

**Skanska Teknik AB**

**SBUF-projekt  
Svikt i träbjälklag**

Anders Ferm  
Ene Lindén

## Förord

Eftersom trenden inom arkitekturen går mot öppna planlösningar utan mellanväggar och balkar, börjar det traditionella enkla sättet att bygga bjälklag i villor få problem. Dels börjar det bli svårt med brott- och brukslasten men det är oftast svikten som blir dimensionerande.

Vi har nu titta beräkningsmässigt på ett antal förstärkningsalternativ för att minska sviktproblemen.

Göteborg, 15 september 2005

Skanska Teknik AB

Anders Ferm  
Ene Lindén

## Sammanfattning

I småhus har det dominerande materialet i mellanbjälklag varit vanliga träbalkar 45x220 s600, i hållfasthetsklass K12. Men när trenden går mot mer öppna planlösningar och längre spännvidder räcker detta bjälklag inte till.

När spännvidderna blir längre räcker det inte längre att titta på dom vanliga lastfallen i brott- och bruksgränstillstånd utan man måste titta på svikt också. Detta har vi gjort med den förenklade metoden enligt Boverkets skrift "Svängningar deformationspåverkan och olyckslast". Dels beräknar man det statiska kriteriet när en punktlast på 1 kN belastar en fritt upplagd balk i mitten och nedböjningen får vara max 1,5 mm. Sen beräknar man det dynamiska kriteriet där man går in i ett diagram och läser av om bjälklagets impulshastighetsrespons är godtagbar.

Vi har beräknat ett antal olika bjälklagsvarianter med de beräkningsprogram vi har att tillgå. Vi har även gjort ett eget Excelblad där vi beräknar statiskt och dynamiskt sviktkriterium. Dessa värden har vi redovisat i tabellform för ett bjälklag med spännvidd 4,5 m.

Kostnads kalkylerna har tagits fram av en erfaren byggkalkylator för de olika bjälklagsalternativen. Svikt och kostnad för respektive bjälklag redovisas i diagramform.

Tar man även hänsyn till att bjälklaget skall klara brottgränslast så är det billigare att sála på K30virke samt förtäta det till s400 och s300 än att göra andra åtgärder.

Ett oväntat resultat av beräkningarna är att s300 ger mer svikt än s400. Detta kan man undersöka i nästa projekt. Troligtvis beror det på att beräkningsmodellen tar för liten hänsyn till lastspridning mellan balkarna.

Att förstärka balkarna med bandjärn gav en förvånansvärd liten effekt, medan en 38 mm spånskiva gav god effekt men var för dyr.

## Innehåll

|   |    |
|---|----|
| Förord  | 2  |
| Sammanfattning  | 3  |
| Innehåll  | 4  |
| 1. Materialet trä   | 5  |
| 2. Kriterier  | 5  |
| 2.1 Statiskt sviktkriterium   | 5  |
| 2.2 Dynamiskt sviktkriterium  | 5  |
| 3. Beräkningsförutsättningar  | 6  |
| 3.1 Indata  | 6  |
| 4. Beräkningsmodeller   | 7  |
| 4.1 Ecobalk   | 7  |
| 4.2 Ramanalys   | 7  |
| 4.3 Fem analys  | 7  |
| 4.4 Egenutvecklad Excel-fil för statiskt och dynamiskt sviktkriterium | 7  |
| 5. Valda alternativ   | 8  |
| 5.1 Alt 0   | 8  |
| 5.2 Alt 1A  | 9  |
| 5.3 Alt 1B  | 10 |
| 5.4 Alt 1C  | 11 |
| 5.5 Alt 2A  | 12 |
| 5.6 Alt 2B  | 13 |
| 5.7 Alt 2C  | 14 |
| 5.8 Alt 2D  | 15 |
| 5.9 Alt 2E  | 16 |
| 5.10 Alt 3A   | 17 |
| 5.11 Alt 3B   | 18 |
| 5.12 Alt 3C   | 19 |
| 5.13 Alt 3D   | 20 |
| 5.14 Alt 4A   | 21 |
| 5.15 Alt 4B   | 22 |
| 5.16 Alt 5A   | 23 |
| 5.17 Alt 5B   | 24 |
| 5.18 Alt 5C   | 25 |
| 5.19 Alt 5D   | 26 |
| 5.20 Verifieringar  | 27 |
| 6. Ekonomiska kalkyler  | 27 |
| 7. Slutsatser   | 29 |
| 8. Förslag till fortsatta studier                                     | 30 |
| Referenser  | 30 |

## 1. Materialet trä

I småhus är det dominerande materialet i mellanbjälklaget vanliga träbjälkar 45x220 s600, i hållfasthetsklass K12. Men den nya trenden mot mer öppna planlösningar gör att detta bjälklag inte riktigt räcker till.

## 2. Kriterier

### 2.1 Statiskt sviktkriterium

Ett sätt att begränsa ett golvsystems svikt är att tillämpa normens rekommendation om minsta nedböjning. Enligt BKR 2003 [1] anges att nedböjningen för en enskild bjälke i ett träbjälklag inte bör överstiga 1,5 mm under inverkan av en kortvarig punktlast. Dimensioneringsvärdet på denna last är 1,0 kN och antas verka på mitten av bjälken som räknas som fritt upplagd. Det är tillåtet att tillgodoräkna sig lastfördelning till närliggande bjälkar i rimlig omfattning avseende golvsivor, glespanel och kortlingar mm.

$$u = \kappa \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot (EI)_x}$$

$$\kappa = -4,7\beta^2 + 0,29 \cdot \beta + 0,4 \quad \text{för} \quad 0 \leq \beta \leq 0,3$$

$$\kappa = 0,8 + 0,2 \cdot \beta \quad \text{för} \quad 0,3 \leq \beta \leq 1,0$$

$$\beta = \frac{(EI)_x}{(EI)_y} \cdot \left(\frac{s}{L}\right)^4$$

u = Nedböjning [mm]

$\kappa$  = Lastfördelningsfaktor

P = Punktlasten 1 [kN]

L = Spännvidd [m]

$(EI)_x$  = Böjstyvhetsmoment i styva riktningen [Nm]

$(EI)_y$  = Böjstyvhetsmoment i veka riktningen [Nm]

s = Balkarnas centrumavstånd [m]

### 2.2 Dynamiskt sviktkriterium

Som kriterium för att begränsa vibrationsbenägenheten hos ett bjälklag av godtyckligt material finns det approximativa formler enligt Boverkets handbok Svängningar, deformationspåverkan och olyckslast [2]. Impulshastighetsresponsen kan beräknas och jämföras med acceptabla värden, i diagramform. Utifrån detta kan man avgöra om bjälklaget är godtagbart eller inte.

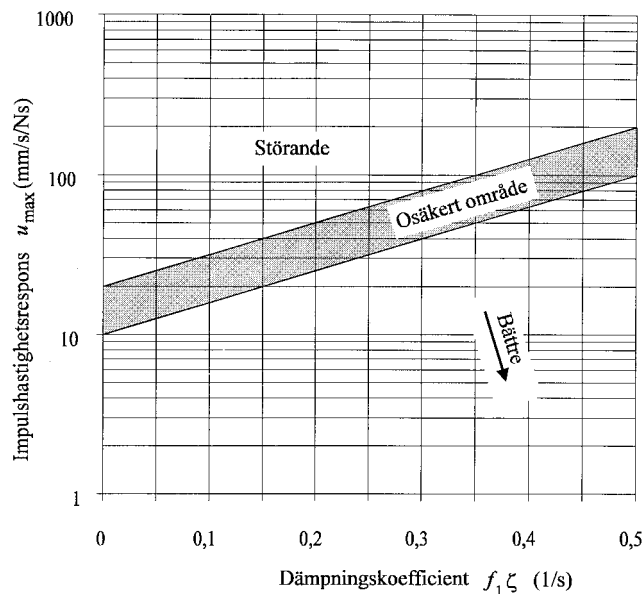
$$u_{\max} = 4 \cdot \frac{0,4 + 0,6 \cdot n_{40}}{m \cdot B \cdot L + 200} \cdot 10^3$$

$$n_{40} = \frac{B}{L} \left[ \left[ \left( \frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \cdot \frac{(EI)_y}{(EI)_x} \right]^{1/4}$$

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \sqrt{\frac{(EI)_x}{m}}$$

$u_{\max}$  = Impulshastighetsrespons [(mm/s)/Ns]  
 $m$  = plattans massa per ytenhet [kg/m<sup>2</sup>]  
 $B$  = Plattans bredd [m]  
 $L$  = lattarens längd i balkriktningen [m]  
 $n_{40}$  = antal egenmoder med frekvens mindre än 40 Hz  
 $f_1$  = lägsta resonansfrekvensen [Hz]

För normala lätta bjälklag kan den relativa dämpningen  $\zeta$  sättas till 1 %. För bjälklag med stor spännvidd eller stor tyngd >150 kg/m<sup>2</sup>, bör  $\zeta$  sättas till 0,8 %.



Figur ur Boverkets handbok Svängningar, deformationspåverkan och olyckslast [2] på preliminärt förslag till klassificering av ett bjälklags respons på stötblastning.

### 3. Beräkningsförutsättningar

#### 3.1 Indata

Beräkningarna är gjorda för en enfältsbalk med längden 4,5 m. Detta görs för att få utslag på nedböjningarna för de olika förstärkningarna.

På vanligt trä har vi använt hållfasthetsklass K12 och K30.

För brott- och bruksgränstillståndet har vi räknat med en egenvikt på bjälklaget på 0,5 kN/m<sup>2</sup> samt en last av mellanväggar på 0,3 kN/m<sup>2</sup>. Som nyttig last är det lastgrupp 1, vistelselast enl. BKR kapitel 3.

## **4. Beräkningsmodeller**

### **4.1 Ecobalk**

Som referensberäkning använder vi Ecobalk. Detta program räknar både brott- och bruksgränstillstånd enligt partialkoefficientmetoden samt statistiskt sviktkriterium enligt kapitel 2.1. Programmet klarar inte nyare versioner av Windows, av denna anledning använder vi det inte i vår dagliga verksamhet.

### **4.2 Ramanalys**

Detta är dagens beräkningsprogram. Här måste man dock köra balken i två steg, ett för brottgränstillståndet med enbart balk och ett för bruksgränstillståndet inklusive statistiskt sviktkriterium med samverkanstvärnsnitt (spånskiva och balk).

### **4.3 Femanalys**

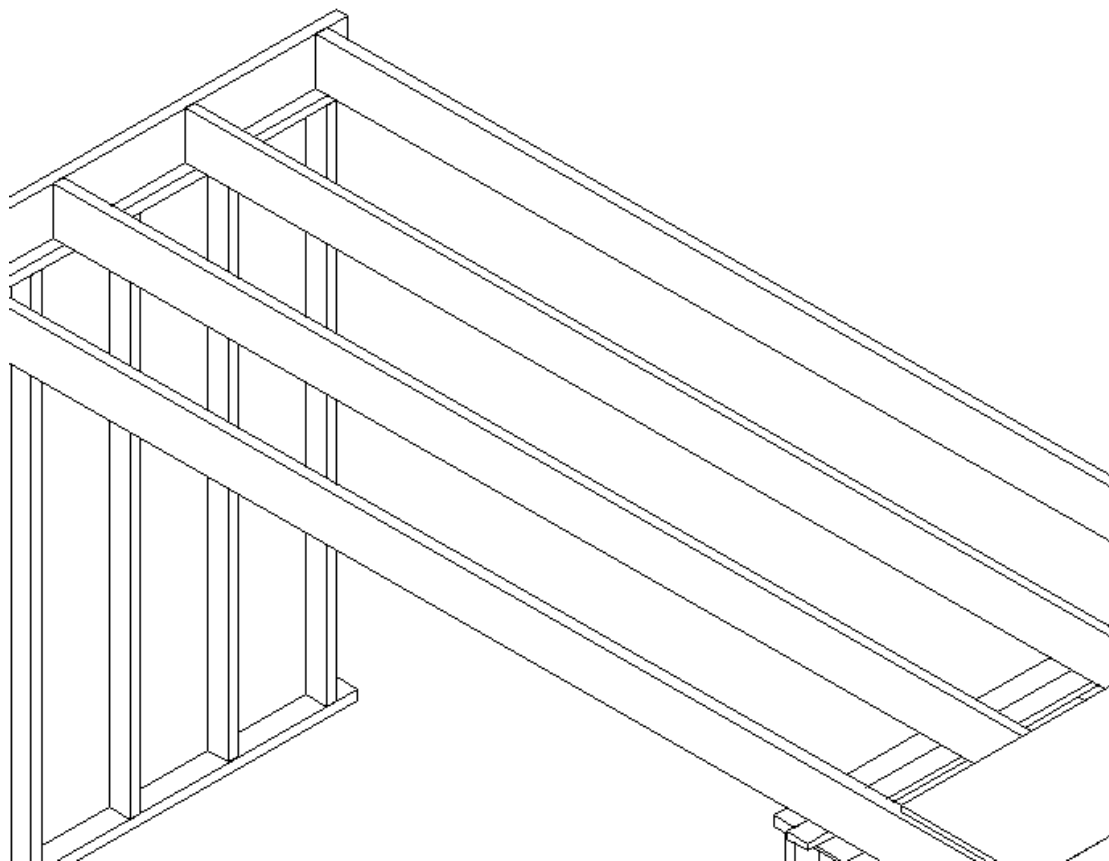
Träbalken är modellerad i Brigade+ med hjälp av så kallade solidelement. Samtliga bandjárn modellerades med hjälp av skalelement. En hård kontakt definierades mellan skal- och solidelementen. Bandjárnets ändar ”limmades” fast i träbalkens ändytor för att följa med ändarna under nedböjningen. Här tittade vi enbart på det statistiska sviktkriteriet.

### **4.4 Egenutvecklad Excellfil för statistiskt och dynamiskt sviktkriterium**

Vi har följt beräkningsgången för formlerna i kapitel 2 och får som resultat nedböjning i statistiskt sviktkriterium samt svängningsrisk i dynamiskt sviktkriterium.

## 5. Valda alternativ

### 5.1 Alt 0



Ett standardbjälklag bestående av:

- 22 mm spånskiva
- Träbalkar 45x220 K12 s600 fritt upplagda i ett fack
- 28x70 s300 glespanel
- 13 mm gips

För att kunna klara sviktkriterierna måste man tillgodoräkna sig samverkan mellan spånskiva, balkar och glespanel. För att kunna räkna samverkan mellan spånskiva och balk måste man skruvlimma ihop dessa. Räknar man med denna samverkan skall denna punkt finnas med som tilläggskontroll på kontrollplanen för bygget.

Förklaringar tabell:

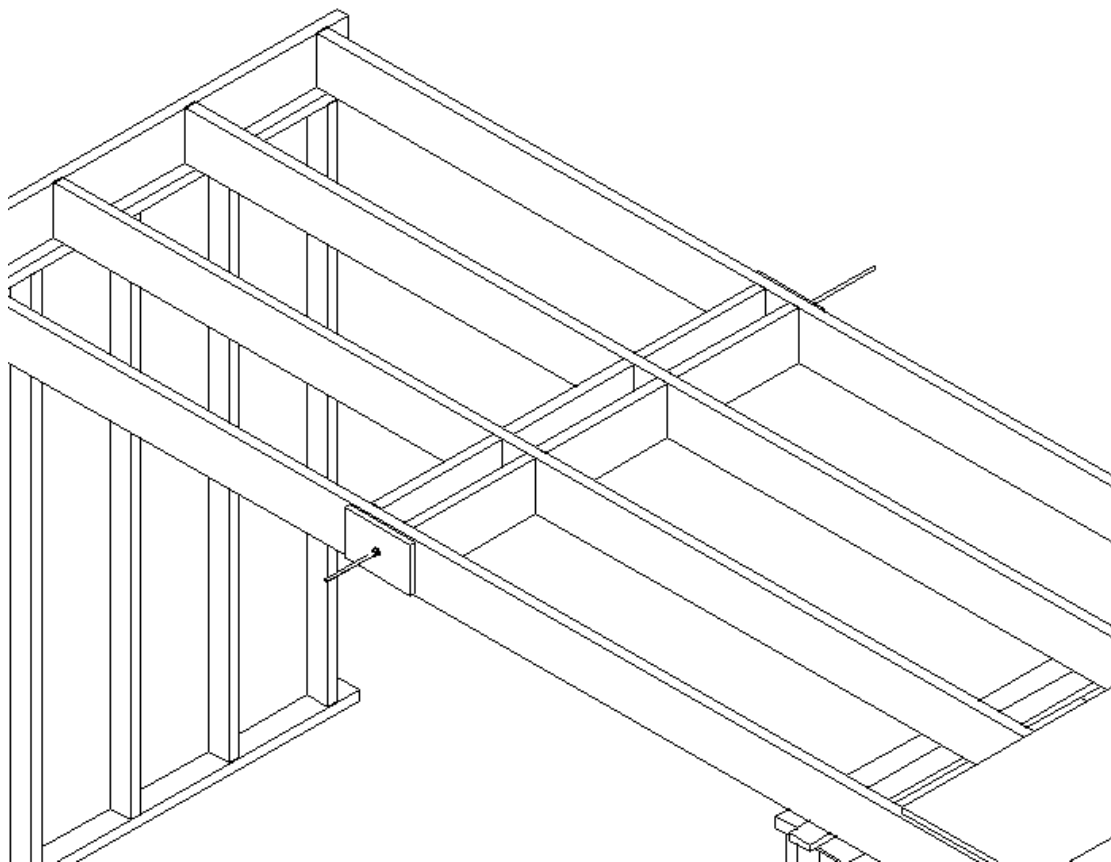
Svikt st = Statiskt sviktkriterium

Svikt dy = Dynamiskt sviktkriterium där ”Ej stör” är inom det godtagbara området.

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femalys  | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm       | mm             |          | %    |
| 0a   | K12     | 181     | 1,92     | 181       | (0,75)   | 2,07     | 1,64           | Ej stör  | 100  |
| 0b   | K30     | 81      | 1,56     | 81        | (0,5)    | 1,39     | 1,35           | Ej stör  | 108  |



## 5.2 Alt 1A



Den första valda åtgärden att studera bygger på att ingående bjälkar kortlas ihop och spänns i bjälklagets tvärriktning, d v s vinkelrätt bjälkarna. Spänningen sker med en kraft som är tillräckligt stor för att hantera lastfördelning såväl som eventuella långtidseffekter. Effekten av ihopspänningen ska uppfyllas under hela den tänkta livslängden av bjälklaget och måste på så sätt beräknas till sitt värde efter lång tid. Beräkningen är förenklad till att enbart se hur 2 alt 3 balkar samverkar fullt ut.

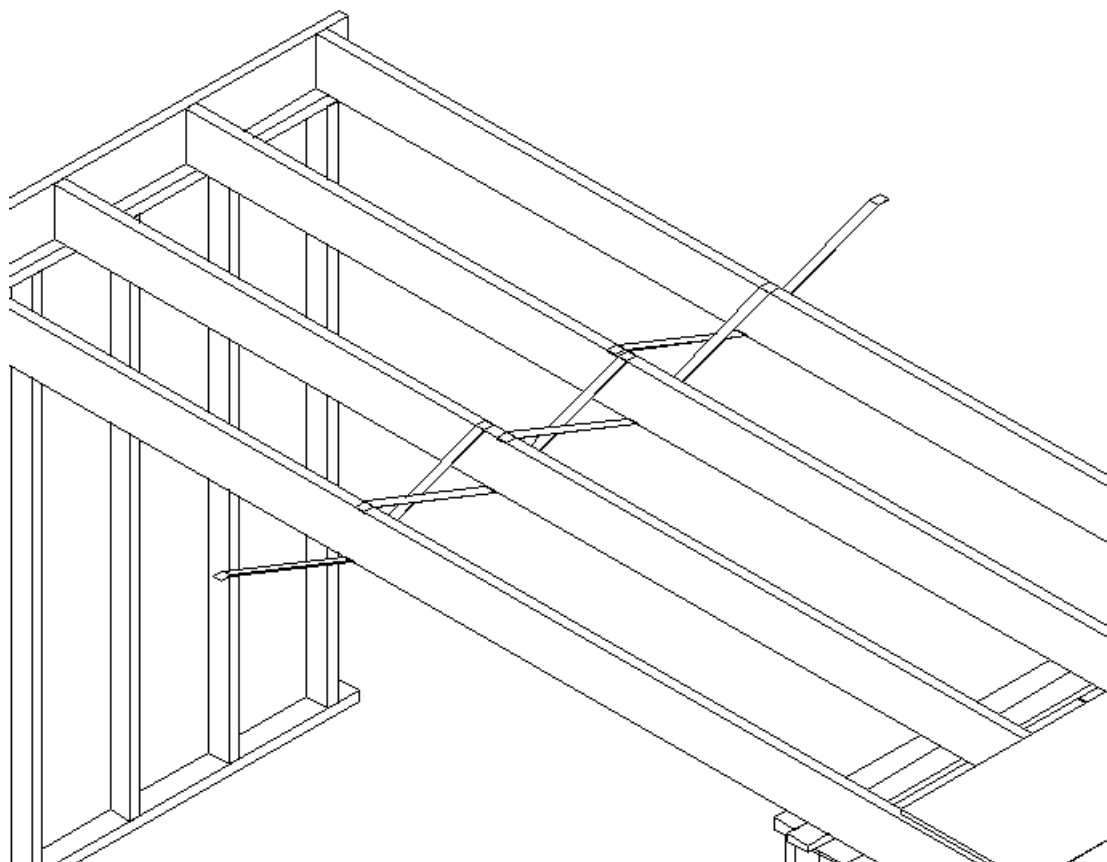
### Två balkar, full samverkan

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 1Aa  | K12     | 181     | 1,28     | 181       |          |           | 1,18           | Ej stör  |      |
| 1Ab  | K30     | 82      | 1,04     | 81        |          |           | 0,97           | Ej stör  |      |

### Tre balkar, full samverkan

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 1Ac  | K12     | 181     | 1,00     | 181       |          |           | 0,97           | Ej stör  |      |
| 1Ad  | K30     | 81      | 0,81     | 81        |          |           | 0,78           | Ej stör  |      |

### 5.3 Alt 1B



I detta alternativ har vi förenklat kortlingen till att spänna upp bandjárn i kors. Denna åtgärd är lite svårare att utföra eftersom bandjárnerna skall spännas för att göra någon nytta. Sen är det fråga om bandjárnerna är starkt nog för att ta last alternativt om det skär in i träbalken.

Denna beräkning är samma som för alt 1A

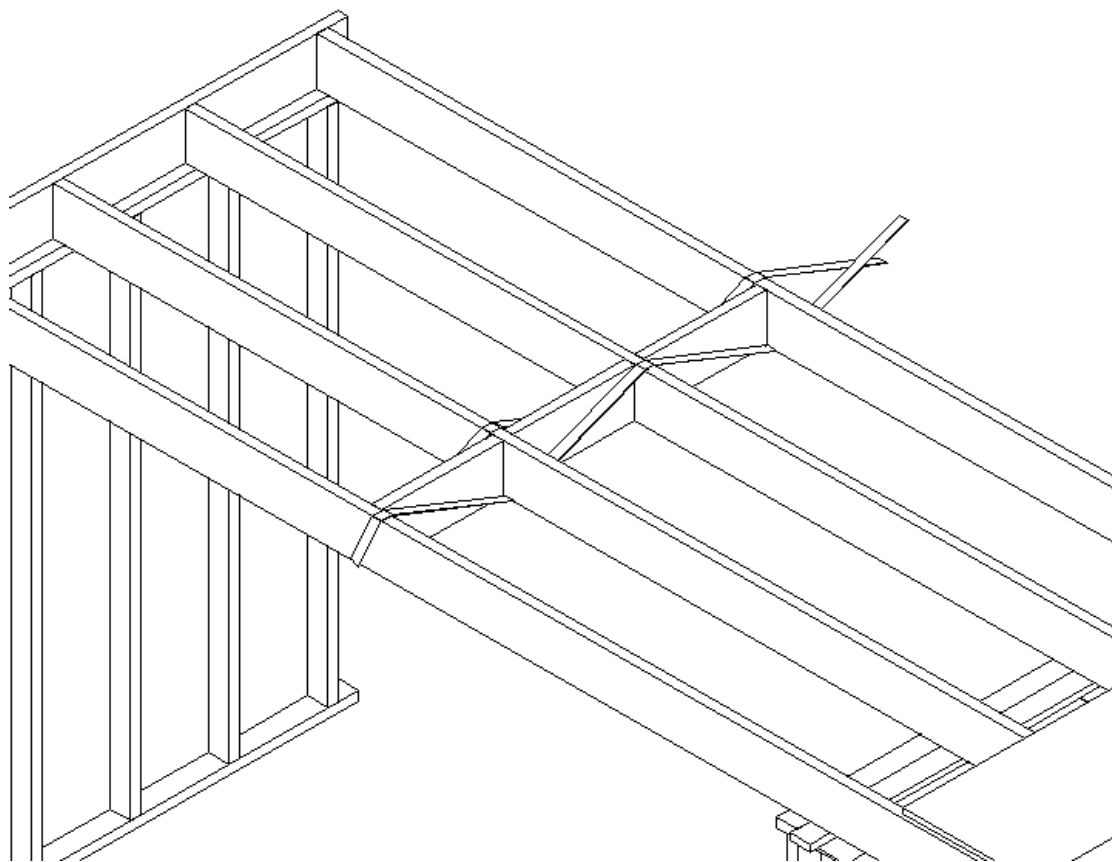
Två balkar, full samverkan

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 1Ba  | K12     | 181     | 1,28     | 181       |          |           | 1,18           | Ej stör  |      |
| 1Bb  | K30     | 82      | 1,04     | 81        |          |           | 0,97           | Ej stör  |      |

Tre balkar, full samverkan

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 1Bc  | K12     | 181     | 1,00     | 181       |          |           | 0,97           | Ej stör  |      |
| 1Bd  | K30     | 81      | 0,81     | 81        |          |           | 0,78           | Ej stör  |      |

## 5.4 Alt 1C



Här kompletterar vi bandjärnet med en kortling mellan varje balk. Känns säkrare men mer komplicerad i utförandet.

Denna beräkning är samma som för alt 1A

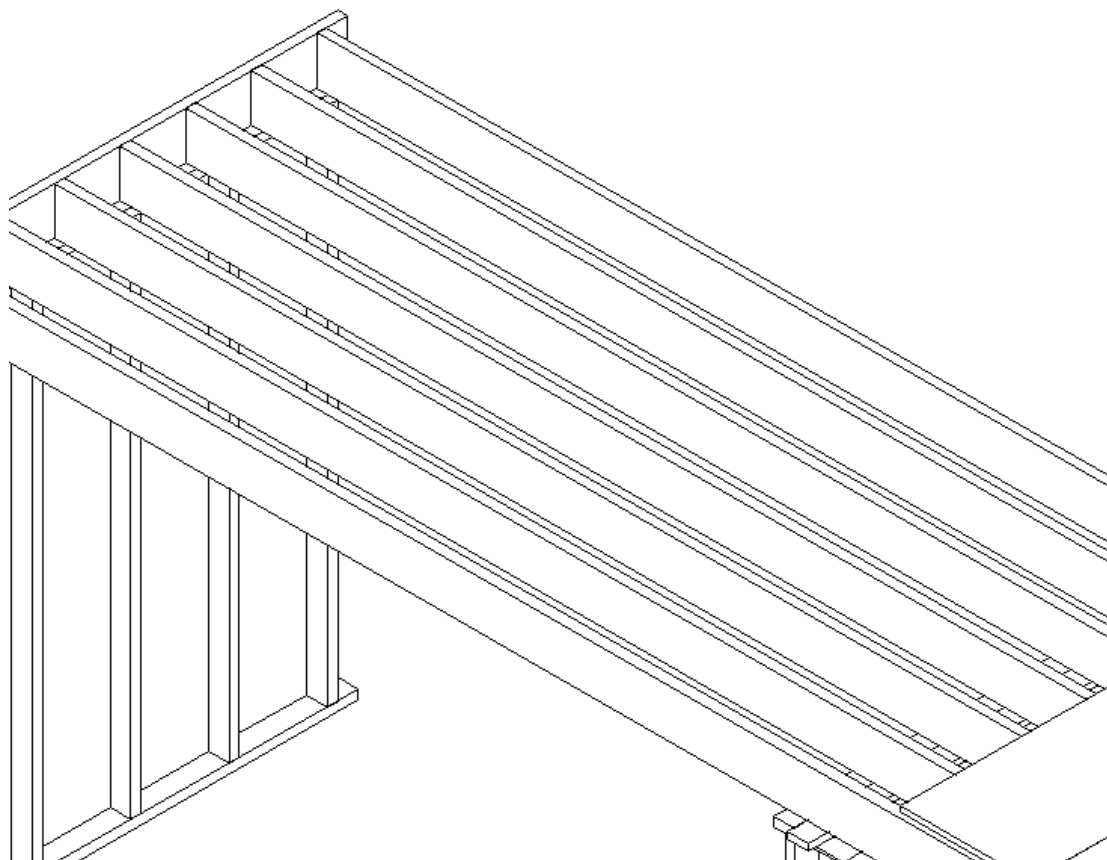
Två balkar, full samverkan

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 1Ba  | K12     | 181     | 1,28     | 181       |          |           | 1,18           | Ej stör  |      |
| 1Bb  | K30     | 82      | 1,04     | 81        |          |           | 0,97           | Ej stör  |      |

Tre balkar, full samverkan

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 1Bc  | K12     | 181     | 1,00     | 181       |          |           | 0,97           | Ej stör  |      |
| 1Bd  | K30     | 81      | 0,81     | 81        |          |           | 0,78           | Ej stör  |      |

## 5.5 Alt 2A



Ett standardbjälklag enligt alt 0, men med tätare balkar. Vi har valt s400, s300 och s200.

### Balkar s400

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 2Aa  | K12     | 121     | 1,65     | 119       |          |           | 1,50           | Ej stör  | 111  |
| 2Ab  | K30     | 54      | 1,31     | 54        |          |           | 1,17           | Ej stör  | 122  |

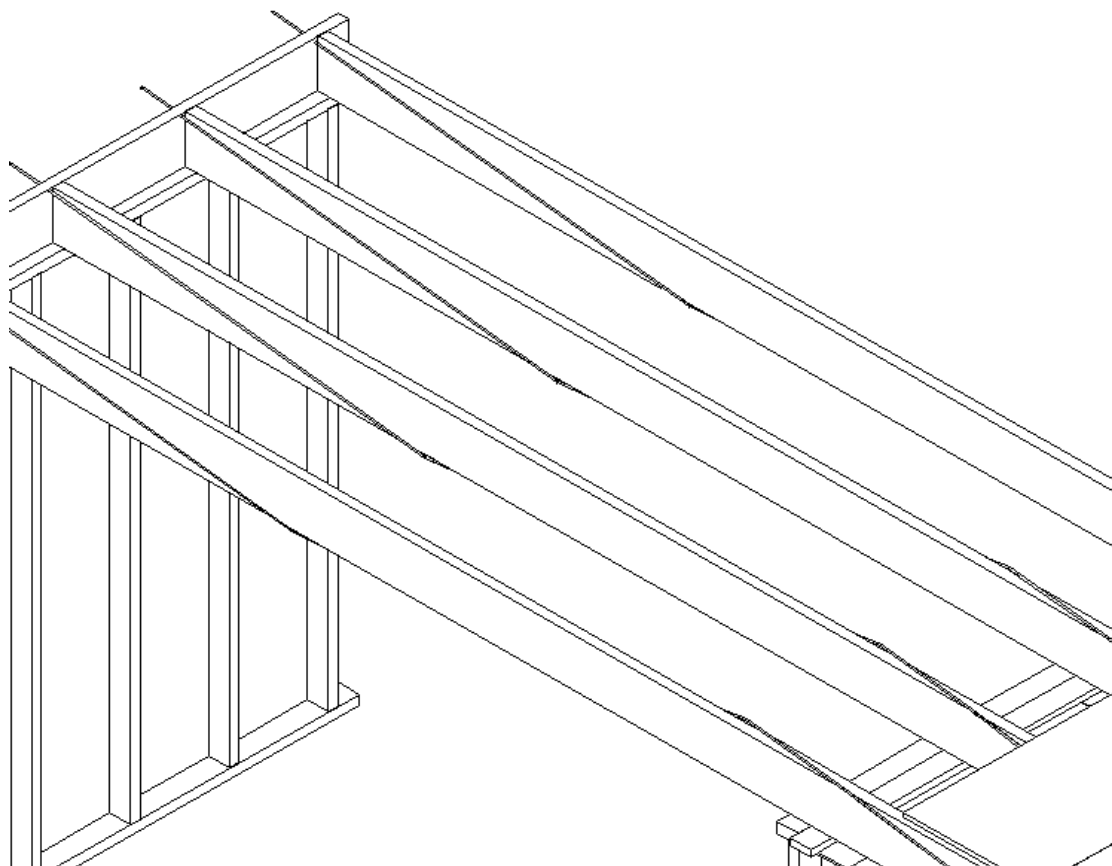
### Balkar s300

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 2Ac  | K12     | 91      | 1,64     | 91        |          |           | 1,54           | Ej stör  | 121  |
| 2Ad  | K30     | 41      | 1,25     | 41        |          |           | 1,17           | Ej stör  | 137  |

### Balkar s200

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 2Ae  | K12     | 60      | 1,74     | 60        |          |           | 1,68           | Ej stör  | 143  |
| 2Af  | K30     | 27      | 1,28     | 27        |          |           | 1,24           | Ej stör  | 175  |

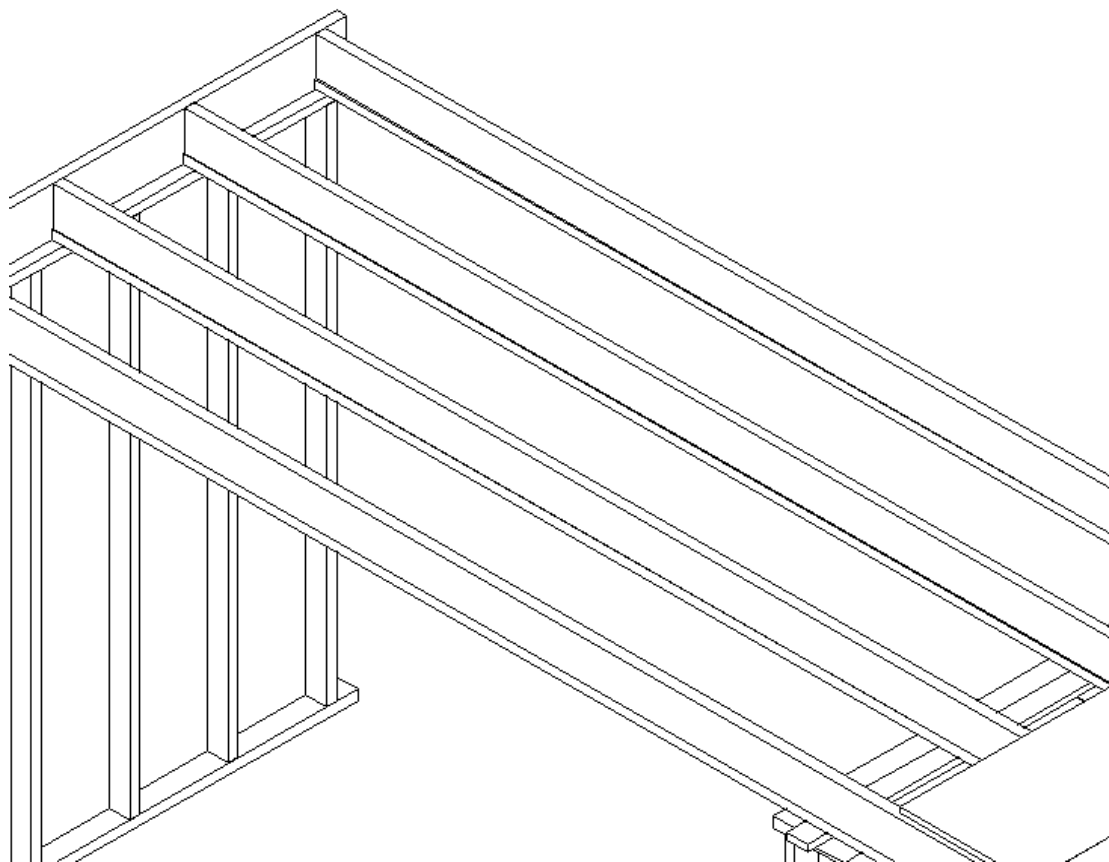
## 5.6 Alt 2B



Ett standardbjälklag enligt alt. 0, men vi förstärker varje balk med ett standard bandjärn (1,5x20 mm) som vi drar från ök balk vid stöd uk balk i mitt och ök balk igen vid nästa stöd.

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 2Ba  | K12     |         |          | 173       |          |           |                |          |      |
| 2Bb  | K30     |         |          | 79        |          |           |                |          |      |

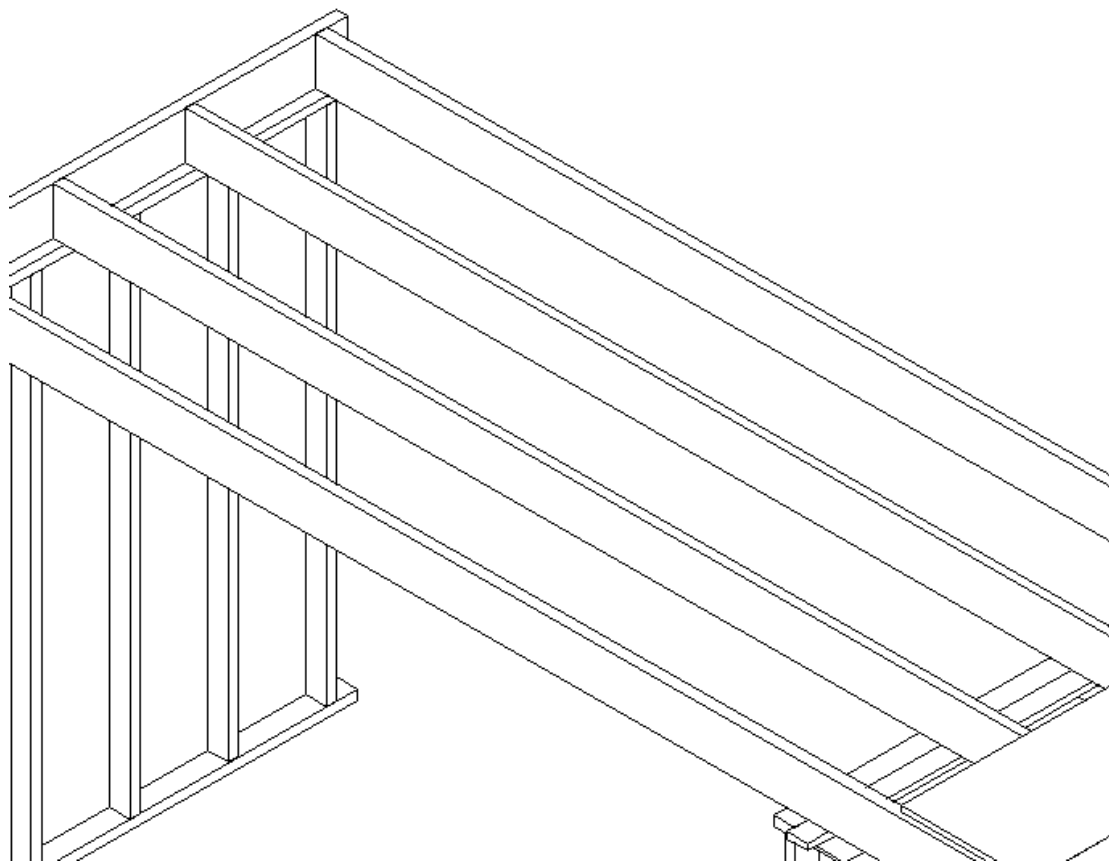
## 5.7 Alt 2C



Ett standardbjälklag enligt alt 0, som vi förstärker med två bandjärn (1,5x20 mm) i underkant varje balk.

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femalys  | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm       | mm             |          | %    |
| 2Ca  | K12     |         |          | 126       |          | 1,34     |                |          | 132  |
| 2Cb  | K30     |         |          | 64        |          | 0,95     |                |          | 140  |

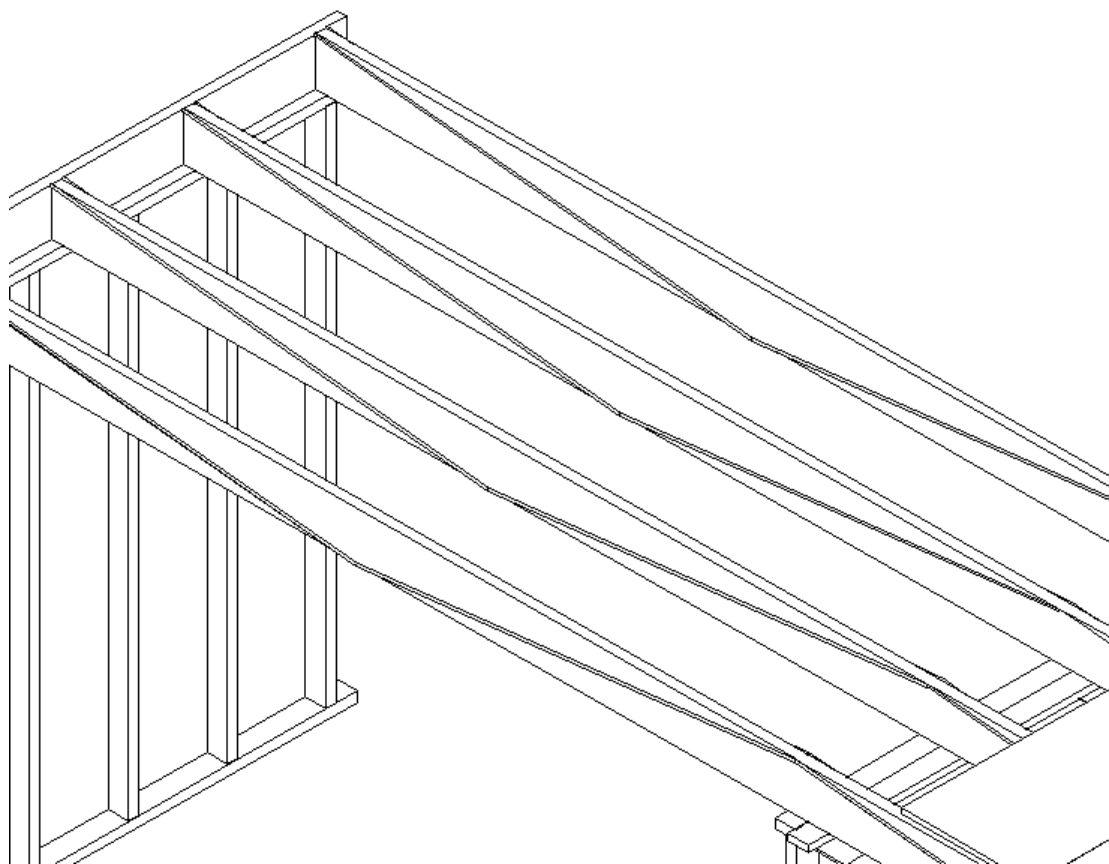
## 5.8 Alt 2D



Ett standardbjälklag enligt alt 0 där vi förstärker balken i uk med kolfiber.

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 2Da  | K12     |         |          | 120       |          |           |                |          |      |
| 2Db  | K30     |         |          | 62        |          |           |                |          |      |

## 5.9 Alt 2E

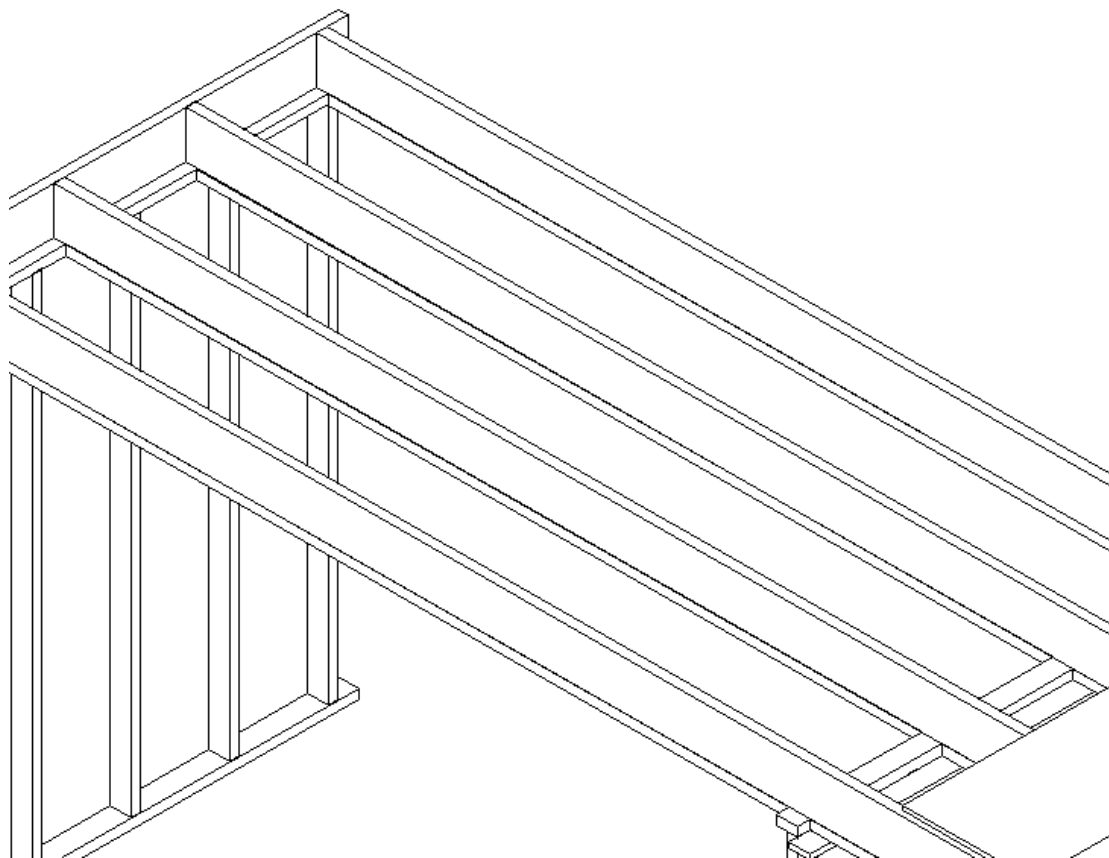


Lika bjälklag 2B men vi förstärker med dubbla bandjärn (1,5x20 mm) ett på varje sida.

| Namn |     | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femalys  | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|-----|---------|----------|-----------|----------|----------|----------------|----------|------|
|      |     | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      |     | %       | mm       | %         | mm       | mm       | mm             |          | %    |
| 2Ea  | K12 |         |          | 170       |          | 1,85     |                |          | 155  |
| 2Eb  | K30 |         |          | 78        |          | 1,25     |                |          | 163  |



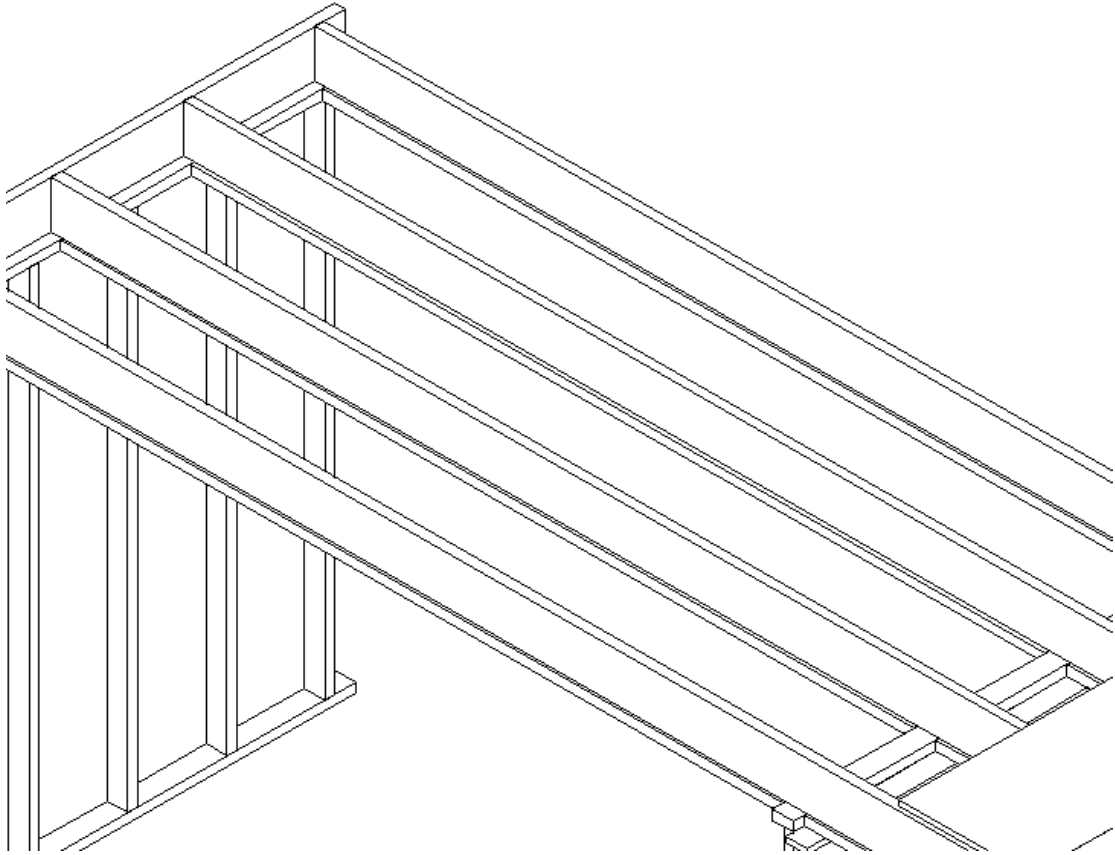
### 5.10 Alt 3A



Lika standardbjälklag 0, men på träbjälken 45x220 fästs i underkant en regel 45x45 med hjälp av skruvlimning. Denna balk får specialbeställas från leverantör eller byggas på plats. Väljer man platsbyggd måste fogen tilläggskontrolleras.

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femalys  | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm       | mm             |          | %    |
| 3Aa  | K12     | 125     | 1,31     | 125       |          |          | 1,16           | Ej stör  | 110  |
| 3Ab  | K30     | 56      | 1,04     | 56        |          |          | 0,97           | Ej stör  | 120  |

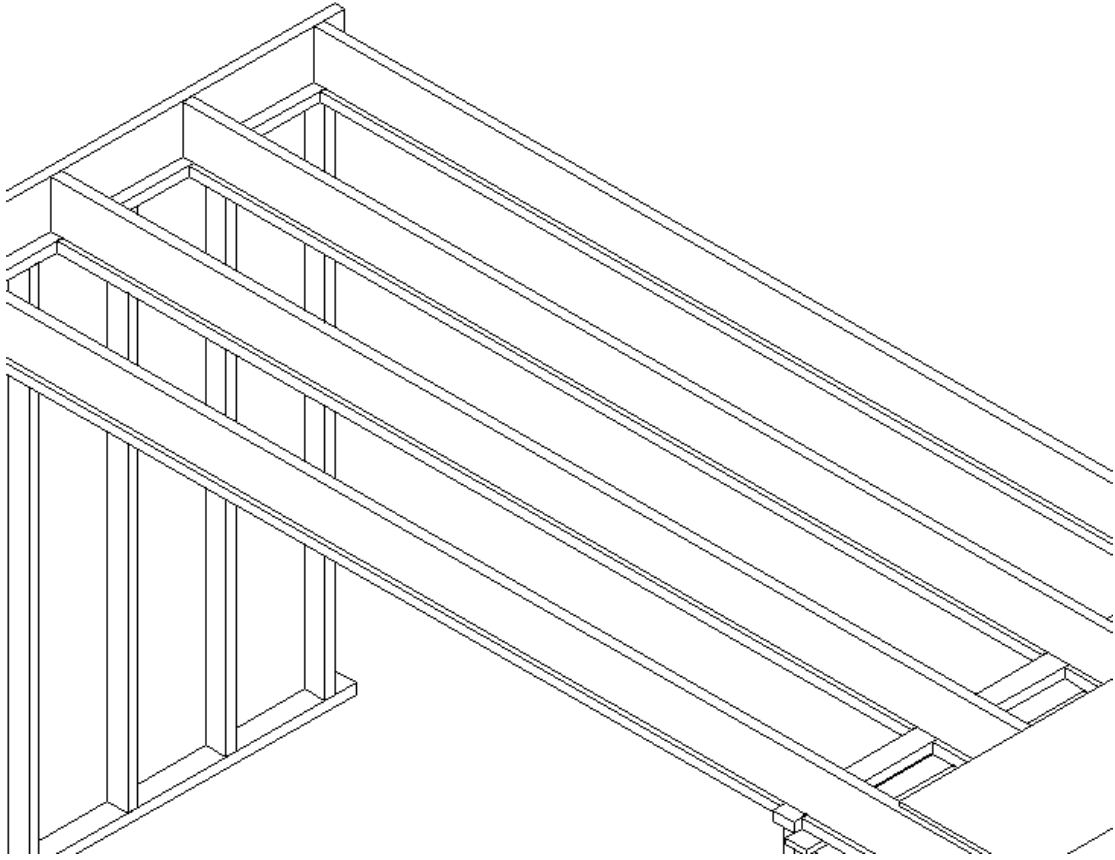
### 5.11 Alt 3B



Lika bjälklag 3A men med en liggande 45x70 i underkant i stället.

Går ej att beräkna med dagens program

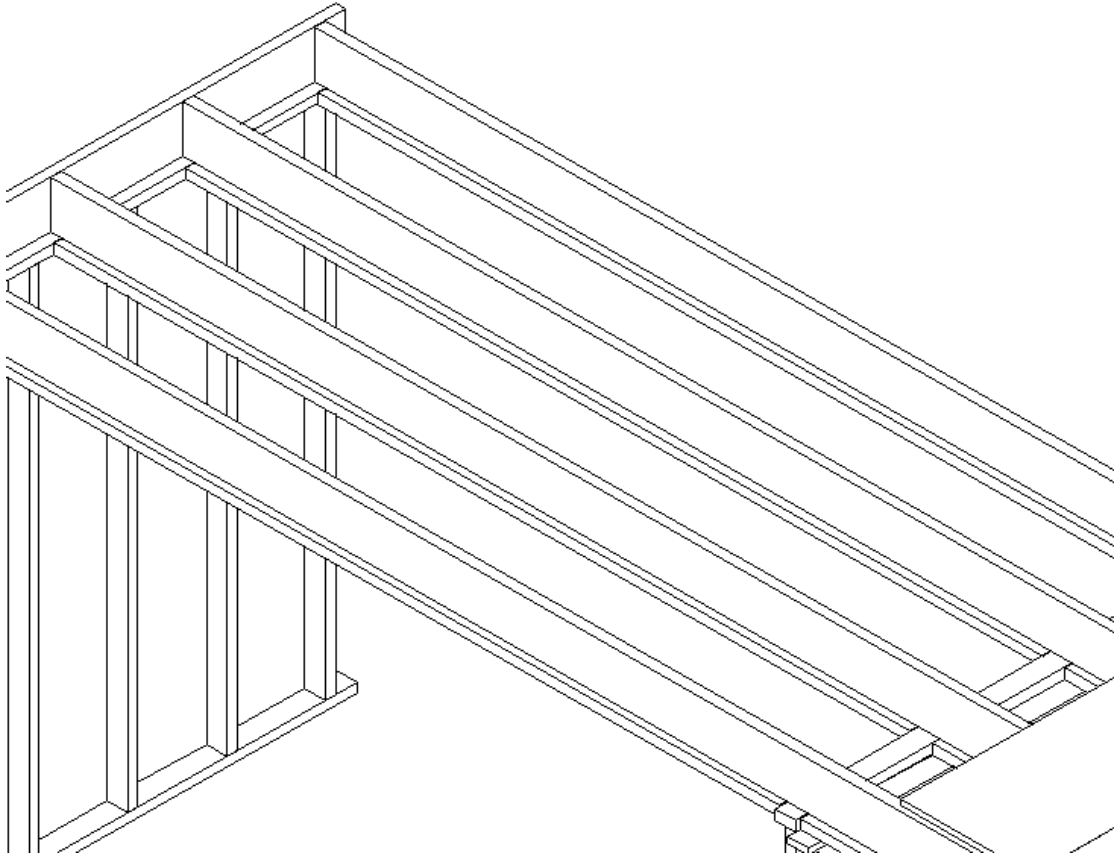
### 5.12 Alt 3C



Lika bjälklag 3A men med en liggande 45x95 i underkant i stället.

Går ej att beräkna med dagens program

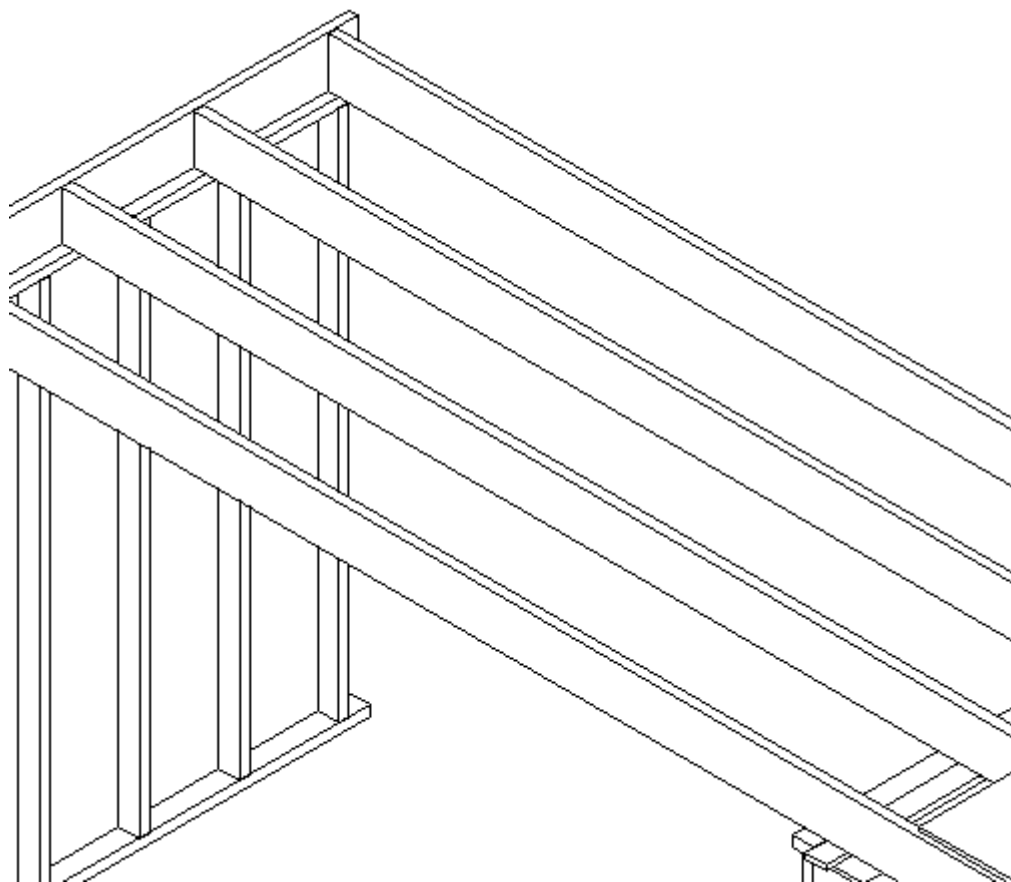
### 5.13 Alt 3D



Lika bjälklag 3A men med en liggande 45x120 i underkant i stället.

Går ej att beräkna med dagens program

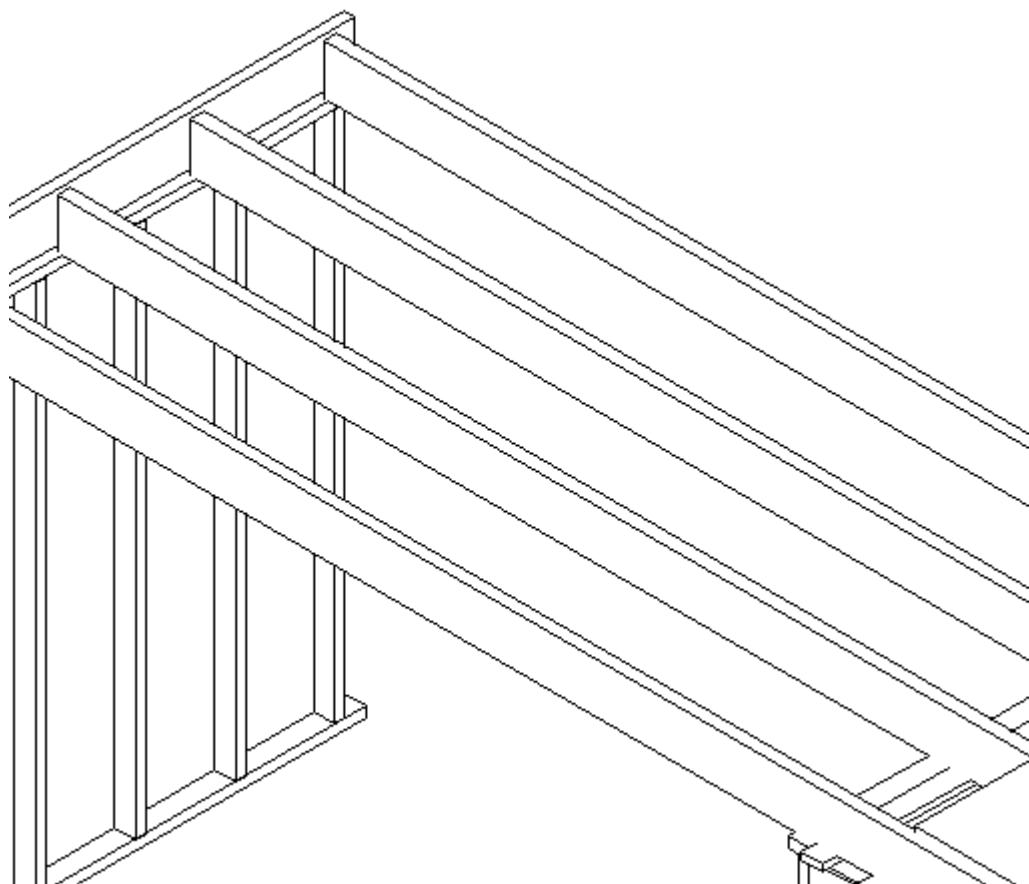
### 5.14 Alt 4A



Lika standardbjälklag 0, men med en 45x225 kertobalk s600 i stället.  
 Lika standardbjälklag 0, men med en 45x270 kertobalk s600 i stället.

| Namn |        | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|--------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |        | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | Kerto  | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 4Aa  | 45x225 | 47      | 1,44     | 49        |          |           | 1,21           | Ej stör  | 130  |
| 4Ab  | 45x270 | 33      | 1        | 34        |          |           | 0,87           | Ej stör  | 139  |

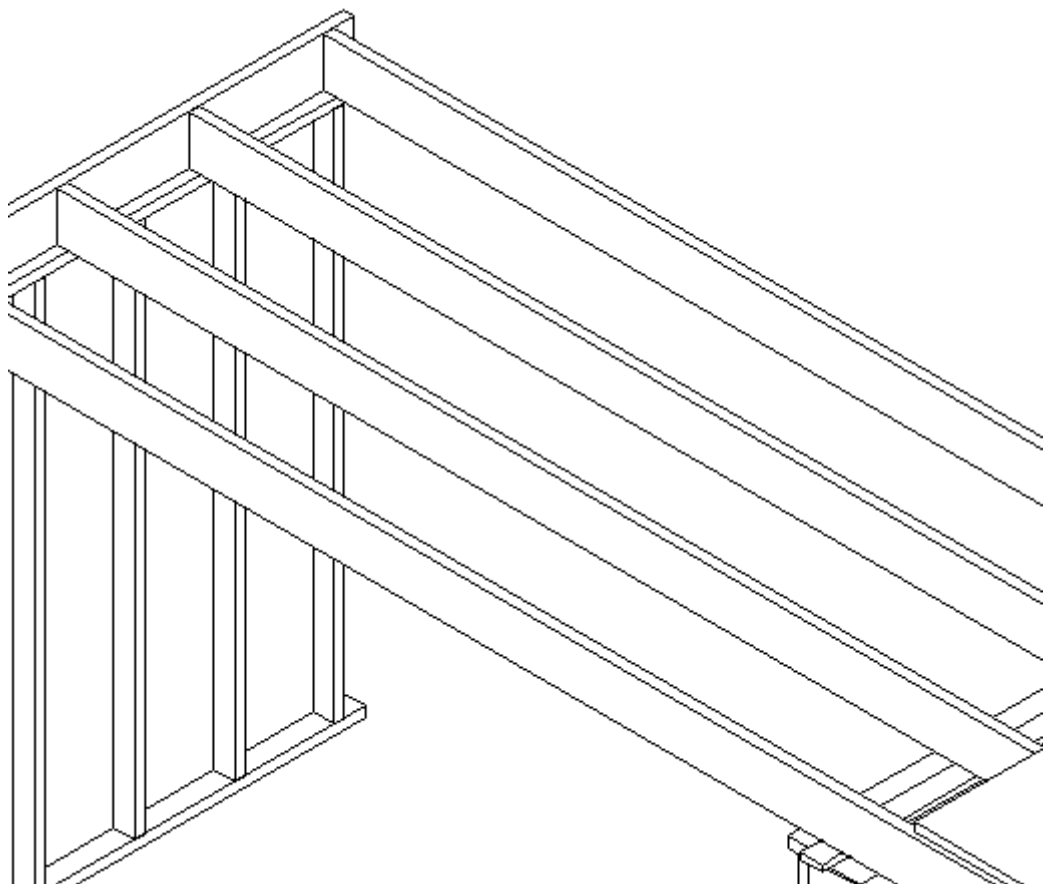
### 5.15 Alt 4B



Lika standardbjälklag 0, men med en limträbalk 56x225 s600 L40 i stället.  
 Lika standardbjälklag 0, men med en limträbalk 56x270 s600 L40 i stället.

| Namn |        | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|--------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |        | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | L40    | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 4Ba  | 56x225 | 51      | 1,32     | 53        |          |           | 1,13           | Ej stör  | 143  |
| 4Bb  | 56x270 | 34      | 0,85     | 37        |          |           | 0,81           | Ej stör  | 155  |

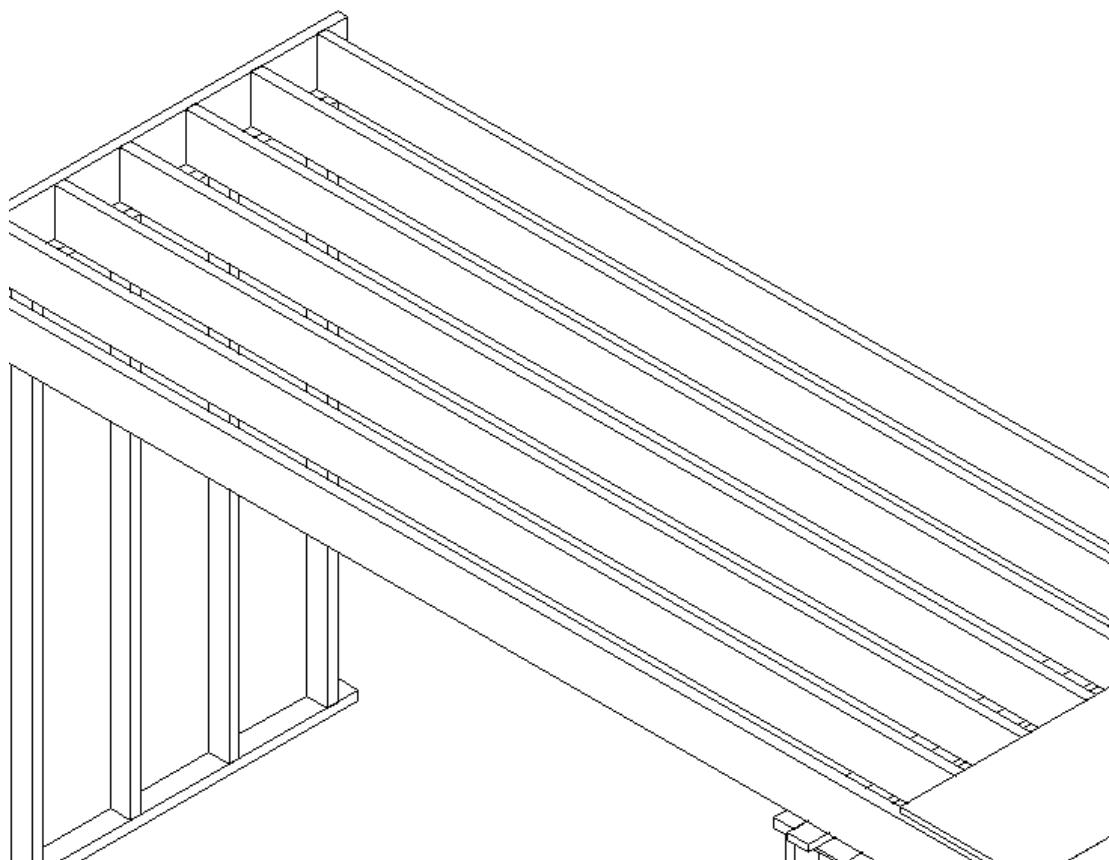
### 5.16 Alt 5A



Lika standardbjälklag 0, men 22 mm spånskivan utbytt till en 38 mm spånskiva.

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 5Aa  | K12     | 186     | 1,18     | 181       |          |           | 1,07           | Ej stör  | 130  |
| 5Ab  | K30     | 84      | 0,97     | 81        |          |           | 0,87           | Ej stör  | 138  |

### 5.17 Alt 5B

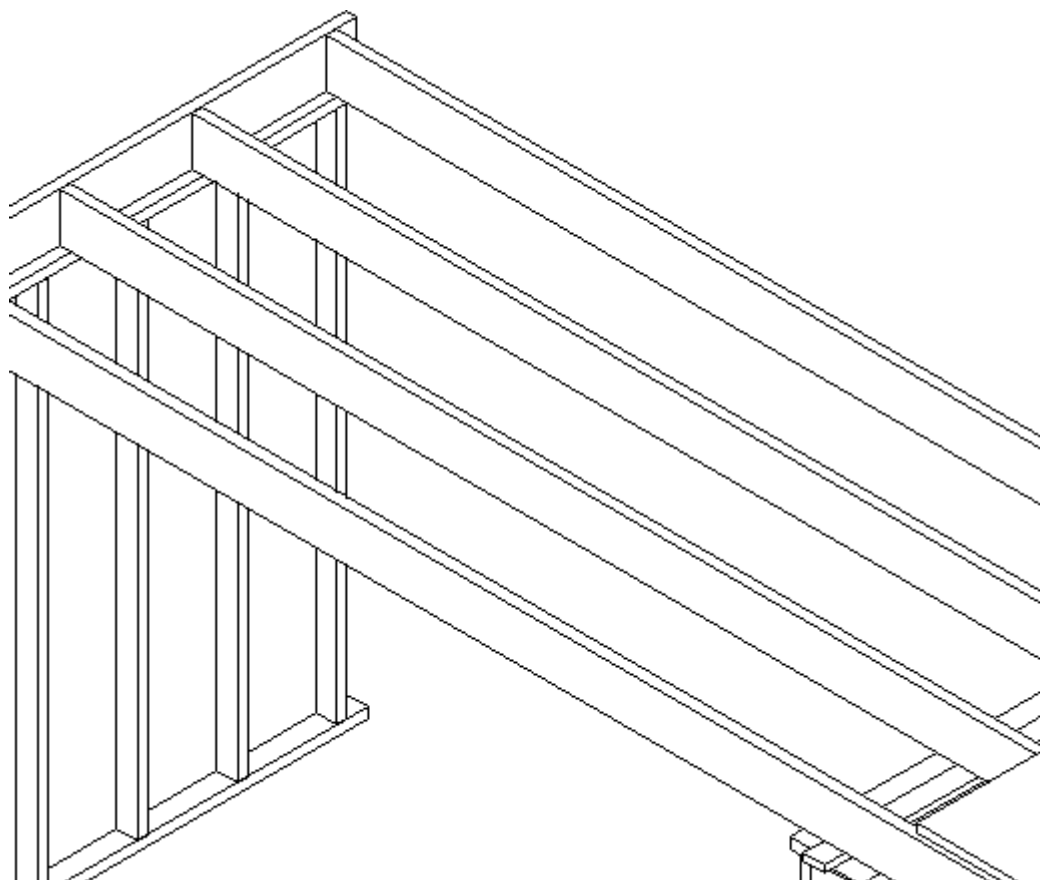


Lika 5A men med balkar s400.

| Namn |         | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |         | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | kvalité | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 5Ba  | K12     | 124     | 1,15     | 119       |          |           | 1,09           | Ej stör  | 141  |
| 5Bb  | K30     | 56      | 0,92     | 54        |          |           | 0,86           | Ej stör  | 153  |



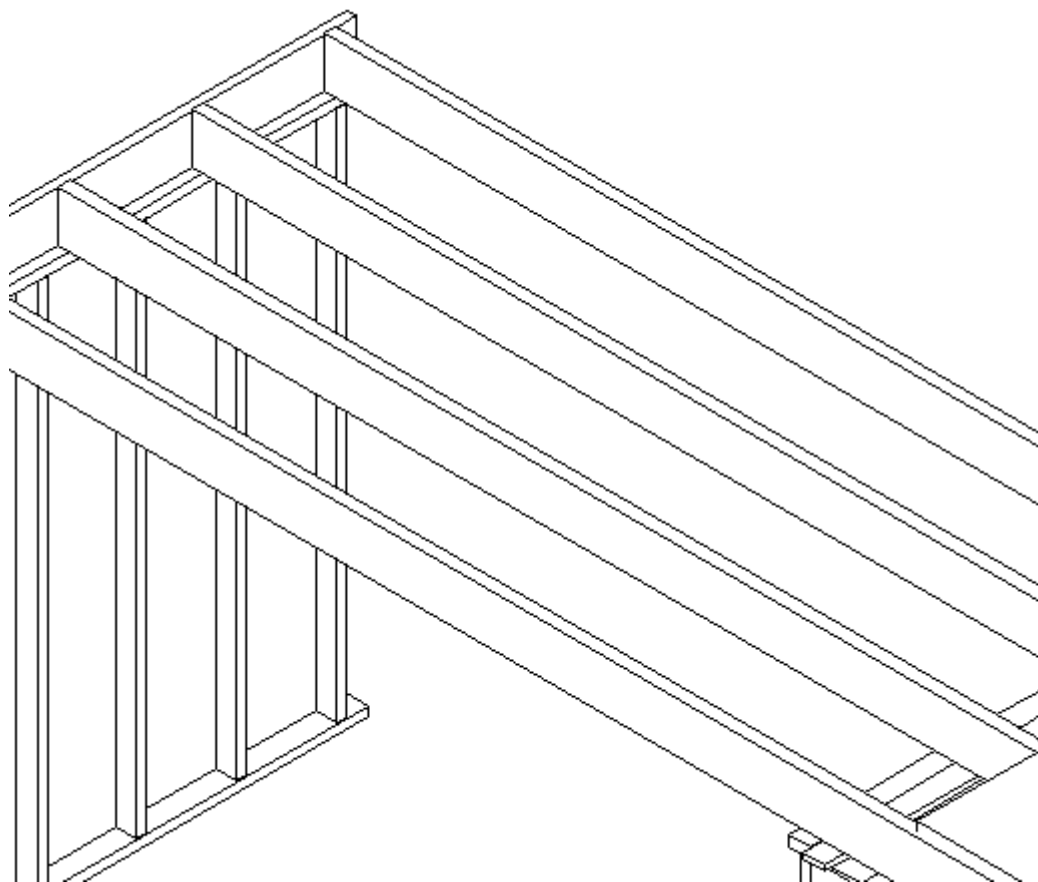
### 5.18 Alt 5C



Lika 4A men med 38 mm spånskiva i stället.

| Namn |        | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|--------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |        | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | Kerto  | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 5Ca  | 45x225 | 47      | 0,94     | 49        |          |           | 0,78           | Ej stör  | 160  |
| 5Cb  | 45x270 | 31      | 0,62     | 34        |          |           | 0,55           | Ej stör  | 169  |

### 5.19 Alt 5D



Lika 4C men med 38 mm spånskiva i stället.

| Namn |        | Ecobalk |          | Ramanalys |          | Femanalys | Eget Excelblad |          | Pris |
|------|--------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|----------|------|
|      |        | Brott   | Svikt st | Brott     | Svikt st | Svikt st  | Svikt st       | Svikt dy |      |
|      | L 40   | %       | mm       | %         | mm       | mm        | mm             |          | %    |
| 5Da  | 56x225 | 48      | 0,81     | 53        |          |           | 0,72           | Ej stör  | 173  |
| 5Db  | 56x270 | 34      | 0,58     | 37        |          |           | 0,52           | Ej stör  | 185  |

## 5.20 Verifieringar

Vi har kört med fyra olika program och haft vårt gamla Ecobalk som referens. Vi upptäckte snabbt att Ramanalys räknade fel i det statistiska sviktkriteriet. Där håller programtillverkaren på med en felsökning. Därför har vi endast tagit med dessa värden på balk 0.

I övrigt konstateras relativ god överensstämmelse mellan de olika beräkningsprogrammen.

Så i dagsläget får vi räkna med två olika program dels Ramanalys för brottgräns och vårt eget Excelblad för svikt.

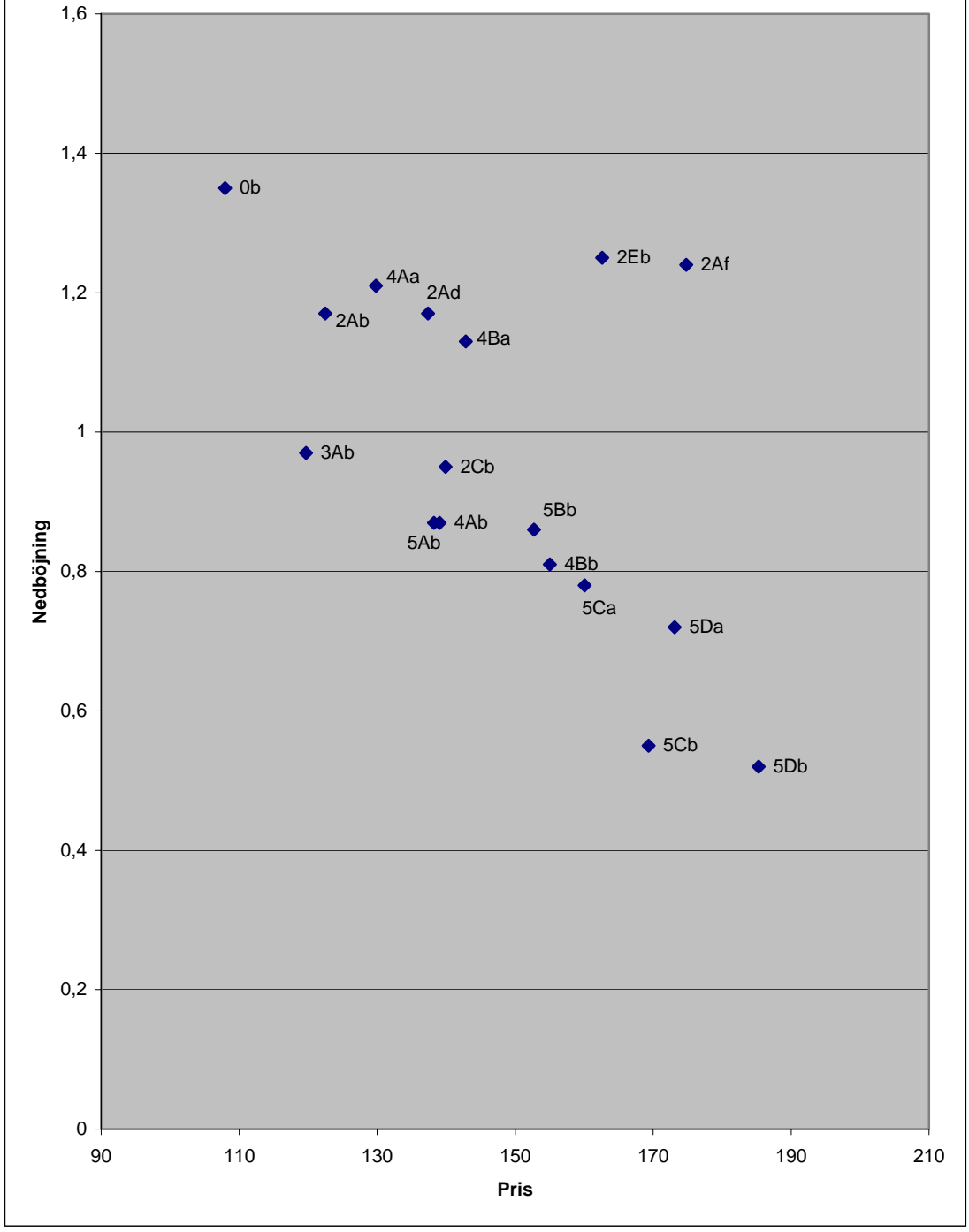
## 6. Ekonomiska kalkyler

Vi har fått hjälp med att räkna fram kostnaden för tillverkning av ett standardbjälklag på 62 m<sup>2</sup> BOA. Sen har vi gjort om priset för standardbjälklaget till 100 och sen skrivit ut den procentuella fördyringen.

Balkar som ej klarar brottgräns eller svikt är i gråskala.

| Namn | Pris | Nedböjning<br>av svikt | Brottgräns |
|------|------|------------------------|------------|
|      | %    | mm                     | %          |
| 0a   | 100  | 1,64                   | 181        |
| 0b   | 108  | 1,35                   | 81         |
| 2Aa  | 111  | 1,50                   | 119        |
| 2Ab  | 122  | 1,17                   | 54         |
| 2Ac  | 121  | 1,54                   | 91         |
| 2Ad  | 137  | 1,17                   | 41         |
| 2Ae  | 143  | 1,68                   | 60         |
| 2Af  | 175  | 1,24                   | 27         |
| 2Ca  | 132  | 1,34                   | 126        |
| 2Cb  | 140  | 0,95                   | 64         |
| 2Ea  | 155  | 1,85                   | 170        |
| 2Eb  | 163  | 1,25                   | 78         |
| 3Aa  | 110  | 1,16                   | 125        |
| 3Ab  | 120  | 0,97                   | 56         |
| 4Aa  | 130  | 1,21                   | 49         |
| 4Ab  | 139  | 0,87                   | 34         |
| 4Ba  | 143  | 1,13                   | 53         |
| 4Bb  | 155  | 0,81                   | 37         |
| 5Aa  | 130  | 1,07                   | 181        |
| 5Ab  | 138  | 0,87                   | 81         |
| 5Ba  | 141  | 1,09                   | 119        |
| 5Bb  | 153  | 0,86                   | 54         |
| 5Ca  | 160  | 0,78                   | 49         |
| 5Cb  | 169  | 0,55                   | 34         |
| 5Da  | 173  | 0,72                   | 53         |
| 5Db  | 185  | 0,52                   | 37         |

### Förhållande pris-svikt



## 7. Slutsatser

Efter en jämförelse av programmen insåg vi att Ramanalys räknade fel deformationer för sammansatta bjälklag. Vi har påpekat felet och programleverantören skall göra en felsökning. Därför har vi uteslutit Ramanalys från det statistiska nedböjningskriteriet.

Slutsatser av förstärkningsåtgärder:

- Att kortla eller spänna ihop balkarna i mitten så att man får samverkan fungerar beräkningsmässigt. Man förändrar inte hållfastheten men man styrar upp skivan och får mindre svikt. Men rent byggtkniskt kan det vara svårt att utföra eftersom trä är ett levande material och rör på sig.
- Att förstärka med bandjärn gav mindre effekt än vad vi trodde. Det var för klent jämfört med trä.
- Att förstärka med kolfiber gav mer effekt men det är komplicerat i och med att man skall skära ut en skåra i uk. Sedan dammsuga den rent från damm för att sen limma och trycka in kolfibern i skåran. Det känns som kolfiber är bättre för att förstärka befintligt där det blivit fel eller där man ändrar verksamhet och måste klara större laster.
- Att bygga på med en 45x45 i botten ger ökad brotthållfasthet samt bättre svikttegenskaper. Men denna samverkan kan man bara få om man skruvlimmar ihop fogen.
- Att bygga på med regler som är bredare än 45 (så vi får ett T-tvärsnitt) har vi idag inget bra dataprogram att räkna med. Men i förhållande till en påbyggnad med 45x45 fås ett starkare tvärsnitt. Även här gäller att det är fogen som är den svaga länken.
- Att byta till limträ- eller Kertobalk ger oss bättre värden i brottgränstillståndet men förbättrar inte märkbart för svikt om vi inte ökar balkhöjden.
- Att byta ut spånskivan från 22 mm till 38 mm ger oss inte något i hållfasthet men vi får mycket bättre värden med sviktperspektiv. Dvs. att hållfastheten blir avgörande och inte svikten. Frågan är bara hur denna skiva är arbetsmiljömässigt. Den är mindre i storlek och väger 20 kg. En standard golvspånskiva väger 23 kg. Så egentligen borde det inte vara några problem.

Slutsatser av kostnadseffekter:

- Allra billigast är att byta till K30 virke, ca 10 % fördyring.
- Därefter att sala på en 45x45 i underkant ca 10 % fördyring för K12 och ca 20 % fördyring för K30.
- Förtäta bjälkarna till s400 ger en också en fördyring av kostnaden med ca 10 %.
- Att bara byta till en 38 mm spånskiva ger en ökning på ca 30 %.
- Att förstärka balkarna med bandstål kostar förvånansvärt mycket extra ca 30-60 %.

Om man skall rangordna några av alternativen i kostnadseffektivitet, svikt och förmåga att klara brottgränslast

1. Standardbjälklag i K30.
2. Standardbjälklag påsalat med 45x45 i K30.
3. Standardbjälklag med balkar s400 i K30.
4. Standardbjälklag med Kerto balkar 45x225 s600.
5. Standard bjälklag med balkar s300 i K30.

## 8. Förslag till fortsatta studier

Här är några punkter som man kan fortsätta att studera i ett framtida projekt

- Varför förtätning av balkar ger mer svikt?
- Varför bandjärnen inte gav mer effekt?

## Referenser

- [1] Boverket, BKR 2003 (Regelsamling för konstruktion), april 2003
- [2] Boverket, Svängningar deformationspåverkan och olyckslast, mars 1994
- Jan-Olof Nylander, Byggvägledning 4, Träkonstruktioner, 1996
- Olle Carling, Dimensionering av träkonstruktioner, 1992
- Träteknik, Träbyggnadshandbok volym 6 Dimensionering, 1993
- Sven Ohlsson, Svikt, svängningar och styvhet hos bjälklag Dimensioneringsmetoder, 1984
- Anna-Charlotte Johansson, Svikt och vibrationer hos lätta bjälklag, 1999