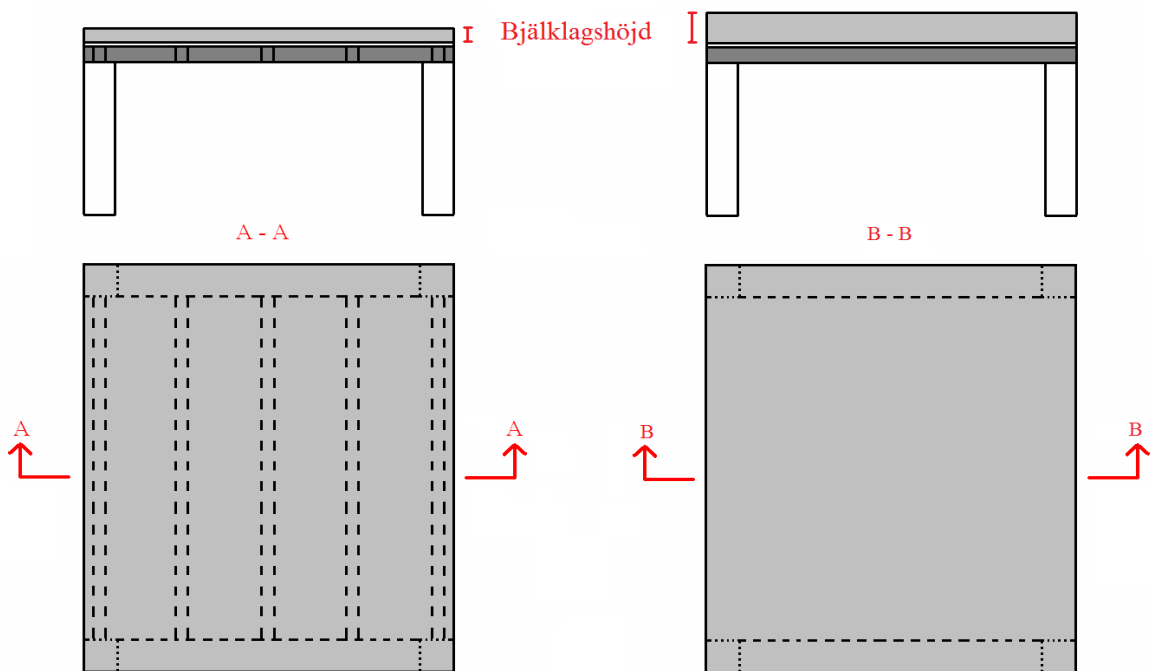
Balkar	FB/F	Samverkansbalk	Rektangulär btg-balk	I-Balk
SR		SWE	GER	JAK, USA, JAS
MH	SWE		GER	
SS	SWE		GER	

Tabell 6.2 Olika alternativ på balkar som har använts. (Förklaring till förkortningar är i figur 6.8)

5.4.2 Konstruktionshöjd för balk (+bjälklag)

Arkitekter föredrar minsta möjliga konstruktionshöjder (balk+bjälklag), för att utvinna så stor yta som möjligt. Då ska varuhuset byggas som det görs i Sverige. På så sätt får huset en större bjälklagshöjd (se figur 6.9), men en mindre totalhöjd, (balk+bjälklag), (se figur 6.11). Sveriges lösningar redovisas mer utförligt i kapitel 6.

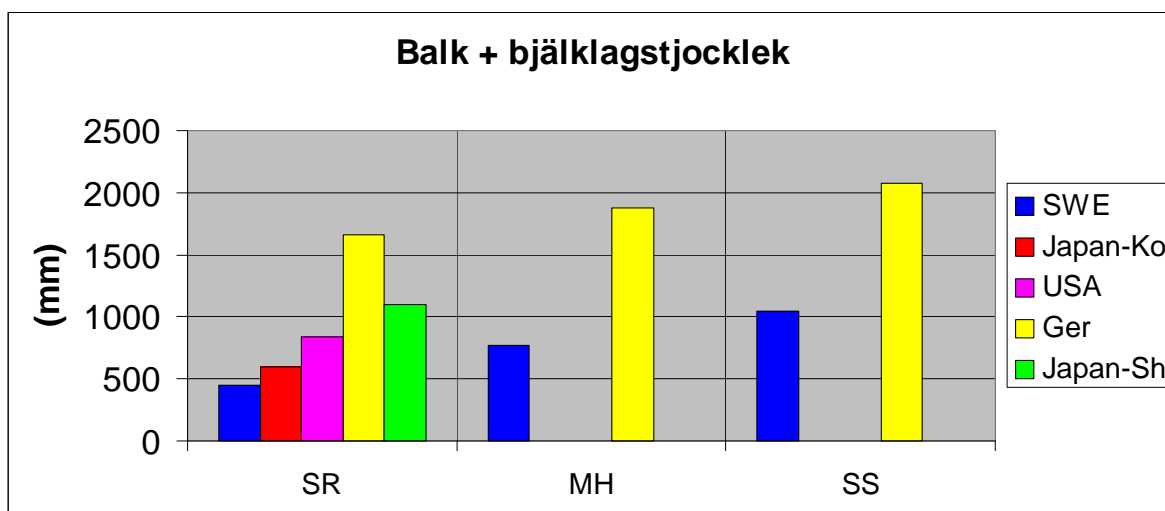
Det kan vara intressant att istället få en mindre bjälklagshöjd, men då måste balkarnas c/c-avstånd minskas för att bjälklaget inte ska kollapsa. Detta medför att pelaravstånden minskas, vilket är direkt negativt för lokalerna. Arkitekterna strävar alltid efter större spännvidder för att minska antal pelare. Lösningen blir att införa sekundärbalkar. Sekundärbalkar, tillsammans med primärbalkarna, bildar ett rutnät (se figur 2.5), och det blir omöjligt att dra installationer mellan balkarna. Resultatet blir att installationerna placeras under balkarna. Detta resulterar till undertaket hamnar längre ner. För att behålla det invändiga måttet, från färdigt golv till undertak, ökas istället våningshöjden. Denna variant har använts i Japan-Kobe-huset.



Figur 6.10 Sekundär balkar medför en minskad bjälklagshöjd

Tillvänster i figur 6.10 visas bjälklagssystem med sekundärbalkar, här är själva bjälklaget tunnare. Där finns inte möjligheten att dra installationer. Till höger i figur 6.10 visas ett bjälklagssystem utan sekundärbalkar, till följd av detta kommer bjälklaget vara grövre däremot kan man möjligen dra installationer mellan balkarna.

Tittar man på de två hus som är upphöjda med parkeringsdäck under, Sverige och Tyskland, så kan man dra den slutsatsen att om installationer dras mellan balkar så är Tysklands alternativ, inte så dåligt som det ser ut i figur 6.11, eftersom detta varuhus använder högre balkar och samtidigt lägre bjälklagshöjd. På så sätt bevaras våningshöjderna någorlunda som lösningen i Sverige, som har en högre bjälklagshöjd men där utrymmet inte kan användas för installationer.



Figur 6.11 Total konstruktions höjd för balk och bjälklag i de olika varuhusen.

5.5 Placering av parkering i ett varuhus

Tre av de IKEA-varuhus som vi har inventerat har parkering, Japan-Kobe, Tyskland-Frankfurt och Sverige-Helsingborg. De resterande två, Japan-Shinimisato och USA-Charlotte, har någon typ av parkeringshus eller liknande vid sidan om.

5.5.1 Pelarnas dimensioner och förlorad area

Tabell 6.3 nedan visar dimensioner och spännvidder för aktuella pelare i respektive land, samt parkeringsalternativen. I tabell 6.4, framgår hur mycket yta som går förlorad till följd av pelarna.

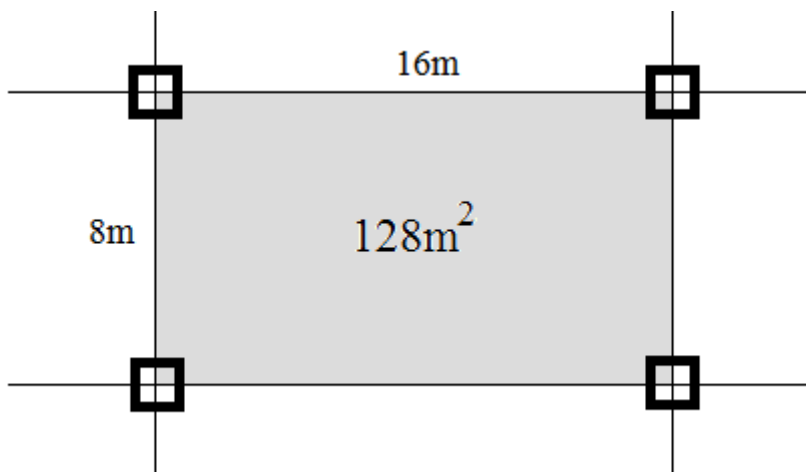
Pelar dimensioner							
PARKING				-			
PARKING				16/8			
PARKING				600x600			
PARKING				16/8			
PARKING				600x600			
SR	SS	-		16/8		-	
U				600x600			
MH	TS-Lager	16/8		16/8		16/8	
SH		400x400		600x600		500x500	
PARKING		16/8				16/8	
PARKING		500x500		500x500		500x1000	
PARKING						500x1000	
PARKING						16/8	
PARKING						500x1000	
LAND		SWEDEN		JAPEN-KOBE		GERMANY	

Tabell 6.3 Pelardimensioner

Förlorad area / 128 m ² pga pelare							
PARKING				-			
PARKING				0,36			
PARKING				0,36			
SR	SS	-	-	0,36	-	-	-
U							
MH	TS-Lager						
SH		0,16		0,36		0,25	
PARKING		0,25	0,25			0,5	0,5
PARKING						0,5	
LAND		SWEDEN		JAPEN-KOBE		GERMANY	

Tabell 6.4 Förlorad area på grund av pelare

Husen som redovisas i tabell 6.3-4 har alla gemensamt spännvidderna 8/16. Figur 6.12 visar att det blir sammanlagt arean av en pelare i ett område på 128m².



Figur 6.12 En pelare (4/4) i varje område på 128m², vid spännvidden 8/16.

6 Slutsatser av inventeringen - Ultimata lösningen

Den mest ultimata lösningen kan vara en blandning av de olika bygg metoderna som har redovisats. Det är dock inte alltid möjligt att bygga ett hus med alla alternativ som förekommit, eftersom det inte finns tillgång till material och prefabricerade element i alla länder.

Följande lösningar som presenteras i detta kapitel med respektive konstruktionshöjder gäller för stomindelningen 8/16.

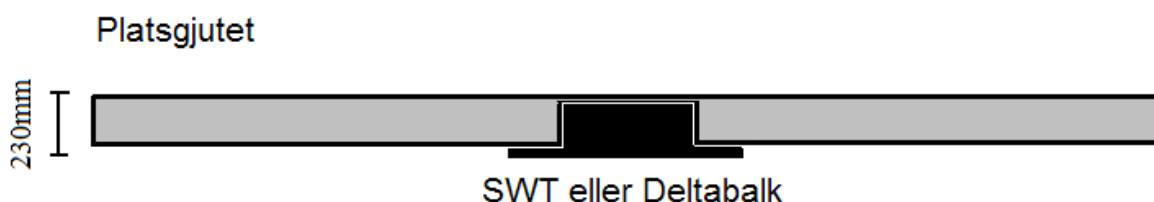
6.1 Show room (SR), 4kN/m²

Alternativet som gav minst total konstruktionshöjd (balk+bjälklag), är det som användes i Sverige, Helsingborg. SWT-balkar, som bygger under bjälklaget ca 20-30mm, inbäddade i bjälklag av typen HD/F 40 resulterar till en maximal konstruktionshöjd på 500mm, inklusive 70mm pågjutning.



Figur 6.1 Sektion över bjälklagskonstruktionen i Sverige, Helsingborg.

En kombination av alternativ, skulle innebära en ännu mindre konstruktionshöjd. Det är dock ingen beprövad metod, men rent teoretiskt så skulle det kunna fungera. Japan-Kobe bygger på primär/sekundärbalkar som svetsas ihop med ett platsgjutet bjälklag på 200mm som vilar över. En hypotes, är att den svenska SWT-balken istället bygger upp primär/sekundärbalkar med ett platsgjutet bjälklag mellan balkarna. Då blir det ett bjälklag på 230mm, inkl balkarnas underdel. Det förutsätter att deltabalkar kan tillverkas med höjden 200mm.

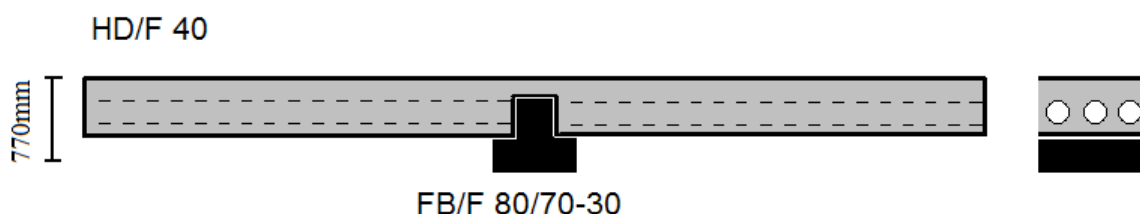


Figur 7.1 Hypoteslösning till bjälklagskonstruktion för show room.

Om denna hypoteslösning är genomförbar, kommer det medföra en längre byggtid, eftersom formar måste byggas upp för att platsgjuta bjälklaget, samt att själva betongen tar ca 2-3 dagar innan det får belastas.

6.2 Market hall (MH), 5kN/m²

Varuhuset i Helsingborg, har det bästa alternativet för att åstadkomma minsta möjliga total konstruktionshöjd. Balkar av typen FB/F 80/70-30 med bjälklag HD/F 40, resulterar till 770mm, inkl pågjutning.



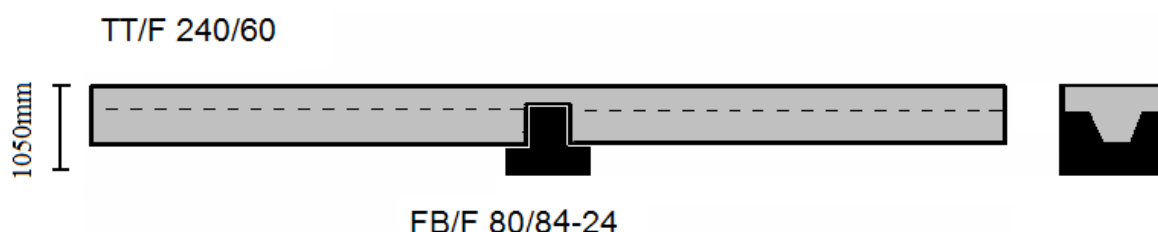
Figur 7.2 Sektion över bjälklagskonstruktionen (MH) i Sverige, Helsingborg.

Med de fem varuhus som har inventerats är det bara två hus som har byggt upp market hall på pelare, därför kan bara dessa hus jämföras med varandra, Sverige-Helsingborg och Tyskland-Frankfurt. Sveriges flänsbalk bygger mindre på höjden under bjälklaget, jämfört med Tysklands massiva betongbalk. Sverige använder ett bjälklag som är leka högt som det Tyska bjälklaget, vilket gör att Sverige har den bästa lösningen.

Denna metod har högre konstruktionshöjd än lösningen i self serv, se kapitel 6.3. Bjälklaget i self serv klarar dessutom av större laster, därför bör den användas även i market hall. Konstruktionshöjden skulle eventuellt kunna minskas ännu mer, eftersom market hall hanterar mycket lägre laster (5 kN/m² jämfört med self serv som har 13-15 kN/m²).

6.3 Self serv warehouse, SS

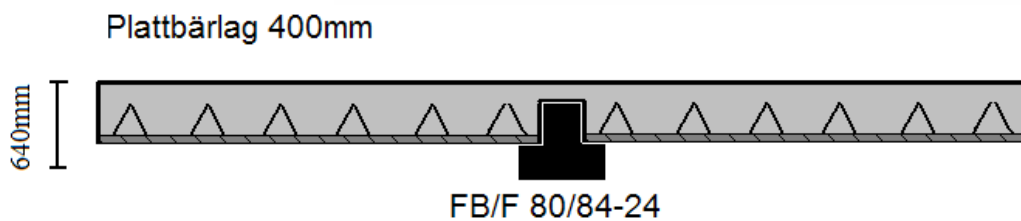
Sverige, har även här lyckats med bästa stommvalet gällande minsta total konstruktionshöjd. Bjälklaget TT/F 240/60 som bärs av balkar av typen FB/F 80/84-24. Efter nödvändig pågjutning, blir konstruktionshöjden 1050mm.



Figur 6.3 Sektion över bjälklagskonstruktionen (SS) i Sverige, Helsingborg.

En hypoteslösning kan antas här, eftersom det tyska plattbärlaget, som bär upp laster i samma storleksordning, bygger endast 400mm i höjd (inkl pågjutning),

medan den svenska TT-kassetten är 790mm (inkl pågjutning). Den ultimata lösningen skulle innebära en blandning med den svenska FB/F 80/84-24 som bär upp det tyska plattbärlaget på 400mm. Konstruktionshöjden blir så liten som 640mm. Observera att denna metod inte är beprövad och bör kontrolleras av en konstruktör.



Figur 6.4 Hypoteslösning till bjälklagskonstruktion för self serv.

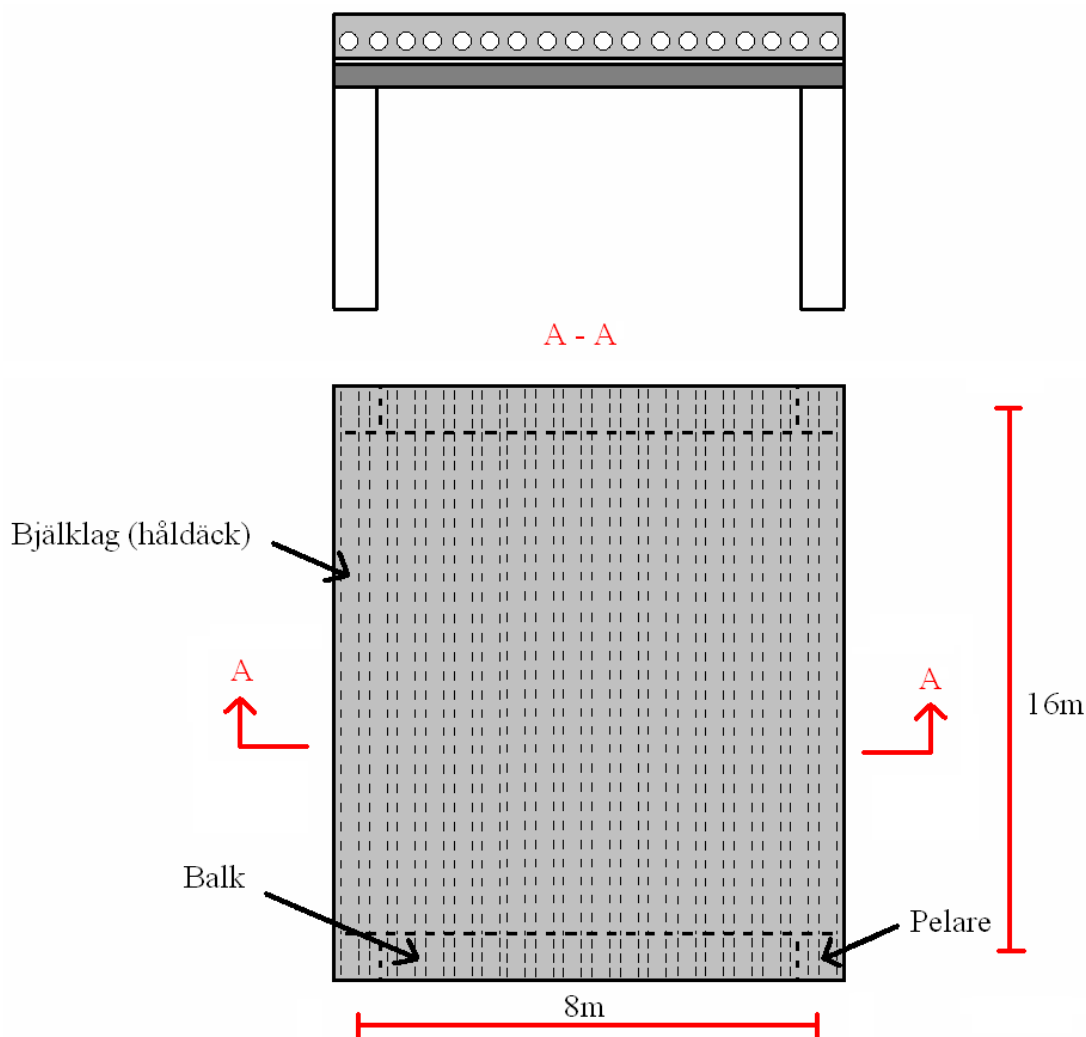
Även denna hypoteslösning skulle medföra en längre byggtid, eftersom det gjuts på ett lager betong för att skapa plattbärlaget. Dock byggs det inga formar, som det krävdes i hypoteslösningen för show room, eftersom plattbärlaget leveras med ett lager betong på undersidan och fungerar som en kvarliggandeform.

7 Spännvidder och byggelement i Sverige

IKEA Helsingborg är uppbyggt med pelare, med avstånden 8/16, se figur 4.1. Detta innebär att balkar har spännvidden 8m och bjälklagets spännvidd är 16m.

Balkar och bjälklag som används i detta bygge är av betong, dock förekommer även samverkansbalkar. Stålbalkar förekommer också, men inte i den bärande stommen, utan i fasaderna för att hålla fasadplåten på plats, eftersom våningshöjden på lagret är över 8m.

Uppgifterna till detta kapitel (7) kommer från Strängbetong AB Thomas Pettersson. Den 9 april 2010, se bilaga 2.



Figur 7.1. Pelaravstånd

7.1 Konsekvenser för bjälklag till följd av ökade spännvidder

Tabell 7.1 visar olika fall med hänsyn till spännvidd, last samt bjälklagstyp. Det är tydligt att bjälklaget växer i höjd när spännvidden ökar. Det visas också att vid högre laster, måste man gå över från håldäck till TT-kassetter, men också vid längre spännvidder.

Ett bjälklag av typen HD/F 120/40 (400mm i höjd) som spänner över 16m, har kapacitet att klara laster upp till 5 kN/m². För högre laster som t.ex. kan förekomma i IKEA:s tag-självlager, där lasten uppgår till 15 kN/m², bör en TT/F 240/80 (800mm i höjd) användas för att klara samma spännvidd på 16m.

TT-kassetter får vanligtvis samverka med större pågjutning på 150-200mm, för att klara större laster då det inte framställs tillräckligt höga element. Då funkar TT-plattan som ett plattbärlag där armeringen ligger i underkant i livet för att hantera dragpåkänningar, medan tryckzonen förstärks av pågjutningen. Tabell 7.1, behandlar inte extra pågjutningar utan endast minimum kravet på 60mm.

Spännvidd (m)	Elementtyp	Konstruktionshöjd (mm)	Lastkapacitet (kN/m ²)
16	HD/F 120/40	400	5
	TT/F 240/54	540	6
	TT/F 240/64	640	8
	TT/F 240/80	800	15
20	TT/F 240/54	540	3
	TT/F 240/64	640	4
	TT/F 240/80	800	8
24	TT/F 240/64	640	2
	TT/F 240/80	800	5

Tabell 7.1 Olika spännvidder och laster bestämmer bjälklagsdimensioner

7.1.1 Alternativ till TT-kassetter och håldäck

Ytterligare alternativ finns tillgängliga. Plattbärlag är ett alternativ som har används i IKEA Frankfurt. Det kan komma att likna en form av betong med fastgjuten armering. se figur 7.2. (se även kapitel 3.1.3). Denna variant kan lika väl användas i Sverige då elementen tillverkas även här.



Figur 7.2. Plattbärlag innan pågjutning.
(<http://www.finja.se>)

Fördelen med förtillverkade element är att arbetet går mycket fortare och smidigare. Man får även en tät och stabil stomme snabbare vilket påskyndar bygget. Trots tidseffektiviseringen med prefabricerade element, så kan platsgjutning ge bättre förutsättningar. (Se kapitlet 4.1 för fler fördelar med platsgjutning).

Samtliga byggnader som har inventerats har använt sig av 8/16 spännvidderna, utan den i USA som använde 9/12 spännvidder. Anledningen till att USA använder sig av större spännvidder beror på större fordon som ska få plats i eventuella parkeringar mellan pelare. Därför finns det ingen anledning till att bygga i Sverige med spännvidden 9/12. (USA-huset som har inventerats har inget parkeringsdäck, men har ändå använts sig av standarden i USA)

7.1.2 Slutsatser av bjälklag

Vid mindre laster mot $4-5 \text{ kN/m}^2$, utförs bjälklaget helst med HD/F, ett förspänt håldäcksbjälklag, eftersom det resulterar i en lägre konstruktionshöjd. Vid högre laster eller koncentrerade laster som det förekommer i tag-självlaget, räcker inte håldäcket till, om spännvidden på 16m ska bibehållas. Ett TT/F bjälklag, d.v.s. förspända TT-kassetter, klarar högre laster och är alternativet för tag-självlaget.

7.2 Konsekvenser på balk till följd av ökade spännvidder

Laster på en IKEA-byggnad varierar mellan 4 kN/m^2 (möbelutställningslokalen) och $13-15 \text{ kN/m}^2$ (tag-självlager). Brottgränsberäkningar med dessa laster enligt nedan:

Lasterna på en ytterbalk:

(För laster på innerbalk, se kapitel 8)

$$q_d = 1.0(G_k) + 1.3Q_k \rightarrow q_d = 1.0(8)8 + 1,3(15)8 = 220kN / m \quad (\text{Tag-självlager})$$

$$q_d = 1.0(G_k) + 1.3Q_k \rightarrow q_d = 1.0(8)8 + 1,3(4)8 = 105,6kN / m \quad (\text{Möbelutställning})$$

G_k är summan av de aktuella egentyngderna. Dessa är uppskattade av strängbetong, se bilaga 2.

Anledningen till att man multiplicerar med 8, är för att balkarna i kanten tar laster från 8 meters bjälklag (halva bjälklagets spännvidd).

Nedan följer dimensionering med hänsyn till momentkapacitet. Observera att balkens egentyngd ej är med i beräkningarna.

Moment med nyttig last $15kN/m^2$ och balkspännvidden 8m:

$$M_d = \frac{ql^2}{8} \quad (\text{Ekv 3.1})$$

$$M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{220 * 8^2}{8} = 1760kNm$$

Dimensioneringen ger en balkprofil av minst RB/F 50/90.
(Rektangulär massiv förspänd balk, 900mm i konstruktionshöjd)

Moment med nyttig last $4kN/m^2$ och balkspännvidden 8m:

$$M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{105.6 * 8^2}{8} = 844.8kNm$$

Dimensioneringen ger en RB/F 40/70.
(Rektangulär massiv förspänd balk, 700mm i konstruktionshöjd)

7.2.1 Ökad balkspännvidd från 8 m till 16 m

Moment med nyttig last $15kN/m^2$ och balkspännvidden 16m:

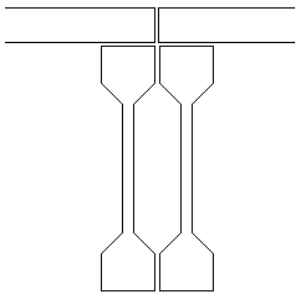
$$M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{220 * 16^2}{8} = 7040kNm$$

Momentet blir för stort, dock finns det en lösning med dubbla balkar. Två stycken IB/F 50/150, som placeras vid varandra, se figur 4.6. (Rak balk med I-tvärsnitt med 1500mm i konstruktionshöjd)

Moment med nyttig last 4kN/m^2 och balkspännvidden 16m:

$$M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{105.2 \cdot 16^2}{8} = 3379\text{kNm}$$

Även här så blir momentet ganska stort, men dock räcker det med en IB/F balk för att klara det. Dimensioneringen blir en IB/F 40/150. (Rak balk med I-tvärsnitt, 1500mm i konstruktionshöjd)



Figur 4.6 Dubbla IB/F balkar som bär bjälklag

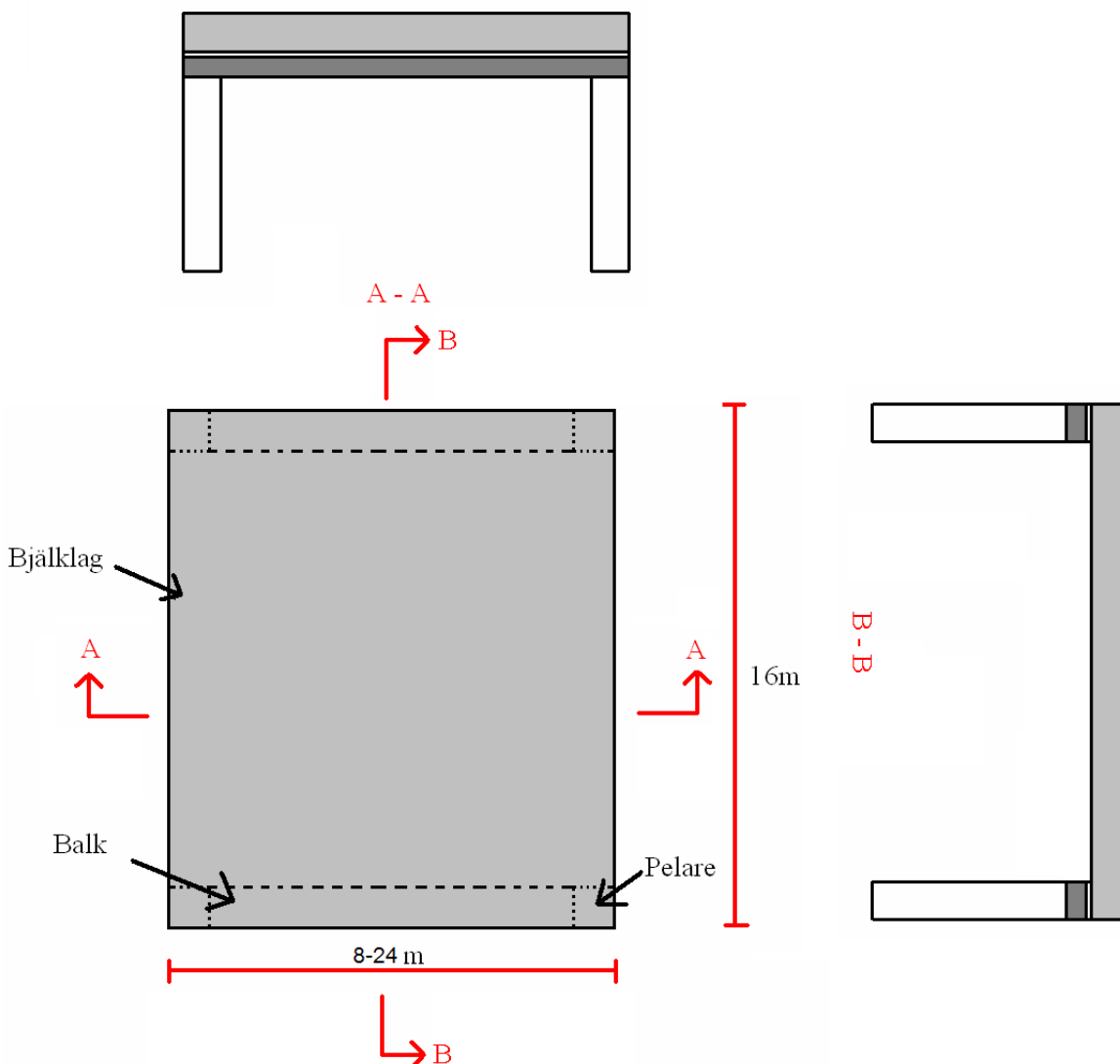
7.2.2 Slutsatser av balkar

Om pelarnas avstånd från varandra ska ökas, innebär det att balkarnas spännvidder också ökas, vilket medför även en ökning på konstruktionshöjden, d.v.s. balkarnas höjd. Vid laster i storleksordningen 15kN/m^2 , som förekommer i tag-självlagret, är det inte lämpligt att öka spännvidden, från 8m till 16m, eftersom det skulle innebära dubbla 1,5 meters höga balkar. När det gäller laster som är närmare 4kN/m^2 , blir konstruktionshöjden lika stor på 1,5m, dock behövs endast en singel balk. När balkhöjden är så pass stor, så innebär det att våningshöjden ökar, vilket leder till att huset får en högre total höjd. I vissa områden kan totalhöjden vara begränsad av kommunen och då måste andra lösningar hittas för att följa kraven.

8 Balktyper vid olika spännvidder och laster

Pelare står alltid ivägen för inredning av lokaler, därför vill man öka spännvidder på balkar och bjälklag för att minimera antal pelare i lokalerna. I detta kapitel dimensioneras betongbalkar för olika spännvidder i respektive avdelningar i varuhuset: self serv warehouse, show room och market hall. Dimensioneringen görs endast med betongbalkar som hittas i "Bygga med prefab" pärmen (1998). Andra lösningar med mindre konstruktionshöjder kan finnas.

Observera att det är spännvidderna på balkarna som undersöks (8, 12, 16, 20, 24m) och bjälklaget har samma spännvidd (16m), se figur 8.1. Beräkningarna redovisas utförligt i bilaga 4, 5 och 6.



Figur 8.1 Spännvidder på balkar och bjälklag

8.1 Self serv

Förutsättningar för tabell 8.1 är följande:

- Last 13 kN/m² (i Sverige)
- Bjälklagstyp: TT/F 240/60 130-190mm pågjutning
- Bjälklagsspännvidd 16m

Spännvidd balk	Balktyp	Konstruktions-höjd (mm)	Dimensionerade
8	IB/F 50/135	2080	Brottgränstillstånd
12	2x IB/F 50/150	2230	Brottgränstillstånd
16	Går ej	-	-

Tabell 8.1 Balktyper till följd av ökade spännvidder i self serv

8.2 Market hall

Förutsättningar för tabell 8.2 är följande:

- Last 5 kN/m²
- Bjälklagstyp: HD/F 40 70mm pågjutning
- Bjälklagsspännvidd 16m

Spännvidd balk	Balktyp	Konstruktions-höjd (mm)	Dimensionerade
8	FB/F 90/80 (IB/F 40/105)	1270 (1520)	Bruksgränstillstånd
12	IB/F 50/150	1970	Brott-, bruksgränstillstånd
16	2x IB/F 50/135	1820	Brott-, bruksgränstillstånd
20	2x IB/F 50/180	2270	Brott-, bruksgränstillstånd
24	Går ej	-	-

Tabell 8.2 Balktyper till följd av ökade spännvidder i market hall

Observera att övergången från spännvidden 12m till 16m innebär en lägre konstruktionshöjd, dock krävs dubbla balkar.

8.3 Show room

Förutsättningar för tabell 8.3 är följande:

- Last 4 kN/m²
- Bjälklagstyp: HD/F 40 70mm pågjutning
- Bjälklagsspännvidd 16m

Spännvidd balk	Balktyp	Konstruktionshöjd (mm)	Dimensionerade
8	FB/F 90/80 (IB/F 40/105)	1270 (1520)	Bruksgränstillstånd
12	IB/F 50/135	1820	Brott-, bruksgränstillstånd
16	2x IB/F 50/135	1820	Brott-, bruksgränstillstånd
20	2x IB/F 50/180	2270	Brott-, bruksgränstillstånd
24	Går ej	-	-

Tabell 8.3 Balktyper till följd av ökade spännvidder i show room

9 Sammanfattande slutsatser

Vid val av prefabricerade element bör det i regel väljas förspända element, eftersom de har högre lastkapacitet utan att öka konstruktionshöjd.

Prefabricerade bjälklag som har undersökts är TT-kassetten och håldäcksbjälklaget. TT-kassetten har bättre bärighet, men har samtidigt högre konstruktionshöjd. Därför ska konstruktörer alltid i första hand dimensionera efter ett håldäcksbjälklag, men om lasterna är för stora, väljs TT-kassetten.

Prefabricerade betongbalkar som har behandlats av detta arbete är följande:

- Rektangulära balkar (RB/F)
- Flänsbalkar (FB/F)
- Raka balkar med I-tvärsnitt (IB/F)

Alla dessa är förspända. Flänsbalkarna är de som väljs i första hand av konstruktörer eftersom de är delvis inbäddade i bjälklaget och resulterar till en lägre konstruktionshöjd. Däremot klarar inte dessa av lika stora laster som RB/F- och IB/F-balkarna. IB/F bygger mycket i höjd för att klara av längre spännvidder. De kan också förekomma som dubbla balkar för att utöka spännvidderna ytterligare.

Samverkanslösningar är alltid det bästa valet, vare sig det är en balk eller ett bjälklag, eftersom konstruktionshöjden reduceras. Samverkanslösningar medför en ökad produktionstid, eftersom det krävs ett lager av platsgjuten betong. Eftersom formarna får sitta kvar, blir byggtiden mindre än de traditionella platsgjutna elementen, där formarna tas bort efter att betongen har härdat.

Om tomten för bygget är stor, kan det vara smartast att låta tag-själv lagret byggas direkt på mark, eftersom det är det tyngsta utrymmet. En eventuell parkeringsvåning kan byggas över byggnaden med ett sidohus som bilarna kan köra upp för.

Mindre bjälklagshöjd kräver tätare avstånd mellan de bärande balkarna, mindre c/c-avstånd. För att inte minska pelaravstånden, väljs lösning med sekundärbalkar. Nackdelen med detta system är att det blir opraktiskt att dra installationer mellan balkarna, utan de dras istället under balkarna.

Källförtäckning

Internetkällor(bilder)

Tillgänglig:<http://www.finja.se>

Tillgänglig:http://www.finja.se/Page_____1001.aspx?PageID=92&
2010-04-20 14:03

Tillgänglig:<http://sbi.nu>

Tillgänglig:http://sbi.nu/omraden/o_dokument.asp?mId=1&kId=3&subKId=98&mgrp=0&dId=88
2010-04-20 11:44

Tillgänglig:<http://www.boendgen-baustoffe.de>

Tillgänglig:http://www.boendgen-baustoffe.de/hausbautipps/GESCHOSSDECKE/WSH_GESCHOSSDECKE.HTML
2010-04-20 11:33

Tillgänglig:<http://www.sjmab.se>

Tillgänglig:<http://www.sjmab.se/res/Produktbilder/imageipebe.jpg>
2010-04-19 10:12

Tillgänglig:<http://www.cbsnordic.se>

Tillgänglig:http://www.cbsnordic.se/file_source/Images/GlobalSweden/Produkt/Underkonstruktion/Samverkansprofil/samverkansprofil_iso.gif
2010-04-19 10:01

Tillgänglig:<http://www.solidcomponents.com>

Tillgänglig:<http://www.solidcomponents.com/company/companymain.asp?VisualID=6561&SCCC=SCCKP92HA&Lang=46&ClickLog=menu>
2010-04-15 13:37

Tillgänglig:<http://www.betongvaruindustrin.se>

Tillgänglig:http://betong.wss.avantime.se/ByggaMedPrefabBilder/images/imageLibraries/Bygga%20med%20prefab/s/bt_ilh_2.51_350.gif
2010-04-15 10:45

Tillgänglig:<http://swt.eu>

Tillgänglig:http://swt.eu/svenska/main.htm?http://www.swt.eu//svenska/docs/s_syst.htm
2010-04-13 15:54

Tillgänglig:<http://byggkatalogen.byggstjanst.se>

Tillgänglig:http://byggkatalogen.byggstjanst.se/skandinaviska_byggelement_ab/skandinaviska_byggelement_plattbarlag_plattbarlagsbalk/makethumbnail/w200h300/hamlet/119066/itempics/Plattb%C3%A4rlag.jpg

2010-04-13 08:17

Tillgänglig:<http://www.svenskbetong.se>

Tillgänglig:<http://www.betongvaruindustrin.se/sv/Bygga-med-prefab/?Chapter=81>

2010-04-12 09:58

Tillgänglig:<http://kynningsrud.se>

Tillgänglig:[http://kynningsrud.se/kunder/kynningsrud/kynncmsse.nsf/\\$all/D3B6A3064FCEA82FC12571FC0031CAF9](http://kynningsrud.se/kunder/kynningsrud/kynncmsse.nsf/$all/D3B6A3064FCEA82FC12571FC0031CAF9)

2010-04-12 09:57

Tillgänglig:<http://www.conpave.se>

Tillgänglig:http://www.conpave.se/bilder/balkgrund/balkgrund_stor.jpg

2010-04-12 09:56

Tillgänglig:<http://www.byggfaktadocu.se>

Tillgänglig:http://www.byggfaktadocu.se/10/company/08/44/52/product269637_10.html

2010-04-12 09:56

Tillgänglig: <http://www.ecourses.ou.edu>

Tillgänglig:<http://www.ecourses.ou.edu/ebook/mechanics/ch03/sec032/media/d3221.gif>

2010-04-12 09:55

Tillgänglig:<http://www.orgryteskolor.nu>

Tillgänglig:<http://www.orgryteskolor.nu/anasskola/praktik/Teknik/skruvar/skrugar.htm>

2010-05-05 14:32

Böcker

Isaksson, T., Mårtensson, A. & Thelandersson, S. (2005). *Byggkonstruktion*. Lund: Studentlitteratur

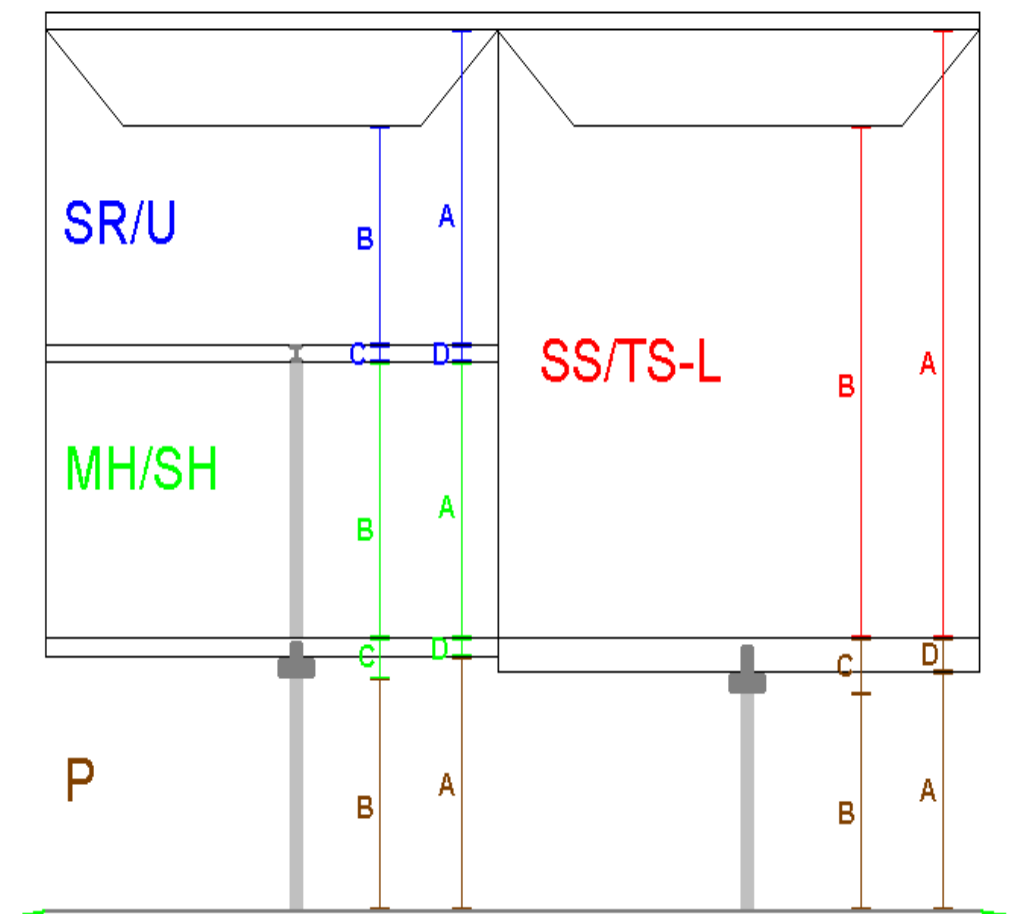
Isaksson, T. & Mårtensson, A. (2008). *Byggkonstruktion: regel- och formelsamling*. 1. uppl. Lund: Studentlitteratur

Platsgjutna stommar (1991). Ekonomi, tider, kvaliteter. Bromma: Svenska fabriksbetongfören.

Bygga med prefab: en handbok i teknik, estetik, kvalitet, ekonomi, miljö. (1998). Bromma: Betongelementföreningen

Bilagor

Bilaga 1



Bilden förklarar måtten A, B, C, D i tabellerna nedan.

- A: Färdigt golv till underkant bjälklag
- B: Färdigt golv till underkant balk/fackverk
- C: Underkant balk till färdigt golv
- D: Underkant bjälklag till färdigt golv

Enheter i tabellerna nedan:

Spännvidderna är i enheten meter (m).

Pelarmått är i enheten millimeter (mm).

A, B, C, D måtten är i enheten millimeter (mm).

Plus-höjderna är i enheten meter (m).

SELF SERV / TS-LAGER (13kN/m2)									
Spännvidder	Bjälklag	Balk	Pelare	Plan	A	B	C	D	Plus-höjd
16\8	Prefab betong + 130-190mm TT/F 240/60	Prefab betong + 150mm FB/F 80/84-24	16\8	1	9.934-10.682	8.120	1.050	810	FG=+4,17
16\8	JAPAN-KOBE	-	-	0	11.350 11.500	10.300 11.060, 11.104	-	-	FG=0
12,192\9,144	USA-CHARLOTTE	-	-	0	ca 10,600mm Sektion behövs	ca 10,000mm Sektion behövs	-	-	FG=0
16\8	GERMANY-FRANKFURT	Plattbarlag + 100 fiberarm b/g 300mm Filigranbjälklag	Prefab? Platsgütert? UZ 50/148 (920 - 1580)	16\8	3	10.850	9.500	2.080 1.420?	500 FG=+9,34
16\8	JAPAN-SHINIMISATO	-	-	0	10.805-11.341	10.608-11.148	-	-	FG=0

MARKET HALL / SALUHALL (5kN/m2)									
Spännvidder	Bjälklag	Balk	Pelare	Plan	A	B	C	D	Plus-höjd
16\8	Prefab betong HD/F 40	Prefab betong FB/F 80/70-30	16\8	1	4.570	4.570	770	470	FG=+4,17
16\8	JAPAN-KOBE	-	-	0	5.500	4.600, 5.104	-	-	FG=0
12,192\9,144	USA-CHARLOTTE	-	-	0	ca 4,865 mm Sektion behövs	ca 4,535 mm Sektion behövs	-	-	FG=0
16\8	GERMANY-FRANKFURT	Plattbarlag + 100 fiberarm b/g 300mm Filigranbjälklag	Prefab? Platsgütert? UZ 50/148 (720 - 1380)	16\8	3	5.150	4.510	1.880 1.220	500 FG=+9,34
16\8	JAPAN-SHINIMISATO	-	-	0	4.545	4.245	-	-	FG=0

SHOW ROOM / UTSTÄLLNING (4kN/m ²)										
Spännvidder	Bjälklag	Balk	Pelare	Pla	A	B	C	D	Plus-höjd	
16\8	Prefab betong HD/F 38	Samverksambalk Häribalk: Delta-balk	16\8 400x400	2	4.600	3.100	450	450	FG=+9,19	
16\8	Platsgutet	PriL Spv16m: I-balk h900*h300 C/C 8m. SEK: Spv8m: I-balk h900*h300 CC 16m, I-balk h396*199 CC 3,2m	16\8 VKR 600x600 (C1)	1	5.650 5.800	4.750 5.360, 5.404	1.100 1.100, 596	200	FG=+5,70	
12,192\9,144	Platsgutet	PriL Spv9m: W24x62(34)(4)(34)(c=3/4) C/C 12m. (I-Balk) SEK: Spv12m: W21x44(36)(c=1/2) C/C 3m. (I-Balk)	12,192\9,144 TS8x6x3/8? C15	1	ca 5,570mm	ca 4,970mm	ca 500mm	ca 170mm	FG=+5,03	
16\8	Samverksambälklag på betong. Höjtkörperdecke + 100 fiberarm bitg	Prefab? Platsgutet? U7 50/130 (640 - 1300)	16\8 500x500	4	4.490	3.984	1.660	360	FG=+14,85	
16\8	Platsgutet	X-led: G2 spv=16m, C/C 8m. Y-led: G11 spv=8m, C/C 16m. (I-Balk)	16\8 400x400	1	6.040	5.740	1.055	755	FG=+5,30	

PARKING / PARKERING 1 (XkN/m ²)										
Spännvidder	Bjälklag	Balk	Pelare	Plan	A	B	C	D	Plus-höjd	
16\8	-	-	-	0	TS-3360 SH-3700	TS-3120 SH-3400	-	-	FG=0	
16\8	Platsgutet	PriL Spv16m: I-balk h900*h300 C/C 8m. SEK: Spv8m: I-balk h440*h300 CC 16m, I-balk h396*199 CC 3,2m	16\8 VKR 600x600 (C1)	2	3.700 3.700	3.100 3.100, 3.304	1.100 640, 596	200	FG=+11,55 FG=+11,7	
12,192\9,144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
USA-CHARLOTTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16\8	-	-	-	0	3.964-4.196	3.010	-	-	FG=0	
GERMANY-FRANKFURT	-	-	-	-	-	3.620	-	-	-	
16\8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
JAPAN-SHINJIMISATO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

PARKING / PARKERING 2 (XKN/m2)												
Spännvidder	Bjälklag	Balk	Pelare	Plan	A	B	C	D	Plus-höjd			
16\8	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
SWEDEN-HELSINGBORG	Platsgutet	Ppl. Spv16m: l-balk h600*b300 C/C 8m.	16\8	-	-	2.780-3.420	800	-	-			
JAPAN-KOBE	Traditionell formsättning	SEK. Spv8m: l-balk h600*b300 CC 16m, l-balk h396*199 CC 3,2m.	VKR 600x600 runt H-balk 400x400 (C1)	3	3.380-4.020	3.000 3.204	800 596	200	FG=+15,6			
12.192\9.144	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
USA-CHARLOTTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
16\8	Platbarlag + 10 asfalt	Pretab? Platsgutet?	16\8	1	4.616-4.384	3.464-3.696	604-836	260	FG=+4.22-4.46			
GERMANY-FRANKFURT	250mm Filigranbjälklag	UZ 50/95-119 (344 - 954) (576 - 1.186)	500x1000	1	4.616-4.384	3.464-3.696	604-836	260	FG=+4.22-4.46			
16\8	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
JAPAN-SHINIMISATO	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

PARKING / PARKERING 3 (XKN/m2)												
Spännvidder	Bjälklag	Balk	Pelare	Plan	A	B	C	D	Plus-höjd			
16\8	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
SWEDEN-HELSINGBORG	Platsgutet	Ppl. Spv16m: l-balk h600*b300 C/C 8m.	16\8	-	-	-	850	250	FG=+19,1-19,7			
JAPAN-KOBE	Traditionell formsättning	SEK. Spv8m: l-balk h600*b300 CC 16m, l-balk h396*199 CC 3,2m.	VKR 600x600 runt H-balk 400x400 (C1)	4	-	-	800 596 200	FG=+19,4	-			
12.192\9.144	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
USA-CHARLOTTE	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
16\8	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
GERMANY-FRANKFURT	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
16\8	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
JAPAN-SHINIMISATO	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

Bilaga 2

Bilaga 2 innehåller fakta och beräkningar skapade av Thomas Pettersson, konstruktör på Strängbetong.

Strängbetong är en av de ledande i prefab-industrin i Sverige.

Frågor till Strängbetong

Spännvidder: IKEA har spännvidderna 8/16 (8 m balk 16 m bjälklag). Dessa balkar och bjälklag är i betong dock förekommer samverkansbalkar och pelare på sina håll. Vad skulle det innebära om man ökar dessa spännvidder till det dubbla?

Svar: Dubblering av bjälklagets spännvidd (HD/F eller TT/F) är inte möjlig utan att helt byta system och använda sekundär- och primärbalkar i stället.

Balkarna spännvidd skulle däremot kunna ökas (dubbleras).

Uppskattning av last: $q_d \approx (5 + 2 + 1 + 1.3 \cdot 15) \cdot 8 = 220 \text{ kN/m}$ -

Brottgräns $q_d \approx (5 + 2 + 1 + 1.3 \cdot 4) \cdot 8 = 105.6 \text{ kN/m}$ - Brottgräns

$M_d = 220 \cdot 8 \cdot 8 / 8 = 1760 \text{ kNm}$ (exkl. balkens egentyngd) En möjlig balkprofil ligger kring minst RB/F 50/90

$M_d = 105.6 \cdot 8 \cdot 8 / 8 = 844.8 \text{ kNm}$ (exkl. balkens egentyngd)
Motsvarar t.ex. en balk RB/F 40/70 (B= 400 mm, H = 700 mm)

Genom att dubblera spännvidden fås:

$M_d = 220 \cdot 16 \cdot 16 / 8 = 7040 \text{ kNm}$ (exkl. balkens egentyngd) Momentet är så stort att det skulle krävas dubbla balkar, t.ex. 2*IB/F 50/150.

$M_d = 105.6 \cdot 16 \cdot 16 / 8 = 3379 \text{ kNm}$ (exkl. balkens egentyngd)
Detta skulle kräva en IB/F i storleksordningen 40/150. Dvs. en balk som är 1.5 m hög.

Konsekvenser av större dimensioner: Vad innebär det när man ökar dimensionerna hos ett håldäck eller en TT-kassett annat än egentytningen ökar samt dimensionen ändras? Hur mycket mer förspänt blir ett 32 meters bjälklag än ett 16 meters? Lasterna rör sig mellan 4 KN/m² till 15 KN/m².

Svar: Ett bjälklag med 16 - 18 m spännvidd går att klara med HD/F 120/40 om lasten begränsas till 4 kN/m². Om lasten däremot är 15 kN/m² bör spännvidden begränsas till ca 12 – 13 m. För båda gäller ett 400 mm högt håldäck med ungefär lika mycket armering. Det är tillåtet enligt standarden att tillverka 500 mm höga håldäck och det ger sannolikt ca 2m längre spännvidd.

Om vi använder TT/F i stället kan spännvidd och lastkapacitet öka men inte till ens i närheten av 32 m. En spännvidd på 20-21 m kan klaras av med TT/F 240/60 med 100 mm samverkande pågjutning om lasten begränsas till 4 kN/m². Om plattans höjd får ökas till 800 mm kan spännvidden ökas till ca 23-24 m. Med den stora lasten bör TT/F 240/60 + 100 mm samverkande pågjutning inte ha längre spännvidd än ca 16 m. Det är lite grovt och kan säkert justeras något men bör stämma i stora drag.

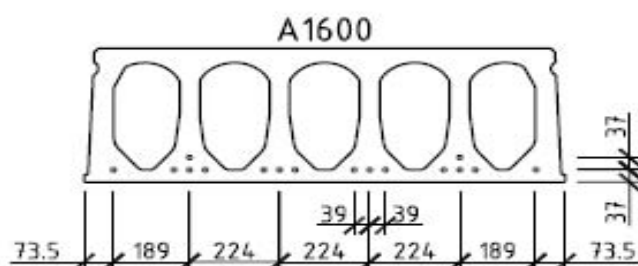
För både HD/F och TT/F gäller att det blir brukslasten (deformationer o sprickor) som dimensionerar vid stora laster och/eller långa spännvidder. Brottlasten ligger betydligt högre.

Kommentar:

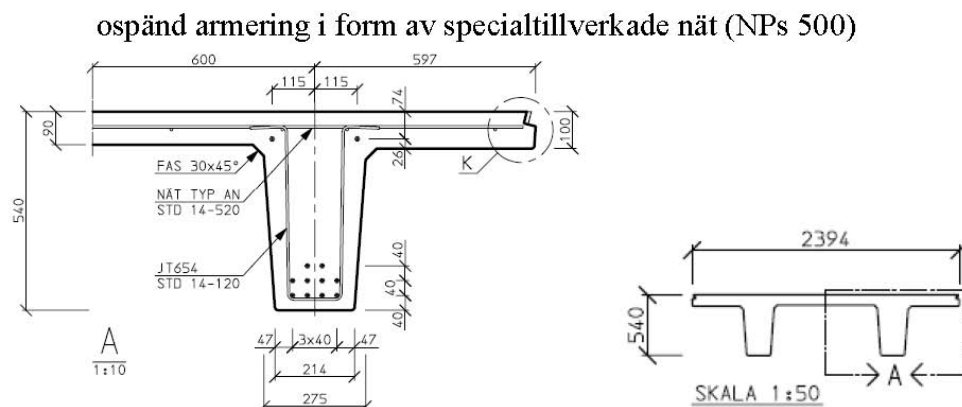
Balkspännvidder på 16 m är ingen bra lösning om lasten skall vara så stor som 15 kN/m². För laster kring 4-5 kN/m² bör det däremot vara möjligt. Dock måste man vara medveten om att det blir stor konstruktionshöjd. En möjlighet vore kanske att använda kontinuerliga balkar för att få ner konstruktionshöjden.

Armering: Vilken typ av armering använder man sig av, samt förekommer fiberarmerade håldäck eller TT-kassetter? Är bjälklagselementen eller balkarna över- eller underarmerade?

Svar: I håldäck används spännlinor (Y1860S7) i dimensionerna 12.9 resp. 9.3 mm. Linorna finns endast i livet och spänns normalt upp så att tvärsnittet förblir



Även TT/F armeras med spännlinor i plattans liv. I huvudsak finns linorna i underkant men ett mindre antal placeras ofta i överkant för att motverka betongtryckpåkänningen i uk vid elementets ändor. Uppe i däckets finns även ospänd armering i form av specialtillverkade nät (NPs 500)



För både håldäck och TT-kassetter gäller att de är ”underarmerade”. Dvs. att böjarmeringen går till brott före betongen. Så vitt jag vet används inte fiberarmering i vare sig HD/F eller TT-kassetter. Fiberarmering har provats, speciellt i TT/F men inte blivit någon standardprodukt.

Internationellt: Hur ser andra länders motsvarigheter till håldäck, TT-kassetter ut. Har de samma kvalitet som er?

Svar:

Det används och tillverkas både håldäck och TT-kassetter i många andra länder. När det gäller TT-kassetterna så ser de i princip likadana ut överallt. Det skiljer lite i utformningen av sektionen och elementbredd men det gör det även mellan de olika företagen i Norden. Strängbetong tillverkar endast förspända TT/F medan andra företag även gör slakarmerade TT.

Håldäckselementen kan se mycket olika ut beträffande hålskanalernas utformning. Det viktiga är att de uppfyller standarden för håldäck och går att tillverka på ett rationellt sätt

Alternativ till TT-kassetter och håldäck: Erbjuder ni några andra lösningar eller alternativ till TT-kassetter eller håldäck? Vad är fördelen med att välja prefabricerade element gentemot platsgjutna alternativ?

Svar: HD/F är ofta första valet för inte allt för stora utbredda laster. Om det är stora punktlaster från fordon, truckar eller lagerhyllsystem är pågjutna TT/F att föredra eftersom genomstansningskapaciteten är högre.

Det finns även möjlighet att använda homogena plattor, med eller utan samverkande överbetong i stället för håldäck där inte lasten är för stor. Även s.k. filigranbjälklag är möjligt att använda.

Den stora fördelen med Prefab är att monteringen, dvs. arbetet på byggplatsen går mycket fortare. Det går snabbare att få upp en tät stomme med prefabricerade element jmf med platsgjutning.

Bilaga 3

Ordlista

TT/F 240/60

Förspänt TT-bjälklag (B=2400mm, H= 600mm)

FB/F 80/84-24

Dubbelsidig förspänd flänsbalk med total bredd 800 mm
höjd 840mm flänshöjd 240 mm

HD/F 120/40

Förspänt håldäcksbjälklag (B=1200mm, H=400 mm)

RB/F 40/70

Förspänd rektangulär betongbalk (B= 400 mm, H=700 mm)

IB/F 40/150

Förspänd rak balk med I-tvårsnitt (B=400mm, H=1500mm)

VKR 60x60

Varmformade konstruktionsrör, kvadratiska/rektangulära ihåliga
varmbearbetade stålprofiler (B=60mm, H=60mm)

Spänning

Kraft dividerat med area N/A

Gränstöjning

Vad materialet klarar av att töja sig fram tills det når brottgräns

Brotttöjning

Vad materialet klarar av att töja sig fram tills det ”ger upp” och släpper

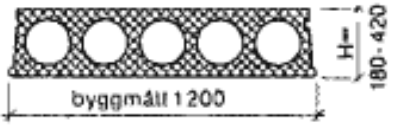
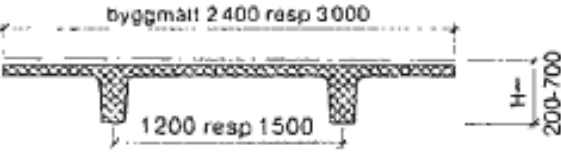
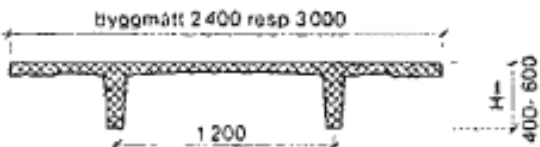


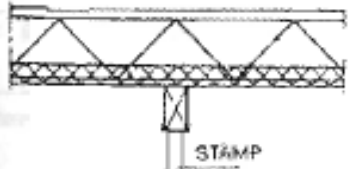
Prefabricerat

Förtillverkade material

Deformation

Avvikelse i ett material

Bjälklags typer

Produkt	Exempel på användning	Spännvidd (m)	Bärförmåga (kN/m ²)
<p>Förespända hållplattor HD/F</p> 	Bjälklag för måttliga laster i bostadshus, skolor, kontor eller lättare industrier	4 - 18	5
<p>Förespända TT-bjälklag TT/F</p> 	Bjälklag för stora laster i industrier, lager, parkeringshus, sjukhus, affärshus	4 - 22	> 5
<p>Förespända TT-takplattor TT/FT</p> 	Takplattor i industrier, lager, varuhus och sporthallar	10 - 22	2
<p>Förespända plana massiva plattor D/F</p> 	Bjälklagsplattor för måttliga laster i bostäder, kontor och skolor	6 - 9,6	4
<p>Slakarmerade massiva plattor, D</p> 	Bjälklagsplattor för måttliga laster i bostäder, kontor och skolor	3 - 6	4
<p>Slakarmerade plattbärlag: För samverkande pågjutning. Standardbredd 2400 mm, plattjocklek ≥ 15 mm. Bjälklagsjocklekar valfritt lika platsgjutet.</p>	Bjälklag för användningsområden lika platsgjutet	2 - 8	Lika platsgjutet
<p>Spännarmerade plattbärlag: För samverkande pågjutning. Standardbredd 1200 mm, plattjocklek ≥ 70 mm. Bjälklagsjocklekar valfritt lika platsgjutet.</p> 	Bjälklag för användningsområden lika platsgjutet	5 - 10,5	Bättre än platsgjutet

(Isaksson, T., Mårtensson, A. & Thelandersson, S. 2005):131)

Bilaga 4

Dimensionering av balkar till följd av ökade längder på balkarna, ökad spännvidd:

Sverige – Self serv warehouse (SS) bärs upp av TT/F 240/60 + 130-190mm pågjutning. (Total bjälklagskonstruktion = 730mm)

Pågjutning:

$$0,190 \times 24 = 4,56 \text{ kN/m}^2$$

(Pågjutningens höjd \times pågjutningens densitet)

Installationer:

Uppskattat till $0,5 \text{ kN/m}^2$

Brottgränstillstånd:

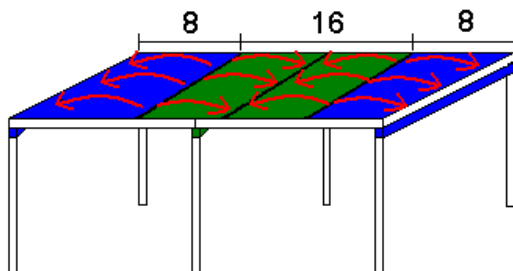
$$q_d^{\text{brott}} = 1.0(G_k) + 1.3(Q_k) \rightarrow q_d = 1.0(4,56 + 0,5 + 3,9) + 1,3(13) = 25,86 \text{ kN/m}^2$$

(3,9 är egentvyngheden på en TT/F 240/60, enligt *Bygga med prefab, Bjälklag och tak, s11*)

(13 är den nyttiga lasten på TS-lagret)

Eftersom bjälklaget kommer att spänna över 16m på samtliga beräkningar, så multipliceras lasten med 16, för att få den last som varje innerbalk kommer att belastas med, se figur 1.

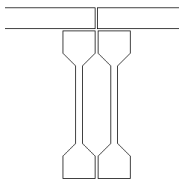
$$\rightarrow 25,86 \cdot 16 = 413,76 \text{ kN/m}$$



Figur 1 Innerbalken tar last från det gröna området på 16m.

För dubbel IB/F balk blir det följande (se figur 2):

$$\rightarrow 25,86 \cdot 8 = 206,82 \text{ kN} / \text{m}$$



Figur 2 Dubbla IB/F balkar.

Bruggränstillstånd:

$$q_d^{bruk} = 1,0(G_k) + 1,0(Q_k \cdot \Psi) \rightarrow q_d = 1,0(4,56 + 0,5 + 3,9) + 1,0(13 \cdot 0,5) = 15,46 \text{ kN} / \text{m}^2$$

(0,5 är redaktionsfaktor för den nyttiga lasten på Self serv warehouse)

$$\rightarrow 15,46 \cdot 16 = 247,36 \text{ kN} / \text{m}$$

$$\rightarrow 15,46 \cdot 8 = 123,68 \text{ kN} / \text{m}$$

Dimensionering med hänsyn till moment vid olika spännvidder av balkar:

Brottgränstillstånd:

8m
$$M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{413,76 \cdot 8^2}{8} = 3310,08 \text{ kNm}$$

Balkprofil: IB/F 50/135 (Bygga med prefab, Pelare och balk, s31)

12m
$$M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{413,76 \cdot 12^2}{8} = 7447,68 \text{ kNm}$$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{206,82 \cdot 12^2}{8} = 3722,76 \text{ kNm}$$

Balkprofil: 2x IB/F 50/150

16m $M_d = \frac{413,76 * 16^2}{8} = 13.240,32kNm$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{206,82 * 16^2}{8} = 6618,24kNm$$

Balkprofil: Går inte heller!

Brukgränstillstånd:

8m $M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{247,36 * 8^2}{8} = 1978,88kNm$

Balkprofil: IB/F 40/150

12m $M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{247,36 * 12^2}{8} = 4452,48kNm$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{123,68 * 12^2}{8} = 2226,24kNm$$

Balkprofil: 2x IB/F 50/135

16m Eftersom det inte tillverkas någon prefabricerad balk som klarar av lasten vid brottsgränstillståndet, så är det inte heller lönt att beräkna vid brukgränstillståndet...

Resultat:

8m → IB/F 50/135
(Brottgränstillståndet är dimensionerande)

12m → 2x IB/F 50/150
(Brottgränstillståndet är dimensionerande)

16m → Går ej!

Bilaga 5

Dimensionering av balkar till följd av ökade längder på balkarna, ökad spännvidd:

Sverige – Market hall (MH) bärs upp av HD/F 40 + 70mm pågjutning. (Total bjälklagskonstruktion = 470mm)

Pågjutning:

$$0,070 \times 24 = 1,68 \text{ kN/m}^2$$

(Pågjutningens höjd \times pågjutningens densitet)

Installationer:

$$\text{Uppskattat till } 0,5 \text{ kN/m}^2$$

Brottgränstillstånd:

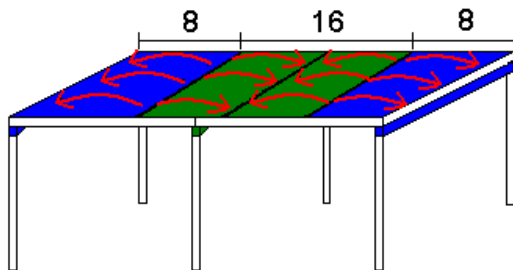
$$q_d^{brott} = 1.0(G_k) + 1.3(Q_k) \rightarrow q_d = 1.0(1,68 + 0,5 + 4,6) + 1,3(5) = 13,28 \text{ kN/m}^2$$

(4,6 är egentyngheden på en HD/F 38, enligt Bygga med prefab, Bjälklag och tak, s3. I Sverige användes HD/F 40, men det skiljer sig lite eftersom det är ett håldäck.)

(5 är den nyttiga lasten på TS-lagret)

Eftersom bjälklaget kommer att spänna över 16m på samtliga beräkningar, så multipliceras lasten med 16, för att få den last som varje innerbalk kommer att belastas med, se figur 1.

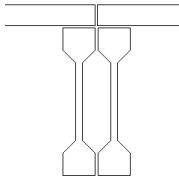
$$\rightarrow 13,28 \cdot 16 = 212,48 \text{ kN/m}$$



Figur 1 Innerbalken tar last från det gröna området på 16m.

För dubbel IB/F balk blir det följande (se figur 2):

$$\rightarrow 13,28 \cdot 8 = 106,24 \text{ kN} / \text{m}$$



Figur 2 Dubbla IB/F balkar.

Brukgränstillstånd:

$$q_d^{bruk} = 1.0(G_k) + 1.0(Q_k \cdot \Psi) \rightarrow q_d = 1.0(1,68 + 0,5 + 4,6) + 1,0(5 \cdot 0,5) = 9,28 \text{ kN} / \text{m}^2$$

(0,5 är redaktionsfaktor för den nyttiga lasten på TS-lagret)

$$\rightarrow 9,28 \cdot 16 = 148,48 \text{ kN} / \text{m}$$

$$\rightarrow 9,28 \cdot 8 = 74,24 \text{ kN} / \text{m}$$

Dimensionering med hänsyn till moment vid olika spännvidder av balkar:

Brottgränstillstånd:

$$8\text{m} \quad M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{212,48 \cdot 8^2}{8} = 1699,84 \text{ kNm}$$

Balkprofil: FB/F 80/80 (IB/F 40/105)

$$12\text{m} \quad M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{212,48 \cdot 12^2}{8} = 3824,64 \text{ kNm}$$

Balkprofil: IB/F 50/150

16m $M_d = \frac{212,48 * 16^2}{8} = 6799,36kNm$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{106,24 * 16^2}{8} = 3399,68kNm$$

Balkprofil: 2x IB/F 50/135

20m $M_d = \frac{212,48 * 20^2}{8} = 10624kNm$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{106,24 * 20^2}{8} = 5312kNm$$

Balkprofil: 2x IB/F 50/180

24m $M_d = \frac{212,48 * 24^2}{8} = 15298,56kNm$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{106,24 * 24^2}{8} = 7649,28kNm$$

Balkprofil: Går inte heller!

Brukgränstillstånd:

8m $M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{148,48 * 8^2}{8} = 1187,84kNm$

Balkprofil: FB/F 90/80 (IB/F 40/105)

12m $M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{148,48 * 12^2}{8} = 2672,64kNm$

Balkprofil: IB/F 50/150

16m

$$M_d = \frac{148,48 * 16^2}{8} = 4751,36kNm$$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{74,24 * 16^2}{8} = 2375,68kNm$$

Balkprofil: 2x IB/F 50/135

20m

$$M_d = \frac{148,48 * 20^2}{8} = 7424kNm$$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{74,24 * 20^2}{8} = 3712kNm$$

Balkprofil: IB/F 50/180

24m

$$M_d = \frac{148,48 * 24^2}{8} = 10690,56kNm$$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{74,24 * 24^2}{8} = 5345,28kNm$$

Balkprofil: Går inte heller!

Resultat:

8m → FB/F 90/80 (IB/F 40/105)

(Bruksgränstillståndet är dimensionerande)

12m → IB/F 50/150

(Båda bruks- och brottgränstillståndet är dimensionerande)

16m → 2x IB/F 50/135

(Båda bruks- och brottgränstillståndet är dimensionerande)

20m → 2x IB/F 50/180

(Båda bruks- och brottgränstillståndet är dimensionerande)

24m → Går ej!

Bilaga 6

Dimensionering av balkar till följd av ökade längder på balkarna, ökad spännvidd:

Sverige – Show room (SR) bärs upp av HD/F 40 + 70mm pågjutning. (Total bjälklagskonstruktion = 470mm)

Pågjutning:

$$0,070 \times 24 = 1,68 \text{ kN/m}^2$$

(Pågjutningens höjd \times pågjutningens densitet)

Installationer:

$$\text{Uppskattat till } 0,5 \text{ kN/m}^2$$

Brottgränstillstånd:

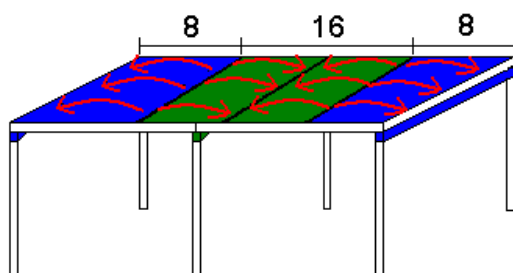
$$q_d^{\text{brott}} = 1.0(G_k) + 1.3(Q_k) \rightarrow q_d = 1.0(1,68 + 0,5 + 4,6) + 1,3(4) = 11,98 \text{ kN/m}^2$$

(4,6 är egentyngheden på en HD/F 38, enligt Bygga med prefab, Bjälklag och tak, s3. I Sverige användes HD/F 40, men det skiljer sig lite eftersom det är ett håldäck.)

(4 är den nyttiga lasten på TS-lagret)

Eftersom bjälklaget kommer att spänna över 16m på samtliga beräkningar, så multipliceras lasten med 16, för att få den last som varje innerbalk kommer att belastas med, se figur 1.

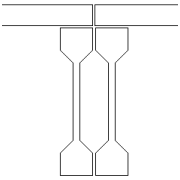
$$\rightarrow 11,98 \cdot 16 = 191,68 \text{ kN/m}$$



Figur 1 Innerbalken tar last från det gröna området på 16m.

För dubbel IB/F balk blir det följande (se figur 2):

$$\rightarrow 11,98 \cdot 8 = 95,84 \text{ kN} / \text{m}$$



Figur 2 Dubbla IB/F balkar.

Brugränstillstånd:

$$q_d^{bruk} = 1.0(G_k) + 1.0(Q_k \cdot \Psi) \rightarrow q_d = 1.0(1,68 + 0,5 + 4,6) + 1,0(4 \cdot 0,5) = 8,78 \text{ kN} / \text{m}^2$$

(0,5 är redaktionsfaktor för den nyttiga lasten på TS-lagret)

$$\rightarrow 8,78 \cdot 16 = 140,48 \text{ kN} / \text{m}$$

$$\rightarrow 8,78 \cdot 8 = 70,24 \text{ kN} / \text{m}$$

Dimensionering med hänsyn till moment vid olika spännvidder av balkar:

Brottgränstillstånd:

8m
$$M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{191,68 \cdot 8^2}{8} = 1533,44 \text{ kNm}$$

Balkprofil: FB/F 90/70 (IB/F 40/105)

12m
$$M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{191,68 \cdot 12^2}{8} = 3450,24 \text{ kNm}$$

Balkprofil: IB/F 50/135

$$16\text{m} \quad M_d = \frac{191,68 * 16^2}{8} = 6133,76\text{kNm}$$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{95,84 * 16^2}{8} = 3066,88\text{kNm}$$

Balkprofil: 2x IB/F 50/135

$$20\text{m} \quad M_d = \frac{191,68 * 20^2}{8} = 9,584\text{kNm}$$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{95,84 * 20^2}{8} = 4792\text{kNm}$$

Balkprofil: 2x IB/F 50/180

$$24\text{m} \quad M_d = \frac{191,68 * 24^2}{8} = 13800,96\text{kNm}$$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{95,84 * 24^2}{8} = 6900,48\text{kNm}$$

Balkprofil: Går inte heller!

Brukgränstillstånd:

$$8\text{m} \quad M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{140,48 * 8^2}{8} = 1123,84\text{kNm}$$

Balkprofil: FB/F 90/80 (IB/F 40/105)

12m

$$M_d = \frac{ql^2}{8} \rightarrow M_d = \frac{140,48 * 12^2}{8} = 2528,64kNm$$

Balkprofil: IB/F 50/135

16m

$$M_d = \frac{140,48 * 16^2}{8} = 4495,36kNm$$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{70,24 * 16^2}{8} = 2247,68kNm$$

Balkprofil: 2x IB/F 50/135

20m

$$M_d = \frac{140,48 * 20^2}{8} = 7024kNm$$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{70,24 * 20^2}{8} = 3512kNm$$

Balkprofil: 2x IB/F 50/180

24m

$$M_d = \frac{140,48 * 24^2}{8} = 10114,56kNm$$

Balkprofil: Går ej!

För dubbla balkar:

$$M_d = \frac{70,24 * 24^2}{8} = 5057,28kNm$$

Balkprofil: Går inte heller!

Resultat:

- 8m → FB/F 90/80 (IB/F 40/105)
(Bruksgränstillståndet är dimensionerande)
- 12m → IB/F 50/135
(Båda bruks- och brottgränstillståndet är dimensionerande)
- 16m → 2x IB/F 50/135
(Båda bruks- och brottgränstillståndet är dimensionerande)
- 20m → 2x IB/F 50/180
(Båda bruks- och brottgränstillståndet är dimensionerande)
- 24m → Går ej!