

Bärförmåga för KL-trä med urtag

- Provning och beräkningsmetoder



LUNDS UNIVERSITET
Campus Helsingborg

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för byggvetenskaper / Byggnadsmekanik

Examensarbete:
Axel Friberg

© Copyright Axel Friberg

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 2017

Sammanfattning

Korslimmat massivträ (KL-trä) är ett trämaterial som används som bärande element i flervåningshus (med fler än två våningar) med trästomme. Ibland kan det vara nödvändigt att göra urtag i bärande element för att göra plats för t.ex. installationer. Idag finns det inte några anvisningar på hur man ska räkna på KL-trä i Eurokod. Dimensionering av KL-trä kan istället baseras på europeiska tekniska bedömningar (ETA) från producenter av KL-trä, med tillhörande råd och rekommendationer, samt olika tillgängliga handböcker.

I dessa källor finns även två olika rekommendationer för dimensionering av KL-trä med urtag, båda baserade på den beräkningsmodell som finns i Eurokod 5, och avser limträ, LVL samt konstruktionsvirke. Arbetets fokus har varit att utvärdera dessa rekommenderade beräkningsmetoder genom att jämföra dem med provningar.

Balkar i KL-trä med olika urtagshöjder har provats till brott i en servo-hydraulisk provningsmaskin, som har registrerat kraft-deformationssambandet. Brottlasten från dessa provningar har sedan jämförts med beräknade brottlaster som har tagits fram genom beräkningsmetoden för urtag enligt de två beräkningsmetoderna nämnda ovan.

Resultatet visar att KL-trä med urtag i praktiken klarar mer last än vad beräkningar visar, även fast beräkningarna är baserade på karakteristiska hållfasthetsvärden och andra nominella värden. Däremot är kvoten mellan beräknad och uppmätt brottlast relativt konstant för alla urtagshöjder, vilket antyder att beräkningsmetoden från Eurokod 5 kan användas, men att den eventuellt bör anpassas till KL-trä.

Abstract

Cross-laminated timber (CLT) is a wood material that is often used as load-carrying element in multi-storey buildings (with more than two floors) with wooden frame. Sometimes it is necessary to make notches in load-carrying elements in order to create space for installations. Today there are no instructions regarding how to design CLT in Eurocode. Design of CLT can instead be based on European technical assessments (ETA) from producers of CLT, accompanied with advice and recommendations, and different available manuals and handbooks.

In these sources there are also two recommendations for design of CLT with notches, both based on the calculation method present in Eurocode 5, and intended for structural timber, LVL and glulam. The focus of this report has been to evaluate these calculation methods by comparing them to test results.

Beams made out of CLT with notches of different heights have been tested in a servo-hydraulic testing machine, which has registered the relation between force and deformation. The failure loads acquired from these tests have then been compared with the calculated failure loads acquired from using the calculation method for notches, mentioned above.

The results show that CLT-beams with notches have a load-carrying capacity larger than what the calculations show, even if the calculations are based on characteristic strength values and other nominal values. However, the ratio between the calculated and the failure loads found from tests are relatively constant between the different notch heights, which suggests that the calculation method can be used, but that it should be adjusted to reflect the real load-carrying capacity of CLT with notches.

Förord

Detta examensarbete är avslutningen på min utbildning på högskoleingenjörsutbildningen i byggteknik med arkitektur vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet har skrivits på avdelningen för byggnadsmekanik och omfattar 22,5 högskolepoäng.

Anledningen till varför jag bestämde mig för att bli byggingenjör var för att jag blev väldigt intresserad av produktionen av bostäder i trä efter att ha studerat i Växjö, så det kändes naturligt att avsluta min utbildning med något som relaterade till just trä.

Jag vill tacka Per-Olof Rosenkvist för att ha hjälpt till med att såga ut balkarna, både i form av att lära ut hur och genom att hjälpa till rent praktiskt. Jag vill också tacka Artur Grabowski för att ha kört provningsmaskinen som användes i detta arbete åt mig, samt lärt mig hur man använder den så att jag har själv kunnat köra den.

Till sist vill jag ge ett särskilt stort tack till mina handledare Erik Serrano och Henrik Danielsson som genom hela detta arbete har varit mycket stöttande, pedagogiska och hjälpsamma i allt jag behövt hjälp med, och lite till.

Lund i maj 2017

Axel Friberg

Innehållsförteckning

1	Teckenförklaring	1
2	Inledning	3
2.1	Bakgrund	4
2.2	Syfte	5
2.3	Mål	5
2.4	Avgränsningar	5
3	Teori	7
3.1	Egenskaper för trä	7
3.2	KL-träets verkningsätt	7
3.3	Dimensionering av KL-trä	8
3.3.1	Tvärkraft	8
3.3.2	Rullskjuvning	9
3.3.3	Längsskjuvning.....	10
3.3.4	Böjmoment	11
3.3.5	Karakteristiska värden	13
3.4	Gustafsson-formeln	13
3.5	Dimensionering av urtag i Eurokod 5	13
3.6	Anpassning till KL-trä	14
4	Metod	17
4.1	Förutsättningar	17
4.2	Beskrivning av balkens form	17
4.2.1	Namngivning	17
4.2.2	Urtagsform.....	18
4.2.3	Provuppställning.....	18
4.3	Utförande	19
4.4	Beräkningar för urtag i KL-trä	20
4.4.1	Beräkningsresultat.....	21
5	Resultat	23
5.1	Tabeller	23
5.2	Grafer	25
6	Diskussion	29
7	Slutsats	31
7.1	Förslag på fortsatta studier	31
8	Litteraturförteckning	33

1 Teckenförklaring

\hookrightarrow	= Fiberriktning	
a	= Avstånd mellan tyngdpunkter	[m]
b	= Bredd	[m]
f	= Hållfasthet	[MPa]
h	= Höjd	[m]
h_{ef}	= Effektiv höjd	[m]
h_g	= Geometrisk balkhöjd ovanför urtag	[m]
i	= Urtaglutning	[-]
k_{mod}	= Omräkningsfaktor	[-]
k_{sys}	= Systemfaktor	[-]
k_v	= Reduktionsfaktor	[-]
x	= Avstånd från upplagskraftens verkningslinje till (närmaste) urtagshörn	[m]
$ y_{max} $	= Största avstånd från neutrala lagret	[m]
\bar{y}	= Avstånd till tyngdpunkt för delyta	[m]
α	= Kvot mellan balkhöjd efter urtag och balkhöjd	[-]
γ_m	= Materialkonstant	[-]
σ	= Normalspänning	[N/m ²]
τ	= Skjuvspänning	[N/m ²]
A	= Area	[m ²]
E	= Elasticitetsmodul	[N/m ²]
G	= Skjuvmodul	[N/m ²]
I	= Tröghetsmoment	[m ⁴]
L	= Längd	[m]
M	= Moment	[Nm]
P	= Punktlast	[N]
S	= Tvärsnittstyngdpunkt	[m]
V	= Tvärkraft	[N]
W	= Böjmotstånd	[m ³]

2 Inledning

Flervåningshus med bärande stomme av trä har på senare tid blivit allt mer populärt. Från att ha varit helt förbjudna i Sverige fram tills 1994 har flervåningshus (med fler än två våningar) med trästomme på sistone gått kraftigt framåt på bostadsmarknaden, där korslimmat massivträ (KL-trä) har varit en betydande faktor för denna utveckling som bärande element i både väggar, tak och bjälklag.

Exempel på flervåningshus med stomme i KL-trä finns bland annat i Växjö, där bostadskvarteret Limnologen (figur 2.1) vid sjön Trummen endast består av flervåningshus i KL-trä. Limnologen vann Stora Samhällsbyggarpriset 2010 för att det ansågs vara ett utmärkt exempel på modernt träbyggande och att produktionen hade bidragit stort till forskning kring bland annat KL-trä.



Figur 2.1: Bostadskvarteret Limnologen i Växjö (Foto: Per Bergkvist).

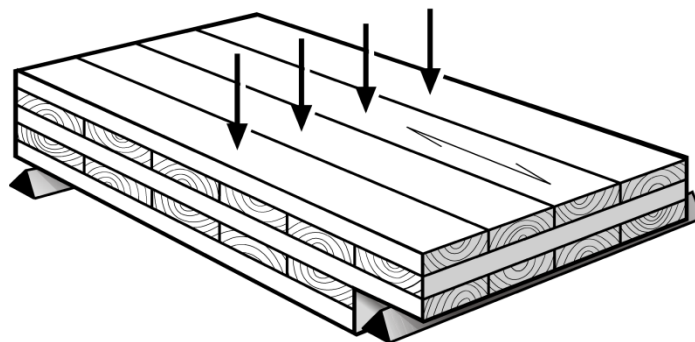
KL-trä tillverkas genom att brädor (lameller) läggs korsvis på varandra och sedan limmas ihop (se figur 2.2). KL-trä består av ett udda antal skikt, och måste bestå åtminstone utav tre skikt. Fördelen med denna metod är att plattan får förhöjd böjstyvhet i tvärsikten jämfört med om alla lameller ligger i samma riktning. Utöver detta kännetecknas även byggsystem av KL-trä bland annat av att de har hög bär- och stomstabiliseringsförmåga, att de klarar stora spännvidder samt är relativt snabba och lätta att montera.



Figur 2.2: KL-trä.

2.1 Bakgrund

I samband med installationer eller upplag, eller vid skarvar mellan bjälklagselement, gör man ibland urtag i elementen (figur 2.3). Urtag kan vara nödvändiga, eller åtminstone önskvärda av praktiska skäl, även om man helst vill undvika dessa då de kraftigt kan sänka byggdelen bärförmåga. För träbalkar (konstruktionsvirke, limträ eller LVL) med urtag kan man beräkna bärförmågan enligt Eurokod 5 (avsnitt 6.5.2).

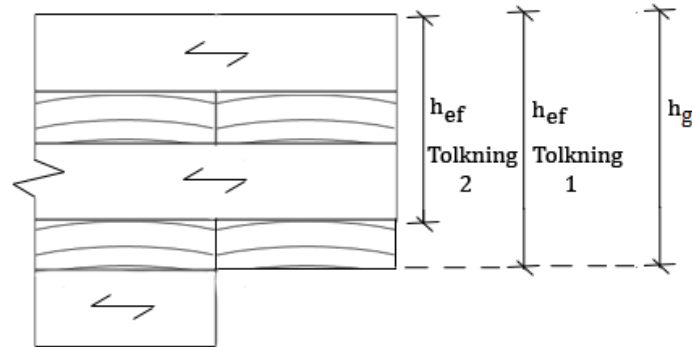


Figur 2.3: KL-trä med urtag.

Idag finns inga anvisningar på hur man ska räkna på KL-trä i Eurokod. Istället kan dimensionering baseras på europeiska tekniska bedömningar (ETA) från producenter av KL-trä, tillsammans med tillhörande råd och rekommendationer, samt olika tillgängliga handböcker. Ett förslag som eventuellt kan införlivas i nästkommande version av Eurokod 5 är att man ska använda sig av samma beräkningsmetod för KL-trä som för andra träbalkar. Detta arbete kommer huvudsakligen att undersöka om förslaget fungerar i praktiken.

Detta arbete undersöker också hur den s.k. effektiva höjden h_{ef} , dvs balkens tvärsnittshöjd ovanför urtaget som verkar vid belastning, bör tolkas i relation till

KL-träets olika skikt. När man räknar på urtag måste denna variabel beaktas. För KL-trä finns det två olika tolkningar (se figur 2.4). Den ena tolkningen utgår ifrån att den geometriska balkhöjden vid urtaget (betecknas h_g) är den effektiva höjden, dvs $h_{ef} = h_g$. Den andra tolkningen definierar den effektiva höjden som den geometriska balkhöjden vid urtaget, undantaget skiktet precis ovanför urtaget, om detta skikt löper vinkelrätt mot balkens huvudriktning.



Figur 2.4: Definitioner av den effektiva höjden h_{ef} .

2.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att utvärdera om beräkningsmetoden för urtag enligt Eurokod 5 även kan appliceras på urtag i KL-trä, samt vilken tolkning av den effektiva höjden som speglar verkligheten bäst.

2.3 Mål

Målet för detta examensarbete är att ge svar på om förslaget nämnd i bakgrundsdelen fungerar i praktiken, och ge ett konkret svar på hur man bör definiera den effektiva höjden.

2.4 Avgränsningar

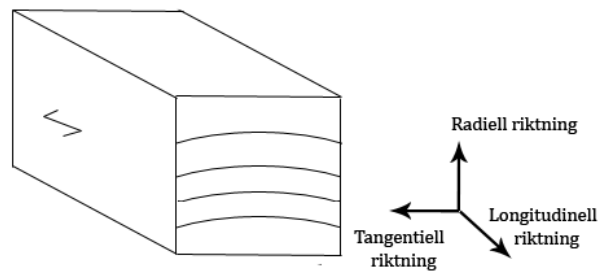
I arbetet undersöks endast rätvinkliga urtag. Arbetet behandlar inte långtidsbelastning. Inverkan av fukt beaktas inte.

3 Teori

Detta kapitel beskriver de allmänna egenskaperna för trä och KL-trä, samt KL-träs mekaniska egenskaper och verkningssätt vid moment- och tvärkraftsbelastning. Utöver detta presenteras även beräkningsmetoden för urtag som finns i Eurokod 5 och dess bakgrund. Teorin ligger till grund för det experimentella arbetet som genomförs, samt de jämförande beräkningarna.

3.1 Egenskaper för trä

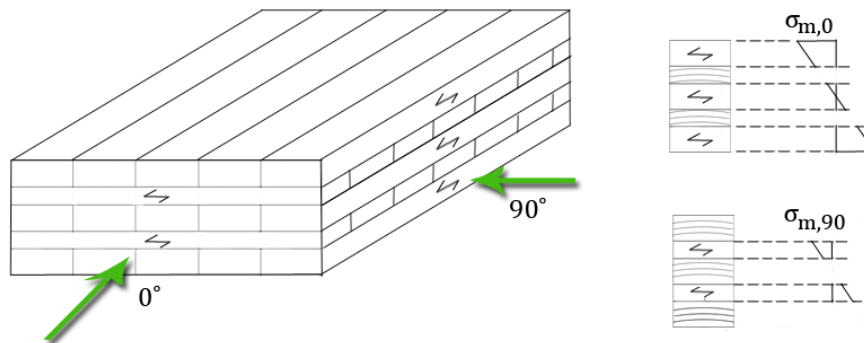
Trä är ett anisotropt material, vilket innebär att det har olika egenskaper i olika riktningar. För trä brukar man använda sig av tre mot varandra vinkelräta riktningar kopplade till trädets växtsätt: Fiberriktningen/longitudinella riktningen (betecknas \rightarrow), den radiella riktningen samt den tangentiella riktningen, se figur 3.1. Den mest hållfasta riktningen är fiberriktningen, som sammanfaller med trädstammens riktning. (Burström, P., 2001).



Figur 3.1: Träets huvudriktningar.

3.2 KL-träets verkningssätt

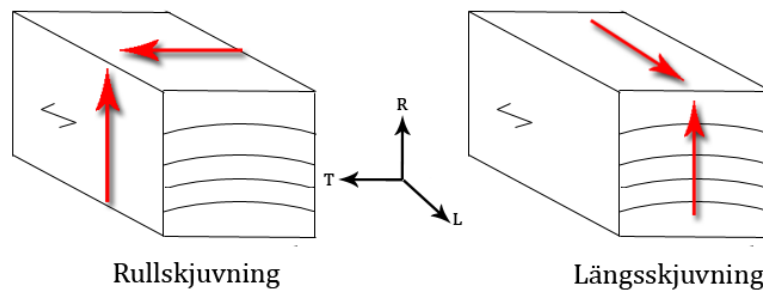
KL-trä består av ett udda antal skikt, där varje skikt är uppbyggt av brädor (lameller) och där skikten roteras 90 grader i förhållande till intilliggande skikt. KL-träets skikt har olika egenskaper beroende på skiktens riktning, och detta måste beaktas vid dimensionering med hänsyn till bland annat tvärkrafts- och momentkapacitet. Huvudriktningen (0°) definieras som den styvaste riktningen, och sekundärriktningen (90°) definieras därefter som den riktning som går vinkelrätt mot huvudriktningen, se figur 3.2.



Figur 3.2 Huvud- och sekundärriktning, samt spänningsfördelningar.

Vid böjmomentbelastning beaktas endast normalspänning i de skikt vars fiberriktning är parallell med normalspänningen. Detta då elasticitetsmodulen vinkelrätt fibrerna är mycket liten i förhållande till elasticitetsmodulen parallellt fibrerna. (Wallner-Novak, M. et al., 2014).

Vid dimensionering av KL-trä med hänsyn till tvärkraft måste både rullskjuvning och längsskjuvning beaktas. Rullskjuvning är skjuvning som sker tvärs fiberriktningen, och längsskjuvning är den skjuvning som sker längs med fiberriktningen, se figur 3.3.

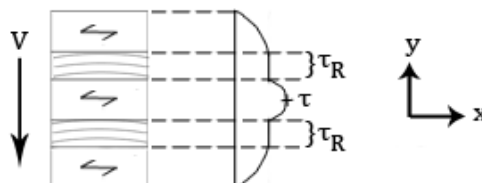


Figur 3.3: Rull- och längsskjuvning.

3.3 Dimensionering av KL-trä

3.3.1 Tvärkraft

För trä är rullskjuvhållfastheten ($f_{v,R,k}$) mindre än längsskjuvhållfastheten ($f_{v,k}$). Båda måste beaktas när man dimensionerar för tvärkraft (Wallner-Novak, M. et al., 2014). För skjuvspänningsfördelning, se figur 3.4.



Figur 3.4: Skjuvspänningsfördelning för symmetriskt tvärsnitt med fem skikt.

3.3.2 Rullskjuvning

Rullskjuvning är skjuvning som sker tvärs fiberriktningen. Namnet syftar på att vid brott så rullar fibrerna över varandra. För dimensionering med hänsyn till tvärkraft och avseende rullskjuvning kan följande uttryck användas (Wallner-Novak, M. et al., 2014)

$$\tau_{v,R,d} \leq f_{v,R,d} \quad (1)$$

$$\frac{V_{0,d} A \bar{y}_{0,R}}{I_0 b} \leq k_{mod} \frac{f_{v,R,k}}{\gamma_M} \quad (2)$$

där

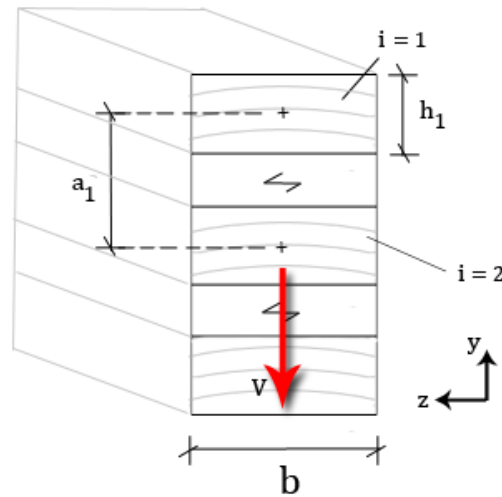
$\tau_{v,R,d}$	dimensionerande rullskjuvspänning
$f_{v,R,d}$	dimensionerande rullskjuvhållfasthet
$V_{0,d}$	dimensionerande tvärkraft
$A \bar{y}_{0,R}$	statiskt moment för rullskjuvning
I_0	tröghetsmoment i huvudriktningen
b	tvärsnittets bredd
k_{mod}	omräkningsfaktor som tar hänsyn till inverkan av fukt och lasternas varaktighet
$f_{v,R,k}$	karakteristisk rullskjuvhållfasthet
γ_M	partialkoefficient beroende av material

Det statiska momentet för rullskjuvning $A \bar{y}_{0,R}$ i ett symmetriskt tvärsnitt fås från formeln

$$A \bar{y}_{0,R} = \sum_{i=1}^{m_L} b h_i a_i \quad (3)$$

där

m_L	index för det longitudinella skikt som ligger närmast tvärsnittets tyngdpunkt
h_i	skikthöjd
a_i	avstånd från skiktets tyngdpunkt till tvärsnittets tyngdpunkt



Figur 3.5: Statiska momentet för rullskjuvning i fallet $m_L = 2$.

3.3.3 Längsskjuvning

Längsskjuvning är skjuvning som sker längs med fiberriktningen. För dimensionering med hänsyn till tvärkraft och avseende längsskjuvning kan följande uttryck användas (Wallner-Novak, M. et al. 2014)

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} \quad (4)$$

$$\frac{V_{0,d} A \bar{y}_{0,v}}{I_0 b} \leq k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (5)$$

där

$\tau_{v,d}$	dimensionerande längsskjuvspänning
$f_{v,d}$	dimensionerande längsskjuvhållfasthet
$A \bar{y}_{0,v}$	statiskt moment för längsskjuvning
$f_{v,k}$	karaktäristisk längsskjuvhållfasthet

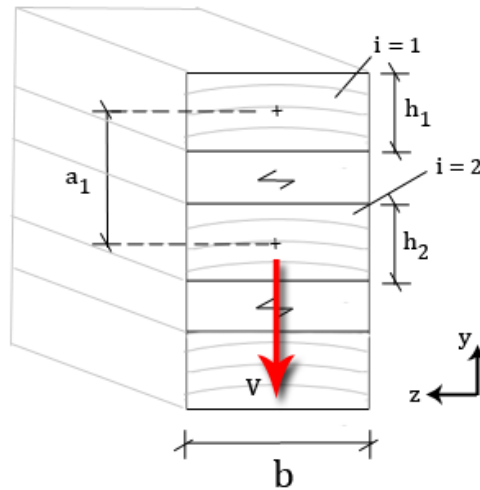
Om tvärsnittets tyngdpunkt ligger i ett longitudinellt skikt, fås det statiska momentet för längsskjuvning $A \bar{y}_{0,v}$ i ett symmetriskt tvärsnitt från formeln

$$A \bar{y}_{0,v} = \sum_{i=1}^{k_L} b h_i a_i + \frac{b h_k}{2} \cdot \frac{h_k}{4} \quad (6)$$

där

k_L index för det longitudinella skikt som ligger närmast tvärsnittets tyngdpunkt

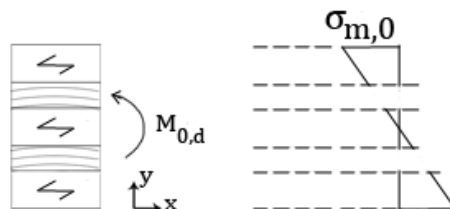
h_k höjden för det skikt som innehåller tvärsnittets tyngdpunkt



Figur 3.6: Statiskt moment för längsskjuvning för fallet $k_L = 2$.

3.3.4 Böjmoment

Normalspänning i KL-trä beaktas endast i de longitudinella skikten, som beskrivet i avsnitt 3.2, vilket innebär att endast de longitudinella skikten tar upp böjmomentet, se figur 3.7.



Figur 3.7: Böjmoment och normalspänning i KL-trä.

Normalspänning beräknas mha formeln:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_0} \quad (7)$$

där

$\sigma_{m,d}$ dimensionerande normalspänning

M_d dimensionerande böjmoment

W_0 böjmotstånd i huvudriktningen

Med ett symmetriskt tvärsnitt fås tröghetsmomentet I_0 från

$$I_0 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{bh_i^3}{12} + bh_i a_i^2 \right) \quad (8)$$

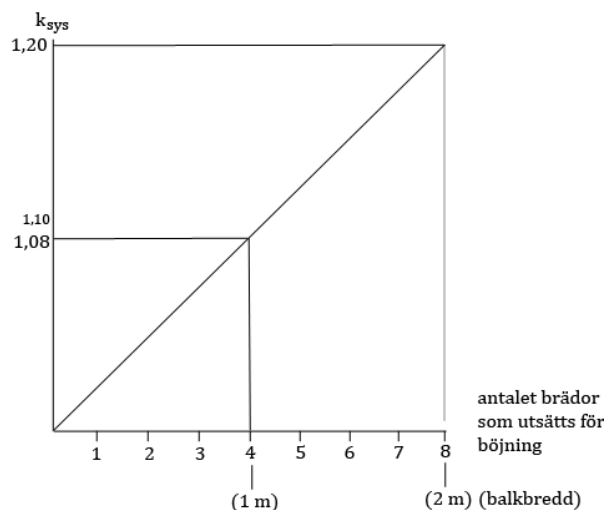
där n är antalet longitudinella skikt i huvudriktningen.

Böjmotståndet W_0 beräknas med hjälp av tröghetsmomentet. I ett symmetriskt tvärsnitt med longitudinellt skikt ytterst ges böjmotståndet av

$$W_0 = \frac{I_0}{\left(\frac{h}{2}\right)} \quad (9)$$

där h är hela tvärsnittets höjd.

För böjmoment får systembärförmågefaktorn k_{sys} beaktas. Faktorn tar hänsyn till att KL-trä består av flera (i tvärled) parallellkopplade brädor (=ett element) vilket ökar KL-träets bärförmåga. För elementbredd under 25 cm bör k_{sys} sättas till 0,90, och för $b \geq 25$ cm får diagrammet i figur 3.8 användas.



Figur 3.8: Samband mellan balkbredd och systemfaktorn k_{sys} .

Med k_{sys} kan man dimensionera för böjmoment enligt

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (10)$$

$$\frac{M_d}{W_0} \leq k_{mod} k_{sys} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (11)$$

där

$f_{m,d}$ dimensionerande böjhållfasthet

$f_{m,k}$ karakteristisk böjhållfasthet

3.3.5 Karakteristiska värden

Karakteristiska värden för KL-trä skiljer sig mellan KL-trä producenters tekniska bedömningar. De som presenteras i tabell 3.1, och som har använts i beräkningarna, är från proHolz.

Tabell 3.1: Karakteristiska värden enligt Wallner-Novak, M. et al. (2014).

Hållfasthetsvärden	Tecken	Värde [MPa]
Böjning parallellt fibrerna	$f_{m,k}$	24,0
Längsskjuvning	$f_{v,k}$	2,5
Rullskjuvning	$f_{v,R,k}$	1,1

3.4 Gustafsson-formeln

Gustafsson-formeln beskriver korttidsbärförmågan hos träbalkar med rätvinklig urtagning vid upplag utan förstärkning, och är den formel som kapitlet om urtag i Eurokod 5 är baserat på. Gustafsson-formeln är baserad på linjärelastisk brottmekanik och har verifierats mot ett stort antal prov av träbalkar av olika storlek och med olika urtag avseende utformning och relativ storlek. (Gustafsson, P.J., 1988)

3.5 Dimensionering av urtag i Eurokod 5

Den dimensionerande skjuvhållfastheten $f_{v,d}$ ska tillsammans med en reduktionsfaktor k_v vara större än den dimensionerande skjuvspänningen τ_d enligt

$$\tau_d = \frac{1,5V}{bh_{ef}} \leq k_v f_{v,d} \quad (12)$$

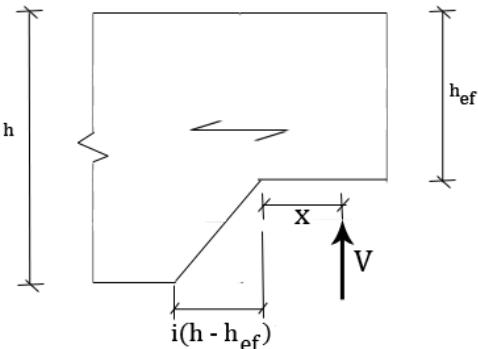
Reduktionsfaktorn k_v fås ifall upplaget ligger på samma sida som balkens urtag från (13). Variablerna illustreras i figur 3.9.

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right. \quad (13)$$

där

i	urtagets lutning
h	balkens höjd i mm
x	avståndet från upplagskraftens verkningslinje till urtagshörnet i mm
k_n	materialkonstant
α	kvot mellan balkens höjd och balkens höjd efter urtagning

α fås av:

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} \quad (14)$$


Figur 3.9: Dimensionering av urtag.

Värdet för materialkonstanten k_n beror på trämaterialiet.

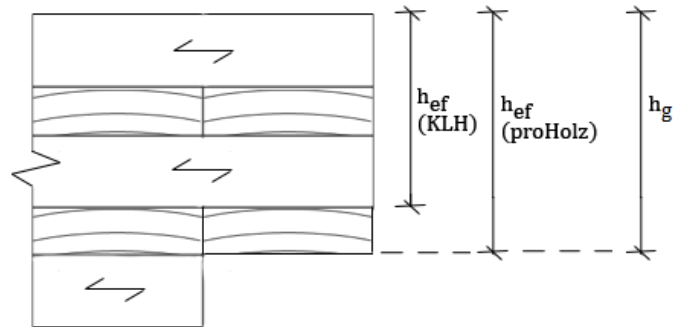
$$k_n = \begin{cases} 4,5 & \text{för fanerträ (LVL)} \\ 5 & \text{för massivt trä} \\ 6,5 & \text{för limträ} \end{cases} \quad (15)$$

Enligt Wallner-Novak, M. et al. (2014) ska k_n sättas till 4,5 för KL-trä.

3.6 Anpassning till KL-trä

Det är inte självklart hur ovanstående formel ska tillämpas för KL-trä. Ett sätt är att strikt använda h_{ef} och kontrollera vilket värde på k_n som ger bra passning till provningsresultaten.

h_{ef} kan definieras på två olika sätt: Ett där h_{ef} är tvärsnittshöjden vid urtaget enligt Wallner-Novak, M. et al. (2014), och som i denna text kommer att benämnas *proHolz-metoden*. Även den andra metoden definierar h_{ef} som tvärsnittshöjden vid urtaget, men räknar inte in höjden av det första skiktet ovanför urtaget om detta är ett tvärsnitt. (ETA-15/0906, 2012). Denna beräkningsmetod kommer i denna text benämnas *KLH-metoden*, se figur 3.10.



Figur 3.10: Definitioner av h_{ef} .

Om det första skiktet ovanför urtaget är ett longitudinellt skikt erhålls samma värde oavsett om man använder proHolz- eller KLH-metoden.

Som nämnt i avsnitt 3.3.2 är rullskjuvhållfastheten mindre än längsskjuvhållfastheten, och detta måste beaktas vid dimensionering av KL-trä. Detta innebär att dimensionering av urtag bör anpassas till KL-trä genom att beakta rullskjuvningen. Beräkningsmetoden från avsnitt 3.5 kan därmed omvandlas för att få formeln

$$\tau_d = \frac{1,5V}{bh_{ef}} \leq k_v f_{v,R,d} \quad (16)$$

där $f_{v,R,d}$ är dimensionerande rullskjuvhållfasthet. k_v kan sedan beräknas enligt (13) och (14).

4 Metod

Målet med det experimentella arbetet är att erhålla underlag för en jämförelse med beräkningar för att kunna utvärdera om beräkningsmetoden enligt Eurokod 5 är relevant för KL-trä. Balkar av KL-trä med olika urtag provas därför till brott, tillsammans med en balk utan urtag som referens. Brottlasten läses av från det kraft-deformationssamband som registreras under provningen, och denna brottlast jämförs sedan med beräkningar.

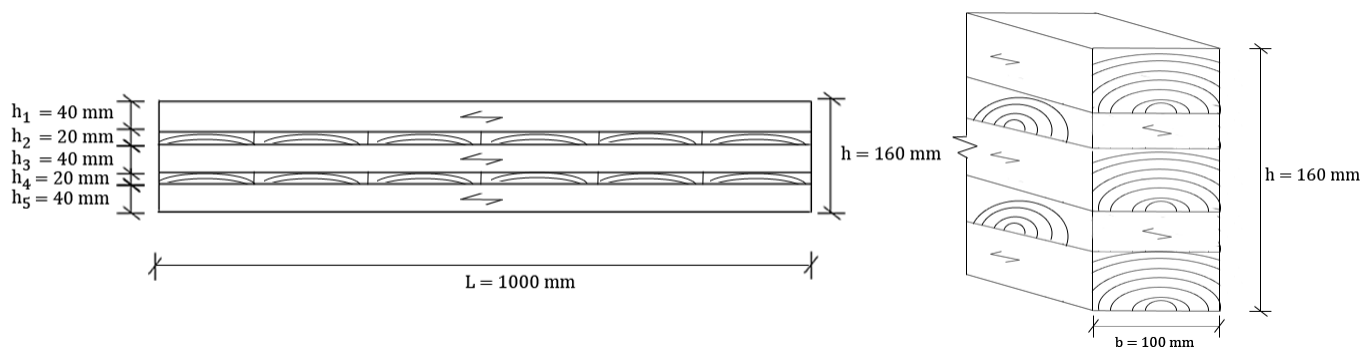
4.1 Förutsättningar

För att såga urtagningarna används verkstaden på Lunds Tekniska Högskola.

Provningarna utförs med en MTS 810, en servo-hydraulisk provningsmaskin.

4.2 Beskrivning av balkens form

De balkar som används i det experimentella arbetet har dimensioner enligt figur 4.1.

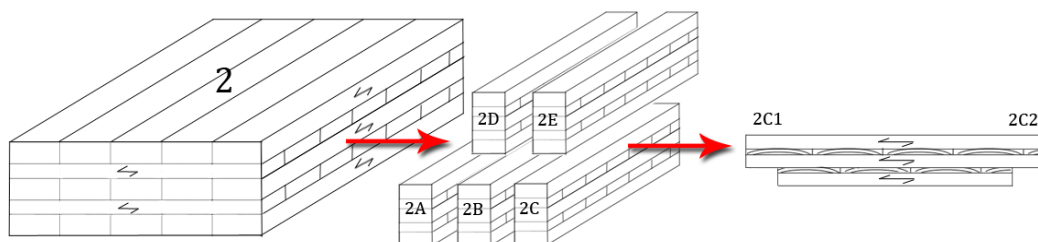


Figur 4.1: Balkdimensioner.

Balkarna sågas ut ur större skivor på ett sådant sätt att i de longitudinella skikten är årsringarna centrerade, med en maximalt tillåten horisontell förskjutning på 2 cm. För att undersöka bärförmågan efter urtagning har endast en parameter, vilket är urtagshöjden, beaktats. Därför är provkropparna sågade för att vara så symmetriska och lika varandra som möjligt så att asymmetri hos provkropparna inte påverkar resultatets spridning.

4.2.1 Namngivning

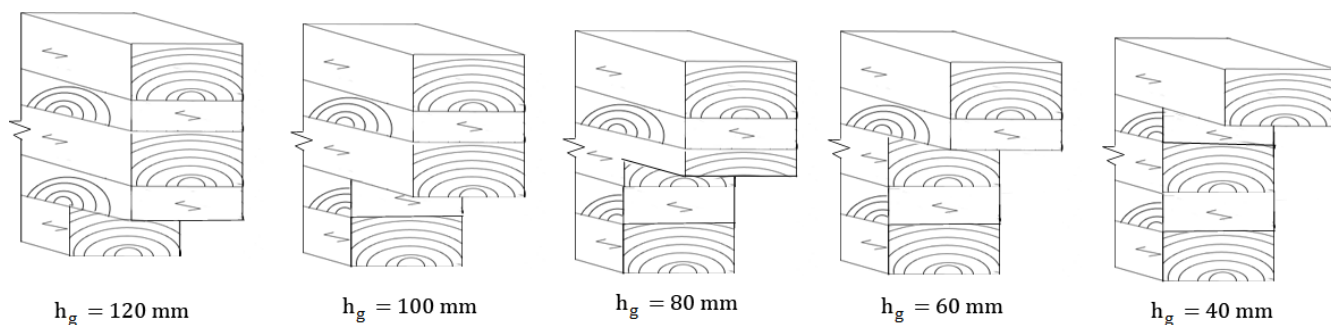
Provningarna är namngivna efter det element de har sågats ut från, i vilken ordning och vilken ände provningen har utförts. Se figur 4.2. Till exempel har balken 2C1 sågats ut från det KL-träelement som har fått numreringen 2, det är den tredje balken som sågades ut från det elementet, dvs den har fått bokstaven C, och det är ände nummer 1 som har provats.



Figur 4.2: Namngivning av balkar. Figuren visar fallet för 2C1 och 2C2.

4.2.2 Urtagsform

Provningsserierna sorteras efter olika höjd på urtagen enligt figur 4.3. Fem provningsserier med urtag genomförs, där varje provningsserie består av minst sex balkar. Balken har urtag i båda ändar, och båda ändar provas. I vissa fall blir sprickorna så långa att den andra sidan av balken inte bör/kan provas. På grund av detta erhålls inte alltid samma antal resultat för varje provningsserie. Balkarnas urtag har längden 50 mm, och ingen lutning, dvs $i = 0$ med i definierat i figur 3.9.

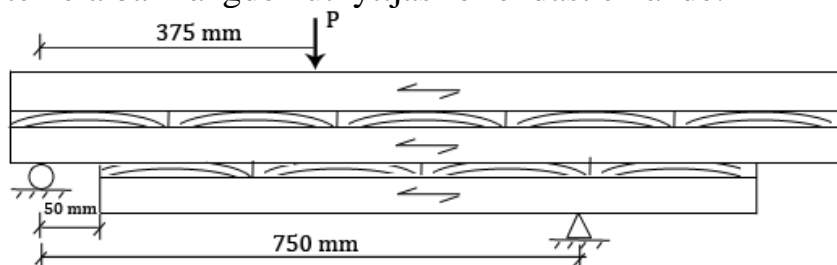


Figur 4.3: Urtagsdimensioner.

Notera att med undantaget $h_g = 80$ mm så har urtagen sågats ut efter skiktgränserna.

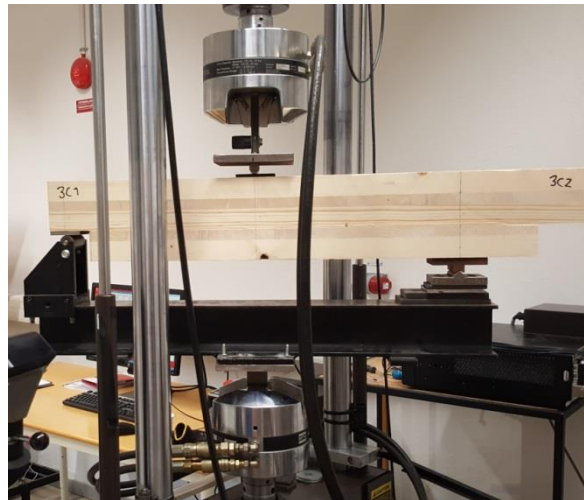
4.2.3 Provuppställning

Provuppställningen illustreras i figur 4.4 och 4.5. Eftersom balken provas i båda ändar kan inte hela balklängden utnyttjas för endast en ände.



Figur 4.4: Provuppställning för $h_g = 100$ mm.

Spännvidden är 750 mm. Punktlasten verkar i mitten av distansen mellan rull- och fixlagret, dvs 375 mm från rull- och fixlagret.



Figur 4.5: Provuppställning för $h_g = 100$ mm.

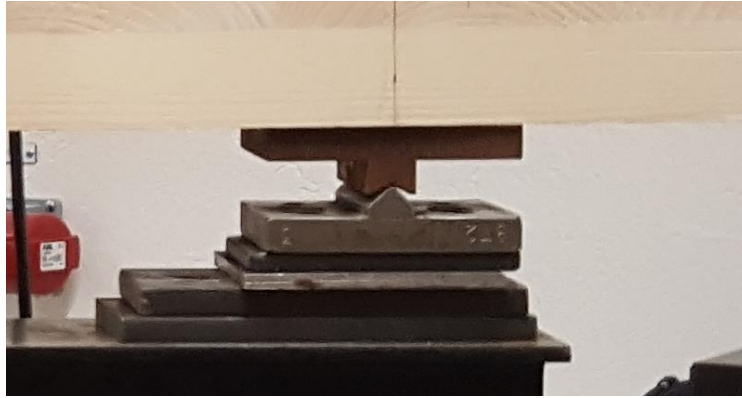
4.3 Utförande

På urtagets sida placeras ett rulllager under balken. För att fördela kraften och förhindra intryckning i balken på grund av rullagret placeras en stålplatta mellan balken och rullagret i urtaget, se figur 4.6.



Figur 4.6: Stålplatta mellan balk och rullager. Bilden visar fallet för $h_g = 100$ mm.

Ett fixlager placeras på andra sidan balken. För att uppnå samma höjd för rullagret och fixlagret placeras plattor under fixlagret, se figur 4.7.



Figur 4.7: Fixlager med plattor under. Bilden visar fallet för $h_g = 100$ mm.

Punktlasten appliceras via en cylinder som placeras i mitten av en platta, se figur 4.8. Plattan används dels för att förhindra intryckning i balken, och dels för att fördela kraften jämnt.



Figur 4.8: Lastinföring.

Målet har varit att brott ska uppstå mellan 5 och 10 minuter efter att belastningen av balken har påbörjats, därför har belastningshastigheter mellan 0,01-0,08 mm/s använts för att uppnå brott inom detta tidsintervall.

4.4 Beräkningar för urtag i KL-trä

I detta avsnitt genomförs beräkningar för urtag i KL-trä enligt avsnitt 3.5 för att jämföra det teoretiska och det experimentella arbetet.

För beräkningarna gäller följande för samtliga balkar:

- Karakteristiskt hållfasthetsvärde används istället för dimensionerande för att erhålla ett neutralt beräkningsresultat som ignorerar klimat och lasttyp. Detta innebär att k_{mod} och γ_M sätts till 1.
- Enligt avsnitt 3.3.1. har KL-trä lägre hållfasthet när det utsätts för rullskjuvning, och därför beaktas endast detta i beräkningarna.

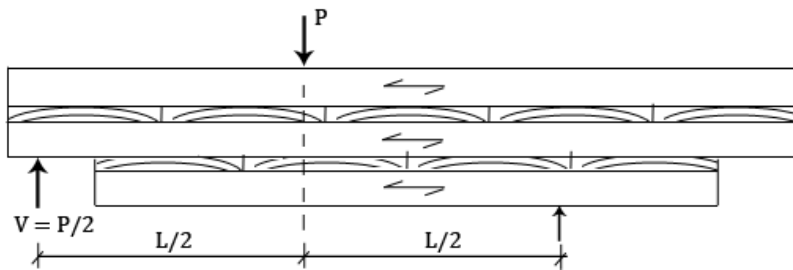
- Tabell 3.1. ger att karakteristiskt värde för rullskjuvning $f_{v,R,k} = 1,1$ MPa.
- Endast nominella värden används. Detta innebär att eventuella defekter i balkarna som påverkar dess dimensioner inte beaktas.
- Alla beräkningar utgår ifrån lastfallet i figur 4.9.

För att beräkna den antagna brottlasten används ekvationer enligt avsnitt 3.6 för att få fram en uppskattad tvärkraft vid brott för varje h_g . Denna tvärkraft används sedan i ekvation (17) och (18) för att få fram den antagna brottlasten.

$$V_f = \frac{P_f}{2} \quad (17)$$

$$P_f = 2V_f \quad (18)$$

där P_f är brottlasten och V_f den uppskattade tvärkraften vid brott.



Figur 4.9: Lastfall.

4.4.1 Beräkningsresultat

Se tabell 4.1. för beräkningsresultat.

Tabell 4.1: Beräkningsresultat

h_g [mm]	h_{ef} (proHolz- metoden) [mm]	h_{ef} (KLH- metoden) [mm]	α [-]	k_v [-]	P_f (proHolz- metoden) [kN]	P_f (KLH- metoden) [kN]
40	40	40	0,250	0,38	2,25	2,25
60	60	40	0,375	0,40	3,55	2,25
80	80	80	0,500	0,43	5,02	5,02
100	100	100	0,625	0,47	6,87	6,87
120	120	100	0,750	0,55	9,60	6,87

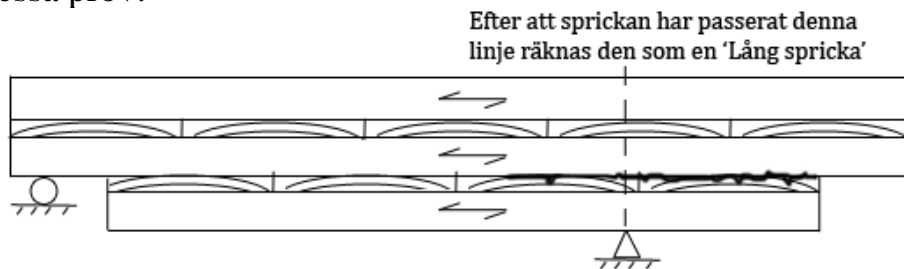
5 Resultat

5.1 Tabeller

Tabell 5.1 innehåller en sammanställning av geometrisk balkhöjd vid urtag, brottlast och eventuella laster där sprickor uppstår för alla provningar.

Kolonnen 'Lång spricka' beskriver om sprickan från provningen av första provade änden av balken går längre än till fixlagrets upplag för andra änden av balken (se figur 5.1). Detta kan ha påverkat resultatet.

Notera att en lång spricka är irrelevant vid provning av balkens andra sida då balken kan endast provas två gånger. Kolonnen 'Lång spricka' markeras därmed med '-' för dessa prov.



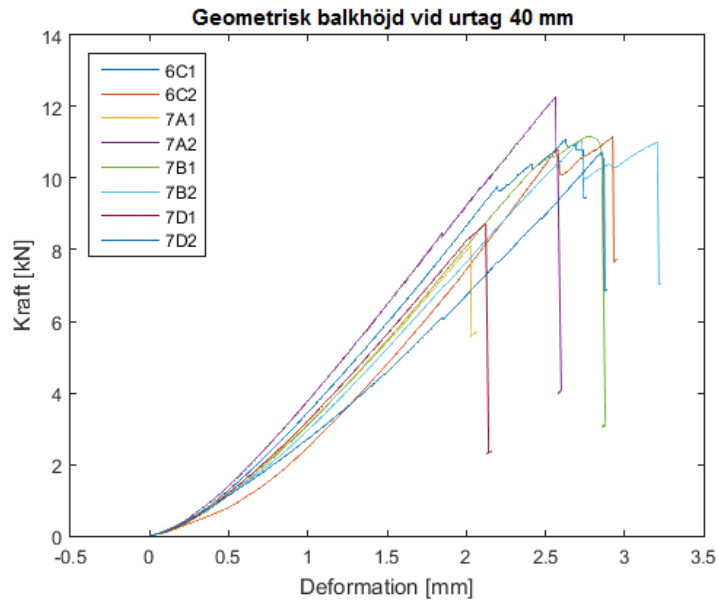
Figur 5.1: Illustration av lång spricka.

Tabell 5.1: Resultat från balkprovningen.

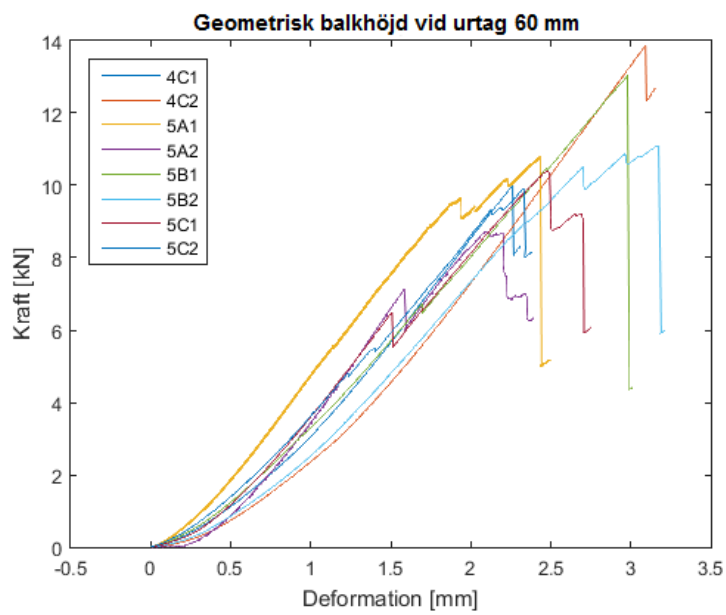
	h_g [mm]	b [mm]	Spricka 1 [kN]	Spricka 2 [kN]	Brottlast [kN]	Lång spricka
1A1	118	100	22,98		30,89	Nej
2B1	120	100	21,31	26,53	26,70	Nej
2C1	120	98	21,03		32,81	Ja
2C2	117	99	15,19		34,97	-
3A1	117	99	20,01		27,21	Ja
3A2	117	100	24,57		27,02	-
Medelvärde					29,93	
Standardavvikelse					3,18	
3B1	100	99			26,04	Nej
3B2	95	98			23,69	-
3C1	98	96			31,24	Ja
4A1	96	101	17,22		31,57	Nej
4A2	97	100			32,98	-
4B1	99	100			25,49	Ja
4B2	98	100			30,61	-
Medelvärde					28,80	
Standardavvikelse					3,36	
8A1	77	100			16,15	Nej
8A2	75	100			19,69	-
8B1	76	99			13,08	Nej
8B2	76	100			19,80	-
8C1	75	99	12,42	15,1	20,40	Nej
8C2	78	100			17,82	-
Medelvärde					17,82	
Standardavvikelse					2,56	
4C1	56	100			9,98	Nej
4C2	58	100			13,86	-
5A1	57	98			10,80	Nej
5A2	59	98	7,05		8,68	-
5B1	59	100			13,03	Ja
5B2	56	100			11,09	-
5C1	58	100			10,39	Nej
5C2	55	99	4,80		9,91	-
Medelvärde					10,96	
Standardavvikelse					1,59	
6C1	40	97	9,82		11,07	Nej
6C2	40	96	10,79		11,16	-
7A1	37	100			8,09	Nej
7A2	40	99			12,26	-
7B1	38	99	9,93		11,17	Ja
7B2	49	100			11,00	-
7D1	38	100			8,71	Ja
7D2	38	99			10,74	-
Medelvärde					10,52	
Standardavvikelse					1,30	

5.2 Grafer

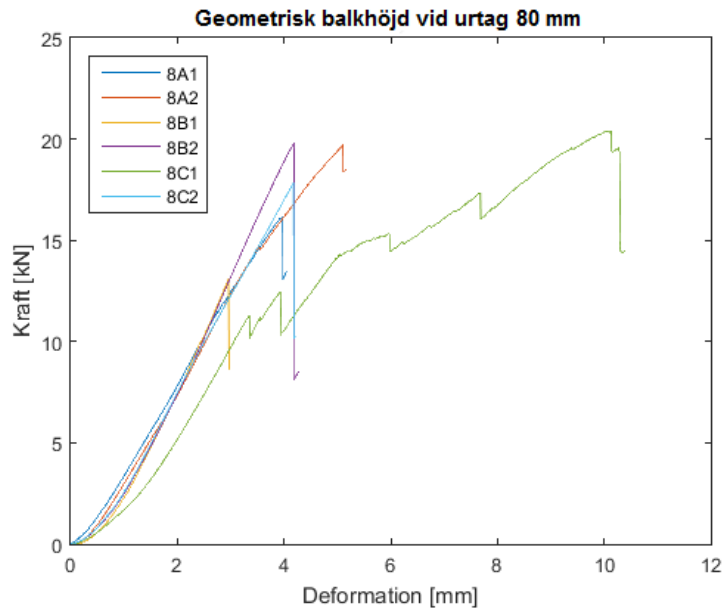
Graferna 5.2-5.6 visar kraft-deformationssambandet för de olika balkserierna, där y-axeln representerar kraften och x-axeln deformationen.



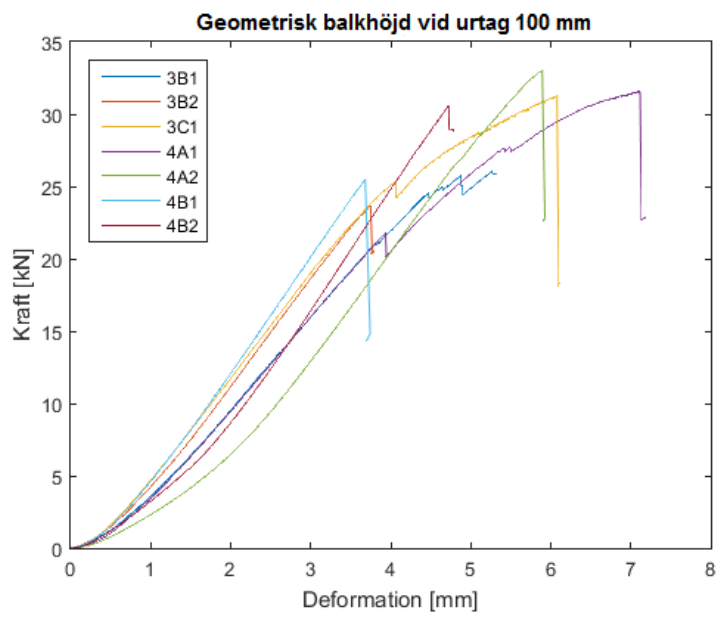
Figur 5.2: Kraft-deformationssamband för $h_g = 40$ mm.



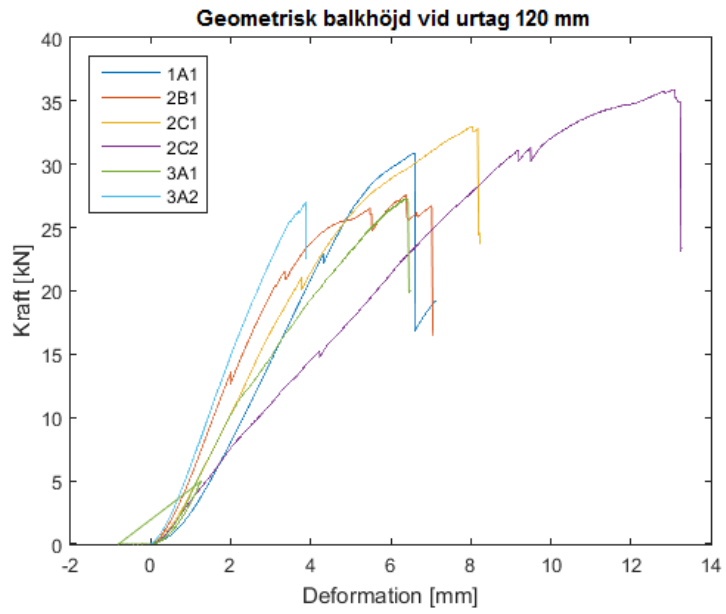
Figur 5.3: Kraft-deformationssamband för $h_g = 60$ mm.



Figur 5.4: Kraft-deformationssamband för $h_g = 80$ mm.



Figur 5.5: Kraft-deformationssamband för $h_g = 100$ mm.



Figur 5.6: Kraft-deformationssamband för $h_g = 120$ mm.

6 Diskussion

En jämförelse mellan beräknad bärförmåga enligt tabell 4.1 och uppmätt bärförmåga enligt tabell 5.1 har sammanställts i tabell 6.1 och 6.2, och visar stora skillnader i brottlast. Karakteristiska hållfasthetsvärden (och nominella värden) har använts när brottlasten har beräknats, och dessa beräknade värden har jämförts med provningsseriernas medelvärde för brottlasterna.

Medelvärden för hållfastheten är större än dimensionerande hållfasthetsvärden med en faktor 1,5-2,0. Om beräkningsmetoden för urtag enligt Eurokod 5 hade gett ett resultat som överensstämde med de uppmätta brottlasterna hade alltså en kvot mellan 1,5-2,0 erhållits, men eftersom kvoten är större än 2,0 så innebär det att den uppmätta bärförmågan är klart större än den beräknade.

Tabell 6.1: Jämförelse mellan medelbrottlast och beräknad brottlast (proHolz-metoden).

Geometrisk balkhöjd vid urtag [mm]	Beräknad brottlast [kN]	Medelbrottlast [kN]	Kvot
120	9,60	29,93	3,11
100	6,87	28,80	4,19
80	5,02	17,82	3,55
60	3,55	10,96	3,08
40	2,25	10,52	4,67

Tabell 6.2: Jämförelse mellan medelbrottlast och beräknad brottlast (KLH-metoden).

Geometrisk balkhöjd vid urtag [mm]	Beräknad brottlast [kN]	Medelbrottlast [kN]	Kvot
120	6,87	29,93	4,35
100	6,87	28,80	4,19
80	5,02	17,82	3,55
60	2,25	10,96	4,87
40	2,25	10,52	4,65

En jämförelse mellan KLH-metoden, proHolz-metoden och provresultaten visar att beräkning enligt KLH-metoden ger ett beräkningsresultat som bättre

motsvarar provresultaten än proHolz-metoden, eftersom skillnaden i brottlast för de balkar med geometrisk balkhöjd vid urtag 120 och 100 mm, respektive 60 och 40 mm, är mycket små.

Utgår man därför ifrån KLH-metoden visar jämförelsen att kvoten mellan beräknad och uppmätt brottlast är förhållandevis konstant, med undantag för $h_g = 80$ mm. Att kvoten skiljer sig så markant för $h_g = 80$ mm kan förklaras med att det är det enda urtaget gjort mellan två skiktgränser, till skillnad från de andra urtagen som har gjorts i skiktgränserna.

Standardavvikelsen i tabell 5.1 visar att det är en större spridning i brottlaster i balkarna med högre balkhöjder vid urtaget än de med mindre balkhöjder vid urtaget.

7 Slutsats

Den huvudsakliga frågeställningen för detta arbete är om beräkningsmetoden för urtag enligt Eurokod 5 kan användas för KL-trä. Utifrån resultatet kan man se följande:

- Skillnaden mellan den beräknade brottlasten och medelbrottlasten är stor för samtliga balkhöjder.
- Samtidigt så är kvoten mellan den beräknade brottlasten och medelbrottlasten ungefär likadana för alla balkhöjder.

Dessa två punkter leder till slutsatsen att beräkningsmetoden för urtag från Eurokod 5 kan användas också för KL-trä, men att man skulle behöva öka värdet för t.ex. materialkonstanten k_n för KL-trä för att erhålla resultat som bättre speglar verkligheten.

Den andra frågeställningen var vilken tolkning av den effektiva höjden som passade bäst för KL-trä. Resultatet visar tydligt att KLH-metoden är den tolkning som ger resultat som ligger närmast de uppmätta brottlasternas värden.

7.1 Förslag på fortsatta studier

I denna rapport har huvudsakligen urtag gjorda i skiktgränserna testats, med undantaget $h_g = 80$ mm, som har sågats mitt i ett skikt. Resultatet visade att för detta fallet så var kvoten mellan den beräknade och den verkliga brottlasten mindre än för de urtag som har gjorts i skiktgränserna. Det kan alltså vara intressant att studera närmare hur bärförmågan i KL-trä påverkas om man sågar urtag mitt i skikten.

8 Litteraturförteckning

Wallner-Novak, M., Koppelhuber, J. och Pock, K. (2014). *Cross-Laminated Timber Structural Design - Basic design and engineering principles according to Eurocode*. ProHolz Österrike, Wien. ISBN 978-3-902926-03-6.

ETA-15/0906 (2012). *European Technical Assessment ETA-06/0138 of 20.02.2017*. Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien.

Gustafsson, P.J. (1988). *A study of the strength of notched beams*. In: Proceedings of the International Council for Research and Innovation in Building and Construction, Working Commission 18A – Timber Structures, CIB-W18A/21-10-1, Parksville, Vancouver Island, Kanada.

Burström, P. (2001). *Byggnadsmaterial – Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Studentlitteratur, Lund. ISBN 978-91-44-02738-8

Swedish Standards Institute (2009). *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner*. Swedish Standards Institute, Stockholm.