

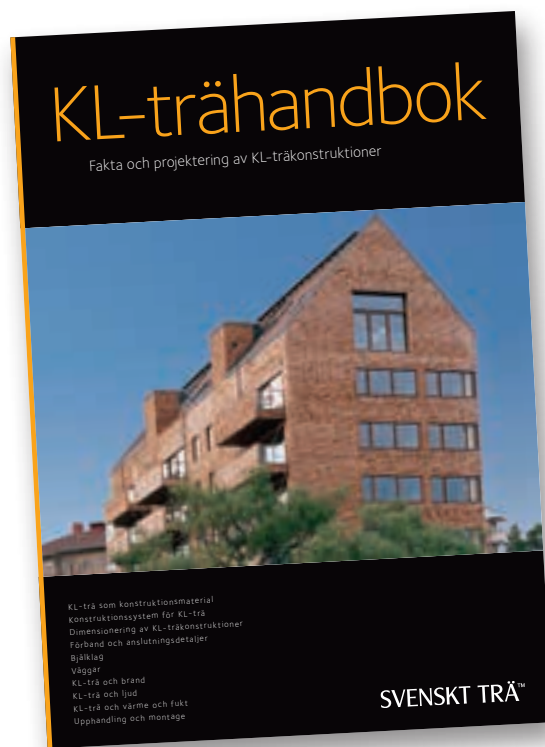
KL-trähandbok

Fakta och projektering av KL-träkonstruktioner



KL-trä som konstruktionsmaterial
Konstruktionssystem för KL-trä
Dimensionering av KL-träkonstruktioner
Förband och anslutningsdetaljer
Bjälklag
Väggar
KL-trä och brand
KL-trä och ljud
KL-trä och värme och fukt
Upphandling och montage

SVENSKT TRÄ™



KL-trähandboken är ett resultat av ett samarbete mellan svenska leverantörer av korslimmat trä, KL-trä, och branschorganisationen Svenskt Trä. KL-trähandboken utgör en del i Svenskt Träs satsning på handböcker för byggande i trä. Andra handböcker som givits ut är:

- Dimensionering av träkonstruktioner Del 1, som behandlar projektering av träkonstruktioner.
- Dimensionering av träkonstruktioner Del 2, som innehåller regler och formler enligt Eurokod 5.
- Dimensionering av träkonstruktioner Del 3, som ger ett antal dimensionerings-exempel för olika träkonstruktioner.
- Limträhandbok Del 1, som behandlar fakta om limträ och vägledning vid projektering.
- Limträhandbok Del 2, som innehåller konstruktionsberäkningar för statisk dimensionering av limträ.
- Limträhandbok Del 3, som ger ett antal beräkningsexempel för de vanligaste limträkonstruktionerna.

För ytterligare kunskap, information och praktiska anvisningar om trä, limträ, KL-trä och träbyggande finns TräGuiden, www.traguiden.se, som uppdateras kontinuerligt med ny kunskap och praktiska erfarenheter. TräGuiden är mycket omfattande med tabeller, ritningar och illustrationer.

Välkommen in på www.traguiden.se!

Information om trä, limträ, KL-trä och träbyggande finns också på www.svensktra.se.

Stockholm, maj 2017

Eric Borgström och Johan Fröbel
Svenskt Trä

Förord

Avsikten med KL-trähandboken är att hjälpa projektörer att dimensionera och projektera konstruktioner med korslimmade träskivor. Handboken beskriver korslimmat trä, KL-trä, som byggmaterial och konstruktioner utförda med KL-trä. KL-trähandboken ger vägledning vid dimensionering och utformning av konstruktioner i KL-trä. KL-trähandboken belyser också några av de många tillämpningar där KL-trä används idag. KL-trähandboken riktar sig till projektörer och andra aktörer inom byggandet.

KL-trähandboken refererar huvudsakligen till europeiska konstruktionsstandarder och Eurokoder, som är europagemensamma dimensioneringsregler för byggnadsverk vid verifiering av bärförmåga, stadga och beständighet. Till Eurokoderna har nationella val gjorts som utgår från medlemsstaternas olika förutsättningar avseende geologi, klimat och kulturella förutsättningar. Dessa nationella val för Sverige anges i Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder, EKS 10 (BFS 2015:6). I EKS 10 finns även övergripande regler om säkerhet, kontroll, dokumentation och ändring av byggnader.

Där svenska EKS 10 saknar regler eller presenterar ifrågasatta dimensioneringsmetoder har andra metoder föreslagits. Vid beräkning av KL-träskivans egenskaper och bärförmåga i olika sammanhang har därför metoder som baserar sig på forskning och praxis använts.

Tolkningen av byggregler, forskningsrapporter, industriella dokument och motsvarande är gjord av författarna och avsikten är att förmedla den gällande praxis som används vid dimensionering. Det presenterade materialet är avsett att fungera som vägledning; det slutgiltiga ansvaret för dimensionering och utformningen ligger hos konstruktören.

Skellefteå, maj 2017

Anders Gustafsson
RISE Research Institutes of Sweden AB



Innehållsförteckning

KL-trä som konstruktionsmaterial 8

- 1.1 Introduktion 8
- 1.2 Arkitektens syn på KL-trä 9
- 1.3 KL-trä som konstruktionsmaterial 11
- 1.4 KL-trä i kretsloppet 12
- 1.5 Tillverkning av KL-trä 16
- 1.6 Egenskaper 19
- 1.7 Var kan man använda KL-trä? 21

Konstruktionssystem för KL-trä 24

- 2.1 Bjälklag och väggar 25
- 2.2 KL-trä som balk 26
- 2.3 KL-trä i skalkonstruktioner 26
- 2.4 Överslagsdimensionering 27

Dimensionering av KL-träkonstruktioner 30

- 3.1 Beräkningsgrunder 30
- 3.2 Materialegenskaper för KL-trä 37
- 3.3 KL-trädimensionering enligt balkteori 40
- 3.4 KL-trä som tvådimensionella bärande plattor eller skivor 63
- 3.5 Dimensioneringsprogram för KL-trä 67
- 3.6 Beräkningsexempel 68

Förband och anslutningsdetaljer 72

- 4.1 Förband och anslutningar 72
- 4.2 Dimensioneringsprinciper 73
- 4.3 Översikt av förbandstyper 74
- 4.4 Utförande och detaljlösningar 75
- 4.5 Dimensionering av förband 80

Bjälklag 90

- 5.1 Bjälklag - översikt 91
- 5.2 Deformationer 94
- 5.3 Svikt och vibrationer 97
- 5.4 Brand 101
- 5.5 Ljud 101
- 5.6 Utförande och detaljlösningar 104
- 5.7 Beräkningsexempel 106

Väggar 110

- 6.1 Väggar - översikt 111
- 6.2 Statisk dimensionering 112
- 6.3 Stomstabilitet 115
- 6.4 Brand 121
- 6.5 Ljud 121
- 6.6 Väggtvärsnitt 123
- 6.7 Utförande och detaljlösningar 124
- 6.8 Beräkningsexempel 127

KL-trä och brand 133

- 7.1 Trä och brand 133
- 7.2 Brandmotstånd hos KL-trä 138
- 7.3 Utförande och detaljlösningar 140
- 7.4 Beräkningsexempel 141

KL-trä och ljud 145

- 8.1 Projektering med hänsyn till ljud 145
- 8.2 Ljud i KL-träkonstruktioner 151
- 8.3 Bjälklag 151
- 8.4 Väggar 154
- 8.5 Att tänka på 156

KL-trä och värme och fukt 157

- 9.1 KL-trä och värmelagring och fuktbuffring 157
- 9.2 KL-trä och fuktbetingade rörelser 160
- 9.3 KL-trä och värmeisolering 160

Upphandling och montage 164

- 10.1 Förfrågan och upphandling 164
- 10.2 Hantera KL-trä rätt 164
- 10.3 Skydd av konstruktionen under byggtiden 170
- 10.4 Kom ihåg 174

Symboler 176

Referenser 181

Friskrivningar 184

Publikationer och hemsidor från Svenskt Trä 187



KL-trä som konstruktionsmaterial

- 1.1 Introduktion 8
- 1.2 Arkitektens syn på KL-trä 9
- 1.3 KL-trä som konstruktionsmaterial 11
- 1.4 KL-trä i kretsloppet 12
- 1.5 Tillverkning av KL-trä 16
 - 1.5.1 Certifierat KL-trä 18
- 1.6 Egenskaper 19
 - 1.6.1 Hållfasthetsegenskaper 19
 - 1.6.2 Termiska egenskaper 19
 - 1.6.3 Fuktrörelser 20
 - 1.6.4 Brandegenskaper 20
 - 1.6.5 Utseendeklass och ytbehandling 20
- 1.7 Var kan man använda KL-trä? 21

1.1 Introduktion

Korslimmat trä, KL-trä, cross laminated timber, crosslam, CLT, X-Lam, BSP, massivträ och flerskiktsskivor av trä är vanligt förekommande beteckningar för skivor, plattor, pelare och balkar uppbyggda av limmade, korsvis lagda brädor eller plankor. I KL-trähandboken och i Sverige har vi valt benämningen korslimmat trä med förkortningen KL-trä. Största mängden av det KL-trä som används i de nordiska länderna utgör bärande delar i stommar till flervåningshus, skolor, daghem, industrilokaler, småhus och specialobjekt. Eftersom KL-trä är en mångsidig produkt kommer den att kunna användas inom vitt skilda användningsområden. Planelement av KL-trä används idag främst till väggar och bjälklag. KL-trä är ett miljövänligt och kretsloppsanpassat byggmaterial och rätt använt har KL-trä en lång livslängd. Det kan återanvändas i nya konstruktioner eller omvandlas till energi genom förbränning.

Kännetecknande för stomelement – väggar och bjälklag – av KL-trä är att de ofta används som stora planelement. Möjligheten till tillverkning av stora tvärsnitt ger KL-träskivorna hög bärförmåga och styvhet och därför är de även lämpliga för stabilisering av byggnaden. KL-träskivorna kan tillverkas med hög prefabriceringsgrad och den låga egenvikten ger grundläggnings-, transport- och montagefördelar. Isoleringskikten i en yttvägg kan till stora delar utföras näst intill utan köldbryggor. Med den massiva uppbyggnaden och de beklädnadsmaterial som normalt används får man dessutom en god brandsäkerhet.

Modern tillverkningsteknik i kombination med goda hållfasthetsegenskaper gör KL-trä till ett värdefullt byggmaterial med en unik egenskapsprofil:

- KL-träets flexibilitet ger ett värdefullt bidrag till utvecklingen av byggandet.
- Hög hållfasthet i förhållande till sin vikt.
- Små tillverkningstoleranser och god formstabilitet.
- Bra bärförmåga vid brand.
- Bra värmeisoleringsförmåga.
- Låg egenvikt, vilket medför lägre transport- och montagekostnader och dessutom enklare och billigare grundkonstruktioner.
- Bra förmåga att tåla kemiskt aggressiva miljöer.
- Flexibel produktion som till och med möjliggör tillverkning av krökta ytor.

Konstruktioner av KL-trä karakteriseras av snabbt och enkelt montage av förtillverkade plan- eller volymelement. Delarna kan sammanfogas med enkla och traditionella metoder, spikas eller skruvas. Vid mer krävande konstruktioner finns mer utvecklade infästningsmetoder. En konstruktion med KL-trä har full bärförmåga redan innan montage och i likhet med andra träkonstruktioner kan mindre anpassningar



Toppstuga, Kebnekaise.

göras på byggarbetsplatsen med enkla handverktyg. Trä har använts i byggnader under hundratals år och är ett material som har extremt god hållbarhet om det används på rätt sätt. I de nordiska länderna finns exempel på träbyggnader som är hundratals år gamla!

1.2 Arkitektens syn på KL-trä

Det sägs att det var medvetna politiker kring alpländerna i Europa som kom på tanken att utveckla trä för modernt byggande.

Man frågade: Gör ett byggmaterial av träden som kantar våra dalgångar, i stället för att kratsa ballast ur sluttningar och flodbottnar för betongtillverkning. Frågeställningen skickades till de främsta universiteten i Österrike, vars forskare efter några år i slutet av 1990-talet kom fram till Kreuzlagenholz, KLH, eller KL-trä på svenska. Fram kom ett nytt byggmaterial som vilar på klimatsmart och ekologisk hållning. Ett förädlad byggmaterial som tar tillvara en råvara som hela tiden växer och är förnybar.

Byggnadskonsten har fått ett material för arkitektur och stadsbygge, som alternativ till sten, tegel, stål och betong. Trä i sig är inte något nytt för byggandet. Stommar av stående och liggande timmer har bildat massiva väggar i hus sedan urminnes tider. Skiftesverket med liggande plank mellan stolpverk blev en utveckling då tillgången i timmerstocken ekonomiserades. Stående massiva plankstommar blev det tidiga egnahemsbyggandets metod att resa hus upp till två våningar. Byggmaterialet trä har alltid varit nära människan och hantverket, då det går att bearbeta med alla verktyg.

KL-trä innebär träskivor i stora format, upp till 4,80 m höga och 30 m långa skivor är möjliga att tillverka och med tjocklekar på cirka 60 – 500 mm. Det ger arkitekten möjlighet att rita ett hus som plockas ihop i platta paket med förtillverkade skivor med urfrästa håltagningar för fönster, dörrar och installationer, vilka levereras och sedan monteras ihop på byggarbetsplatsen. Här talar vi om industriell tillverkning, under tak, med tidsvinnande montage på byggarbetsplatsen. Detta gäller även tillverkning av volymelement, där golv, väggar och tak produceras av KL-trä.

KL-trä innebär ett ingenjörsmässigt material som kan nyttjas för arkitektur på ett industrialiserat sätt, det vill säga med långt driven produktion av byggelement. Manufaktur med trä som råvara låter sig bearbetas långt intill förfining av detaljer och ytor. Med vår tids digitala förmåga och noggrannhet kan byggnadskonsten få en avlösning på platsrelaterade, suboptimerade och tunga byggnadskulturer.

KL-trä ger en arkitektur till interiören av fullt färdiga ytor att använda. Golvet är varmt att gå på, då trä genast meddelar värme till barfotamänniskorna. Hyllorna går att skruva upp på väggarna utan problem. Tavlor kan spikas upp och i taket kan saker och ting fästas med enkelhet. Vill de boende komplettera med ett dörrhål är friheten att såga upp ett nytt hål, där det passar, i regel stor. Ett nytt fönster för dagsljus kan likaså oftast lätt bli till.

Skivor av KL-trä uppträder statiskt som betongelement, men med mycket lättare egentyngd. Beräkningsmässigt låter sig KL-trä beräknas som ett fullgott bärande skivmaterial med kända påkänningar av tryck-, drag- och tvärkrafter i byggnadskonstruktioner. Även brandfrågorna finner svar, som vilar på erkänd forskning och utveckling samt europeisk normering. För en händelse av brand i materialet kolar den korslimmade massiva träskivan på ytan, med ett skyddande



Ventilationstorn med KL-trästimme, Stockholm.



Sommarhus under uppförande, Öland.



Sommarhus med KL-trästomme, Öland.

skikt med bibehållande av bärighet i konstruktionen, så att människor kan sättas i säkerhet i tid.

Med alla goda egenskaper KL-trä uppvisar är det tryggt att bygga med. Människor har gott förtroende till trä sedan lång tid. Våra sinnen tränades säkert i slöjden, där ett direkt förhållande till materialet kunde upplevas.

Den arkitektur vi önskar att våra städer ska ha framöver kommer att uppföras med stommar av KL-trä. Ofta vill vi se att husen är trähus, också med synliga ytor av trä. Idag går det utmärkt att göra byggnaderna höga i flera våningar. KL-trä kan också exteriört bilda bärverk med fasader i annat material. Det handlar om var husen tar plats i samhällsbygget och vilken lokal passning som krävs i urbaniteten.

En fin egenskap som KL-träkonstruktioner medger är förtätning av ny bebyggelse inpassad i befintlig bebyggelse. Nytt hus som monteras i byggsats kan på kort tid uppföras med god passning till sin lokala förutsättning med en tidsbesparande byggnadsmetod.

Arkitektur som tar KL-trä till sig kan uppträda i ett arkitekturspråk som är överraskande och spännande, då trä medger formande som arkitekt och byggherre önskar för sin verksamhet, till program, funktion och yttre gestalt. Ytterligare möjlighet för KL-trä ligger i nya allianser med andra material som armerad betong, glas och stål. Konstruktiva utmaningar för bjälklag och stabilitet ligger i sådan samverkan. Historiskt ger korsvirkeshusen vittnesbörd om möjligheter till möten mellan olika material på ett konstruktivt sätt.

Utmaning ligger också i framtidens energieffektiva städer med hus som riktar sina ansikten mot solen och gör byggnaderna till energigivare. Att KL-trä bildar klimatsmarta koldioxidförvar i konstruktioner med vackra solpaneler på fasad och tak i framtidens arkitekturer är självklart. Tänk också att olika typer av hus i samhällsbygget görs av byggsatser med KL-trä. Alla de bostäder vi behöver bygga för unga, gamla och nyanlända, stadshus, skolor, förskolor, kulturhus, idrotts-hallar, buss- och järnvägsdepåer, varuhus och köpcentra, hotell och restauranger kan få sin gestaltning i arkitektur som vilar på KL-trä.

Ett genomgående värde för KL-trä är att det tar möjligheten till industriell tillverkning vidare med ett material som är förnybart och lätt att bearbeta. Till en industri rustad med digital kraft och automation som kan styras till produkter som tjänar människan, för arkitektur och samhällsbygge till mångfald och rik upplevelse. Ett material i arkitekturen som kan synliggöra vår strävan att göra planeten mer hållbar till gagn för oss, våra barn och barnbarn.

Till sist. Det visar sig också att man sover bättre i rum byggda i trä, ett material som andas, i golv, väggar och tak, med aktivt förhållande till årstid och relativ fuktighet. Hållbart.

1.3 KL-trä som konstruktionsmaterial

Korslimmat trä, KL-trä, är en högt förädlad träprodukt som lämpar sig utmärkt till många olika konstruktioner. Uppbyggnaden och tillverkningsmetoden av KL-träskivor ger stora möjligheter då skivan kan limmas och bearbetas till nästan vilken form och storlek som helst. Eftersom råmaterialet trä är fullständigt förnybart är KL-trä ett fördelaktigt material ur miljösynpunkt.

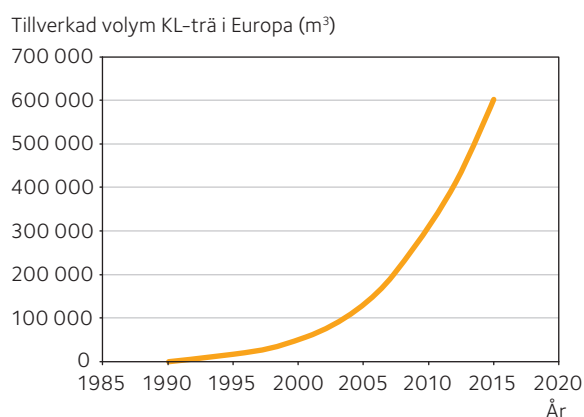
Korslimmat trä har utmärkta hållfasthets- och styvhetssegenskaper vilket gör att KL-träskivor kan konkurrera med andra mer traditionella stommaterial i stora konstruktioner till flervåningshus. I förhållande till sin vikt har skivor av KL-trä högre bärförmåga än de flesta andra byggmaterial och därför kan man bygga stora konstruktioner som klarar höga laster. Eftersom tvärsnittet kan utformas fritt och skivans geometri kan varieras och även krökas i planet finns det stora möjligheter att använda trä på ett nytt sätt. För närvarande används KL-trä för allehanda konstruktioner; småhus, flervåningshus, hallbyggnader, idrottsarenor och broar. Med lämpligt utförande och detaljer samt skydd mot klimatpåverkan, eventuellt med en ytbehandling, kan KL-trä användas till många olika konstruktioner.

KL-trätekniken introducerades i Sverige under slutet av 1990-talet. Då hade tillverkning av KL-träskivor pågått i Centraleuropa under ett antal år. Bland de första större objekten i Sverige där KL-trä användes var Inre Hamnen i Sundsvall som stod färdigt 2006. Sedan dess har utvecklingen gått med rasande fart och idag tillverkas cirka 15 000 kubikmeter KL-trä per år i Sverige, en siffra som förväntas öka. För närvarande finns det ett par leverantörer av KL-trä i Sverige och användningen av KL-träskivor ökar för varje år. Även ute i Europa och världen i övrigt ökar efterfrågan och produktionen av KL-trä. Det förutspås att innan år 2018 kommer det att produceras cirka 0,6 – 1,0 miljon kubikmeter KL-trä i världen per år, se figur 1.1.

Forskningen och utvecklingen inom tillverkning av KL-trä och byggande med KL-trä är idag intensiv. Även byggherrar och bygg-entreprenörer i princip i hela världen börjar inse vilken potential det finns med att bygga i trä. I Vancouver, London, Milano och många andra städer pågår planering och byggande av bostadshus, kontor och offentliga byggnader, vissa upp till 14 – 24 våningar höga.



Inre Hamnen, Sundsvall

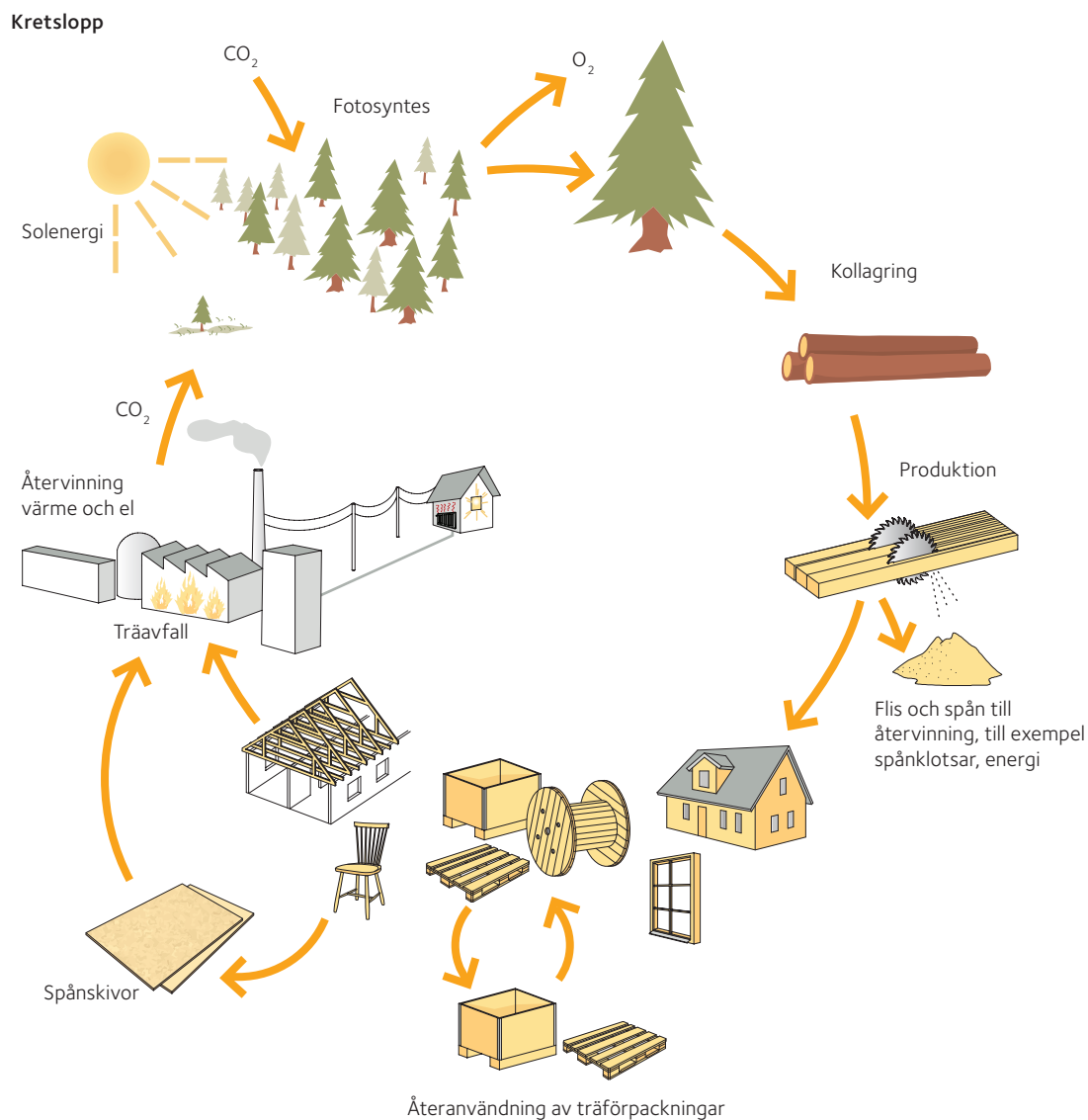


Figur 1.1 Utvecklingen av KL-trä i Europa

1990 – 1995	Idéer, patent och förslag presenteras i facktidskrifter ute i Europa.
1996 – 2000	Prototyper och komponenter utvecklas för den svenska marknaden.
2000 – 2004	Första leveranserna till mindre byggobjekt i Sverige.
2004 – 2005	Första högre trähusen av KL-trä byggs i Sverige.
2005 – 2014	Allt fler objekt byggs av KL-trä.
2015 –	Prognos för hela Europa.

1.4 KL-trä i kretsloppet

Skogen i Sverige brukas enligt principerna för hållbart skogsbruk. Därför är användning av trä fördelaktigt från både miljö- och klimatsynpunkt jämfört med andra byggmaterial. För det första är tillverkning av KL-trä en energisnål process. För det andra används biprodukterna (sågspån och trärester) för att producera energi som används till exempel för att värma torkkamrarna, vilket minskar behovet av fossil energi vid tillverkningen. Hållbart skogsbruk betyder att uttaget ur skogen inte överskrider tillväxten, råmaterialet förnyas kontinuerligt och virket kan återföras till kretsloppet utan att det uppstår växthusgaser som påverkar klimatet negativt.



Figur 1.2 Träproduktens kretslopp

Kretsloppet består av två delar. Det ena är skogens, det andra är produkternas. Skogen får sin livskraft från solen. Genom fotosyntesen fångas solenergin upp och omvandlas tillsammans med koldioxid, CO₂, till näring för de växande träden. Skogens produkter innehåller kol, C,

som fångats upp av träden i form av koldioxid. I produkternas kretslopp ingår återanvändning, reparation och återvinning. När dessa produkter är färdig använda frigörs koldioxiden till atmosfären när avfallet förmultnar eller återvinns som bioenergi. Koldioxiden fångas upp på nytt av träden och omvandlas till näring och nya byggstenar för trädens tillväxt.

Byggnad med trä är positivt för klimatet. För att minimera byggandets miljöbelastning och för att bidra till ett hållbart samhälle krävs att alla möjligheter till att använda förnybara material tas till vara. För bygg- och fastighetssektorn innebär det att både produktions- och driftsskedets miljöpåverkan måste beaktas. Med allt mer energieffektiva lösningar i driftsskedet, får tillverknings- och byggprocessen en större inverkan vid bedömningar av miljöbelastningen under en byggnads livslängd. Genom att göra livscykelstudier utifrån byggda objekt har man visat att genom att använda trä i byggnadsstommar i stället för andra material kan man minska utsläppen.

För att kunna bedöma en byggnads miljöbelastning pågår nationell och internationell utveckling av standarder och metoder. Idag finns det ett antal styrande standarder där grunden är ISO 9001 och ISO 14001. Därefter kommer standarder för livscykelanalyser, LCA, och anpassning av resultat till miljödeklarationer. De nya standarderna ger möjlighet att presentera ett underlag för byggnadens hållbarhet under hela dess livslängd och en indelning av byggnadens olika skeden. I *tabell 1.1* framgår vilka delar i byggprocessen som bör beaktas vid bedömning av miljöpåverkan.

Inom ett europeiskt projekt gjordes ett antal livscykelberäkningar för ett fyra våningshus med olika byggtekniker. Modellerna som användes i studien var platsbyggd regelstomme av trä, platsgjuten betongstomme med utfackningsväggar av träreglar, volymelement med regelstomme av trä, planelement med bärande skivor av KL-trä och pelar-balkstomme av limträ och regelväggar av trä. De tre senare varianterna modellerades också med utförande enligt Boverkets Byggregler, BBR, 2012, respektive med ett utförande som motsvarar passivhuskraven enligt Forum för Energieffektiva Byggnader, FEBY. Beräkningarna omfattade en fullständig modell av huset inklusive grundplatta men exklusive inredning och hiss.



Granplanta

Tabell 1.1 Miljöbedömning av byggnad.

Livscykelinformation om byggnad				Övrig information
A 1-3 Produktion	A 4-5 Konstruktion	B 1-7 Drift	C 1-4 Sluthantering	D Övrig miljöinformation
A1 Råmaterial A2 Transport A3 Tillverkning	A4 Transport A5 Anläggning och montage samt installationer på plats.	B1 Användning B2 Underhåll och skötsel B3 Reparation B4 Utbyte B5 Renovering och ombyggnad B6 Energi B7 Vatten	C1 Rivning C2 Transport C3 Avfallshantering C4 Sluthantering	Fördelar och nackdelar utanför systemgränserna, till exempel miljöcertifiering, energiåtervinning av trä.
Uppströms	Centralt	Nedströms		
Om möjligt detaljerad information, annars från byggdatabas.	Detaljerad information om tillverkning av stomme, transporter till och inom byggarbetsplats, energianvändning och avfall vid konstruktion av byggnad.	B1 – B5 enligt bilaga med schabloner för underhåll och reparationer. Energianvändning från energiberäkning C1 – C4, scenario för avfallshantering enligt gängse metoder.		Redovisa valfri miljöinformation eller relevant information om projektet.

Källa: Tyréns AB

Träets positiva egenskaper

Det är ett naturligt och förnybart material som tillverkas lokalt och ger korta transporter. Vid tillverkning används biprodukterna som energi och produktionen ger minimalt med avfall. Materialet binder koldioxid under hela livslängden och när det är uttjänt kan det användas som biobränsle och ersätta fossila bränslen.

Man kan till exempel göra en lätt tillbyggnad på ett befintligt fundament vilket innebär att man sparar material, detta redovisas i modul A. Med lätt flyttbara väggar kan en ombyggnad göras utan för stor påverkan, vilket rapporteras i modul B5. Dessutom kan man återanvända bjälkar eller byggelement som ger stora besparingar och kan redovisas i modul D.



Granskog

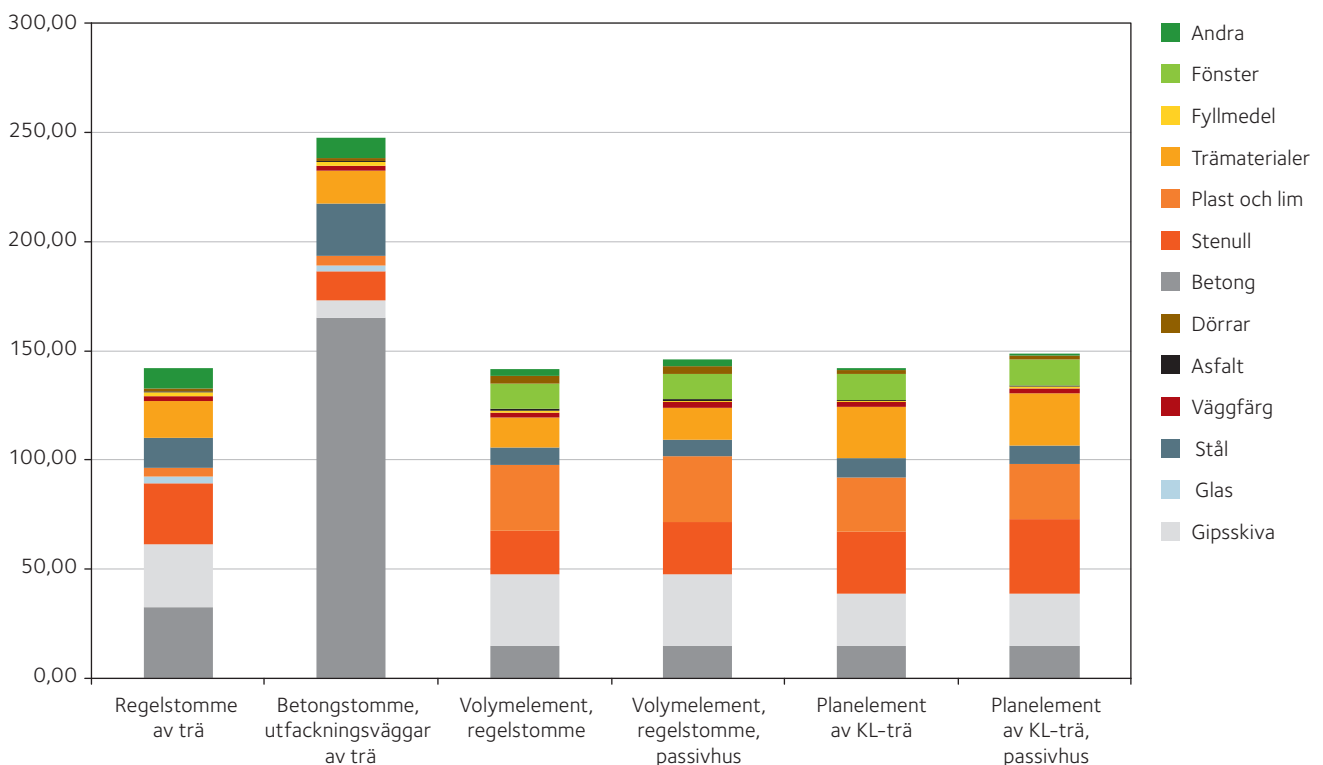
I figur 1.3 visas resultaten av beräkningarna av påverkan på växthusgaser i atmosfären för några av dessa alternativ, uttryckt som koldioxid-ekvivalenter, från produktionsfasen, det vill säga från råvaruutvinning till och med färdig produkt eller byggelement från tillverkaren. Staplarna är schematiskt uppdelade i olika ingående materialslag.

Resultaten visar att det finns skillnader mellan de tre olika träbyggnadsalternativen men att dessa är relativt små. Utsläppen är något högre för byggnader med dagens standard, vilket främst kan förklaras av att mängden isolering i väggar och under grundplattan nu är något större och att en större mängd plastbaserade material ingår. Skillnaden mellan standardutförande och passivhusutförande för de moderna alternativen utgörs främst av en ökad mängd isolering.

Huset med betongsstommen har såväl grundplatta som bjälklag och lastbärande väggar utförda i platsgjuten betong, vilket förklarar de betydligt högre koldioxidutsläppen, medan utsläppen från exempelvis mineralull, gipsskivor och trämaterial är lägre än för träalternativen. Skillnaden i utsläpp är i storleksordningen 100 kg/m², vilket bekräftas av ett flertal likartade studier. Räknat på en lägenhet om 100 m² blir skillnaden totalt cirka 10 ton koldioxid, CO₂, eller ungefär lika mycket som en ny personbil släpper ut på 8 000 – 10 000 mils körning.

En byggnad av KL-trä skiljer sig från byggnader med traditionella tekniker med betong och stål, genom att trämaterialiet har en stor mängd inlagrade kolföreningar som binds under byggnadens hela livslängd. I figur 1.4, sidan 15 redovisas beräkningen av utsläpp även under byggnadens övriga livscykel faser samt utsläppen från energianvändning för uppvärmning och varmvatten under 100 års drift av byggnaden. I figuren framgår att inlagringen av kol, omräknat till mängd koldioxid mer än väl motsvarar utsläppen från produktionsfasen för samtliga träalternativ.

Koldioxidutsläpp (kg CO₂ ek/m² av bostadsområde)



Figur 1.3 Utsläpp av växthusgaser (koldioxidekvivalenter, CO₂ ek) från produktionsfasen av sex olika alternativa utföranden av ett fyrvåningshus. Standard avser byggnad med regelstomme av trä, isolerad enligt Boverkets byggregler, BBR, 2012 och passivhus avser byggnad isolerad enligt Forum för Energieffektiva Byggnader, FEBYs, passivhusstandard.

Även betongalternativet lagrar stora mängder kol i det ingående trämaterialiet, till exempel i utfackningsväggarnas träkonstruktioner, inredningar och invändiga trätytor. En ytterligare aspekt är också att trämaterialiet, vid en eventuell rivning, används som energi. I figur 1.4 redovisas den mängd utsläpp som kan undvikas om man antar att trämaterialiet ersätter kol för energiproduktion.

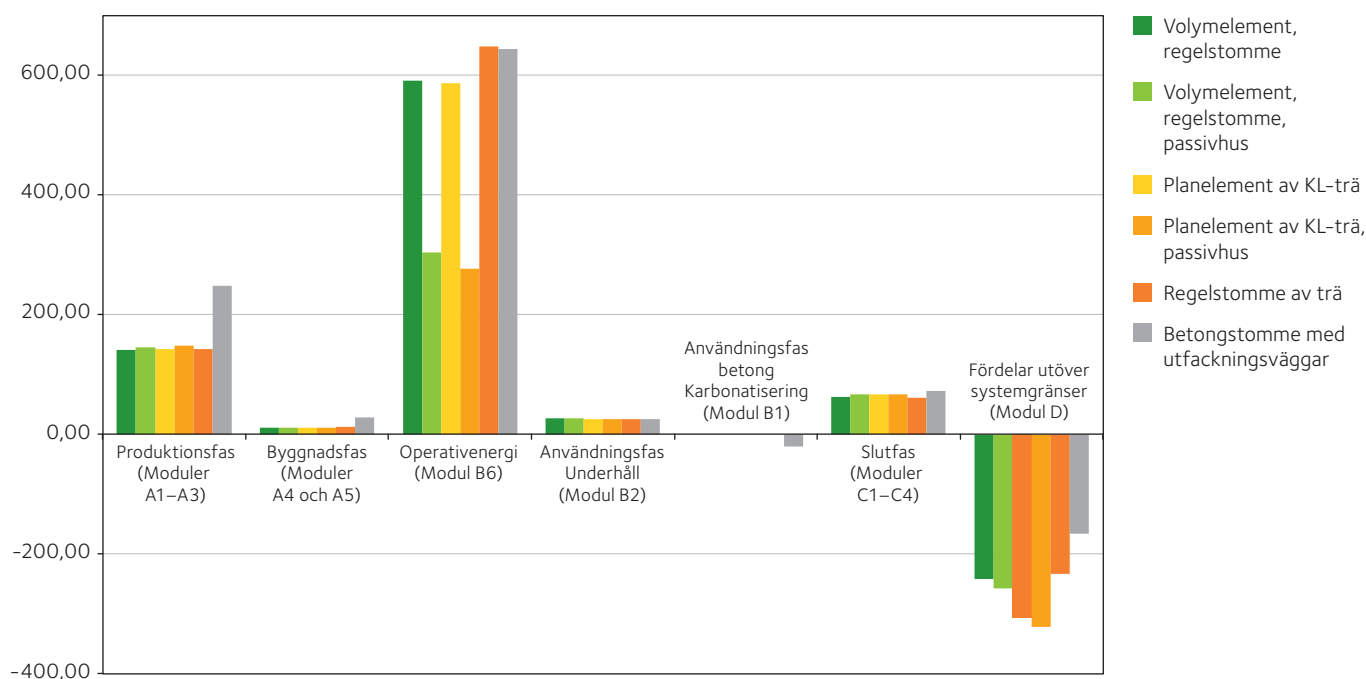
Stapeldiagrammet, se i figuren, visar också på stora skillnader mellan byggnader som uppfyller passivhusstandard och ”normala” byggnader. De parametrar som antagits förändrade, utöver mängd isolering i ytterväggar och tak och som inte ger utsläppsskillnader i produktionsfasen, är bland annat en högre lufttäthet samt energisnålare installationer. Koldioxidutsläppen är beräknade med antagande om att fjärrvärmeuppvärmning till största delen är baserad på bioenergi. Med detta scenario är alltså utsläppen från 100 års drift lika stora som för produktionsfasen för passivhusen och ungefär dubbelt till tre gånger så stora för övriga byggnader. Beräkningen tar även hänsyn till den skillnad som uppstår av olika värmetröghet för de olika stomalternativen och att alla har samma U-värden i klimatskalet och i övrigt antagits lika, så är denna skillnad marginell för bostadshus. Slutligen ingår även bindning av koldioxid som sker under byggnadens drifttid genom karbonatisering av betongen.

En mycket viktig faktor för en byggnads miljöpåverkan är byggnadens och ingående delars livslängd. I detta fall har det inte antagits vara någon skillnad mellan de olika alternativen vad beträffar livslängd eller intervall för renovering, underhåll och utbyte av material och komponenter. Bedömningen har gjorts att skillnaderna till sin helhet återfinns i stommen som inte förväntas kräva något underhåll under byggnadens livslängd, medan alla utvändiga och invändiga ytskikt antagits vara lika i alla alternativ.

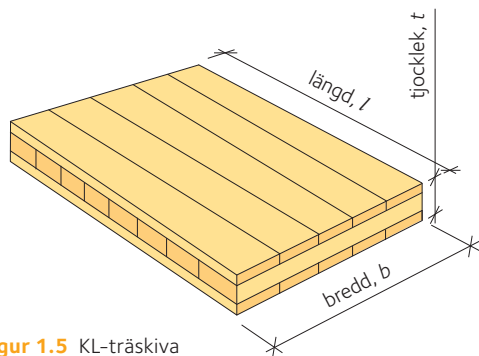


Älvsbacka strand, Skellefteå.

Koldioxidutsläpp (kg CO₂ ek/m² av bostadsområde)



Figur 1.4 Utsläpp av växthusgaser (koldioxidekvivalenter, CO₂ ek) från byggnadens livscykel för sex olika alternativa utföranden av ett fyrvåningshus. Standard avser byggnad isolerad enligt Boverkets byggregler, BBR, 2012 och passivhus avser byggnad isolerad enligt Forum för Energieffektiva Byggnader, FEBYs, passivhusstandard. Förtydligande av moduler se tabell 1.1, sidan 13.



Figur 1.5 KL-träskiva

1.5 Tillverkning av KL-trä

KL-trä är en byggkomponent som består av minst tre skikt med hoplimmade brädor eller plankor gjorda av barrträ eller lövträ, där vartannat skikt ligger i 90 graders riktning i förhållande till intilliggande skikt. KL-trä tillverkas huvudsakligen enligt de krav som ställs i standarden SS-EN 16351 och ska uppfylla de produkttegenskaper som KL-trätillverkaren har deklarerat i sitt European Technical Approval, ETA.

Tabell 1.2 Vanligt förekommande hållfasthetsklasser och mått på brädor och plankor som används vid tillverkning av KL-trä.

Parameter	Vanligt förekommande	Förekommer
Tjocklek, t	20 – 45 mm	20 – 60 mm
Bredd, b	80 – 200 mm	40 – 300 mm
Hållfasthetsklass	C14 – C30	–
Förhållande bredd/tjocklek	4:1	–

Tabell 1.3 Vanligt förekommande mått på KL-träskivor. Beteckningar, se figur 1.5.

Parameter	Vanligt förekommande	Förekommer
Tjocklek, t	80 – 300 mm	60 – 500 mm
Bredd, b	1,20 – 3,00 m	upp till 4,80 m
Längd, l	16 m	upp till 30 m
Antal skikt	3, 5, 7, 9 st	upp till 25 st



KL-träskivor färdiga för paketering och leverans.

Skivor av KL-trä byggs upp av brädor eller plankor med tjocklek 20 – 60 mm. Brädorna och plankorna går i detta fall även under benämningen lameller, men hädanefter används generellt benämningen brädor i KL-trähandboken. Råvaran är hållfasthetssorterat virke sorterat enligt standarden SS-EN 14081-1. Respektive KL-trätillverkare har sina egna standardtjocklekar och hållfasthetsklasser. Likaså tvärsnittsuppbyggnader och hur brädsnitten är orienterade skiljer sig åt mellan olika tillverkare. I Sverige används normalt gran eller furu men det kan även förekomma andra träslag. I regel levereras virket torkat och hållfasthetssorterat direkt från sågverket. Fuktkvoten i brädorna ska vara mellan 8 och 15 % när de limmas samman och bestäms av vilket lim som används och vad produkten ska användas till. Mellan intilliggande brädor får fuktkvoten inte skilja mer än cirka 5 %. Limfogens hållfasthet blir bäst då fuktkvoten ligger nära jämviktsvärdet i den färdiga konstruktionen och därmed minimeras även eventuell sprickbildning i träet. En viss sprickbildning i träet kan aldrig helt undvikas och den har som regel ingen skadlig inverkan på konstruktionens funktion.

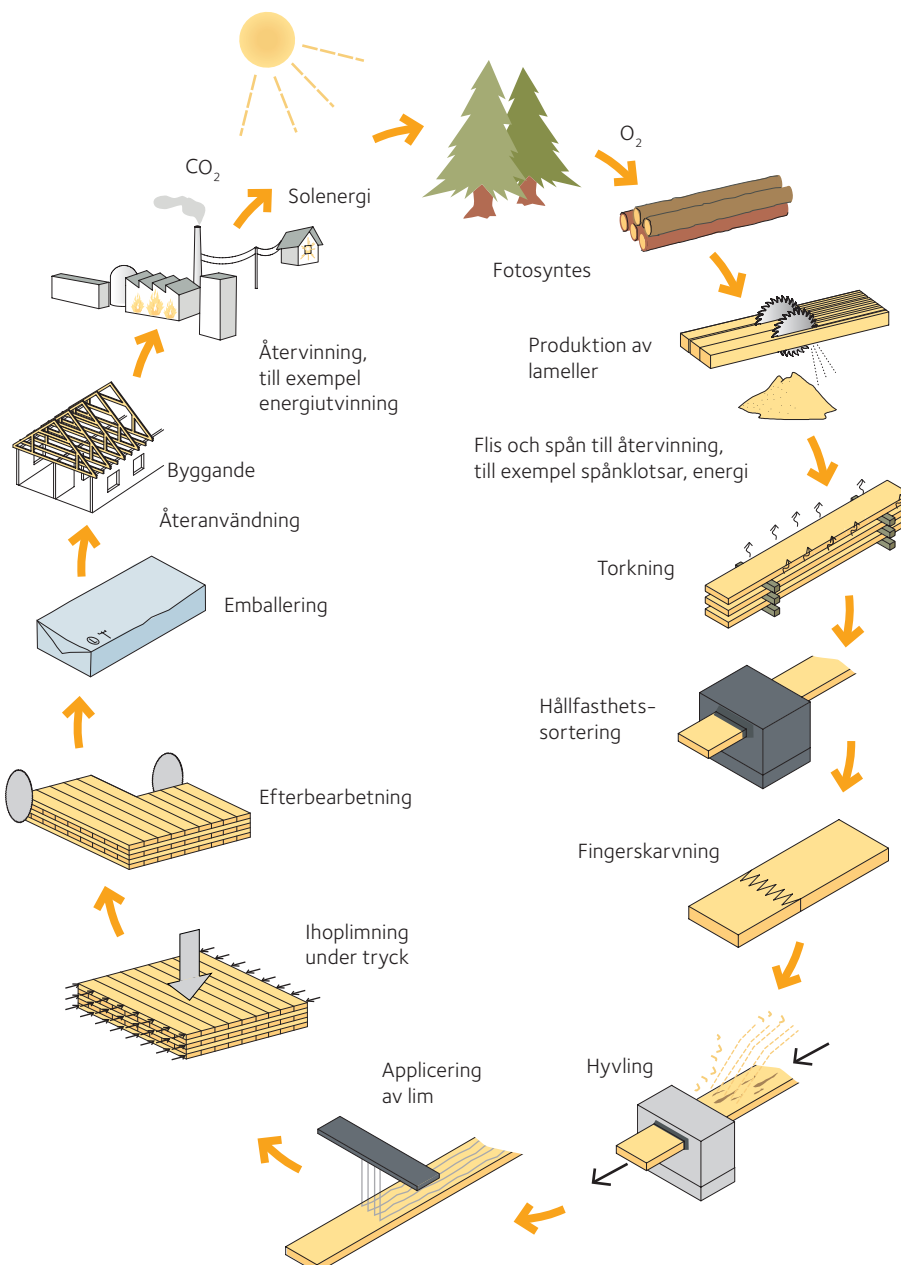
Tvärsnittet hos KL-trä byggs vanligtvis upp av brädor som tillhör samma hållfasthetsklass i huvudbärriktningen. För att utnyttja virkets hållfasthet på bästa sätt, brukar man använda virke med högre hållfasthet i tvärsnittets yt-skikt och i skivans huvudbärriktning, där påkänningarna normalt är störst. Vid tillverkningen är det därför nödvändigt att ha utrymme för att samtidigt kunna lagra brädorna i åtminstone två olika hållfasthetsklasser.

Tillverkningen av KL-trä sker med ungefär likartad process, se figur 1.6, sidan 17, oberoende av KL-trätillverkare eller tillverkningsland. Först fingerskarvas de enskilda brädorna så att man får långa

bräddor. Efter att fingerskarvarnas lim fått härda så hyvlas bräddornas flatsidor och går omedelbart till limning och tillverkning av skivor. Bräddpaketen förs över till limlinjen och läggs ihop till stora skivor som pressas ihop med erforderligt presstryck. Därefter ska limmet härda under en bestämd tid vilket beror på limtypen, temperatur- och fukt-förhållanden i limhallen. För sammanpressningen finns det två huvud-metoder; vakuumpressning och hydraulpressning. Vakuumpressningen ger ett jämt presstryck även vid icke plana ytor men presstrycket blir lågt. Hydraulpressning kan ske på olika sätt; kall- eller varmpressning. Efter limningen följer slutbearbetningen av komponenterna i CNC-maskin, såsom sågning av kanter, urfräsning för installationer, borrar-ning av hål och bearbetning för förband. Synliga skivytor putsas och slutligen kontrolleras komponenterna visuellt och märks innan de paketeras och lastas för transport till byggarbetsplats eller till lager. Ytterligare bearbetning i form av färdigställande till väggelement sker i kommande steg av väggelementtillverkare.



Bearbetning av KL-träskiva i CNC-maskin, Computer Numerical Control.



Figur 1.6 Schematisk bild över KL-träproduktion.



Produktion av KL-trä till väggelement.

1.5.1 Certifierat KL-trä

Leverantörer av byggprodukter ska kunna verifiera angivna egenskaper för sina produkter för att köpare ska kunna vara säkra på att produkterna uppfyller dem. Det innebär att allt fler byggprodukter certifieras. Tack vare den europeiska standardiseringen är certifieringsprocessen i de europeiska länderna likadan.

Certifierat KL-trä är egenskapsverifierat KL-trä som tillverkas industriellt under kontrollerade former. Fingerskarvstekniken möjliggör tillverkning av mycket stora skivor där storlek och längd begränsas i första hand av möjligheter till transport och i andra hand av KL-trätillverkarens lokaler och utrustning. Tillverkning av KL-trä kräver stor noggrannhet, bland annat beträffande fräsning av fingerskarvarna, limmets beredning och applicering, presstryck och presstid. För KL-trä är limning ofta den kritiska delen att säkerställa för att uppnå fullgod kvalitet och hållfasthet. Därför kontrolleras fingerskarvarnas och limfogarnas limkvalitet kontinuerligt i den interna kontrollen. Egenkontroller sker fortlöpande för att säkerställa en jämn och hög kvalitet på produkterna, vilket innebär att provkroppar tas ut regelbundet för undersökning av hållfasthet och delaminering. Den interna kontrollen övervakas av en godkänd tredjepartsorganisation.

Ett ackrediterat kontrollorgan handlägger certifiering, kontrollerar och övervakar företagets egenkontroll och gör oanmälda kontrollbesök hos tillverkarna.

CE-märkning är en produktmärkning inom EU. En produkt som är CE-märkt får säljas inom EES-området (de 28 EU-länderna samt Norge, Island, Liechtenstein) utan någon ytterligare dokumentation. När en produkt är CE-märkt visar detta att tillverkaren har följt de grundläggande krav som återfinns i de EG-direktiv som reglerar detta. Förutsättningen för obligatorisk CE-märkning är att det finns en harmoniserad standard. För närvarande (2017) pågår arbetet med att skapa en harmoniserad standard för KL-trä. Det innebär att för CE-märkta skivor av KL-trä för byggändamål ska egenskaperna specificeras och kontrolleras bland annat enligt kraven i standarden SS-EN 16351 Träkonstruktioner – Massivträ för byggsystem – Krav. I standarden framgår vilka dokument som krävs för verifiering. För att visa att produkter av KL-trä uppfyller kraven i SS-EN 16351 ska de åtföljas av en prestandadeklaration. *Se även avsnitt Referenser, sidan 183.*

KL-träskivor har använts sedan 1990-talet trots att det saknats en harmoniserad standard. Eftersom standarden fortfarande är ny och inte har blivit harmoniserad så finns det ett antal företag som certifierat sina produkter enligt en Europeisk Teknisk Bedömning, ETA. ETA innehåller på samma sätt som en harmoniserad standard, anvisning om bekräftelseprocedurer till exempel för certifiering, typprovning och kontroll av tillverkning.



CE-märket används inom olika produktområden.

1.6 Egenskaper

1.6.1 Hållfasthetsegenskaper

KL-trä uppvisar stora likheter med andra produkter i trä i fråga om olika hållfasthetsegenskaper:

- Hållfastheten varierar med vinkeln mellan spänningen och fiberriktningen, så kallad ortotropi.
- Hållfastheten minskar när fuktkvoten ökar.
- Hållfastheten minskar när belastningstiden ökar.
- Materialegenskaperna varierar både inom en och samma komponent och mellan olika komponenter.

KL-träets uppbyggnad med korsvis lagda brädor utjämnar trämaterialens variationer och minskar egenskapsskillnaderna. Hållfastheten hos en produkt av KL-trä bestäms till stor del av tvärsnittets uppbyggnad. För KL-trä blir därför ytbrädornas draghållfasthet och tvärsnittets rullskjuvhållfasthet avgörande i brottskedet. I likhet med andra konstruktionselement i trä och i byggnadssammanhang är styvhet oftast dimensionerande. I bruksskedet styr tvärsnittets uppbyggnad i ännu större grad vilket resultat som kan uppnås. I jämförelse med plattor av trä, såsom tvärspända plattor som ofta används i brokonstruktioner, uppvisar KL-trä en lägre styvhet i huvudbärriktningen för plattor med samma tjocklek. KL-träplattan kan däremot ta betydligt större last tvärs huvudbärriktningen.

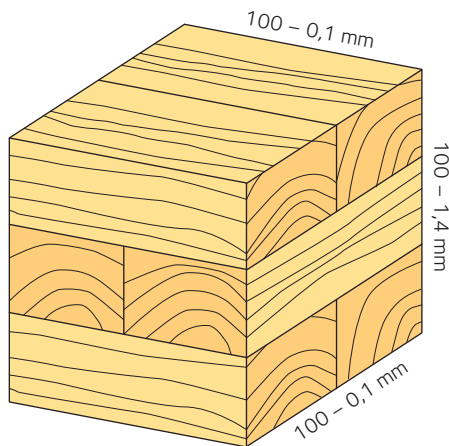
Vid statisk dimensionering av KL-trä och träkonstruktioner i allmänhet utgår man från ett karakteristiskt hållfasthets- eller styvhetsvärde, fastställt på basis av provning i laboratoriemässiga förhållanden och av ett bestämt antal provkroppar. Normalt utgår man vid hållfasthetsdimensionering från den nedre 5-procentsfraktilen, det vill säga det värde som statistiskt sett underskrids i 5 fall av 100. Med kännedom om det karakteristiska hållfasthetsvärdet bestäms dimensioneringsvärdet i det enskilda fallet med olika partialkoefficienter och omräkningsfaktorer. Karakteristiska styvhetsvärden såsom elasticitetsmodul och skjuvmodul bestäms på motsvarande sätt, men med utgångspunkt från medelvärdet i stället för 5-procentsfraktilen.

1.6.2 Termiska egenskaper

I jämförelse med många andra material har trä mycket små temperaturrelater. Värmeledningsförmågan och värmekapaciteten motsvarar i princip vanligt massivt trä. Värmekonduktiviteten, materialets isolerande förmåga, är väsentligt bättre än för betong och stål. Praktiskt värde på värmekonduktiviteten för gran är $0,11 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ vinkelrätt mot fibrerna och $0,24 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ parallellt med fibrerna och för furu är motsvarande värden $0,12 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ respektive $0,26 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$. Praktiskt brukar värdet $0,12 - 0,13 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ användas för KL-trä. KL-trä har relativt hög specifik värmekapacitet och den brukar anges till cirka $1300 \text{ J/(kg } ^\circ\text{C)}$. Genom att bygga med KL-träskivor kommer den stora mängden trä att ha inverkan på inomhusklimatet genom att utjämna klimatvariationer. Hur stor denna inverkan blir bestäms av övriga ingående material, av ventilationssystemet samt av inbyggd styr- och reglerteknik.



Hållfasthetsprovning av KL-trä.



Figur 1.7 Krympning och svällning

Krympningen hos en kub av KL-trä av barrträ med sidan 100 mm vid torkning från 20 % till 10 % fuktkvot.

1.6.3 Fuktrörelser

KL-trä sväller när fuktkvoten ökar och krymper när fuktkvoten minskar. Den korsvisa uppbyggnaden av brädor innebär emellertid att träet i skivor av KL-trä sväller och krymper mindre tvärs fiberriktningen i jämförelse med vanligt massivt trä. KL-trä tillverkas under kontrollerade former av brädor eller plank med en fuktkvot mellan 6 % och 15 %. Hur mycket mindre svällningen och krympningen blir jämfört med vanligt massivt trä bestäms av antal brädskikt och skiktens tjocklek. Produkter av KL-trä tillverkas oftast med en målfuktkvot av 12 %. Det innebär att enskilda produkter av KL-trä vid leverans ska ha en fuktkvot som högst motsvarar fuktkvoten 16 %. Efterhand kommer fuktkvoten i KL-träet att anpassa sig till jämvikt med den omgivande luftens relativa fuktighet, RF, och följa dess variation över året. I konstruktioner i uppvärmda lokaler utan befuktning kan fuktkvoten förväntas variera mellan 7 % under vintertid och 12 % under sommartid. För uppvärmda lokaler eller utomhus under tak kan fuktkvoten förväntas variera mellan 13 % under vintertid och 17 % under sommartid.

För en oisolerad KL-träplatta eller ett isolerat hålbjälklag av KL-trä placerat i yttertak eller yttervägg medför olika fuktförhållanden – varmt och torrt på insidan och kallt och fuktigt på utsidan – att elementet kan tendera att svälla på utsidan och krympa på insidan och därmed få en välvd form. Detta är en egenhet som konstruktören bör vara medveten om redan i projekteringsskedet. Åtgärder finns emellertid för att motverka olägenheter.

1.6.4 Brandegenskaper

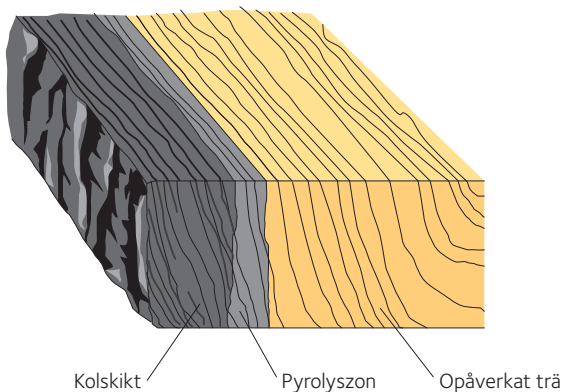
KL-trä och konstruktioner uppförda av KL-trä har goda och förutsägbara egenskaper i samband med brand. KL-trä är ett brännbart material men i kombination med andra material kan önskad bärförmåga upprätthållas under brandförloppet. Antändningen av trä är trög och det brinner långsamt. Värmeutvecklingen under brand är ofta avgörande för om branden ska utvecklas eller avta. Det kolskikt som bildas på ytan av KL-trä vid en brand skyddar de inre delarna och inträngningshastigheten i trä är vanligen cirka 0,6 – 1,1 mm per minut. Hur KL-trä ska dimensioneras i brandlastfallet och hur ytterligare brandskydd kan uppnås med kompletterande skikt kan läsas mer om i *kapitel 7, KL-trä och brand*, sidan 133.

1.6.5 Utseendeklass och ytbehandling

KL-träskivor betraktas i första hand som konstruktionselement vars viktigaste egenskaper är hållfasthet, styvhet och hållbarhet. Största delen av standardprodukterna uppfyller normala utseendekrav, förutsatt att de hanteras med tillräcklig omsorg under transport och på byggarbetsplatsen.




När KL-träskivorna tas ut ur limpressen förekommer det mindre ojämnheter längs sidorna vilket justeras. Den plana ytan har oftast en tillräckligt fin yta så att ytterligare efterarbete inte erfordras.

Önskas synliga ytor väljs brädor utifrån de krav som ställs på ytorna. De flesta KL-trätillverkarna har några olika utseendeklasser att välja mellan och olika sätt att benämna dessa på, till exempel Synlig yta, Industrieryta och Ej synlig yta. Skivor av KL-trä kan sedan på plats ytbehandlas som vanligt trä genom lasering, täckmålning, klarlackering eller oljebehandling. I *tabell 1.4, sidan 21*, framgår exempel på vad som kan förekomma och vad som inte tillåts för olika utseendeklasser.



Figur 1.8 Brandinträngning

Tabell 1.4 Utseendeklasser, exempel.

Utseendeklass	Kan förekomma	Tillåts ej	Visuell beskrivning av yta
Synlig yta	Få kådlåpor under 3 × 40 mm, svartkvist mindre än 10 mm, torrkvist mindre än 10 mm, friskkvist	Barkdrag, lyror, fast/lös röta, märg, insektsangrepp, vankant, kvisthål, röt kvist, barkringskvist, kvistutslag, sprickor (avser ej torksprickor), uppträngt lim	
Industriyta	Få kådlåpor under 3 × 40 mm, svartkvist mindre än 20 mm, torrkvist mindre än 20 mm, friskkvist, märg, kvisthål, kvistutslag i ringa omfattning, uppträngt lim	Barkdrag, lyror, fast/lös röta, insektsangrepp, vankant, röt kvist, barkringskvist, sprickor (avser ej torksprickor), iögonfallande kvistsamlingar	
Ej synlig yta	Kådlåpor, kvisthål, svartkvist, röt kvist, torrkvist, kvistutslag barkringskvist, friskkvist, märg, sprickor, insektsangrepp, uppträngt lim, färgskillnader mellan brädor, blånad i mindre omfattning	Fast röta, lös röta	

1.7 Var kan man använda KL-trä?

Trä är ett miljövänligt och kretsloppsanpassat byggmaterial. Rätt använt har trä en lång livslängd. Det kan återanvändas i nya konstruktioner eller omvandlas till energi genom förbränning. Trä har låg vikt i förhållande till hållfastheten och är enkelt att hantera och bearbeta. Trä har god värmeisolerings- och värmelagringsförmåga. Planelement av KL-trä används främst till väggar och bjälklag men KL-träskivor kan användas till en rad olika saker, allt från små- till storskaliga. De är lämpliga att använda till många typer av byggnader, från små enkla byggnader till flervåningshus där höga krav ställs på brandskydd och ljudisolering.

Kännetecknande för stomelement av KL-trä – till väggar och bjälklag – är att de är stora. Stora tvärsnittsytor medför hög bärförmåga och styvhet hos KL-träskivorna. De är lämpliga för stabilisering av byggnaden. De kan fås med hög prefabriceringsgrad och låg vikt som ger grundläggnings-, transport- och montagefördelar. Håltagningar och infästningar är enkla att göra. Isolerskikten i en yttervägg blir genomgående och bryts inte av köldbryggor. Med den massiva uppbyggnaden och beklädnadsmaterialen som normalt används får man en god brandsäkerhet. Stommar av KL-trä är lätta i jämförelse med stommar av exempelvis betong. För att uppnå en hög ljudisolering i bjälklag och väggar måste man därför utföra konstruktioner i flera skikt.

Balkonger, loftgångar och entresolbjälklag liksom hisschakt och trapphus är andra områden där KL-trä används med framgång. KL-trä till dessa applikationer ger en rad fördelar gentemot byggande med såväl betongelement som vanliga träregelverk. Den låga egenvikten gör dessa träplattor eller -skivor betydligt lättare att hantera än motsvarande av betong. Det medför dessutom enklare infästningar och lättare grundläggning, vilket är speciellt fördelaktigt vid ombyggnad av befintliga byggnader. Skydd mot nederbörd för balkonger och loftgångar utförs med en elastisk beläggning som medger rörelser i underlaget utan risk för sprickbildningar i tätskiktet. Entresolbjälklag av KL-trä är ofta ett bra alternativ då äldre industrilokaler med högt i



Exempel på compact living, Virserum.



6-våningshus, Fristad.



Balkongplattor av KL-trä, Inre Hamnen, Sundsvall.



Exempel på takkonstruktion med bärande och stabiliserande KL-träplatta som även bidrar till en god inommiljö.

tak ska delas upp i flera våningar. På grund av den låga vikten kan ombyggnaden ofta genomföras utan grundförstärkningar. En annan fördel med den låga vikten är transport- och lyftmöjligheterna under byggnadstiden inne i det befintliga huset. Vidare är förtätningar och påbyggnader med KL-trästomme av befintliga hus ett gott alternativ av denna anledning samt för att KL-trä klarar långa spännvidder.

Trä är ibland det enda hållbara materialet i vissa sammanhang. Exempelvis i byggnader där materialen utsätts för aggressiv miljö eller där mekanisk påverkan gör att andra material inte klarar slitaget utan slits ut på kort tid.

Parkeringshus av KL-trä utformas lämpligen med en bärande stomme bestående av pelare och balkar av limträ och med bjälklagsplattor och ramper av bärande KL-träskivor. Ett 17 m brett parkeringsfält, bestående av två rader parkeringsplatser med mellanliggande körväg, kan utformas med oförstärkta KL-träplattor eller sådana förstärkta på undersidan med balkar av limträ. KL-träplattorna beläggs i båda fallen med elastisk beläggning av epoxi eller likvärdigt material.

För att hindra flamspridning längs taket kan träytan på undersidan skyddas exempelvis med brandskyddsfärg. Alternativt kan träullsplattor läggas i vissa stråk i stället för brandskyddsfärg. Nedstickande balkar eller skärmar kan också fördröja brand- och rökspridning längs taket.

Med KL-trä finns det oändliga möjligheter och egentligen är det enbart fantasin som sätter begränsningarna. Allt från sarger i ridhus till stora trappschakt eller ventilationstorn är exempel där KL-träskivan kommer väl till pass och ibland är det enda rimliga valet.

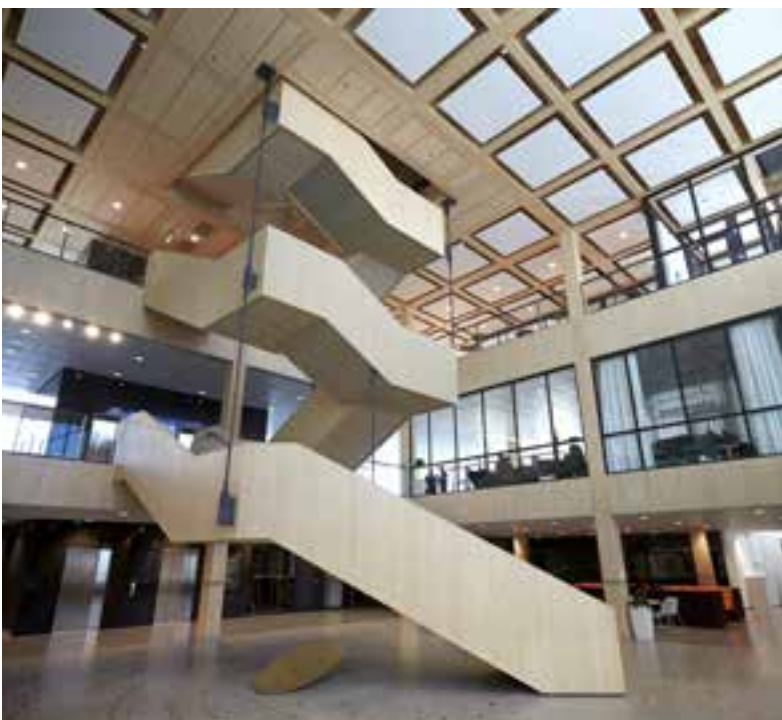
Skivor av KL-trä har den specifika egenskapen att kunna förena bärförmåga och samtidigt vara avskiljande, vilket medför att produkten kan användas till räcken och avskiljande delar i miljöer där ytskiktet utsätts för stor mekanisk påverkan.



Parkeringshus med bärande bjälklag av KL-trä, Skellefteå.



Ridhus med väggar och sarger av KL-trä, Sättra.



Ulls hus, Uppsala.



Gradängar av KL-trä i idrottshall, Järfälla.

Konstruktionssystem för KL-trä

- 2.1 Bjälklag och väggar 25
- 2.2 KL-trä som balk 26
- 2.3 KL-trä i skalkonstruktioner 26
- 2.4 Överslagsdimensionering 27
 - 2.4.1 Bjälklag 27
 - 2.4.2 Väggar 28

Skivor av KL-trä öppnar upp för ett nytt sätt att konstruera med trä. I detta kapitel presenteras några grundläggande konstruktioner av KL-trä – från enkla system med skivor på två stöd till skalkonstruktioner, vilka alla på olika sätt och i varierande grad utnyttjar KL-träets unika möjligheter. Valet av konstruktionssystem påverkas framförallt av byggnadens utformning, funktion och ekonomiska överväganden. Produktionstekniska eller transporttekniska begränsningar kan i vissa fall vara avgörande.

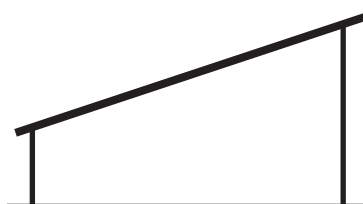
Vid projektering av konstruktioner av KL-trä finns det några rekommendationer som bör beaktas:

- KL-trä bör betraktas som ett ortotropt skivmaterial med tre vinkelräta huvudriktningar med olika egenskaper i var riktning.
- KL-trä kan belastas vinkelrätt mot ytan men även med axialkrafter (tryckkrafter och dragkrafter parallellt med ytan), se figur 2.1 och figur 2.2.
- Dragning vinkelrätt mot fiberriktningen förorsakad av laster eller krympning bör undvikas.
- För korta spännvidder är ofta tvärkrafterna i tvärgående skikt kritiska.
- Excentricitet och vridning bör undvikas.
- Tredimensionella konstruktionssystem är ofta optimala med avseende på stabilitet och säkerhet.

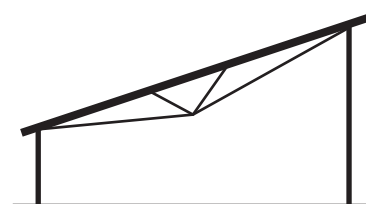
Skivor av KL-trä med last vinkelrätt mot ytan kan utföras och dimensioneras som plattor med en eller två huvudbärriktningar. Fördelningen av krafter bestäms av brädornas tjocklek och hållfasthet. Vanligast har man den starkaste bärriktningen parallellt med brädorna i yttre skikten. En platta av KL-trä med last vinkelrätt mot ytan dimensioneras ofta enklast som en fritt upplagd platta med vanlig balkteori på två eller flera stöd. För korta spännvidder ökar skjuvdeformationens betydelse för totala nedböjningen och bör beaktas vid dimensioneringen.



Underspänd takplatta av KL-trä, Flyinge Ridskola, Lund.



Figur 2.1 Principutförande med fribärande takplattor.



Figur 2.2 Principutförande med underspända takplattor.

2.1 Bjälklag och väggar

KL-trä som bjälklagselement, så kallad platta, ska ta hand om vertikala laster såsom nyttig last och egentygnd och föra dem vidare till upplagen. Plattan kan även hantera horisontella laster som till exempel vindlast. I sitt enklaste och vanligaste utförande består en konstruktion av KL-trä av fritt upplagda plattor placerade på två upplag. Upplagen kan bestå av stöd längs hela plattans längd eller av punktstöd med ett givet avstånd. För bjälklag eller likartade konstruktioner med relativt små spännvidder är jämtjocka plattor att föredra men vid större spännvidder kan det vara ekonomiskt motiverat att förstärka plattorna med exempelvis limträbalkar och därmed skapa ett T-värsnitt. Nedböjning eller svikt är ofta dimensionerande för bjälklag.

Plattor av KL-trä kan bära i en eller flera riktningar. Om den bär i en riktning dimensioneras den som tidigare nämnts likt en fritt upplagd plattstrimla. Om den dimensioneras i två bärriktningar, vilket inte är så vanligt, kan den betraktas som en tre- eller firsidigt upplagd platta.

Även om de bärande brädorna i huvudbärriktningen har störst påverkan på plattans egenskaper så måste hänsyn tas till tvärlager vid deformations- och spänningsberäkningar. Rullskjuvningsbrott kan uppträda i KL-trä, vilket innebär att träfibrerna rullar eller glider mellan varandra vid skjuvspänning tvärs fibrerna och det resulterar i större skjuvdeformationer och lägre tvärkraftsbärförmåga. Geometri och tillverkning har därför stor betydelse och brädor utan kantlimning eller spont och med bredd-tjockleksförhållande mindre än fyra betraktas vara benägna till rullskjuvningsbrott.

Samverkansbjälklag av trä och betong, se figur 2.3, har använts under längre tid, men huvudsakligen utanför Sverige och oftast vid renovering av äldre träbjälklag. Principen för dessa bjälklag är att tryckkrafter tas i den ovanliggande betongplattan och största delen av dragkrafterna tas i den underliggande träkonstruktionen. Det innebär att det ställs stora krav på förbandet mellan trä och betong. Om trä och betong är fullständigt förbundna med varandra så har tvärsnittet endast en neutralaxel och töjningen kommer att vara kontinuerlig över hela tvärsnittet. Om inga tvärkrafter förs över mellan trä och betong, betraktas bjälklaget däremot bestå av två individuella delar.

Installationer utgör en viktig del av en byggnad och påverkar i många fall de bärande elementens utformning. Vid större håltagningar i träkonstruktioner krävs ofta förstärkningar i olika former för att föra krafter förbi håltagningar för installationer. KL-träskivor och -plattor har den fördelen att även för stora håltagningar klarar KL-trä ofta att fördela och överföra krafterna till intilliggande konstruktioner utan att extra förstärkningar krävs. Naturligtvis gäller det i likhet med andra material att till exempel undvika stora håltagningar i tvärsnitt med stora spänningar.

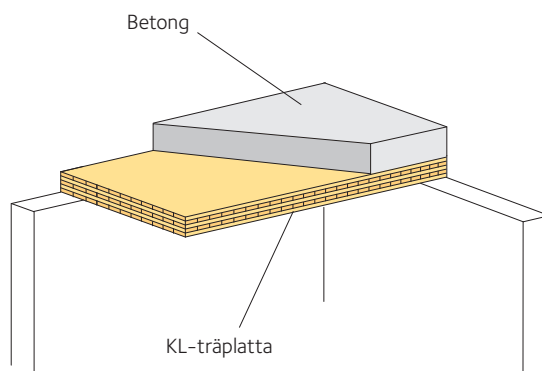
Väggskivor av KL-trä har normalt god bärförmåga. Vertikala lasten på en väggskiva kan betraktas som en linjelast och skivor med tjockleken 80 mm kan dimensioneras för att ta laster över 100 kN/m. Om möjligt bör bjälklagsplattans upplag på en väggskiva centreras på bästa sätt för att undvika eller minimera eventuella excentricitetsmoment. Det är emellertid ovanligt att den vertikala lasten kommer helt centriskt, så detta bör beaktas vid dimensionering av väggskivor. För väggskivor med stora fönsteröppningar bör det uppmärksammas att skivorna mellan fönstren bör betraktas som pelare med en knäcklängd motsvarande våningshöjden.



KL-träplatta i samverkan med limträbalkar. Bjälklag i parkeringshus, Skellefteå.



Exempel på håltagning i KL-trä. Skivornas uppbyggnad gör att det finns stora möjligheter för arkitektonisk utformning och anpassning mot beställarens önskemål och krav.



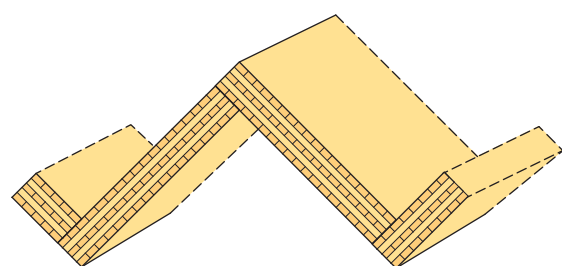
Figur 2.3 Samverkansbjälklag



KL-träskiva fungerande som en sammanhållande balk ovan dörröppning, Hyttkammaren, Falun.



Musikpaviljong, Fristad.



Figur 2.4 Ytbildande system av KL-trä som klarar flera funktioner; som bärande, stabiliserande och omslutande.

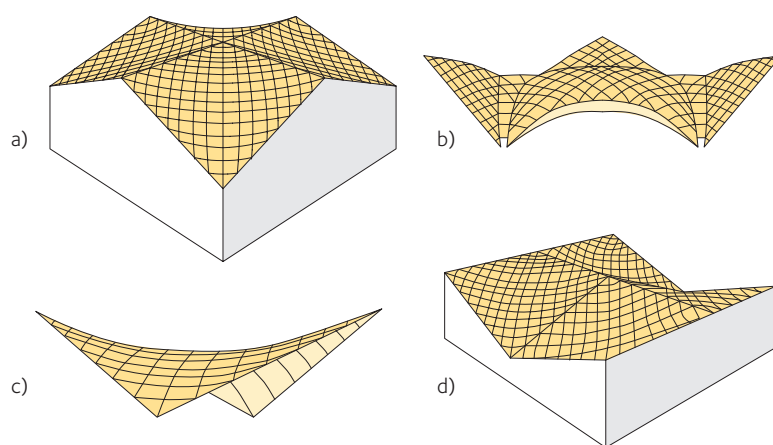
2.2 KL-trä som balk

KL-trä som balkelement kan användas som upplag för bjälklags- eller takplattor av KL-trä. Balkarna kräver sidostagning som kan åstadkommas genom att bjälklags- eller takplattan skruvas fast i balken. Balkar kan också användas för att förstyya bjälklag, takplattor eller väggskivor. KL-trä som balkar kan med fördel tillverkas med ökad dimension och/eller hållfasthet för skikten i balkens längdriktning som blir bärande, medan mellanliggande skikt i huvudsak ger dimensionsstabilitet. En annan fördel med KL-träskivor är de sammanhållande dörr- och fönsterbalkar som fås automatiskt vid urtag för öppningar i skivorna. I de flesta fall räcker bärförmågan och ytterligare förstärkning erfordras i regel inte.

2.3 KL-trä i skalkonstruktioner

KL-trä ger stora möjligheter att använda olika typer av skalkonstruktioner för avancerad formgivning och stora pelarfria ytor. Beroende på tillverkningsförfarandet kan i viss mån även böjda och krökta element tillverkas. Hittills har skivor av KL-trä använts till skalkonstruktioner i relativt begränsad omfattning, men ett antal objekt har genomförts. Sådana skalelement, som framförallt utsätts för normalkrafter eller böjning, används främst för speciella takkonstruktioner.

Om flera skaldelar av samma typ kombineras kan många olika takformer erhållas. Bland olika skalformer är konoid- och så kallade HP-skal (hyperbolisk paraboloid) tämligen vanliga. En värdefull egenskap hos dessa två är att de kan genereras av räta linjer och därför lätt kan byggas upp av ett eller flera korsande skikt av brädor.



Figur 2.5 Exempel på olika skalkonstruktioner.

- a) Hyperbolisk paraboloid, så kallat HP-skal
- b) Skal som skär varandra
- c) Hyperbolisk paraboloid
- d) Hyperbolisk paraboloid.

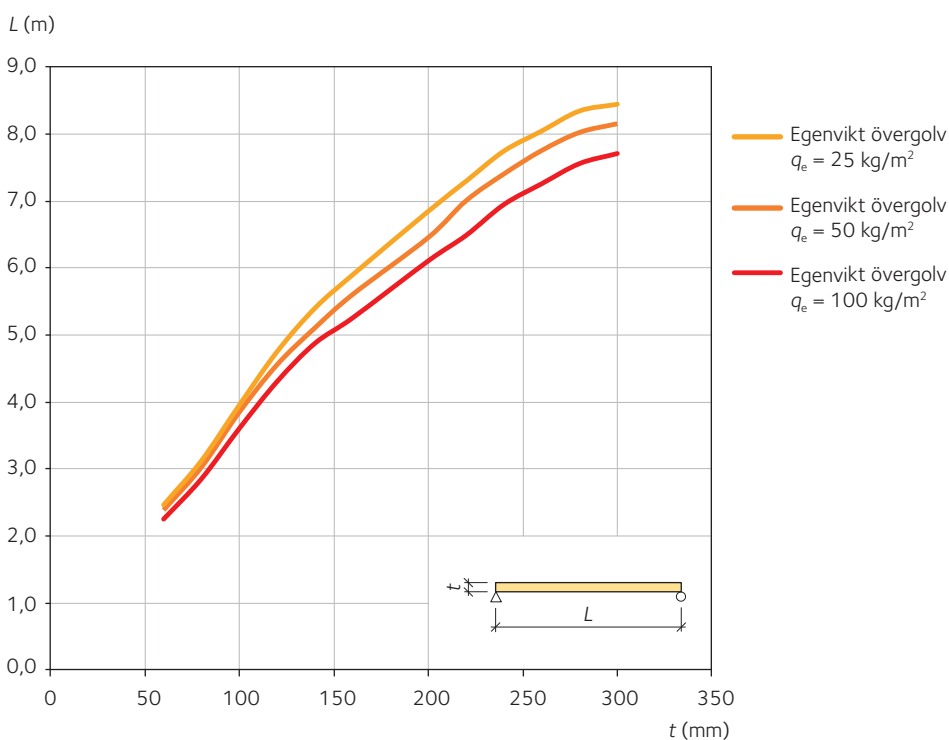
2.4 Överslagsdimensionering

Denna del av KL-trähandboken ger en kort överblick av vilka dimensioner som kan förväntas för en bestämd dimensionerande last. Diagrammen enligt nedan ger ungefärliga spännvidder och tillåten vertikal last för några vanliga typer av bjälklag och väggskivor av KL-trä. Värdena har beräknats med utgångspunkt från den inom EU gemensamma träbyggnadsstandarden Eurokod 5 inklusive nationella anpassningar.

Diagrammen i figur 2.6 – 2.9 är avsedda att användas vid överslagsdimensionering, till exempel under ett tidigt skede av projekteringen och de utesluter inte att en beräkning måste göras i ett senare skede. För noggrannare beräkningar hänvisas till *kapitel 3, se sidan 30*.

2.4.1 Bjälklag

I nedanstående diagram redovisas erforderliga plattjocklekar för olika spännvidder. De gäller för klimatklass 1. Värdena i diagrammet ska betraktas som approximativa då uppbyggnaden av KL-träplattor och hållfasthetsklassen påverkar plattornas styvhet. För noggrann dimensionering ska alltid KL-trätillverkare kontaktas för aktuella hållfasthets- och styvhetsvärden.



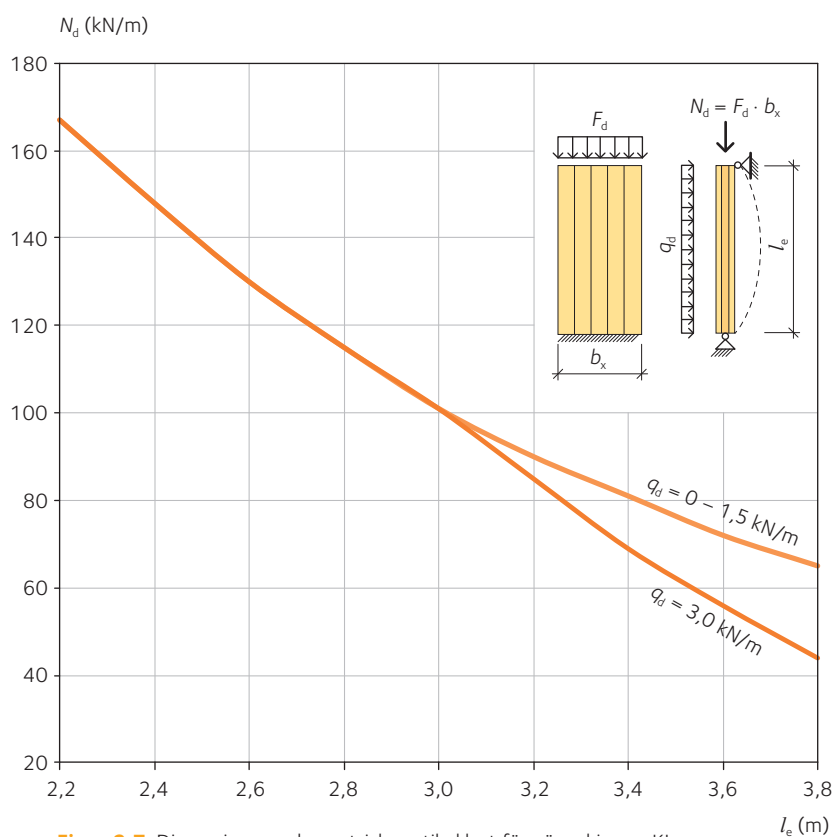
Figur 2.6 Bjälklag med spännvidden L och bjälklagstjockleken t är framtagna för ett fritt upplagt bjälklag i klimatklass 1, med karakteristisk bostadslast på $2,0 \text{ kN/m}^2$ och med beaktande av nedböjningskrav $L/300$ och nedböjning $< 20 \text{ mm}$ samt egenfrekvens $> 8 \text{ Hz}$. Egenvikt för undertak och övergolv med totalt $25, 50$ och 100 kg/m^2 har medräknats. Eftersom bruksgränskrav är dimensionerande är diagrammet oberoende av säkerhetsklass. Brandlastfallet har inte beaktats.



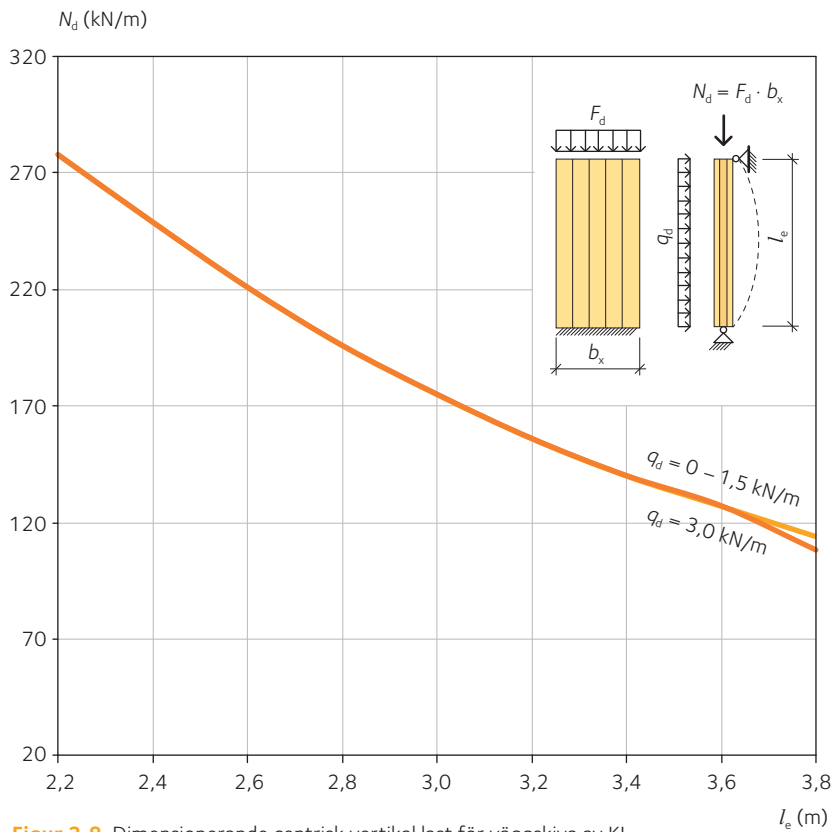
Flervåningsshus, Finland.

2.4.2 Väggar

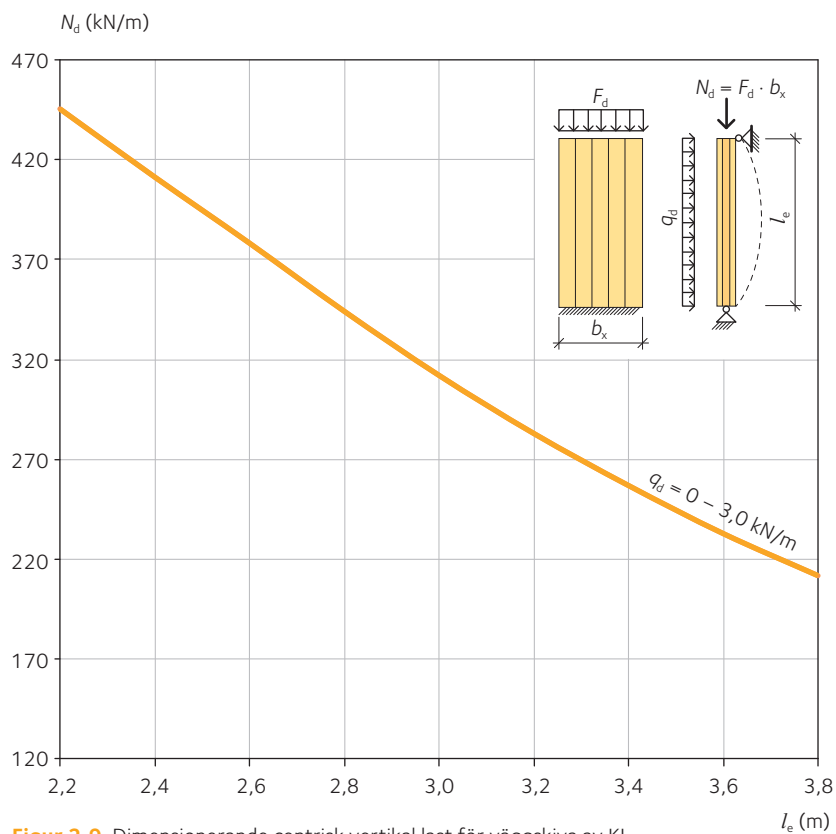
I diagrammen visas dimensionerande vertikal last N_d per längdmeter på väggskivorna vid olika transversallaster q_d och olika vägghöjder l_e . Dimensionerande värden i diagrammen ska betraktas som approximativa då uppbyggnaden av KL-träskivorna och hållfasthetsklassen påverkar skivornas bärförmåga. Vid hög utnyttjandegrad av bärförmågan ska alltid KL-trätillverkare kontaktas för aktuella hållfasthets- och styvhetsvärden. Diagrammen är framtagna för säkerhetsklass 3, klimatklass 1 eller 2 och lastvaraktighetsklass medellång (M). Brandlastfallet har inte beaktats.



Figur 2.7 Dimensionerande centrisk vertikal last för väggskiva av KL-trä med tjockleken 80 millimeter dimensionerad för säkerhetsklass 3, lastvaraktighetsklass medellång (M) för vertikal last och korttid (S) för transversallast samt klimatklass 1 eller 2.



Figur 2.8 Dimensionerande centrisk vertikal last för väggskiva av KL-trä med tjockleken 100 millimeter dimensionerad för säkerhetsklass 3, lastvaraktighetsklass medellång (M) för vertikal last och korttid (S) för transversallast samt klimatklass 1 eller 2.



Figur 2.9 Dimensionerande centrisk vertikal last för väggskiva av KL-trä med tjockleken 120 millimeter dimensionerad för säkerhetsklass 3, lastvaraktighetsklass medellång (M) för vertikal last och korttid (S) för transversallast samt klimatklass 1 eller 2.

Dimensionering av KL-träkonstruktioner

- 3.1 Beräkningsgrunder 30
 - 3.1.1 Lasteffekter 31
 - 3.1.2 Säkerhetsklasser 32
 - 3.1.3 Lastvaraktighets- och klimatklasser 33
 - 3.1.4 Dimensionerande bärförmåga och styvheter 34
 - 3.1.5 Partialkoefficient och modifieringsfaktorer 35
 - 3.1.6 Systemeffekt 36
- 3.2 Materialegenskaper för KL-trä 37
- 3.3 KL-trädimensionering enligt balkteori 40
 - 3.3.1 Definition av riktningar 40
 - 3.3.2 Tvärsnittstorheter för 3-skikts- och 5-skiktsskivor 45
 - 3.3.3 Osymmetriska tvärsnitt och skikt med olika elasticitetsmodul 47
 - 3.3.4 Effektiva tvärsnittsvärden 48
 - 3.3.5 Dimensionering i brottgränstillstånd 52
 - 3.3.6 Dimensionering i bruksgränstillstånd 60
- 3.4 KL-trä som tvådimensionella bärande plattor eller skivor 63
 - 3.4.1 Ortotrop platta med effektiva tjocklekar 63
 - 3.4.2 Ortotrop skal med direkt bestämning av styvhetsmatris 64
- 3.5 Dimensioneringsprogram för KL-trä 67
- 3.6 Beräkningsexempel 68
 - 3.6.1 Tvärsnittsegenskaper och nedböjning för 5-skikts symmetrisk platta av KL-trä 68
 - 3.6.2 Tvärsnittsegenskaper för 5-skikts osymmetrisk platta av KL-trä 70

Grunden vid dimensionering av konstruktioner med hjälp av partialkoefficientmetoden är att verifiera att dimensioneringsvärdet för lasteffekt E_d för ett specifikt konstruktionsselement är mindre än bärförmågans dimensioneringsvärde R_d :

$$E_d \leq R_d$$

där:

E_d är dimensioneringsvärdet för lasteffekt såsom inre kraft, moment eller en vektor som representerar flera inre krafter eller moment.

R_d är dimensioneringsvärdet för motsvarande bärförmåga.

3.1 Beräkningsgrunder

Eurokoder används inom Europa sedan 2010 med eller utan nationella anpassningar eller annex. Tidigast 2021 beräknas nya Eurokoder vara färdiga och en ny trädel planeras med dimensionering av KL-trä. Under tiden kommer beräkningsmetoder förfinas och utvecklas via bland annat European Committee for Standardization, CEN, och deras arbetsgrupper.

Projektörer av bärande konstruktioner av KL-trä kan välja i princip två alternativ för att projektera sina objekt, antingen utforma tvärsnitt utifrån ingående brädors egenskaper eller använda sig av egenskapstabeller framtagna och tillhandahållna av KL-trätillverkare.

Eftersom en konstruktions verkningssätt ofta skiljer sig åt vid normal användning och vid belastning nära brott, görs dimensionering i brottgränstillståndet och i bruksgränstillståndet. Med gränstillstånd menas då ett tillstånd i vilket en konstruktion eller en konstruktionsdel nått och jämnt uppfyller ställda krav.

Vid dimensionering i brottgränstillståndet krävs att konstruktionen ska ha betryggande säkerhet mot brott så länge den används på det sätt som den är avsedd för. Vad som anses betryggande fastställs i gällande byggnormer. Vid dimensionering i bruksgränstillståndet ställs oftast inte några tvingande krav i normerna. I de flest fall anges rekommendationer och det överläts till byggherren eller dennes sakkunnige att slutligt avgöra vad som är acceptabelt. På så vis kan man undvika att tvingande krav ger orimliga och oekonomiska konstruktioner.

Risken för att man ska uppnå ett visst gränstillstånd, till exempel ett brott i konstruktionen, beror på osäkerheter i förutsättningarna, det vill säga:

- sannolikheten för att antagna laster överskrids.
- sannolikheten för att beräknad bärförmåga underskrids.

Normalt kan både yttre påverkan från laster och konstruktionens bärförmåga betraktas som slumpmässiga variabler. Om man känner fördelningsfunktionerna för dessa variabler kan man därför beräkna brottrisken med hjälp av sannolikhetsteoretiska metoder. Kunskapen

om dessa fördelningsfunktioner är emellertid bristfällig, speciellt för ytterligheterna som ofta är avgörande för resultatet.

Det innebär att i praktiken använder man sig av olika standardfunktioner, vanligen normalfördelningen och Weibull-fördelningen. Den brottrisk som man beräknar på detta sätt blir rent teoretisk och därför är metoden egentligen inte användbar för praktisk dimensionering. Även om sannolikhetsteoretiska metoder sålunda inte är användbara för dimensionering i ett enskilt fall, kan de med fördel användas för jämförelser till exempel mellan olika material eller mellan olika konstruktionstyper. Sannolikhetsteoretiska metoder har därför stor betydelse som verktyg för att kalibrera andra, mer förenklade metoder, till exempel partialkoefficientmetoden.

Dimensioneringsregler för bärande byggnadskonstruktioner syftar i första hand till att begränsa risken för att brott i konstruktionen leder till allvarliga personskador. Man ska kunna känna sig trygg när man vistas i byggnaden. Dessutom vill man säkerställa att byggnaden fungerar tillfredsställande vid normal användning, till exempel genom att ställa krav på ett bjälklags styvhet.

Byggnormerna anvisar godtagbara verifikationsmetoder, det vill säga metoder för att bedöma att de ställda kraven är uppfyllda. Normerna anger också vilka förutsättningar beträffande laster, hållfastheter med mera som ska ligga till grund för dimensioneringen.

Konstruktioner av KL-trä ska liksom andra konstruktionsmaterial beräknas och dimensioneras enligt gällande normer. Eurokoderna utgör tillsammans med Boverkets föreskriftsserie EKS de svenska reglerna för verifiering av bärförmåga, stadga och beständighet hos byggnadsverk. I EKS anges Sveriges nationellt valda parametrar som gäller vid användningen av Eurokoderna. De nationella valen baseras exempelvis på olika nationella förutsättningar avseende geologi, klimat, levnadssätt och säkerhetsnivåer. Normerna baseras på partialkoefficientmetoden, som är den beräkningsmetod som tillämpas för bärande konstruktioner i de flesta länder i Europa. Metoden innebär att konstruktionerna kontrolleras i två gränstillstånd – brottgränstillståndet och bruksgränstillståndet. I brottgränstillståndet kontrolleras att konstruktionerna har tillräcklig säkerhet mot brott. I bruksgränstillståndet kontrolleras att konstruktionen inte får deformationer av sådan storlek att de inte uppfyller de funktionskrav som ställs på konstruktionerna. Kontroll bör göras även för svikt och vibrationer hos bjälklag.

Dimensionering enligt Eurokoderna förutsätter att:

- Konstruktionerna utformas av kvalificerade och erfarna personer.
- Fabriker, verkstäder och byggarbetsplatser är underkastade tillfredsställande tillverkningskontroll.
- Byggmaterial och produkter används så som föreskrivs i Eurokoderna eller i relevanta material- eller produktbeskrivningar.
- Byggnaden underhålls i omfattning och intervall som kan förväntas för att uppnå avsedd funktion och livslängd.
- Byggnaden används i överensstämmelse med vad som förutsatts vid projekteringen.

3.1.1 Lasteffekter

Med lasteffekt avser man till exempel deformationer, moment, tvärkraft eller annan snittstorhet förorsakad av last. Den dimensionerande lasteffekten bestäms med utgångspunkt från dimensioneringsvärden för aktuella laster, placerade i ogynnsammaste lastställning.



Elefantenpark, Zürich.



KL-träväggar under uppförande, Bromma Blocks, Stockholm.

Vanligtvis dimensioneras en konstruktion inte för en enda last utan för olika lastkombinationer. Med utgångspunkt från en huvudlast (med sitt fulla värde) som kombineras med möjliga andra samverkande laster (med reducerade värden) fås ett dimensionerande lastfall.

Reducerade laster erhålls genom att det karakteristiska värdet Q_k reduceras med faktorerna ψ_0 , ψ_1 och ψ_2 som beskrivs enligt följande:

- Kombinationsvärdet ($\psi_0 Q_k$), används för verifiering i brottgränstillstånd samt för de karakteristiska kombinationerna för irreversibelt bruksgränstillstånd (följderna av att lasterna överskrider ett visst bruksgränskrav består när lasterna upphör att verka).
- Frekventa värdet ($\psi_1 Q_k$), används för verifiering i brottgränstillstånd för olyckslaster och för reversibelt bruksgränstillstånd. Det frekventa värdet överskrids ungefär 1 procent av tiden.
- Kvasipermanenta värdet ($\psi_2 Q_k$), används för att uppskatta långtidseffekter i bruksgränstillstånd, så som nedböjningar eller sprickbildning, samt för att beakta variabel last i olycksfallskombinationer i brottgränstillstånd. Det kvasipermanenta värdet motsvarar den variabla lastens tidsmedelvärde.

Faktorn ψ_2 kan även ses som en faktor som omvandlar kortvariga laster till motsvarande permanenta laster vid dimensionering av långtidseffekter såsom krypning. SS-EN 1990 definierar kombinationsregler för laster för olika dimensioneringssituationer och EKS anger nationellt valda värden för Sverige. Följande generella *ekvation 3.1* gäller till exempel för dimensionering vid varaktiga eller tillfälliga dimensioneringssituationer i brottgränstillstånd:

$$3.1 \quad E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \gamma_{G,j} + Q_{k,1} \gamma_{Q,1} + \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} \psi_{0,i} \gamma_{Q,i}$$

där:

- $G_{k,j}$ är karakteristiskt värde för den permanenta lasten j .
- $\gamma_{G,j}$ är partialkoefficient för den permanenta lasten j .
- $Q_{k,1}$ är karakteristiskt värde för en variabel huvudlast 1.
- $\gamma_{Q,1}$ är partialkoefficient som tillhör $Q_{k,1}$.
- $Q_{k,i}$ är karakteristiskt värde för den samverkande variabla lasten i .
- $\psi_{0,i}$ är reduktionsfaktor för kombinationsvärdet för variabel last i .
- $\gamma_{Q,i}$ är partialkoefficient för den variabla lasten i .

3.1.2 Säkerhetsklasser

För olika typer av byggnader är risken för att brott i konstruktionen ska medföra allvarliga personskador olika beroende på vad byggnaden används till och för olika byggnadsdelar beroende på byggnadsdelens funktion. Risken är exempelvis större för personskada vid böjbrott i en takbalk än vid böjbrott i en väggregel och risken är större om balken bär upp taket över en sporthall än om den sitter i ett virkesmagasin.

I Sverige beaktar man dessa skillnader genom att bärande konstruktioner hänförs till olika säkerhetsklasser, beroende på vilka konsekvenser ett brott i konstruktionen för med sig. Indelning i säkerhetsklasser är ett svenskt nationellt val till Eurokoderna. Vid dimensionering med partialkoefficientmetoden enligt EKS i brottgränstillstånd ska säkerhetsklassen för en byggnadsverksdel beaktas med hjälp av partialkoefficient γ_d enligt *tabell 3.1, sidan 33*.

I bruksgränstillståndet gör man däremot ingen skillnad mellan säkerhetsklasserna.

Tabell 3.1 Partialkoefficient för säkerhetsklass, γ_d , vid dimensionering i brottgränstillstånd.

Klass	Omfattning	Partialkoefficient, γ_d
Säkerhetsklass 1	(låg), liten risk för allvarliga personsador	0,83
Säkerhetsklass 2	(normal), någon risk för allvarliga personsador	0,91
Säkerhetsklass 3	(hög), stor risk för allvarliga personsador	1,0

3.1.3 Lastvaraktighets- och klimatklasser

Styvhet och bärförmåga hos en träkonstruktion är i hög grad beroende av varaktigheten hos de laster som verkar på konstruktionen. Vid dimensioneringen skiljer man därför mellan laster med olika varaktighet, till exempel mellan permanenta laster, som egentyngd, och laster med varierande intensitet under byggnadens livslängd, som nyttig last. De senare indelas normalt i långvariga laster, laster med medellång varaktighet och kortvariga laster. Ibland förekommer också momentana "ögonblickslaster", till exempel stötar. Byggnormerna anger modifieringsfaktorer för hållfasthets- och styvhetsvärden med hänsyn till lastvaraktighetsklass.

Bärförmåga beräknas med utgångspunkt från de materialvärden som gäller för den last i en lastkombination som har kortast varaktighet. Nedböjning beräknas som summan av de ingående lasternas nedböjningsbidrag; vart och ett beräknat med hänsyn till den enskilda lastens varaktighet.

Vilken lastvaraktighetsklass som en last ska hänföras till beror i viss mån på geografiska eller klimatomständiga och kulturella förhållanden. Snölast betraktas till exempel som långtidslast eller medellång last i Sverige, Norge och Finland, medan Danmark och stora delar av övriga Europa behandlar snölast som korttidslast.

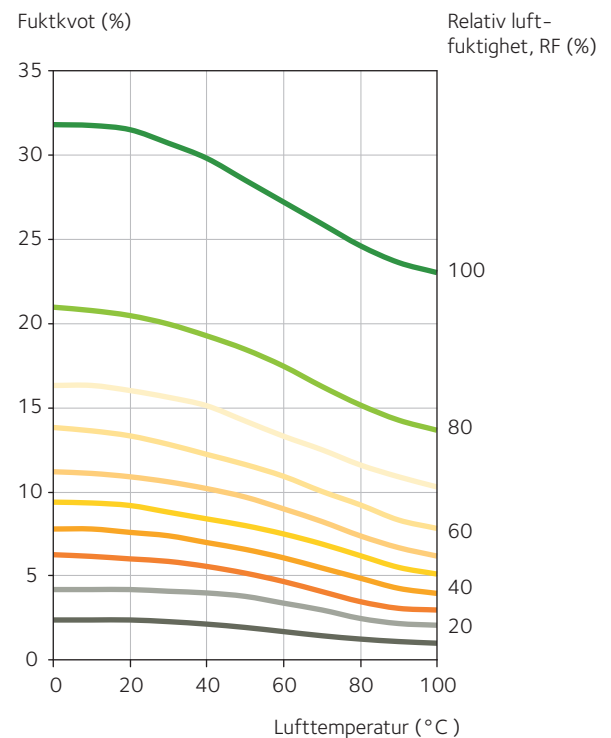
Träets fuktkvot har, liksom lasternas varaktighet, stor inverkan på materialets hållfasthet och styvhet. Torrt trä är både starkare och styvare än fuktigt trä. Byggnormerna hanterar detta genom att definiera ett antal klimatklasser, var och en representerande ett bestämt fuktkvotsintervall inom det område som är typiskt för byggnadskonstruktioner. Byggnormerna anger modifieringsfaktorer för hållfasthets- och styvhetsvärden med hänsyn till lastvaraktighetsklass. Träets slutfuktkvot i en konstruktion bestäms utifrån sin omgivning, temperatur och relativ luftfuktighet, RF, och denna kommer även att variera under konstruktionens livslängd, se figur 3.1.

Det är konstruktörens uppgift att, med utgångspunkt från förutsättningarna i det enskilda fallet, avgöra till vilken klimatklass en viss konstruktionsdel ska hänföras. KL-trähandboken ger vägledning genom att exemplifiera med vanliga konstruktionsdelar.

Klimatklass 1 karakteriseras av en miljö där den relativa luftfuktigheten, RF, endast under några få veckor per år överstiger 65 %. Detta motsvarar en medelfuktkvot i KL-träet som bara under kortare perioder överstiger 12 %.

Hit räknas bland annat:

- Vindsbjälklag och takkonstruktioner i kalla men ventilerade vindsutrymmen över varaktigt uppvärmda lokaler.
- Väggskivor i ytterväggar i varaktigt uppvärmda byggnader om de skyddas av ventilerad och dränerad beklädnad.
- Bottenbjälklag över inneluftsventilerat kryprum.
- Stommar i väl ventilerade simhallar, ishallar och isolerade ridhus.



Figur 3.1 Jämviktsfuktkvoten i trä som funktion av temperaturen vid olika relativ luftfuktighet, RF.



Villa med KL-trästomme, Skara.



Trappa med handledare urfräst ur KL-träskivan som bildar väggen.

Klimatklass 2 karakteriseras av en miljö där den relativa luftfuktigheten, RF, endast under några få veckor per år överstiger 85 %. Detta motsvarar en medelfuktkvot i KL-träet som bara under kortare perioder överstiger 20 %.

Hit räknas bland annat:

- Bottenbjälklag över uteluftsventilerade kryputrymmen.
- KL-träkonstruktioner i lokaler eller byggnader som inte är permanent uppvärmda, till exempel fritidshus, kallager, oisolerade ridhus och ekonomibygnader.
- KL-träkonstruktioner i dåligt ventilerade simhallar.

Klimatklass 3 karakteriseras av en miljö som ger ett större fuktinnehåll än det som svarar mot klimatklass 2.

Hit räknar man bland annat:

- KL-träkonstruktioner i lokaler eller byggnader med fuktalstrande verksamhet eller fuktalstrande lagring.
- KL-träkonstruktioner som är helt oskyddade för väta eller i direkt kontakt med mark.

KL-träskivor som tillverkas med CE-märkning är inte avsedda för användning i klimatklass 3, se även avsnitt 3.1.5, sidan 35.

3.1.4 Dimensionerande bärförmåga och styvheter

Dimensionering i brottgränstillstånd

Dimensionerande bärförmåga i brottgränstillståndet bestäms med utgångspunkt från ett dimensionerande hållfasthetsvärde. Detta beräknar man genom att modifiera det karakteristiska värdet f_k med k_{mod} beroende på lastvaraktighets- och klimatklass och med partialkoefficienten γ_M för osäkerhet i materialet:

$$3.2 \quad f_d = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_k}{\gamma_M}$$

där:

f_k är karakteristiskt hållfasthetsvärde.

k_{mod} är en modifieringsfaktor med hänsyn till klimatklass och lastvaraktighet, se tabell 3.3, sidan 36.

γ_M är en partialkoefficient för materialegenskaper, se tabell 3.2, sidan 35.

Modifieringsfaktorn k_{mod} bestäms med utgångspunkt från lastvaraktigheten hos den kortvarigaste lasten i den dimensionerande lastkombinationen. Karakteristiska grundvärden på hållfasthet liksom omräkningsfaktorer för olika fall anges i gällande normer och standarder.

Dimensionering i bruksgränstillstånd

Vid dimensionering i bruksgränstillståndet ska det visas att konstruktionen har tillräcklig styvhet för att inte obehagliga svängningar eller deformationer som nedsätter byggnadsdelens funktion ska uppkomma. Styvheten hos skivor och plattor av KL-trä påverkas av flera faktorer, såsom belastningens varaktighet och materialets fuktkvot och temperatur.

Vid dimensionering för deformationer beaktar man ovanstående genom att justera styvhetsvärdena med hänsyn till klimatklass. Eftersom man normalt är mer intresserad av en korrekt uppskattning av deformationens storlek än av ett värde som med viss sannolikhet

ligger på säkra sidan används styvhetsvärden motsvarande medelvärde vid beräkningar i bruksgränstillstånd.

I Eurokoderna anges att vid lastfall som består av flera laster med olika varaktighet, beräknas deformationen som summan av de olika lastdelarnas deformationsbidrag. Vart och ett av bidragen beräknas med de materialvärden som motsvarar respektive lastdels varaktighet.

Dimensionerande materialvärden i bruksgränstillståndet erhålls genom att först justera värdet för till exempel elasticitetsmodulen med hänsyn till klimatklass. Därefter dividerar man resultatet med partialkoefficienten γ_M för osäkerhet i materialet. Normalt sätts $\gamma_M = 1,0$ vid dimensionering i bruksgränstillståndet.

Vid beräkning av deformationer i bruksgränstillstånd för bärverk som består av delar eller komponenter med olika tidsberoende bör medelvärdet på den slutliga elasticitetsmodulen, $E_{\text{mean,fin}}$, skjuvmodulen, $G_{\text{mean,fin}}$, och förskjutningsmodulen, $K_{\text{ser,fin}}$, beräknas med hjälp av följande uttryck:

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})}$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})}$$

$$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + k_{\text{def}})}$$

där:

- E_{mean} är elasticitetsmodulens medelvärde.
- G_{mean} är skjuvmodulens medelvärde.
- K_{ser} är förskjutningsmodulen.
- k_{def} är en modifieringsfaktor för krypdeformation som tar hänsyn till klimatklass.

3.1.5 Partialkoefficient och modifieringsfaktorer

Partialkoefficienten γ_M beror bland annat på graden av kontroll vid dimensionering och tillverkning men även på materialets homogenitet. Värdet på partialkoefficienten γ_M för materialegenskaper anges ofta i Eurokodens nationella anpassningsdokument och skiljer sig mellan olika länder. I några länder använder man idag samma värde för KL-trä som för limträ och i andra länder värden som motsvarar konstruktionsvirke. I Sverige har man inte valt något specifikt värde för KL-trä. Beroende på tolkning bör man använda 1,25 eller 1,3 om KL-trä ska användas i en byggnad som ska uppföras i Sverige. Rekommendationen är 1,25 enligt *tabell 3.2*. Om man dimensionerar KL-trä för ett projekt i ett annat land ska man använda sig av landets valda värde enligt deras gällande nationella anpassningsdokument.

Kommande generation av Eurokoderna kommer att ge fördjupade beräkningsregler för KL-träkonstruktioner och därmed kommer materialkoefficienter och faktorer för KL-trä bli mera likartade mellan länderna. KL-trä används idag inte i miljöer med högre fuktnivåer än de som uppstår i klimatklass 1 och 2. KL-träskivor påverkas av fukt genom lokala deformationer, svällning och krympning, som kan ha en negativ påverkan på KL-träets bärförmåga samt på knutpunkter och infästningar.



Brädor till KL-trätillverkning.

3.3

3.4

3.5

Tabell 3.2 Exempel på partialkoefficient γ_M vid dimensionering av KL-trä.

Land	γ_M
Sverige	1,25
Norge	1,15
Österrike	1,25
Tyskland	1,3

Tabell 3.3 Värderna på k_{mod} vid dimensionering av KL-trä.

Klimatklass	Lastvaraktighetsklass				
	Permanent (P)	Långtid (L)	Medellång (M)	Korttid (S)	Momentan (I)
1	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
3	–	–	–	–	–

Tabell 3.4 Exempel på värden på k_{def} vid dimensionering av KL-trä.

Klimatklass	Modifikationsfaktor, k_{def}	
	Antal skikt ≤ 7	Antal skikt > 7
1	0,85	0,8
2	1,1	1,0
3	–	–

I förhållande till lastvaraktighet visar provningar liknande beteende för KL-trä som för limträ och konstruktionsvirke. Därför kan man anta att modifikationsfaktorn k_{mod} för KL-trä är densamma som för limträ och konstruktionsvirke, se tabell 3.3.

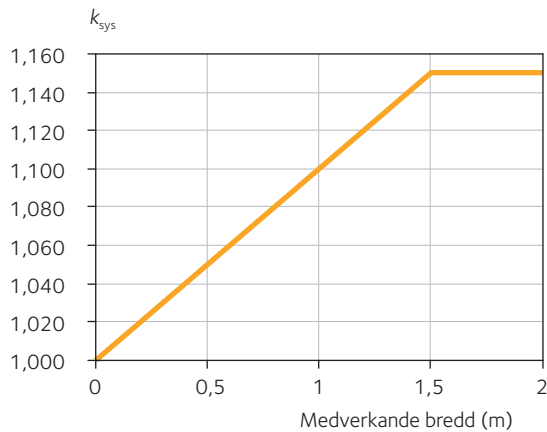
Modifikationsfaktorn för deformation, k_{def} är beroende av klimatklass och antal brädsnitt och påverkar egenskaperna för KL-träskivor, se tabell 3.4. Vanligtvis anges denna faktor i KL-trätillverkarens produktblad eller i tillverkarens European Technical Approval, ETA.

3.1.6 Systemeffekt

Jämfört med komponenter tillverkade av konstruktionsvirke har motsvarande komponenter tillverkade av KL-trä större genomsnittlig hållfasthet samt mindre spridning i hållfasthetsvärdena. Konstruktionsvirkets hållfasthet bestäms av det svagaste tvärsnittet, som vanligtvis är vid en kvist, fingerskarv eller motsvarande. Skillnaden mellan enskilda virkesstycken är därför påtaglig. I KL-trä blandas däremot brädor med olika hållfasthet och risken för att de svagaste tvärsnitten ska sammanfalla i samma riktning och skikt är liten. Detta kallas ofta för systemeffekten.

Vid dimensionering av KL-träskivor används ibland de ingående brädornas karakteristiska hållfasthet och styvhet. Systemeffekten är speciellt tydlig för böj- och draghållfastheten för KL-trä där flera parallella brädor kan samverka. När man utgår ifrån brädornas karakteristiska hållfasthet innebär det för KL-träskivor att de förmodligen får något högre karakteristisk hållfasthet, eftersom det inte bara finns en utan flera brädor som böjs eller dras samtidigt. Fram tills idag finns inga framtagna hållfasthetsklasser för KL-trä och därför kan böj- och draghållfasthet ökas med hjälp av en systemeffektsfaktor, k_{sys} .

I olika godkännandedokument och handböcker kan man läsa olika värden för k_{sys} , från 0,9 upp till 1,2. Faktorn bestäms utifrån antalet dragna brädor och på omfattningen av provningar vid bestämning av skivans egenskaper. Eftersom det är svårt att i ett tidigt skede känna till antalet brädor i ett bestämt tvärsnitt kan k_{sys} bestämmas enligt:



Figur 3.2 Systemeffektsfaktorn k_{sys} för KL-trä vid olika medverkande bredder.

$$3.6 \quad k_{\text{sys}} = \min \begin{cases} 1,15 \\ 1 + 0,1 \cdot b \end{cases}$$

där b är tvärsnittets medverkande bredd i m.

3.2 Materialegenskaper för KL-trä

KL-trä byggs upp av minst tre och vanligtvis maximalt sju skikt med korsvis lagda brädor, där tvärsnittet oftast utförs symmetriskt och med udda antal brädsnitt. Det ger en plan skiva med hög tvärstyvhet och små fuktbedingade rörelser. I regel har de olika brädsnitten samma tjocklek men det förekommer också att de inre skikten har större eller mindre tjocklek. Det förekommer även att skikt består av två limmade brädor i samma riktning. Vanligtvis limmas brädsnitten ihop men det förekommer även andra sammanbindningar (spik, dymingar), dock kallas de produkterna inte för korslimmat trä, KL-trä. Det förekommer även KL-trätillverkare som limmar brädornas kanter samt de som gör KL-trä med nio eller fler skikt. Vanligen görs KL-träskivorna av barrträ men det finns KL-trätillverkare som gör KL-träskivor av andra träslag.

De maximala måtten för skivorna uppgår normalt till cirka 3 × 16 m, men skiljer sig åt mellan olika KL-trätillverkare och det finns de som kan tillverka ännu större skivor. Fuktkvoten för ingående material bör vara 8 – 14 % och anpassas mot tänkt användningsområde. Ingående virke sorteras mot bestämda hållfasthetsklasser och kontinuerligt fingerskarvat virke används. Om inte fingerskarvat virke används bör det beaktas vid dimensioneringen av skivorna. KL-trätillverkare har i sina redovisade hållfasthetsvärden tagit hänsyn till detta.

KL-träskivans slutliga egenskaper bestäms av ingående brädors egenskaper men även som nämnts tidigare av systemeffekten. Vanligtvis används brädor med hållfasthetsegenskaper enligt SS-EN 338 eller av KL-trätillverkaren presenterade och verifierade värden.

Det finns flera teorier och metoder som är mer eller mindre noggranna och som kan användas vid beräkning av egenskaper hos KL-trä.



7-skiktsskiva av KL-trä tillverkad av gran.



3-skiktsskiva av KL-trä tillverkad av björk.

Tabell 3.5 Materialegenskaper för konstruktionsvirke som används vid tillverkning av KL-trä.

Brädors egenskaper	C14	C16	C24	C30
Karakteristiska hållfasthetsvärden (MPa)				
Böjhållfasthet $f_{m,k}$	14	16	24	30
Draghållfasthet längs fiberriktningen $f_{t,0,k}$	7,2	8,5	14,5	19
Draghållfasthet vinkelrätt fiberriktningen $f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4
Tryckhållfasthet längs fiberriktningen $f_{c,0,k}$	16	17	21	24
Tryckhållfasthet vinkelrätt fiberriktningen $f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,5	2,7
Skjuvhållfasthet $f_{v,k}$	3,0	3,2	4,0	4,0
Styvhetvärden (MPa)				
Elasticitetsmodulens medelvärde längs fiberriktningen vid böjning $E_{m,0,mean}$	7 000	8 000	11 000	12 000
Elasticitetsmodulens 5-procentsfraktill längs fiberriktningen vid böjning $E_{m,0,05}$	4 700	5 400	7 400	8 000
Elasticitetsmodulens medelvärde vinkelrätt fiberriktningen $E_{m,90,mean}$	230	270	370	400
Skjuvmodulens medelvärde G_{mean}	440	500	690	750
Densitet (kg/m³)				
Densitetens 5-procentsfraktill ρ_k	290	310	350	380
Medeldensitet ρ_{mean}	350	370	420	460

3.2 Materialegenskaper för KL-trä

Tabell 3.6 Exempel på karakteristiska hållfasthetsvärden för KL-träskivor med utgångspunkt från enskilda brädors hållfasthetsegenskaper. Angående riktningar, se avsnitt 3.3.1, sidan 40.

Karakteristiska hållfasthetsvärden		KL-träskivor med enbart C24 (MPa)	KL-träskivor med C30 i huvudbärriktningen och C14 tvärs huvudbärriktningen (MPa)
Böjning	$f_{m,x,k}$	24	30
	$f_{m,y,k}$	24	14
Dragning i skivans plan	$f_{t,0,x,k}$	14,5	19
	$f_{t,0,y,k}$	14,5	7,2
Dragning vinkelrätt skivans plan	$f_{t,90,x,k}$	0,4	0,4
	$f_{t,90,y,k}$	0,4	0,4
Tryck i skivans plan	$f_{c,0,x,k}$	21	24
	$f_{c,0,y,k}$	21	16
Tryck vinkelrätt skivans plan	$f_{c,90,z,k}$	2,5	2,7
Längsskjuvning	$f_{v,090,xlay,k}$	4	4
	$f_{v,090,ylay,k}$	4	3
Rullskjuvning	$f_{v,9090,xlay,k}$	1,1 ¹⁾ eller 0,7 ²⁾	1,1 ¹⁾ eller 0,7 ²⁾
	$f_{v,9090,ylay,k}$	1,1 ¹⁾ eller 0,7 ²⁾	1,1 ¹⁾ eller 0,7 ²⁾

¹⁾ Används för KL-träskivor med kantlimmade brädor eller om brädtjockleken är mindre än 45 mm och brädornas förhållande mellan bredd/tjocklek är lika med eller större än 4.

²⁾ Används för KL-träskivor om brädorna inte är kantlimmade och brädornas förhållande mellan bredd/tjocklek är mindre än 4, eller vid urfräsning av spår i brädorna.

Tabell 3.7 Exempel på karakteristiska styvhetsvärden för KL-träskivor med utgångspunkt från enskilda brädors styvhetssegenskaper. Angående riktningar se avsnitt 3.3.1, sidan 40.

Karakteristiska styvhetsvärden		KL-träskivor med enbart C24 (MPa)	KL-träskivor med C30 i huvudbärriktningen och C14 tvärs huvudbärriktningen (MPa)
Elasticitetsmodul, medelvärde	$E_{0,x,mean}$	11 000	12 000
	$E_{90,x,mean}$	0 ¹⁾ eller 400 ²⁾	0 ¹⁾ eller 400 ²⁾
	$E_{0,y,mean}$	11 000	7 000
	$E_{90,y,mean}$	0 ¹⁾ eller 400 ²⁾	0 ¹⁾ eller 280 ²⁾
Elasticitetsmodul, 5-procentsfraktil	$E_{0,x,05}$	7 400	8 000
	$E_{0,y,05}$	7 400	4 700
Skjuvmodul, medelvärde	$G_{090,xlay,mean}$	690	750
	$G_{090,ylay,mean}$	690	440
Rullskjuvmodul, medelvärde	$G_{9090,xlay,mean}$	50	50
	$G_{9090,ylay,mean}$	50	50

¹⁾ Används för KL-träskivor utan kantlimmade brädor.

²⁾ Kan användas för KL-träskivor med kantlimmade brädor.

Tabell 3.8 Densitet för KL-träskivor.

Densitet		KL-träskivor med enbart C24 (kg/m ³)	KL-träskivor med C30 i huvudbärriktningen och C14 tvärs huvudbärriktningen (kg/m ³)
Karakteristiskt värde	$\rho_{xlam,k}$	350	cirka 350
Medelvärde	$\rho_{xlam,mean}$	420	cirka 420

Vid framtagning av ett godkännande för KL-träprodukter, har skivornas egenskaper bestämts genom ett stort antal provningar och tillsammans med utvecklade beräkningsmetoder och angivna randvillkor har KL-trätillverkaren beräknat KL-träskivornas bärförmåga för olika tvärsnittsuppbyggnader.

En konstruktör av KL-trä bör därför i möjligaste mån använda sig av KL-trätillverkarens rekommendationer med avseende på materialegenskaper och metoder.

Enligt SS-EN 16351 kan de mekaniska egenskaperna för KL-trä bestämmas enligt följande alternativ:

- Genom bestämning och redovisning av tvärsnittsuppbyggnad och relevanta materialegenskaper för de ingående brädorna.
- Genom provning av KL-träskivor och redovisning av tvärsnittsuppbyggnad och relevanta materialegenskaper för ingående brädor.

Enligt SS-EN 16351 ska KL-trätillverkare i likhet med andra byggprodukter deklarerar sina produkters egenskaper. Används metoden att deklarerar KL-träskivans egenskaper utifrån standardiserade brädors egenskaper enligt SS-EN 338 tillsammans med utvecklad beräkningsmetod, fås värden enligt *tabell 3.6, sidan 38*, och *tabell 3.7, sidan 38*.

Det betyder att styvheten och hållfastheten för en KL-träskiva bestäms av styvheten respektive hållfastheten för skikten. Värdena bestäms för olika riktningar som betecknas med:

- x-riktningen – parallellt eller längs med KL-träskivans huvudbärriktning (vanligtvis det yttersta lagrets riktning).
- y-riktningen – vinkelrätt mot eller tvärs KL-träskivans huvudbärriktning.
- z-riktningen – vinkelrätt mot eller tvärs KL-träskivans plan.

Se även avsnitt 3.3.1, sidan 40.

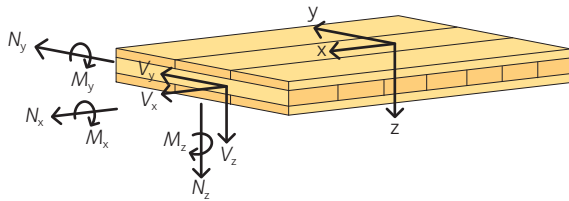
Densitet för KL-träskivor kan sättas till 1,1 gånger ingående brädors densitet i brottgränstillstånd och 1,0 gånger brädornas densitet i bruksgränstillstånd. För KL-träskivor där olika hållfasthet används i de olika skikten ska densiteten för den lägsta hållfasthetsklassen användas vid beräkning av förband.

Vid lastnedräkningar används vanligtvis densitet mellan 450 och 550 kg/m³ för KL-träskivor.

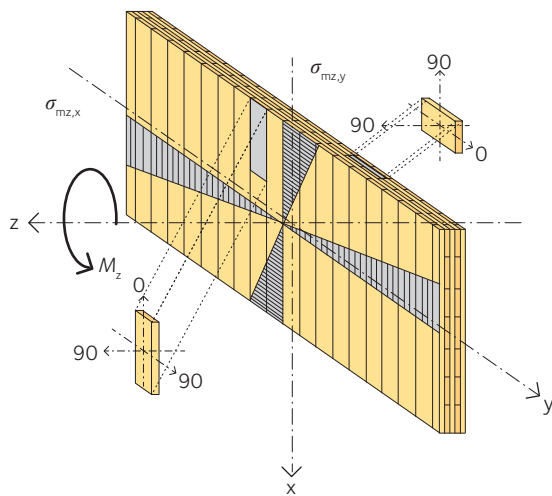


Dressyrhall för hundar, Rosersberg.

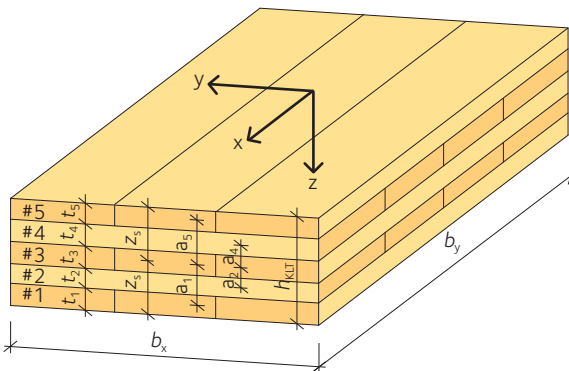
3.3 KL-trädimensionering enligt balkteori



Figur 3.3 Definition av huvudaxlar och huvudriktningar.



Figur 3.4 Vy av väggskiva av KL-trä, huvudaxlar och lokala axlar.



Figur 3.5 Definition av numrering för tvärsnitt av KL-trä med huvudbärning i x-riktning.

Om det finns en tydlig huvudbärriktning kan en KL-träskiva betraktas som en balk, vilket ofta är fallet. Dimensioneringen kan då i princip utföras enligt balkteori.

3.3.1 Definition av riktningar

KL-trä och produkter av KL-trä kan ta upp och fördela laster i tre huvudbärriktningar, i längsled (x-led), i tvärlid (y-led) och vinkelrätt mot skivans plan (z-led).

I den nuvarande standarden för KL-trä, SS-EN 16351, används följande benämningar som även används i kapitlet, se även figur 3.3 och figur 3.4:

- x-axeln är parallell med yttersta brädsnittets fiberriktning, vilken även benämns som global axel i x-riktningen. Det behöver inte betyda att största bärförmågan är i x-led.
- y-axeln är vinkelrät mot fiberriktningen i yttersta brädsnittet, vilken även benämns som global axel i y-riktningen.
- z-axeln är vinkelrät mot xy -planet och löper i skivans tjockleksriktning och benämns även som global axel i z-riktningen.
- 0 betecknar lokal axel för brädor eller skikt, parallella med fiberriktningen.
- 90 betecknar lokal axel för brädor eller skikt, vinkelräta mot fiberriktningen.
- 090 betecknar lokala planet med riktningen 0 och 90, exempelvis skjivning i plan parallellt med fiberriktningen och vinkelrätt mot fiberriktningen.
- 9090 betecknar lokala planet med riktningen 90 och 90, exempelvis skjivning i plan vinkelrätt mot fiberriktningen i båda riktningar.

I följande avsnitt antas ett symmetriskt tvärsnitt och att elasticitetsmodulen vinkelrätt mot fiberriktningen är försumbar, det vill säga $E_{90} = 0$. Vidare antas att elasticitetsmodulen parallellt med fiberriktningen är lika för alla brädor och betecknas E_0 . För osymmetriska tvärsnitt samt heterogena tvärsnitt med avseende på mekaniska egenskaper för KL-trä, se avsnitt 3.3.3, sidan 47.

Beteckningar

Elasticitetsmodulen per skikt betecknas enligt följande:

E_0 är elasticitetsmodulen för ett skikt parallellt med fiberriktningen.

$E_{0,mean}$ är medelvärdet enligt SS-EN 338.

$E_{x,i}$ är elasticitetsmodulen i x-led för skiktet i .

$E_{y,j}$ är elasticitetsmodulen i y-led för skiktet j .

$$E_{x,1} = E_{x,3} = E_{x,5} = \dots = E_{0,xlay,mean} = E_0$$

$$E_{y,2} = E_{y,4} = \dots = E_{0,ylay,mean} = E_0$$

$$E_{x,2} = E_{x,4} = \dots = E_{90,ylay,mean} = 0$$

$$E_{y,1} = E_{y,3} = E_{y,5} = \dots = E_{90,xlay,mean} = 0$$

Skjuvmodulen per skikt betecknas enligt följande:

$G_{x,i}$ är skjuvmodulen i x-led för skiktet i .

$G_{y,j}$ är skjuvmodulen i y-led för skiktet j .

$$\begin{aligned} G_{x,1} = G_{x,3} = G_{x,5} = \dots &= G_{090,xlay,mean} = G_0 \\ G_{y,2} = G_{y,4} = \dots &= G_{090,ylay,mean} = G_0 \\ G_{x,2} = G_{x,4} = \dots &= G_{9090,ylay,mean} = G_{90} \\ G_{y,1} = G_{y,3} = G_{y,5} = \dots &= G_{9090,xlay,mean} = G_{90} \end{aligned}$$

Skivans tjocklek, h_{KLT} , och tyngdpunktscentrum, z_s , kan skrivas som, se figur 3.5, sidan 40:

$$h_x = t_1 + t_3 + t_5 + \dots \quad 3.7$$

$$h_y = t_2 + t_4 + \dots \quad 3.8$$

$$h_{KLT} = h_x + h_y \quad 3.9$$

$$z_s = \frac{h_{KLT}}{2} \quad 3.10$$

För KL-träskivor i sin helhet betecknas riktningar parallellt med skivan med x och vinkelrätt mot skivan med y. Detta måste beaktas med försiktighet vid dimensionering av KL-trä som balkelement eller som skalelement. Styvhetsgenskaper som betecknas med 0 och 90 refererar till brädornas egenskaper och inte till KL-trä som en homogen skiva.

Skivans tvärkraftsbärförmåga är framförallt beroende av rullskjuvhållfastheten för tvärsnittet. De tillhörande nettostatiska momenten kan skrivas som:

$$S_{R,x,net} = \sum_{i=1}^{m_L} \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} \cdot b_x t_i a_i \quad 3.11$$

$$S_{R,y,net} = \sum_{i=1}^{m_L} \frac{E_{y,i}}{E_{ref}} \cdot b_y t_i a_i \quad 3.12$$



Abba-museet, Stockholm.

Tabell 3.9 Tvärsnittsegenskaper för KL-träskivor. Definitioner se figur 3.3, figur 3.4 och figur 3.5, sidan 40.

Egenskap	Parallellt med huvudbärriktningen	Vinkelrätt mot huvudbärriktningen
Bruttoarea	$A_{x,brutto} = b_x h_{KLT}$	$A_{y,brutto} = b_y h_{KLT}$
Nettoarea	$A_{x,net} = b_x h_x$	$A_{y,net} = b_y h_y$
Nettotröghetsmoment	<p>Vid rotation runt y-axeln:</p> $I_{x,net} = \sum \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} \cdot \frac{b_x t_i^3}{12} + \sum \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} \cdot b_x t_i a_i^2$ $= \frac{b_x t_1^3}{12} + b_x t_1 a_1^2 + \frac{b_x t_3^3}{12} + b_x t_3 a_3^2 + \frac{b_x t_5^3}{12} + b_x t_5 a_5^2 + \dots$ <p>Vid rotation runt z-axeln:</p> $I_{z,x,net} = \sum \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} \cdot \frac{t_i b_x^3}{12} = \frac{t_1 + t_3 + t_5 + \dots}{12} b_x^3$	<p>Vid rotation runt x-axeln:</p> $I_{y,net} = \sum \frac{E_{y,i}}{E_{ref}} \cdot \frac{b_y t_i^3}{12} + \sum \frac{E_{y,i}}{E_{ref}} \cdot b_y t_i a_i^2$ $= \frac{b_y t_2^3}{12} + b_y t_2 a_2^2 + \frac{b_y t_4^3}{12} + b_y t_4 a_4^2 + \dots$ <p>Vid rotation runt z-axeln:</p> $I_{z,y,net} = \sum \frac{E_{y,i}}{E_{ref}} \cdot \frac{t_i b_y^3}{12} = \frac{t_2 + t_4 + \dots}{12} b_y^3$
Nettoböjmotstånd	$W_{x,net} = \frac{2 \cdot I_{x,net}}{h_{KLT}}$	$W_{y,net} = \frac{2 \cdot I_{y,net}}{h_{KLT}}$



Brädor till KL-trätillverkning.

där:

- m_L är beteckningen för det tvärgående skiktet närmast skivans tyngdpunkt.
- b_x, b_y är brädsnittets bredd.
- t_i är brädsnittets tjocklek.
- a_i är avståndet mellan brädsnittets mitt och KL-träskivans neutrallager.
- E_{ref} är valt referensvärde för elasticitetsmodul.
- $E_{x,i}, E_{y,i}$ är brädsnittets elasticitetsmodul.

I specifika fall kan det vara nödvändigt att beräkna skivans tvärkraftsbärförmåga även för de längsgående skikten varvid de statiska momenten kan skrivas enligt följande:

Om skivans tyngdpunkt ligger i det skikt som betraktas:

$$3.13 \quad S_{x,net} = \sum_{i=1}^{k_L} \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} b_x t_i a_i + b_x \frac{\left(\frac{t_k}{2} - a_k\right)^2}{2}$$

$$3.14 \quad S_{y,net} = \sum_{i=1}^{k_L} \frac{E_{y,i}}{E_{ref}} b_y t_i a_i + b_y \frac{\left(\frac{t_k}{2} - a_k\right)^2}{2}$$

Om skivans tyngdpunkt inte ligger i det skikt som betraktas:

$$3.15 \quad S_{x,net} = \sum_{i=1}^{k_L} \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} b_x t_i a_i$$

$$3.16 \quad S_{y,net} = \sum_{i=1}^{k_L} \frac{E_{y,i}}{E_{ref}} b_y t_i a_i$$

där:

- k_L är beteckningen för det längsgående skiktet närmast skivans tyngdpunkt.
- a_k är avståndet från neutrallagret till betraktat skikts tyngdpunkt.
- t_k är betraktat skikts tjocklek.

Skjuvkapacitet vid deformationsberäkningar:

$$3.17 \quad S_{x,KLT} = \kappa_x \sum G_{x,i} b_x t_i = \kappa_x b_x (G_0 t_1 + G_{90} t_2 + G_0 t_3 + \dots)$$

$$3.18 \quad S_{y,KLT} = \kappa_y \sum G_{y,i} b_y t_i = \kappa_y b_y (G_{90} t_1 + G_0 t_2 + G_0 t_3 + \dots)$$

Se tabell 3.10, sidan 43 för skjuvkorrektionsfaktor κ .

För olika skiktjocklekar, om förhållandet $G_0/G_{90} > 0$ eller $E_{90} > 0$, kan skjuvkorrektionsfaktorn beräknas enligt:

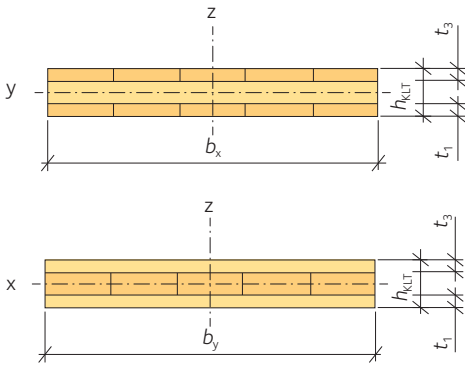
$$\kappa = \frac{\left(\sum (EI + EAa^2) \right)^2}{\sum G_i b t_i \cdot \int_h \frac{S^2(z) E^2(z)}{G(z) b(z)} dz}$$

3.19

I tabell 3.10 finns skjuvkorrektionsfaktorn beräknad för ett antal KL-träskivor med olika tvärsnittsuppbyggnad.

Tabell 3.10 Skjuvkorrektionsfaktor κ i x- och y-led. Förutsättningar för egenskaper i tabellen är: fritt upplagd KL-träplatta, brädornas hållfasthetsklass C24, bredder $b_x = b_y = 1,0$ m, $E_{0,\text{mean}} = 11\,000$ MPa, $E_{90,\text{mean}} = 0$ MPa, $G_{090,\text{mean}} = 650$ MPa och $G_{9090,\text{mean}} = 50$ MPa.

Dimension	Tjocklek per skikt					Hållfasthetsklass per skikt					Skjuvkorrektionsfaktor	
h_{KLT}	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	κ_x	κ_y
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(SS-EN 338)					–	–
60	20	20	20			C24	C24	C24			0,163	0,722
70	20	30	20			C24	C24	C24			0,161	0,756
80	20	40	20			C24	C24	C24			0,168	0,774
80	30	20	30			C24	C24	C24			0,178	0,677
90	30	30	30			C24	C24	C24			0,163	0,722
100	30	40	30			C24	C24	C24			0,161	0,747
100	40	20	40			C24	C24	C24			0,196	0,637
110	40	30	40			C24	C24	C24			0,172	0,691
120	40	40	40			C24	C24	C24			0,163	0,722
100	20	20	20	20	20	C24	C24	C24	C24	C24	0,194	0,152
120	20	30	20	30	20	C24	C24	C24	C24	C24	0,197	0,169
140	20	40	20	40	20	C24	C24	C24	C24	C24	0,208	0,189
110	20	20	30	20	20	C24	C24	C24	C24	C24	0,212	0,150
130	20	30	30	30	20	C24	C24	C24	C24	C24	0,207	0,156
150	20	40	30	40	20	C24	C24	C24	C24	C24	0,213	0,166
120	20	20	40	20	20	C24	C24	C24	C24	C24	0,234	0,157
140	20	30	40	30	20	C24	C24	C24	C24	C24	0,221	0,153
160	20	40	40	40	20	C24	C24	C24	C24	C24	0,221	0,157
120	30	20	20	20	30	C24	C24	C24	C24	C24	0,188	0,147
140	30	30	20	30	30	C24	C24	C24	C24	C24	0,184	0,165
160	30	40	20	40	30	C24	C24	C24	C24	C24	0,189	0,186
130	30	20	30	20	30	C24	C24	C24	C24	C24	0,204	0,146
150	30	30	30	30	30	C24	C24	C24	C24	C24	0,194	0,152
170	30	40	30	40	30	C24	C24	C24	C24	C24	0,195	0,163
140	30	20	40	20	30	C24	C24	C24	C24	C24	0,221	0,152
160	30	30	40	30	30	C24	C24	C24	C24	C24	0,206	0,150
180	30	40	40	40	30	C24	C24	C24	C24	C24	0,203	0,155
140	40	20	20	20	40	C24	C24	C24	C24	C24	0,189	0,142
160	40	30	20	30	40	C24	C24	C24	C24	C24	0,179	0,162
180	40	40	20	40	40	C24	C24	C24	C24	C24	0,179	0,182
150	40	20	30	20	40	C24	C24	C24	C24	C24	0,203	0,141
170	40	30	30	30	40	C24	C24	C24	C24	C24	0,189	0,149
190	40	40	30	40	40	C24	C24	C24	C24	C24	0,186	0,160
160	40	20	40	20	40	C24	C24	C24	C24	C24	0,219	0,147
180	40	30	40	30	40	C24	C24	C24	C24	C24	0,199	0,146
200	40	40	40	40	40	C24	C24	C24	C24	C24	0,194	0,152



Figur 3.6 Definition av mått och numrering för tvärsnitt av 3-skiktsskivor av KL-trä med bäring i x-riktning respektive i y-riktning.

Beräkning av vridmotstånd och vridtröghetsmoment

Vridmotståndet för KL-trä beror på bruttotvärsnittet. För stående balkar och KL-träskivor med risk för vippning eller vridknäckning bör man verifiera bärförmågan mot vridande moment. Tröghetsmomentet för vridning, $I_{\text{tor,KLT}}$ respektive tvärsnittets vridmotstånd, $W_{\text{tor,KLT}}$ kan skrivas som:

$$3.20 \quad I_{\text{tor,x,KLT}} \approx k_{\text{vrid}} \cdot c_{1,x} \frac{h_{\text{KLT}}^3 b_x}{3}$$

$$3.21 \quad I_{\text{tor,y,KLT}} \approx k_{\text{vrid}} \cdot c_{1,y} \frac{h_{\text{KLT}}^3 b_y}{3}$$

$$3.22 \quad W_{\text{tor,x,KLT}} = \frac{I_{\text{tor,x,KLT}}}{c_{2,x} \cdot h_{\text{KLT}}} = k_{\text{vrid}} \cdot \frac{c_{1,x}}{c_{2,x}} \frac{h_{\text{KLT}}^2 b_x}{3}$$

$$3.23 \quad W_{\text{tor,y,KLT}} = \frac{I_{\text{tor,y,KLT}}}{c_{2,y} \cdot h_{\text{KLT}}} = k_{\text{vrid}} \cdot \frac{c_{1,y}}{c_{2,y}} \frac{h_{\text{KLT}}^2 b_y}{3}$$

där:

$$k_{\text{vrid}} = \begin{cases} 0,65 & \text{för KL-trä med spalter eller sprickor.} \\ 0,8 & \text{för KL-trä utan spalter eller sprickor.} \end{cases}$$

h_{KLT} är KL-träskivans tjocklek.

b_x är KL-träskivans bredd i x-riktning.

b_y är KL-träskivans bredd i y-riktning.

med följande faktorer:

$$c_{1,x} = 1 - 0,63 \frac{h_{\text{KLT}}}{b_x} + 0,052 \left(\frac{h_{\text{KLT}}}{b_x} \right)^5$$

$$c_{1,y} = 1 - 0,63 \frac{h_{\text{KLT}}}{b_y} + 0,052 \left(\frac{h_{\text{KLT}}}{b_y} \right)^5$$

$$c_{2,x} = 1 - \frac{0,052 \left(\frac{h_{\text{KLT}}}{b_x} \right)^3}{1 + \left(\frac{h_{\text{KLT}}}{b_x} \right)^3}$$

$$c_{2,y} = 1 - \frac{0,052 \left(\frac{h_{\text{KLT}}}{b_y} \right)^3}{1 + \left(\frac{h_{\text{KLT}}}{b_y} \right)^3}$$

Ekvationerna gäller inte för balkar av KL-trä med tjocklek större än bredden av skivan.

Polärt tröghetsmoment

Det polära tröghetsmomentet gäller linjär spänningsfördelning av de på grund av vridning inducerade skjuvspänningarna från centrum av den rektangulära ytan till den yttre kanten. Det polära tröghetsmomentet I_p är något större än vridtröghetsmomentet $I_{\text{tor, KL-T}}$ eftersom skjuvspänningarna inte är linjära vid vridning av skivan:

$$I_p = I_1 + I_2 = \frac{b_{l,x} \cdot b_{l,y}^3}{12} + \frac{b_{l,x}^3 \cdot b_{l,y}}{12} \quad 3.24$$

$$W_p = \frac{2 \cdot I_p}{\sqrt{b_{l,x} b_{l,y}}} \quad 3.25$$

där $b_{l,x}$ och $b_{l,y}$ är brädornas bredd i x- respektive i y-led.

För $b_{l,x} = b_{l,y} = b_l$ (limytor mellan brädor i x- och y-riktning) gäller:

$$I_p = \frac{b_l^4}{6} \quad 3.26$$

$$W_p = \frac{b_l^3}{3} \quad 3.27$$



Flervåningshus, Sundbyberg.

3.3.2 Tvärsnittsstorheter för 3-skiktss- och 5-skiktsskivor av KL-trä

Det finns ett stort antal möjligheter att variera KL-träskivans tvärsnittsuppbyggnad. Tvärsnittets uppbyggnad bestämmer KL-träskivans egenskaper. Nedan anges storhetsvärden för ett antal olika uppbyggnader för 3-skiktss- respektive 5-skiktsskivor, se tabell 3.11, tabell 3.12, sidan 46, och tabell 3.13, sidan 47.

Tabell 3.11 Tvärsnittsstorheter för 3-skiktsskivor av KL-trä enligt figur 3.6. Förutsättningar: $k_{\text{vrid}} = 0,65$ (spalter mellan brädor), bredder b_x och $b_y = 1,0$ m.

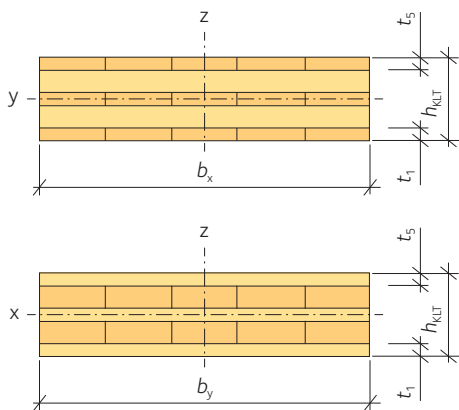
Dimension (mm)	Tjocklek per skikt (mm)			Tvärsnittsmått (mm)			Ytor (cm ²)			Böjning i y-led (cm ⁴ , cm ³)			Böjning i x-led (cm ⁴ , cm ³)		
	h_{KLT}	t_1	t_2	t_3	h_x	h_y	z_s	$A_{x,\text{net}}$	$A_{y,\text{net}}$	A_{KLT}	$I_{x,\text{net}}$	$W_{x,\text{net}}$	$S_{R,x,\text{net}}$	$I_{y,\text{net}}$	$W_{y,\text{net}}$
60	20	20	20	40	20	30	400	200	600	1 733	578	400	67	22	0
70	20	30	20	40	30	35	400	300	700	2 633	752	500	225	64	0
80	20	40	20	40	40	40	400	400	800	3 733	933	600	533	133	0
80	30	20	30	60	20	40	600	200	800	4 200	1 050	750	67	17	0
90	30	30	30	60	30	45	600	300	900	5 850	1 300	900	225	50	0
100	30	40	30	60	40	50	600	400	1 000	7 800	1 560	1 050	533	107	0
100	40	20	40	80	20	50	800	200	1 000	8 267	1 653	1 200	67	13	0
110	40	30	40	80	30	55	800	300	1 100	10 867	1 976	1 400	225	41	0
120	40	40	40	80	40	60	800	400	1 200	13 867	2 311	1 600	533	89	0

3.3 KL-trädimensionering enligt balkteori

Tabell 3.12 Ingångsdata för 5-skiktsskivor av KL-trä enligt figur 3.7.

Förutsättningar: $k_{\text{vid}} = 0,65$ (spalter mellan brädor), bredder b_x och $b_y = 1,0$ m.

Nr.	Dimension (mm)	Tjocklek per skikt (mm)					Tvärsnittsmått (mm)			Egenvikt och area (kg/m ² , cm ²)				
	h_{KLT}	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	h_x	h_y	z_s	g_{mean}	g_k	$A_{x,\text{net}}$	$A_{y,\text{net}}$	A_{KLT}
1	100	20	20	20	20	20	60	40	50	42	39	600	400	1 000
2	120	20	30	20	30	20	60	60	60	50	46	600	600	1 200
3	140	20	40	20	40	20	60	80	70	59	54	600	800	1 400
4	110	20	20	30	20	20	70	40	55	46	42	700	400	1 100
5	130	20	30	30	30	20	70	60	65	55	50	700	600	1 300
6	150	20	40	30	40	20	70	80	75	63	58	700	800	1 500
7	120	20	20	40	20	20	80	40	60	50	46	800	400	1 200
8	140	20	30	40	30	20	80	60	70	59	54	800	600	1 400
9	160	20	40	40	40	20	80	80	80	67	62	800	800	1 600
10	120	30	20	20	20	30	80	40	60	50	46	800	400	1 200
11	140	30	30	20	30	30	80	60	70	59	54	800	600	1 400
12	160	30	40	20	40	30	80	80	80	67	62	800	800	1 600
13	130	30	20	30	20	30	90	40	65	55	50	900	400	1 300
14	150	30	30	30	30	30	90	60	75	63	58	900	600	1 500
15	170	30	40	30	40	30	90	80	85	71	66	900	800	1 700
16	140	30	20	40	20	30	100	40	70	59	54	1 000	400	1 400
17	160	30	30	40	30	30	100	60	80	67	62	1 000	600	1 600
18	180	30	40	40	40	30	100	80	90	76	70	1 000	800	1 800
19	140	40	20	20	20	40	100	40	70	59	54	1 000	400	1 400
20	160	40	30	20	30	40	100	60	80	67	62	1 000	600	1 600
21	180	40	40	20	40	40	100	80	90	76	70	1 000	800	1 800
22	150	40	20	30	20	40	110	40	75	63	58	1 100	400	1 500
23	170	40	30	30	30	40	110	60	85	71	66	1 100	600	1 700
24	190	40	40	30	40	40	110	80	95	80	73	1 100	800	1 900
25	160	40	20	40	20	40	120	40	80	67	62	1 200	400	1 600
26	180	40	30	40	30	40	120	60	90	76	70	1 200	600	1 800
27	200	40	40	40	40	40	120	80	100	84	77	1 200	800	2 000



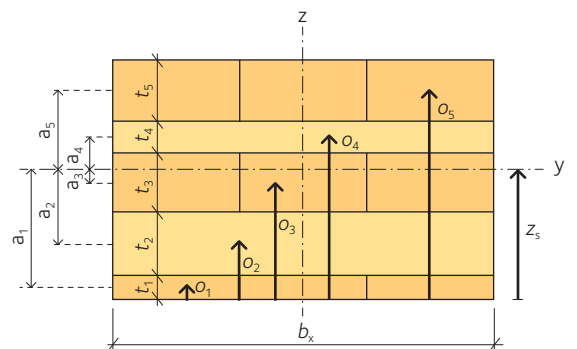
Figur 3.7 Definition av mått och numrering för tvärsnitt av 5-skiktsskivor av KL-trä med bäring i x-riktning respektive i y-riktning.

Tabell 3.13 Tvärsnittsstorheter för 5-skiktsskivor av KL-trä enligt figur 3.7, sidan 47.
Förutsättningar: $k_{\text{vrid}} = 0,65$ (spalter mellan brädor), bredder b_x och $b_y = 1,0$ m.

Nr.	Dimension (mm)	Tjocklek per skikt (mm)					Böjning i y-led (cm ⁴ , cm ³)			Böjning i x-led (cm ⁴ , cm ³)		
		h_{KLT}	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	$I_{x,\text{net}}$	$W_{x,\text{net}}$	$S_{R,x,\text{net}}$	$I_{y,\text{net}}$	$W_{y,\text{net}}$
1	100	20	20	20	20	20	6 600	1 320	800	1 733	346,7	400
2	120	20	30	20	30	20	10 200	1 700	1 000	4 200	700,0	750
3	140	20	40	20	40	20	14 600	2 086	1 200	8 267	1 181,0	1 200
4	110	20	20	30	20	20	8 458	1 538	900	2 633	478,8	500
5	130	20	30	30	30	20	12 458	1 917	1 100	5 850	900,0	900
6	150	20	40	30	40	20	17 258	2 301	1 300	10 867	1 448,9	1 400
7	120	20	20	40	20	20	10 667	1 778	1 000	3 733	622,2	600
8	140	20	30	40	30	20	15 067	2 152	1 200	7 800	1 114,3	1 050
9	160	20	40	40	40	20	20 267	2 533	1 400	13 867	1 733,0	1 600
10	120	30	20	20	20	30	12 667	2 111	1 350	1 733	289,0	400
11	140	30	30	20	30	30	18 667	2 667	1 650	4 200	600,0	750
12	160	30	40	20	40	30	25 867	3 233	1 950	8 267	1 033,0	1 200
13	130	30	20	30	20	30	15 675	2 411	1 500	2 633	405,0	500
14	150	30	30	30	30	30	22 275	2 970	1 800	5 850	780,0	900
15	170	30	40	30	40	30	30 075	3 538	2 100	10 867	1 278,0	1 400
16	140	30	20	40	20	30	19 133	2 733	1 650	3 733	533,0	600
17	160	30	30	40	30	30	26 333	3 292	1 950	7 800	975,0	1 050
18	180	30	40	40	40	30	34 733	3 859	2 250	13 867	1 541,0	1 600
19	140	40	20	20	20	40	21 133	3 019	2 000	1 733	248,0	400
20	160	40	30	20	30	40	29 933	3 742	2 400	4 200	525,0	750
21	180	40	40	20	40	40	40 333	4 482	2 800	8 267	919,0	1 200
22	150	40	20	30	20	40	25 492	3 399	2 200	2 633	351,0	500
23	170	40	30	30	30	40	35 092	4 128	2 600	5 850	688,0	900
24	190	40	40	30	40	40	46 292	4 873	3 000	10 867	1 144,0	1 400
25	160	40	20	40	20	40	30 400	3 800	2 400	3 733	467,0	600
26	180	40	30	40	30	40	40 800	4 533	2 800	7 800	867,0	1 050
27	200	40	40	40	40	40	52 800	5 280	3 200	13 867	1 387,0	1 600

3.3.3 Osymmetriska tvärsnitt och skikt med olika elasticitetsmodul

Osymmetriska tvärsnitt, se figur 3.8, kan förekomma även om det bör undvikas då risken ökar för olikartade deformationer och fuktrörelser. Nedan återges en översiktlig metod för att beräkna tvärsnittsstorheter, se ekvationerna 3.28 – 3.31, sidan 48 för osymmetriska tvärsnitt.



Figur 3.8 Uppbyggnad och numrering av ett osymmetriskt tvärsnitt.

Bestämning av tyngdpunkten för tvärsnittet görs enligt följande:

- Ett referensskikt bestäms med E_{ref} som elasticitetsmodul.
- Beräkna tyngdpunkten för varje skikt från tvärsnittets underkant, $o_1, o_2, o_3, \dots, o_i$.
- Beräkna z-koordinaten från tvärsnittets underkant:

$$3.28 \quad z_s = \frac{\sum \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} b \cdot t_i o_i}{\sum \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} b \cdot t_i}$$

- Nu kan avstånden a_i mellan centrum av varje skikt och KL-träskivans neutrallager fastställas:

$$a_i = |o_i - z_s|$$

Beräkning av nettoarea, med bärriktning i x-led:

$$3.29 \quad A_{x,\text{net}} = \sum \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} b_x t_i$$

Beräkning av tröghetsmoment, netto, med bärriktning i x-led:

$$3.30 \quad I_{x,\text{net}} = \sum \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} \cdot \frac{b_x t_i^3}{12} + \sum \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} b_x t_i a_i^2$$

Beräkning av böjmotstånd, netto, med bärriktning i x-led:

$$3.31 \quad W_{x,\text{net}} = \frac{I_{x,\text{net}}}{\max\{|z_o|; |z_u|\}}$$

Med $z_u = z_s$ och $z_o = h - |z_s|$

Vid bestämning av spänning under böjmoment $M_{y,d}$ kan följande användas:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} \cdot \frac{M_{y,d}}{W_{x,\text{net}}}$$

där:

- E_i är det enskilda skiktets elasticitetsmodul.
- E_{ref} är valt referensvärde för elasticitetsmodul.

3.3.4 Effektiva tvärsnittsvärden

Skjuvdeformationen utgör en betydande del i den totala deformationen för KL-träskivor. I Eurokod 5, bilaga B finns en metod beskriven, Gamma-metoden, där bidraget till deformationer från tvärkrafter betraktas på ett förenklat sätt. Vid ren böjning beräknas böjstyvheten med nettotvärsnittet och tecknas EI_{net} . I Gamma-metoden införs istället ett effektivt tröghetsmoment, I_{ef} i beräkningen.

Formlerna för Gamma-metoden i Eurokod 5 kan användas för tvärsnitt med 3- och 5-skiktsskivor. Teorin i båda fallen har som utgångspunkt att det andra längsgående skiktet från ovasidan fastställs som bas. De intilliggande skikten är flexibelt kopplade till basskiktet och



Toppstuga, Kebnekaise.

respektive skikts "Steinerdel" minskas med ett Gamma-värde som beror på spännvidden och de tvärgående skikten. För tvärsnitt med två längsgående skikt, resulterar de associerade formlerna i asymmetriska delresultat. Metoden implementeras enkelt för 3- och 5-skiktsskivor men kräver fördjupade beräkningar för 7-skikt eller fler skikt.

För denna metod är tvärsnittsvärdena beroende av skivans längd eller spännvidd, l_{ref} benämns därför som en referenslängd som beror på balkens längd och upplagsförhållanden:

- för en fritt upplagd balk med enkel spännvidd, $l_{\text{ref}} = L$.
- för en fritt upplagd kontinuerlig balk med minst två spann, $l_{\text{ref}} = 0,8 \cdot L$ (L är den specifika spännvidden som betraktas).
- för en konsolbalk med utkragande längd, $l_{\text{ref}} = 2 \cdot L$ (L är konsolens längd).

3-skiktsskiva av KL-trä

KL-träskivan kan vara uppbyggd med skikt av olika tjocklek och hållfasthetsklasser, se figur 3.9.

Vid beräkning av tvärsnittsstorheter kan följande arbetsgång och ekvationerna 3.32 – 3.35 användas.

- Varje skikt numreras från 1 till n nerifrån och upp.
- Beräkna Gamma-värden. Enbart γ_3 för de längsgående skikten, det vill säga skikt 1 och skikt 3, behöver beräknas. Det tvärgående skiktet räknas inte med:

$$\gamma_1 = 1 \quad 3.32$$

$$\gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{x,3} t_3}{l_{\text{ref}}^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090,2}}} \quad 3.33$$

- Beräkna avstånden a : a_1 , a_3 . Enbart a_1 och a_3 för längsgående skikt 1 och 3 behöver beräknas. Det tvärgående skiktet räknas inte med:

$$a_1 = \frac{\gamma_3 \frac{E_{x,3}}{E_{\text{ref}}} b t_3 \left(\frac{t_1}{2} + t_2 + \frac{t_3}{2} \right)}{\gamma_1 \frac{E_{x,1}}{E_{\text{ref}}} b t_1 + \gamma_3 \frac{E_{x,3}}{E_{\text{ref}}} b t_3}$$

för symmetriska tvärsnitt och brädor av samma hållfasthetsklass:

$$a_1 = \frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{2}$$

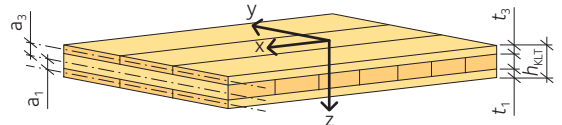
$$a_3 = \frac{t_1}{2} + t_2 + \frac{t_3}{2} - a_1$$

för symmetriska tvärsnitt och brädor av samma hållfasthetsklass:

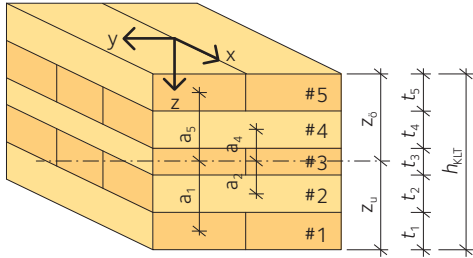
$$a_3 = \frac{t_2}{2} + \frac{t_3}{2}$$

- Beräkna det effektiva tröghetsmomentet enligt följande:

$$I_{x,\text{ef}} = \sum \frac{E_{x,i}}{E_{\text{ref}}} \frac{b_i t_i^3}{12} + \gamma_i \frac{E_{x,i}}{E_{\text{ref}}} b_i t_i a_i^2 = \frac{E_{x,1}}{E_{\text{ref}}} \frac{b_1 t_1^3}{12} + \gamma_1 \frac{E_{x,1}}{E_{\text{ref}}} b_1 t_1 a_1^2 + \frac{E_{x,3}}{E_{\text{ref}}} \frac{b_3 t_3^3}{12} + \gamma_3 \frac{E_{x,3}}{E_{\text{ref}}} b_3 t_3 a_3^2 \quad 3.34$$



Figur 3.9 Definition av skikt och riktningar.



Figur 3.10 Beteckningar för en 5-skiktsskiva av KL-trä.

För symmetriskt tvärsnitt ($t_1 = t_3$) och samma hållfasthetsklass fås:

$$3.35 \quad I_{x,ef} = \frac{b_x t_1^3}{12} + b_x t_1 a_1^2 + \frac{b_x t_3^3}{12} + \gamma_3 b_x t_3 a_3^2 = b_x \left(\frac{2 \cdot t_1^3}{12} + (1 + \gamma_3) t_1 a_1^2 \right)$$

5-skiktsskiva av KL-trä

KL-träskivor kan vara uppbyggda med skikt av olika tjocklek och hållfasthetsklasser, se figur 3.10.

- Varje skikt numreras från 1 till n nerifrån och upp.
- Beräkna Gamma-värden. Enbart γ_1 för de längsgående skikten, det vill säga skikt 1, skikt 3 och skikt 5 behöver beräknas. De tvärgående skikten räknas inte med och Gamma-värdet beräknas enligt ekvationerna 3.36 – 3.38:

$$3.36 \quad \gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{x,1} t_1}{l_{ref}^2} \frac{t_2}{G_{9090,2}}}$$

$$3.37 \quad \gamma_3 = 1$$

$$3.38 \quad \gamma_5 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{x,5} t_5}{l_{ref}^2} \frac{t_4}{G_{9090,4}}}$$

För symmetriska tvärsnitt ($t_1 = t_3 = t_5$) och samma hållfasthetsklass sätts $\gamma_1 = \gamma_5$.

- Beräkna avstånden a_i . Enbart a_1 , a_3 och a_5 för längsgående skiktet 1, 3 och 5 behöver beräknas:

$$a_3 = \frac{\gamma_1 \frac{E_{x,1}}{E_{ref}} b t_1 \left(\frac{t_1}{2} + t_2 + \frac{t_3}{2} \right) - \gamma_5 \frac{E_{x,5}}{E_{ref}} b t_5 \left(\frac{t_3}{2} + t_4 + \frac{t_5}{2} \right)}{\gamma_1 \frac{E_{x,1}}{E_{ref}} b t_1 + \gamma_3 \frac{E_{x,3}}{E_{ref}} b t_3 + \gamma_5 \frac{E_{x,5}}{E_{ref}} b t_5}$$

Tabell 3.14 Effektiva tvärsnittsstorheter för 3-skiktsskivor av KL-trä enligt figur 3.11, sidan 51.

l_{ref} är spännvidden för fritt upplagd KL-träskiva, $b_x = 1,0$ meter. Bränder i hållfasthetsklass C24. Böjning kring y-axeln.

Dimension (mm)	Skikt tjocklek (mm)			Egenvikt (kg/m ²)		$l_{x,full}$ (cm ⁴)	$l_{ref} = 2 \text{ m}$		$l_{ref} = 2,5 \text{ m}$		$l_{ref} = 3 \text{ m}$	
	t_1	t_2	t_3	g_{mean}	g_k		$l_{x,ef}$ (cm ⁴)	$i_{x,ef}$ (cm)	$l_{x,ef}$ (cm ⁴)	$i_{x,ef}$ (cm)	$l_{x,ef}$ (cm ⁴)	$i_{x,ef}$ (cm)
h_{KLT}	t_1	t_2	t_3	g_{mean}	g_k	$l_{x,full}$	$l_{x,ef}$	$i_{x,ef}$	$l_{x,ef}$	$i_{x,ef}$	$l_{x,ef}$	$i_{x,ef}$
60	20	20	20	25	23	1 800	1 591	1,99	1 636	2,02	1 663	2,04
70	20	30	20	29	27	2 858	2 326	2,41	2 418	2,46	2 475	2,49
80	20	40	20	34	31	4 267	3 188	2,82	3 342	2,89	3 442	2,93
80	30	20	30	34	31	4 267	3 739	2,50	3 877	2,54	3 963	2,57
90	30	30	30	38	35	6 075	4 964	2,88	5 207	2,95	5 368	2,99
100	30	40	30	42	39	8 333	6 350	3,25	6 719	3,35	6 975	3,41
100	40	20	40	42	39	8 333	7 177	3,00	7 484	3,06	7 684	3,10

För symmetriskt ($t_1 = t_3 = t_5$) och samma kvalitet sätts $a_3 = 0$.

$$a_1 = \frac{t_1}{2} + t_2 + \frac{t_3}{2} - a_3$$

$$a_5 = \frac{t_3}{2} + t_4 + \frac{t_5}{2} + a_3$$

- Beräkna det effektiva tröghetsmomentet enligt *ekvationerna 3.39 och 3.40*:

$$I_{x,ef} = \sum \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} \cdot \frac{b_x t_i^3}{12} + \gamma_i \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} b_x t_i a_i^2 \tag{3.39}$$

$$= \frac{E_{x,1}}{E_{ref}} \cdot \frac{b_x t_1^3}{12} + \gamma_1 \frac{E_{x,1}}{E_{ref}} b_x t_1 a_1^2 + \frac{E_{x,3}}{E_{ref}} \cdot \frac{b_x t_3^3}{12} + \gamma_3 \frac{E_{x,3}}{E_{ref}} b_x t_3 a_3^2 + \frac{E_{x,5}}{E_{ref}} \cdot \frac{b_x t_5^3}{12} + \gamma_5 \frac{E_{x,1}}{E_{ref}} b_x t_5 a_5^2$$

För symmetriskt tvärsnitt ($t_1 = t_3 = t_5$) och samma kvalitet:

$$I_{x,ef} = \frac{b_x t_1^3}{12} + \gamma_1 b_x t_1 a_1^2 + \frac{b_x t_3^3}{12} + \frac{b_x t_5^3}{12} + \gamma_5 b_x t_5 a_5^2 = b_x \left(\frac{3 \cdot t_1^3}{12} + 2\gamma_1 t_1 a_1^2 \right) \tag{3.40}$$

Effektiv tröghetsradie

Vid kontroll av konstruktioner där det föreligger risk för knäckning ska även inverkan av skjuvning i tvärsnitten beaktas. Detta görs genom att utifrån det effektiva tröghetsmomentet I_{ef} beräkna knäcklängden l_e som referenslängden l_{ref} , se *ekvationerna 3.41 och 3.42*:

$$i_{x,ef} = \sqrt{\frac{I_{x,ef}}{A_{x,net}}} \tag{3.41}$$

$$i_{y,ef} = \sqrt{\frac{I_{y,ef}}{A_{y,net}}} \tag{3.42}$$

Tabell 3.14 Forts >>>

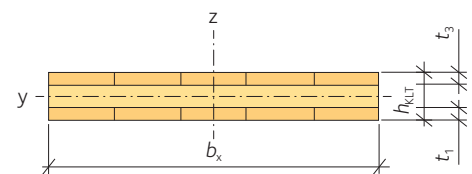
$l_{ref} = 4 \text{ m}$		$l_{ref} = 5 \text{ m}$		$l_{ref} = 6 \text{ m}$	
(cm ⁴)	(cm)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ⁴)	(cm)
$I_{x,ef}$	$i_{x,ef}$	$I_{x,ef}$	$i_{x,ef}$	$I_{x,ef}$	$i_{x,ef}$
1 692	2,06	1 706	2,07	1 714	2,07
2 539	2,52	2 571	2,54	2 590	2,54
3 557	2,98	3 616	3,01	3 650	3,02
4 059	2,60	4 107	2,62	4 135	2,63
5 556	3,04	5 654	3,07	5 711	3,09
7 285	3,48	7 453	3,52	7 552	3,55
7 914	3,15	8 033	3,17	8 101	3,18



KL-träskiva



Flervåningshus, Sundbyberg.



Figur 3.11 Definition av mått och numrering för tvärsnitt av 3-skiktsskiva av KL-trä vid böjning kring y-axeln.

Tabell 3.15 Effektiva tvärsnittsstorheter för 5-skiktsskiva av KL-trä enligt figur 3.12, sidan 53.

l_{ref} är spännvidden för fritt upplagd KL-träskiva, $b_x = 1,0$ meter. Brädor av hållfasthetsklass C24. Böjning kring y-axeln.

Dimension (mm)	Skikt tjocklek (mm)					Egenvikt (kg/m ²)		$I_{x,full}$ (cm ⁴)	$l_{ref} = 2,5$ m		$l_{ref} = 3$ m		$l_{ref} = 4$ m	
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	g_{mean}	g_k		$I_{x,ef}$ (cm ⁴)	$i_{x,ef}$ (cm)	$I_{x,ef}$ (cm ⁴)	$i_{x,ef}$ (cm)	$I_{x,ef}$ (cm ⁴)	$i_{x,ef}$ (cm)
100	20	20	20	20	20	42,0	38,5	8 333	5 819	3,11	6 037	3,17	6 270	3,23
120	20	30	20	30	20	50,4	46,2	14 400	8 475	3,76	8 935	3,86	9 447	3,97
140	20	40	20	40	20	58,8	53,9	22 867	11 468	4,37	12 270	4,52	13 190	4,69
110	20	20	30	20	20	46,2	42,4	11 092	7 470	3,27	7 745	3,33	8 041	3,39
130	20	30	30	30	20	54,6	50,1	18 308	10 371	3,85	10 928	3,95	11 547	4,06
150	20	40	30	40	20	63,0	57,8	28 125	13 583	4,41	14 524	4,56	15 603	4,72
120	20	20	40	20	20	50,4	46,2	14 400	9 447	3,44	9 787	3,50	10 152	3,56
140	20	30	40	30	20	58,8	53,9	22 867	12 583	3,97	13 246	4,07	13 982	4,18
160	20	40	40	40	20	67,2	61,6	34 133	16 004	4,47	17 096	4,62	18 347	4,79
120	30	20	20	20	30	50,4	46,2	14 400	10 571	3,64	11 130	3,73	11 752	3,83
140	30	30	20	30	30	58,8	53,9	22 867	14 343	4,23	15 429	4,39	16 691	4,57
160	30	40	20	40	30	67,2	61,6	34 133	18 408	4,80	20 175	5,02	22 317	5,28
130	30	20	30	20	30	54,6	50,1	18 308	13 088	3,81	13 778	3,91	14 546	4,02
150	30	30	30	30	30	63,0	57,8	28 125	17 130	4,36	18 422	4,52	19 924	4,71
170	30	40	30	40	30	71,4	65,5	40 942	21 425	4,88	23 474	5,11	25 958	5,37
140	30	20	40	20	30	58,8	53,9	22 867	16 003	4,00	16 838	4,10	17 767	4,22
160	30	30	40	30	30	67,2	61,6	34 133	20 295	4,51	21 811	4,67	23 574	4,86
180	30	40	40	40	30	75,6	69,3	48 600	24 803	4,98	27 156	5,21	30 007	5,48
140	40	20	20	20	40	58,8	53,9	22 867	16 784	4,10	17 898	4,23	19 175	4,38
160	40	30	20	30	40	67,2	61,6	34 133	21 460	4,63	23 467	4,84	25 900	5,09
180	40	40	20	40	40	75,6	69,3	48 600	26 328	5,13	29 416	5,42	33 340	5,77
150	40	20	30	20	40	63,0	57,8	28 125	20 229	4,29	21 577	4,43	23 122	4,58
170	40	30	30	30	40	71,4	65,5	40 942	25 147	4,78	27 503	5,00	30 358	5,25
190	40	40	30	40	40	79,8	73,2	57 158	30 215	5,24	33 759	5,54	38 264	5,90
160	40	20	40	20	40	67,2	61,6	34 133	24 136	4,48	25 741	4,63	27 580	4,79
180	40	30	40	30	40	75,6	69,3	48 600	29 266	4,94	31 999	5,16	35 310	5,42
200	40	40	40	40	40	84,0	77,0	66 667	34 508	5,36	38 541	5,67	43 666	6,03

3.3.5 Dimensionering i brottgränstillstånd

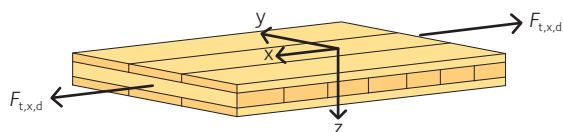
Kontroll av dragspänning i KL-träskivans plan

För en KL-träskiva utsatt för dragning parallellt med ytskiktet, se figur 3.13, gäller ekvation 3.43:

$$3.43 \quad \sigma_{t,x,d} = \frac{F_{t,x,d}}{A_{x,net}} \leq f_{t,0,xlay,d} = k_{sys} \cdot k_{mod} \frac{f_{t,0,xlay,k}}{\gamma_M}$$

där:

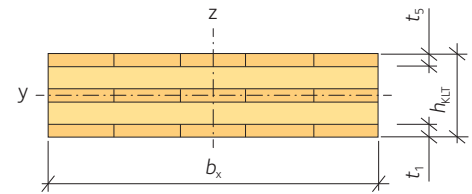
- $F_{t,x,d}$ är dimensionerande dragkraft i x-riktningen.
- $A_{x,net}$ är tvärsnittets verksamma nettoarea i x-riktningen.
- $f_{t,0,xlay,d}$ är dimensionerande draghållfasthet för brädor i x-riktningen.
- $f_{t,0,xlay,k}$ är karakteristisk draghållfasthet för brädor i x-riktningen.
- k_{sys} är en systemfaktor, se avsnitt 3.1.6, sidan 36.
- k_{mod} är en modifieringsfaktor, se avsnitt 3.1.5, sidan 35.
- γ_M är partialkoefficienten för materialet, se avsnitt 3.1.5, sidan 35.



Figur 3.13 KL-träskiva med dragkraft parallellt med ytskiktet.

Tabell 3.15 Forts >>>

$l_{ref} = 5\text{ m}$		$l_{ref} = 6\text{ m}$		$l_{ref} = 7\text{ m}$		$l_{ref} = 8\text{ m}$	
(cm ⁴)	(cm)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ⁴)	(cm)
$I_{x,ef}$	$i_{x,ef}$	$I_{x,ef}$	$i_{x,ef}$	$I_{x,ef}$	$i_{x,ef}$	$I_{x,ef}$	$i_{x,ef}$
6 385	3,26	6 449	3,28	6 489	3,29	6 514	3,30
9 705	4,02	9 851	4,05	9 941	4,07	10 001	4,08
13 664	4,77	13 937	4,82	14 107	4,85	14 219	4,87
8 186	3,42	8 268	3,44	8 317	3,45	8 350	3,45
11 859	4,12	12 036	4,15	12 145	4,17	12 217	4,18
16 160	4,80	16 480	4,85	16 680	4,88	16 812	4,90
10 331	3,59	10 431	3,61	10 493	3,62	10 533	3,63
14 353	4,24	14 564	4,27	14 694	4,29	14 779	4,30
18 993	4,87	19 364	4,92	19 596	4,95	19 749	4,97
12 065	3,88	12 242	3,91	12 352	3,93	12 424	3,94
17 351	4,66	17 732	4,71	17 971	4,74	18 129	4,76
23 474	5,42	24 156	5,49	24 587	5,54	24 875	5,58
14 932	4,07	15 151	4,10	15 287	4,12	15 376	4,13
20 709	4,80	21 163	4,85	21 447	4,88	21 635	4,90
27 300	5,51	28 091	5,59	28 591	5,64	28 925	5,67
18 234	4,27	18 499	4,30	18 663	4,32	18 771	4,33
24 495	4,95	25 028	5,00	25 361	5,04	25 582	5,06
31 548	5,62	32 455	5,70	33 029	5,75	33 413	5,78
19 834	4,45	20 213	4,50	20 449	4,52	20 605	4,54
27 215	5,22	27 990	5,29	28 479	5,34	28 807	5,37
35 551	5,96	36 883	6,07	37 738	6,14	38 315	6,19
23 919	4,66	24 378	4,71	24 663	4,74	24 852	4,75
31 901	5,39	32 810	5,46	33 385	5,51	33 769	5,54
40 801	6,09	42 331	6,20	43 312	6,27	43 975	6,32
28 529	4,88	29 074	4,92	29 414	4,95	29 639	4,97
37 100	5,56	38 154	5,64	38 821	5,69	39 267	5,72
46 553	6,23	48 294	6,34	49 410	6,42	50 164	6,47



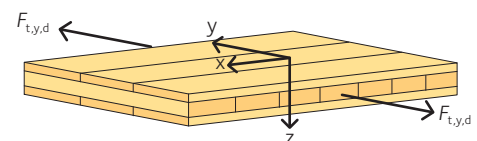
Figur 3.12 Definition av mått och numrering för tvärsnitt av 5-skiktsskiva av KL-trä vid böjning kring y-axeln.

För en KL-träskiva utsatt för dragning vinkelrätt mot ytskiktet, se figur 3.14, gäller ekvation 3.44:

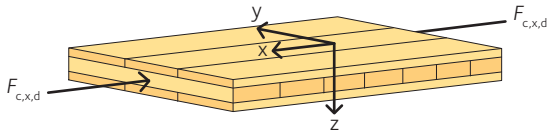
$$\sigma_{t,y,d} = \frac{F_{t,y,d}}{A_{y,net}} \leq f_{t,0,y,lay,d} = k_{sys} \cdot k_{mod} \frac{f_{t,0,y,lay,k}}{\gamma_M} \quad 3.44$$

där:

- $F_{t,y,d}$ är dimensionerande dragkraft i y-riktningen.
- $A_{y,net}$ är tvärsnittets verksamma nettoarea i y-riktningen.
- $f_{t,0,y,lay,d}$ är dimensionerande draghållfasthet för brädor i y-riktningen.
- $f_{t,0,y,lay,k}$ är karakteristisk draghållfasthet för brädor i y-riktningen.



Figur 3.14 KL-träskiva med dragkraft vinkelrätt mot ytskiktet.

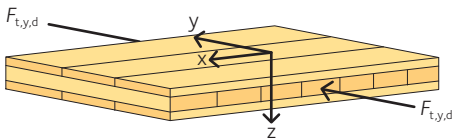


Figur 3.15 KL-träskiva med tryckkraft parallellt med ytskiktet.

$$3.45 \quad \sigma_{c,x,d} = \frac{F_{c,x,d}}{A_{x,net}} \leq f_{c,0,xlay,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,xlay,k}}{\gamma_M}$$

där:

- $F_{c,x,d}$ är dimensionerande tryckkraft i x-riktningen.
- $A_{x,net}$ är tvärsnittets verksamma nettoarea i x-riktningen.
- $f_{c,0,xlay,d}$ är dimensionerande tryckhållfasthet för brädor i x-riktningen.
- $f_{c,0,xlay,k}$ är karakteristisk tryckhållfasthet för brädor i x-riktningen.
- k_{mod} är en modifieringsfaktor, se avsnitt 3.1.5, sidan 35.
- γ_M är partialkoefficienten för materialet, se avsnitt 3.1.5, sidan 35.

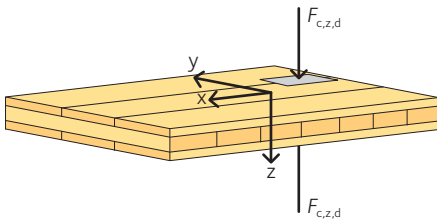


Figur 3.16 KL-träskiva med tryckkraft vinkelrätt mot ytskiktet.

$$3.46 \quad \sigma_{c,y,d} = \frac{F_{c,y,d}}{A_{y,net}} \leq f_{c,0,ylay,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,ylay,k}}{\gamma_M}$$

där:

- $F_{c,y,d}$ är dimensionerande tryckkraft i y-riktningen.
- $A_{y,net}$ är tvärsnittets verksamma nettoarea i y-riktningen.
- $f_{c,0,ylay,d}$ är dimensionerande tryckhållfasthet för brädor i y-riktningen.
- $f_{c,0,ylay,k}$ är karakteristisk tryckhållfasthet för brädor i y-riktningen.

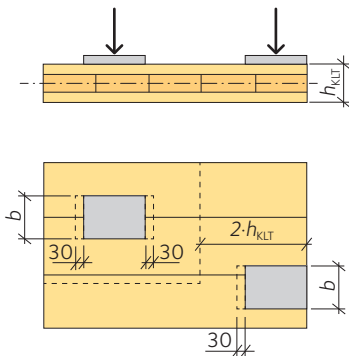


Figur 3.17 KL-träskiva med tryckkraft vinkelrätt mot sitt plan.

$$3.47 \quad \sigma_{c,z,d} = \frac{F_{c,z,d}}{A_{ef}} \leq f_{c,90,xlay,d} = k_{c,90} \cdot k_{mod} \frac{f_{c,90,xlay,k}}{\gamma_M}$$

där:

- $F_{c,z,d}$ är dimensionerande tryckkraft vinkelrätt mot fiberriktningen.
- A_{ef} är effektiv kontaktarea vid tryck vinkelrätt mot fiberriktningen.
- $f_{c,90,xlay,d}$ är dimensionerande tryckhållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen.
- $f_{c,90,xlay,k}$ är karakteristisk tryckhållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen.
- $k_{c,90}$ är en faktor som tar hänsyn till hur lasten angriper och graden av sammantryckning.
- k_{mod} är en modifieringsfaktor, se avsnitt 3.1.5, sidan 35.
- γ_M är partialkoefficienten för materialet, se avsnitt 3.1.5, sidan 35.



Figur 3.18 Effektiv kontaktyta för tryckkrafter vinkelrätt mot KL-träskivans plan. Värden för kant gäller inom avståndet $2 \cdot h_{KLT}$ från kanten.

Effektiv kontaktyta samt $k_{c,90}$ -faktorn beror av lastens placering, se figur 3.18, och det pågår arbete med att fastställa värden för $k_{c,90}$.

Tabell 3.16 Kontaktyta A i mm^2 och b i mm samt värde på $k_{c,90}$.

Läge	Riktning	Kontaktyta, A_{ef}	$k_{c,90}$
Centralt	–	$A_{ef} = A_{tryck} + (30 + 30)b$	1,9
Vid kant	Parallellt med fibrerna	$A_{ef} = A_{tryck} + (30 + 30)b$	1,0 – 1,5
	Vinkelrätt mot fibrerna	$A_{ef} = A_{tryck} + 30b$	1,5
Vid hörn	–	$A_{ef} = A_{tryck} + 30b$	1,3

Hittills genomförda provningar visar att värden enligt tabell 3.16 kan tillämpas.

Kontroll av böjspänning i KL-träskivans plan

För en KL-träskiva eller KL-träplatta som påverkas av böjmoment kring sin y-axel, se figur 3.19, gäller ekvation 3.48:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{x,net}} \leq f_{m,xlay,d} = k_{sys} \cdot k_{mod} \frac{f_{m,xlay,k}}{\gamma_M}$$

där:

- $M_{y,d}$ är dimensionerande moment kring y-axeln.
- $W_{x,net}$ är skivans nettoböjmotstånd.
- $f_{m,0,xlay,d}$ är dimensionerande böjhållfasthet.
- $f_{m,0,xlay,k}$ är karakteristisk böjhållfasthet.
- k_{sys} är en systemfaktor, se avsnitt 3.1.6, sidan 36.
- k_{mod} är en modifieringsfaktor, se avsnitt 3.1.5, sidan 35.
- γ_M är partialkoefficienten för materialet, se avsnitt 3.1.5, sidan 35.

För en KL-träskiva eller KL-träplatta som påverkas av böjmoment kring sin x-axel, se figur 3.20, gäller ekvation 3.49:

$$\sigma_{m,x,d} = \frac{M_{x,d}}{W_{y,net}} \leq f_{m,ylay,d} = k_{sys} \cdot k_{mod} \frac{f_{m,ylay,k}}{\gamma_M}$$

där:

- $M_{x,d}$ är dimensionerande moment kring x-axeln.
- $W_{y,net}$ är skivans nettoböjmotstånd.
- $f_{m,ylay,d}$ är dimensionerande böjhållfasthet.
- $f_{m,ylay,k}$ är karakteristisk böjhållfasthet.

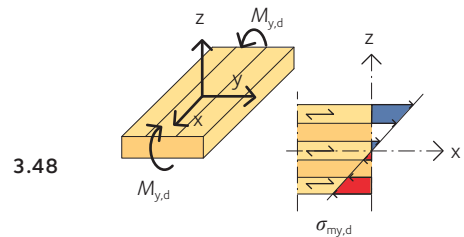
Kontroll av böjspänning i KL-träväggskiva eller KL-träbalk

För en KL-träväggskiva eller KL-träbalk som påverkas av ett böjmoment kring sin z-axel, se figur 3.21, gäller i x-riktningen ekvation 3.50:

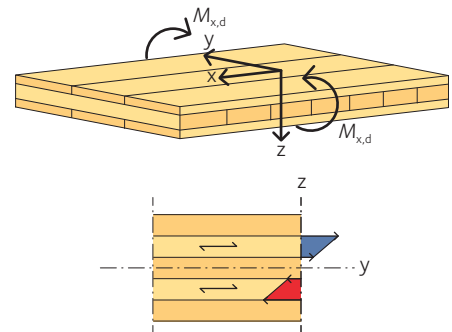
$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_{z,x,net}} \leq f_{m,xlay,d} = k_{mod} \frac{f_{m,xlay,k}}{\gamma_M}$$

där:

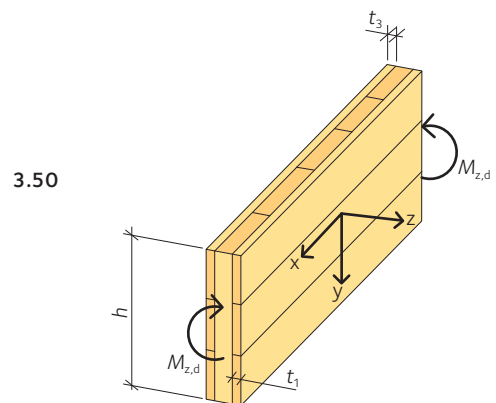
- $M_{z,d}$ är dimensionerande moment kring z-axeln.
- $W_{z,x,net}$ är skivans nettoböjmotstånd.
- $f_{m,xlay,d}$ är dimensionerande böjhållfasthet.
- $f_{m,xlay,k}$ är karakteristisk böjhållfasthet.



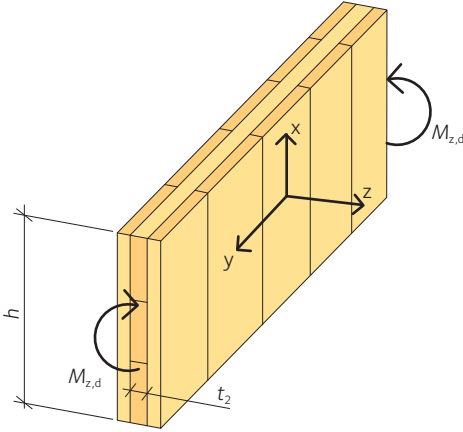
Figur 3.19 Böjspänningar i KL-träskiva med böjmoment kring y-axeln.



Figur 3.20 Böjspänningar i KL-träskiva med böjmoment kring x-axeln.



Figur 3.21 KL-träskiva med horisontella yttre brädsnitt med böjmoment kring z-axeln.



Figur 3.22 KL-träskiva med vertikala yttre brädsnitt med böjmoment kring z-axeln.

$$W_{z,x,net} = \frac{\sum t_i \cdot h^2}{6} = \frac{(t_1 + t_3 + \dots) \cdot h^2}{6}$$

där:

t_i är tjockleken för brädor i x-riktningen.
 h är hela KL-träskivans eller KL-träbalkens höjd.

För en KL-träväggskena eller KL-träbalk som påverkas av ett böjmoment kring sin z-axel enligt figur 3.22 gäller i y-riktningen ekvation 3.51:

$$3.51 \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_{z,y,net}} \leq f_{m,y,lay,d} = k_{mod} \frac{f_{m,y,lay,k}}{\gamma_M}$$

där:

$M_{z,d}$ är dimensionerande moment kring z-axeln.
 $W_{z,y,net}$ är skivans nettoböjmotstånd.
 $f_{m,y,lay,d}$ är dimensionerande böjhållfasthet.
 $f_{m,y,lay,k}$ är karakteristisk böjhållfasthet.

$$3.52 \quad W_{z,y,net} = \frac{\sum t_i h^2}{6} = \frac{(t_2 + t_4 + \dots) \cdot h^2}{6}$$

där:

t_i är tjockleken för brädor i y-riktningen.
 h är hela KL-träskivans eller KL-träbalkens höjd.

Med ett litet förhållande mellan KL-träskiv- eller -balklängd, L , och höjd, h , gäller inte balkteorin med linjära spänningsfördelningar. Avvikelse blir märkbar från $L/h \leq 4$.

Kombinerad böjning i två riktningar

För KL-träplattor som används till bärande tak eller likartade konstruktioner utan bucklingsrisk kan det uppkomma böjspänningar i planet i samma riktning och verifiering av hållfasthet ska göras enligt ekvation 3.53:

$$3.53 \quad \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,x,lay,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,x,lay,d}} \leq 1$$

där:

$\sigma_{m,y,d}$ och $\sigma_{m,z,d}$ är dimensionerande böjspänning kring huvudaxlarna.
 $f_{m,x,lay,d}$ är motsvarande böjhållfastheter.

$$3.54 \quad \frac{M_{y,d}}{W_{x,net} f_{m,x,lay,d}} + \frac{M_{z,d}}{W_{z,x,net} f_{m,x,lay,d}} \leq 1$$

där:

$M_{y,d}$ och $M_{z,d}$ är dimensionerande moment kring huvudaxlarna.
 $W_{x,net}$ och $W_{z,x,net}$ är motsvarande nettoböjmotstånd.

Kontroll av skjuvspänning vinkelrätt mot planet

För KL-träskivor utsatta för tvärkrafter vinkelrätt mot KL-träskivan uppkommer skjuvspänningar. Eftersom KL-träskivan består av brädor i längsled respektive i tvärlängd bör båda riktningarna kontrolleras.

Skjuvhållfastheten (rullskjuvhållfasthet) tvärs fiberriktningen är ofta betydligt lägre än längs fiberriktningen.

För en 5-skiktsskiva eller balk av KL-trä som påverkas av tvärkrafter, $V_{xz,d}$, respektive $V_{yz,d}$, se figur 3.23 och figur 3.24, gäller följande:

a) Verifiering av skjuvningen parallellt med fiberriktningen i skikt 3 i figur 3.23 och skikt 2 eller 4 i figur 3.24:

$$\tau_{v,xz,d} = \frac{S_{x,net} \cdot V_{xz,d}}{I_{x,net} \cdot b_x} \leq f_{v,090,y,lay,d} = k_{mod} \frac{f_{v,090,y,lay,k}}{\gamma_M}$$

där:

- $V_{xz,d}$ är dimensionerande tvärkraft.
- $S_{x,net}$ är skivans nettostatiska moment.
- $f_{v,090,y,lay,d}$ är dimensionerande längsskjuvhållfasthet för brädor.
- $f_{v,090,y,lay,k}$ är karakteristisk längsskjuvhållfasthet för brädor.
- k_{mod} är en modifieringsfaktor, se avsnitt 3.1.5, sidan 35.
- γ_M är partialkoefficienten för materialet, se avsnitt 3.1.5, sidan 35.

b) Verifiering av rullskjuvningen (skjuvning tvärs fiberriktningen) i skikt 2 eller 4 i figur 3.23 och i skikt 3 i figur 3.24:

$$\tau_{Rv,yz,d} = \frac{S_{R,y,net} \cdot V_{yz,d}}{I_{y,net} \cdot b_y} \leq f_{v,9090,x,lay,d} = k_{mod} \frac{f_{v,9090,x,lay,k}}{\gamma_M}$$

där:

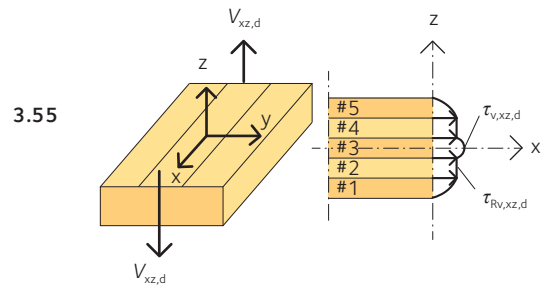
- $V_{yz,d}$ är dimensionerande tvärkraft.
- $S_{R,y,net}$ är skivans nettostatiska moment.
- $f_{v,9090,x,lay,d}$ är dimensionerande rullskjuvhållfasthet för brädor.
- $f_{v,9090,x,lay,k}$ är karakteristisk rullskjuvhållfasthet för brädor.

Vid dimensionering av KL-trä behöver inte hänsyn tas till sprickor i KL-träskivorna då uppbyggnad med skikt av korsvis limmade brädor förhindrar och minimerar risken för uppkomst och spridning av sprickor. För konstruktioner med liten skivbredd b och under vissa omständigheter kan den behöva reduceras med faktorn $k_{cr} = 0,67$, genom ekvation $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$.

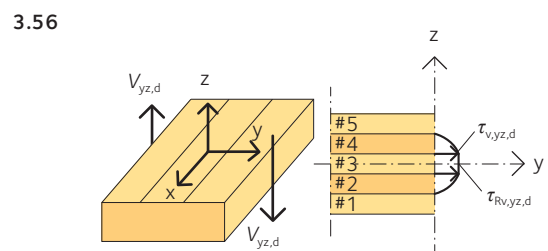
Kontroll av skjuvhållfasthet i KL-träskivans plan

KL-träskivor används ofta i stabiliserande konstruktioner. Exempelvis medför vindlasten som tas upp av stabiliserande skivor att tvärkrafter V_{xy} och V_{yx} uppkommer i KL-träskivans plan. Då KL-träskivorna kan ta last i flera riktningar bör hållfastheten kontrolleras med avseende på hela KL-träskivan, panelskjuvning, och ingående skikt i KL-träskivan, skiktsskjuvning. Dessutom måste hänsyn tas till om brädorna är limmade på kanterna och om det finns sprickor i brädorna längs med fibrerna. Beroende på kantlimning och sprickbildning varierar skjuvhållfastheten i KL-träskivans plan.

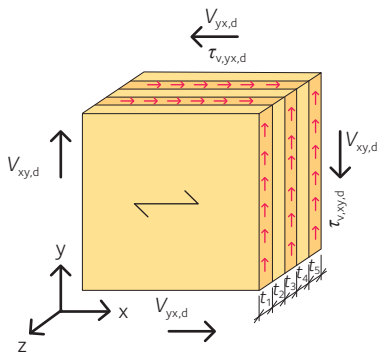
Här anges hållfasthet för KL-träskivor utan kantlimmade brädor eller med spruckna brädor.



Figur 3.23 Skjuvspänningar av tvärkraft $V_{xz,d}$ i KL-träskiva.



Figur 3.24 Skjuvspänningar av tvärkraft $V_{yz,d}$ i KL-träskiva.



Figur 3.25 Skjuvspänningar i förhållande till skiktjocklek i KL-träskiva.

Vid kontroll av hela KL-träskivan, det vill säga panelskjuvning, se figur 3.25, gäller ekvation 3.57 och 3.58:

$$3.57 \quad \tau_{v,xy,d} = \frac{V_{xy,d}}{A_{x,net}} \leq f_{v,090,xlay,d} = k_{mod} \frac{f_{v,090,xlay,k}}{\gamma_M}$$

där:

- $V_{xy,d}$ är dimensionerande tvärkraft.
- $A_{x,net}$ är skivans verksamma area.
- $f_{v,090,xlay,d}$ är dimensionerande längsskjuvhållfasthet.
- $f_{v,090,xlay,k}$ är karakteristisk längsskjuvhållfasthet.
- k_{mod} är en modifieringsfaktor, se avsnitt 3.1.5, sidan 35.
- γ_M är partialkoefficienten för materialet, se avsnitt 3.1.5, sidan 35.

och:

$$3.58 \quad \tau_{v,yx,d} = \frac{V_{yx,d}}{A_{y,net}} \leq f_{v,090,ylay,d} = k_{mod} \frac{f_{v,090,ylay,k}}{\gamma_M}$$

där:

- $V_{yx,d}$ är dimensionerande tvärkraft.
- $A_{y,net}$ är skivans verksamma area.
- $f_{v,090,ylay,d}$ är dimensionerande längsskjuvhållfasthet.
- $f_{v,090,ylay,k}$ är karakteristisk längsskjuvhållfasthet.

Notera att skjuvspänningar i KL-träskivor fördelas jämnt över netto-tvårsnittet och inte kvadratisk, varför skjuvspänningen beräknas utan faktorn 1,5 som används för rektangulärt tvärsnitt när balkteorin gäller.

Korslimning av skikten medför att skjuvspänningen i förhållande till skiktjocklek blir enligt ekvation 3.59:

$$3.59 \quad \tau_{v,xy} \cdot h_x = \tau_{v,yx} \cdot h_y$$

med:

$$3.60 \quad h_x = \sum \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} t_i$$

och:

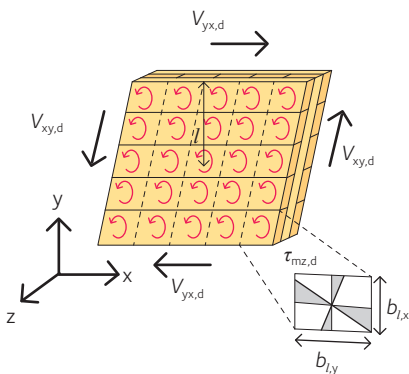
$$3.61 \quad h_y = \sum \frac{E_{y,i}}{E_{ref}} t_i$$

Skjuvning mellan skikten, se figur 3.26, för en KL-träskiva bestäms av hållfastheten hos limfogarna mellan tvärgående och längsgående brädor. Skjuvspänningen kan skrivas enligt ekvation 3.62:

$$3.62 \quad \tau_{mz,d} = \frac{M_{t,d}}{n_t \cdot W_p} \leq f_{mz,9090,d} = k_{mod} \frac{f_{mz,9090,k}}{\gamma_M}$$

där:

- $M_{t,d}$ är dimensionerande moment.
- W_p är skivans polära tröghetsmoment.
- n_t är antalet limmade ytor i skivan.
- $f_{mz,9090,d}$ är dimensionerande skjuvhållfasthet.
- $f_{mz,9090,k}$ är karakteristisk skjuvhållfasthet.



Figur 3.26 Skjuvspänningar mellan skikt i KL-träskiva.

Exempelvis gäller *ekvation 3.63* för en 3-skiktsskiva av KL-trä enligt *figur 3.26*, *sidan 58*, för beräkning av vridande moment i planen:

$$M_{t,d} = V_{x,d} \cdot l \quad 3.63$$

där:

l är avståndet mellan vridcentrumet och kraften, $V_{x,d}$.
 n_t är antalet limmade ytor av storlek $b_{l,x} \cdot b_{l,y}$.

I detta fall blir $n_t = 2$ limskikt $\cdot 5$ brädor i x-led $\cdot 5$ brädor i y-led = 50.

Polära tröghetsmomentet kan skrivas enligt *ekvation 3.64*:

$$W_p = \frac{2 \cdot I_p}{\sqrt{b_{l,x} \cdot b_{l,y}}} \quad 3.64$$

med:

$$I_p = I_1 + I_2 = \frac{b_{l,x} \cdot b_{l,y}^3}{12} + \frac{b_{l,x}^3 \cdot b_{l,y}}{12} \quad 3.65$$

och med $b_{l,x}$ och $b_{l,y}$ för lamellernas bredd i x- respektive y-riktning.

För kvadratiska limmade ytor, $b_{l,x} = b_{l,y} = b_l$, gäller *ekvation 3.66*:

$$I_p = \frac{b_l^4}{6}$$

Om brädornas bredd inte är känd, kan bredden antas vara 80 mm.

Kontroll av knäckning hos väggar och pelare

Följande avsnitt i detta kapitel visar hur KL-trä används som väggskivor eller pelare och hur minsta erforderliga hållfasthet kan bestämmas enligt Eurokod 5. I likhet med de andra Eurokoderna, dimensioneras pelare i Eurokod 5 med hjälp av linjär knäckningsteori. De icke-linjära effekterna eller andra ordningens teori beaktas vid dimensioneringen med hjälp av en hållfasthetsrelaterad reduktionsfaktor k_c . Vid kontroll av knäckning hos väggskivor och pelare av KL-trä är det i princip två olika laster som kan förekomma, rent axiellt tryck och transversallaster, *se figur 3.27*. Kombinerar dessa laster ska uttryck enligt *ekvationerna 3.67* och *3.68* uppfyllas:

$$\frac{\sigma_{c,x,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,xlay,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,xlay,d}} \leq 1 \quad 3.67$$

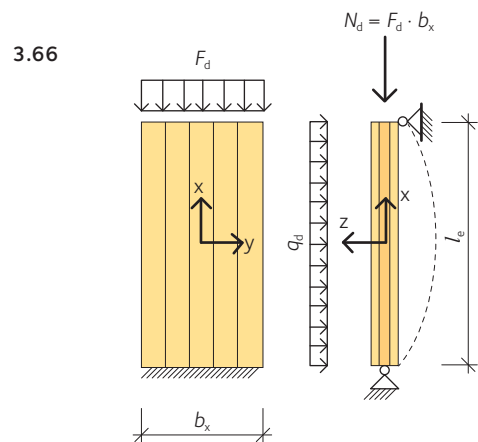
$$\frac{N_d}{k_{c,y} \cdot A_{x,net} \cdot f_{c,0,xlay,d}} + \frac{M_{y,d}}{W_{x,net} \cdot f_{m,xlay,d}} \leq 1 \quad 3.68$$

med:

$$M_{y,d} = \frac{q_d \cdot l_e^2}{8}$$

där uttrycket för reduktionsfaktorn $k_{c,y}$ kan skrivas enligt *ekvation 3.69*:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1 \quad 3.69$$



Figur 3.27 Väggskiva av KL-trä utsatt för transversallast samt tryckkraft och risk för knäckning.



Fackverksbro av limträ med takplattor av KL-trä, djurpark, Borås.

där:

$$3.70 \quad k_y = 0,5 \left(1 + 0,1 \left(\lambda_{\text{rel},y} - 0,3 \right) + \lambda_{\text{rel},y}^2 \right)$$

$$\lambda_{\text{rel},y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,xlay,k}}{E_{0,x,05}}}$$

är relativ slankhetsfaktor för knäckning kring y-axeln.

$$\lambda_y = \frac{L}{i_{x,ef}}$$

är slankhetsfaktorn och där $i_{x,ef}$ är slankhetsradien (se även avsnitt 3.3.4, sidan 48) och L är knäcklängden, med $L = \beta_c \cdot l_e$ och där β_c antar värdet 0,1.

$$E_{0,x,05} = k \cdot E_{0,x,mean}$$

med:

$$k = 1 - \frac{0,328}{\sqrt{\frac{2 \cdot b_x}{0,15} - 1}}$$

med b_x i meter och enligt figur 3.27, sidan 59.

I de fall $\lambda_{\text{rel},y} < 0,3$ är risken för knäckning nästan obefintlig och då behöver man verifiera följande samband:

$$3.71 \quad \left(\frac{\sigma_{c,x,d}}{f_{c,0,xlay,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,xlay,d}} \leq 1$$

3.3.6 Dimensionering i bruksgränstillstånd

Dimensionering i bruksgränstillstånd omfattar vanligtvis kontroll av nedböjning, svikt och vibrationer för bjälklagsplattor. I vissa fall kan det även bli aktuellt med kontroll av långtidsdeformationer.

Vid bestämning av KL-träplattans egenskaper baserade på egenskaperna hos ingående brädor finns det i princip fyra olika teorier:

- Timoshenkos metod
- Gamma-metoden
- Kompositmetoden
- SAV eller Kreuzingers teori.

Det är framför allt vid beräkning av nedböjningar i bruksgränstillståndet som det uppstår skillnader mellan metoderna. Samtliga teorier ger trots allt i slutändan relativt likartade resultat. Nedan görs en kort jämförelse mellan de olika alternativen med avseende på deformationsberäkningar.

Nedböjning

Nedböjningsberäkning enligt Timoshenko

En fritt upplagd bjälklagsplatta av KL-trä kan i de flesta fall betraktas som enkelspänd fritt upplagd plattstrimla mellan två eller flera stöd.

Bjälklaget utsätts för karakteristisk permanent last och karakteristisk variabel last som i de flesta fall betraktas som medellång lastvaraktighet.

Nedböjningen på grund av moment och tvärkraft kan skrivas enligt *ekvation 3.72*, med \bar{M} och \bar{V} som vektorer för krafterna enligt principen om virtuellt arbete:

$$w = \int \frac{M\bar{M}}{EI_{\text{net}}} dx + \int \frac{V\bar{V}}{GA_s} dx \quad 3.72$$

För en fritt upplagd bjälklagsstrimla med fri spännvidd L och utbredd last q , kan nedböjningen i fältmitt skrivas enligt *ekvation 3.73*:

$$w_{\text{mitt}} = \frac{5 \cdot qL^4}{384 \cdot EI_{\text{net}}} + \frac{qL^2}{8 \cdot GA_s} \quad 3.73$$

För en fritt upplagd bjälklagsstrimla med fri spännvidd L och punktlast P , kan nedböjningen i fältmitt skrivas enligt *ekvation 3.74*:

$$w_{\text{mitt}} = \frac{PL^3}{48 \cdot EI_{\text{net}}} + \frac{P \cdot L}{4 \cdot GA_s} \quad 3.74$$

där:

$$EI_{\text{net}} = \sum E_i I_i + E_i A_i a_i^2 \quad 3.75$$

och:

$$GA_s = \kappa \sum G_i b_i t_i \quad 3.76$$

där κ är en skjuvkorrektionsfaktor, se *avsnitt 3.3.1, sidan 40 och tabell 3.10, sidan 43*.

Nedböjningsberäkning enligt Gamma-metoden

Gamma-metoden är den metod som bland annat finns beskriven i Eurokod 5 och beräkning av nedböjningen för en balk enligt Euler-Bernoulli kan skrivas enligt *ekvation 3.77*:

$$w = \int \frac{M\bar{M}}{EI_{\text{ef}}} dx \quad 3.77$$

För en fritt upplagd bjälklagsstrimla med fri spännvidd L och utbredd last q , kan nedböjningen i fältmitt skrivas enligt *ekvation 3.78*:

$$w_{\text{mitt}} = \frac{5 \cdot qL^4}{384 \cdot EI_{\text{ef}}} \quad 3.78$$

där EI_{ef} kan beräknas enligt *avsnitt 3.3.4, sidan 48*.

Gamma-metoden är en relativt känd och använd metod då den finns presenterad i *Eurokod 5, annex B*. Den är enkel att implementera manuellt i enklare beräkningsprogram. Metoden kan vara besvärlig att använda för plattor över flera stöd och om antalet brädsnitt är större än fem. Stora skillnader i noggrannhet kan förekomma.



KL-träbjälklag i industrihotell, Älta.



Geschwornergården, Falun.

Nedböjningsberäkning enligt Kompositmetoden

Nedböjningsberäkning för en balk enligt Euler-Bernoulli kan skrivas enligt *ekvation 3.79*:

$$3.79 \quad w = \int \frac{M\bar{M}}{EI \cdot k_1} dx$$

För en fritt upplagd bjälklagsstrimla med fri spännvidd L och utbredd last q , kan nedböjningen i fältmitt skrivas enligt *ekvation 3.80*:

$$3.80 \quad w_{\text{mitt}} = \frac{5 \cdot qL^4}{384 \cdot EI \cdot k_1}$$

För en fritt upplagd bjälklagsstrimla med fri spännvidd L och punktlast P , kan nedböjningen i fältmitt skrivas enligt *ekvation 3.81*:

$$3.81 \quad w_{\text{mitt}} = \frac{PL^3}{48 \cdot EI \cdot k_1}$$

med k_1 enligt följande:

- för platta på två stöd i huvudbärriktningen (x-led):

$$3.82 \quad k_1 = 1 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) \cdot \frac{a_{m-2}^3 - a_{m-4}^3 + \dots \pm a_1^3}{a_m^3}$$

- för platta på två stöd i sekundär bärriktning (y-led):

$$3.83 \quad k_2 = \frac{E_{90}}{E_0} - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) \cdot \frac{a_{m-2}^3 - a_{m-4}^3 + \dots \pm a_1^3}{a_m^3}$$

För en 5-skitktsplatta av KL-trä gäller att a_m är hela plattans tjocklek, a_{m-4} är mittskitkets tjocklek och a_{m-2} är hela plattans tjocklek minus ytterskitkets tjocklek.

Metoden är välkänd och används vid dimensionering av plywoodkonstruktioner. Den är enkel att implementera manuellt i enklare beräkningsprogram. Metoden tar inte hänsyn till skjuvdeformationer och passar bäst för konstruktioner med större spännvidder, $L > 30 \cdot$ KL-träplattans tjocklek.

Nedböjningsberäkning enligt SAV eller Kreuzingers teori

Metoden har stora likheter med Timoshenko-metoden. Den tar hänsyn till skjuvdeformationer men är beroende av skjuvkorrektionskoefficient, k .

Den generella beräkningsformeln för nedböjning av en balk kan skrivas enligt *ekvation 3.84*:

$$3.84 \quad w = \int \frac{M\bar{M}}{EI_{\text{net}}} dx + \int \frac{V\bar{V} \cdot k}{GA_{\text{ef}}} dx$$

För en fritt upplagd bjälklagsstrimla med fri spännvidd L och utbredd last q , kan nedböjningen i fältmitt skrivas enligt *ekvation 3.85*:

$$3.85 \quad w_{\text{mitt}} = \frac{5 \cdot qL}{384EI_{\text{net}}} + \frac{qL^2 \cdot k}{8 \cdot GA_{\text{ef}}}$$

För en fritt upplagd bjälklagsstrimla med fri spännvidd L och punktlast P , kan nedböjningen i fältmitt skrivas enligt *ekvation 3.86*:

$$w_{\text{mitt}} = \frac{PL^3}{48EI_{\text{net}}} + \frac{PLk}{4 \cdot GA_{\text{ef}}}$$

3.86

med följande:

$$EI_{\text{net}} = \sum E_i I_i + E_i A_i a_i^2$$

3.87

$$GA_{\text{ef}} = \frac{b \cdot a^2}{\frac{h_1}{2G_1} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i} + \frac{h_n}{2G_n}}$$

3.88

med:

$$a = h_{\text{total}} - \frac{h_1}{2} - \frac{h_n}{2}$$

För rektangulära tvärsnitt sätts $k = 1,2$.

Metoden är noggrann för olika belastningsfall och geometriska system och är lätt att använda även för KL-träplattor med många skikt och passar bäst för konstruktioner med spännvidder $L > 8 \cdot$ KL-träplattans tjocklek.

3.4 KL-trä som tvådimensionella bärande plattor eller skivor

I fall med flera lastriktningar, som till exempel punktstöd, vinkelstöd, öppningar, lokala områdeslaster och liknande, måste den tvåaxiella bärande effekten av panelen beaktas. Det finns två vanliga modeller, gallerverk (rutnät) samt ortotrop KL-träplatta som presenteras i avsnitt 3.4.1. Då anges tvärsnittsvärden för KL-trä som ett skalelement.

En av de mest spännande egenskaperna för KL-träelement visar sig när de används som skalelement. Istället för att betraktas som en-dimensionella konstruktionselement som balk eller pelare, har KL-träelement möjlighet att verka i två dimensioner. De kan antingen verka som en platta och ta ner laster i olika riktningar eller som en skiva och överföra tvärkrafter och normalkrafter samtidigt. Modelleringen utifrån styvhetsvärden som samlas i en matris gör det enklare för konstruktören att utnyttja hela KL-träets egenskaper. Dimensionering bör ske utifrån kraftnivå eller bärförmåga eftersom dessa tvådimensionella modeller saknar representation av inre spänningar för enskilda skikt.

3.4.1 Ortotrop platta med effektiva tjocklekar

De effektiva tröghetsmomenten i båda riktningar $I_{x,\text{ef}}$ och $I_{y,\text{ef}}$ fastställs och räknas om till totala effektiva plattjocklekar $d_{x,\text{ef}}$ och $d_{y,\text{ef}}$:

$$d_{x,\text{ef}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I_{x,\text{ef}}}{100}} \quad \text{och} \quad d_{y,\text{ef}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I_{y,\text{ef}}}{100}}$$

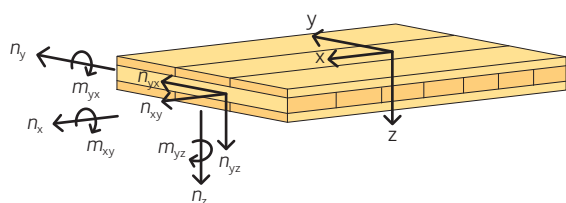
3.89



Förbindelsegång av limträ och KL-trä, Uppsala.



Läktare av KL-trä, Uppsala.



Figur 3.28 Definition av huvudaxlar och huvudriktningar.

3.4.2 Ortotrop skal med direkt bestämning av styvhetsmatris

Baserad på Timoshenkos balkteori med skjuvkorrektionsfaktor enligt avsnitt 3.3.1, sidan 40, kan styvhetsvärdena av skjuvböjbara skalelement bestämmas oberoende av det statiska systemet med tvärsnittsvärden i båda riktningarna, enligt Reissner-Mindlin.

Hållfasthetslära för skalelement av KL-trä

För ortotropa skalelement kan följande styvhetsmatris ställas upp:

$$C_{KLT} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & D_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{66} & D_{67} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{76} & D_{77} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{88} \end{bmatrix}$$

där:

$[D_{11} - D_{33}]$ beskriver böj- och vridstyvhetsgenskaper (KL-träplatta)

$[D_{44} - D_{55}]$ beskriver skjuvstyvhetsgenskaper (KL-träplatta)

$[D_{66} - D_{88}]$ beskriver skivstyvhetsgenskaper (KL-träskiva)

Böj- och vridstyvhetsgenskaper (KL-träplatta) räknas ofta i kN/m:

$$D_{11} = \frac{E_{0,\text{mean}} \cdot I_{x,\text{net}}}{1 - \nu_{xy} \cdot \nu_{yx}} \quad \text{med} \quad \nu_{xy} = \nu_{yx} = 0$$

blir ekvationen:

$$3.90 \quad D_{11} = E_{0,\text{mean}} \cdot I_{x,\text{net}}$$

$$D_{22} = \frac{E_{0,\text{mean}} \cdot I_{y,\text{net}}}{1 - \nu_{xy} \cdot \nu_{yx}} \quad \text{med} \quad \nu_{xy} = \nu_{yx} = 0$$

blir ekvationen:

$$3.91 \quad D_{22} = E_{0,\text{mean}} \cdot I_{y,\text{net}}$$

$$D_{33} = k_{\text{vrid}} \cdot G_{0,\text{mean}} \cdot \frac{b \cdot t_{\text{KLT}}^3}{12} \quad \text{med} \quad k_{\text{vrid}} = 0,65 \quad \text{och} \quad b = 1 \text{ m}$$

blir ekvationen:

$$3.92 \quad D_{33} = 0,65 \cdot G_{0,\text{mean}} \cdot \frac{t_{\text{KLT}}^3}{12} \cdot 1$$

$$D_{12} = D_{21} = \sqrt{\nu_{xy} \cdot \nu_{yx} \cdot D_{11} \cdot D_{22}} \quad \text{med} \quad \nu_{xy} = \nu_{yx} = 0$$

blir ekvationen:

$$3.93 \quad D_{12} = D_{21} = 0$$

Observera:

$$k_{\text{vrid}} = \begin{cases} 0,65 & \text{för KL-trä med spalter eller sprickor.} \\ 0,8 & \text{för KL-trä utan spalter eller sprickor.} \end{cases}$$

Skjuvstyvhetsgenskaper (KL-träplatta) räknas ofta i kN/m:

$$D_{44} = \kappa_x \cdot G_{0,\text{mean}} \cdot A_{x,\text{net}} \quad 3.94$$

$$D_{55} = \kappa_y \cdot G_{0,\text{mean}} \cdot A_{y,\text{net}} \quad 3.95$$

För beräkning och värden på skjuvkorrektionsfaktorerna κ_x och κ_y , se avsnitt 3.3, sidan 40.

Skivstyvhetsgenskaper (KL-träskiva) räknas ofta i kN/m:

$$D_{66} = E_{0,\text{mean}} \cdot A_{x,\text{net}} \quad 3.96$$

$$D_{77} = E_{0,\text{mean}} \cdot A_{y,\text{net}} \quad 3.97$$

$$D_{88} = G_{S,\text{mean}} \cdot A_{x,\text{brutto}} = 0,75 \cdot G_{0,\text{mean}} \cdot A_{x,\text{brutto}} \quad 3.98$$

$G_{S,\text{mean}}$ är skjuvmodulen för hela KL-träelementets tvärsnitt, enligt Silly, 2010

$$D_{67} = \nu \cdot D_{66}$$

och representerar effekten av tvärs utvidgning över längsgående normalkraft, vanligtvis antas $\nu = 0$ och därmed $D_{67} = 0$ och på samma sätt $D_{76} = 0$.

Verifiering av materialets hållfasthet

Relationen mellan krafter och förskjutningar definieras i matrisform enligt ekvation 3.99 och används med fördel i FEM-beräkningsprogram:

$$\begin{Bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ n_{xz} \\ n_{yz} \\ n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{Bmatrix} = C_{\text{KLT}} \cdot \begin{Bmatrix} K_x = \frac{\partial \phi_y}{\partial x} \\ K_y = -\frac{\partial \phi_x}{\partial y} \\ K_{xy} = \frac{\partial \phi_y}{\partial y} - \frac{\partial \phi_x}{\partial x} \\ \gamma_{xz} = \frac{\partial u_z}{\partial x} + \phi_y \\ \gamma_{yz} = \frac{\partial u_z}{\partial y} - \phi_x \\ \epsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x} \\ \epsilon_y = \frac{\partial u_y}{\partial y} \\ \gamma_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad 3.99$$



KL-träskivor



Montage av Portvakten, Växjö.

ϕ och u representerar rotation respektive förskjutning av elementens tyngdpunktscentrum i riktningar enligt figur 3.28, sidan 64.

Utifrån ekvation 3.99, sidan 65, erhålls både krafter och deformationer och utifrån detta kan spänningar i materialet beräknas.

Böjmoment kring x-axeln och y-axeln

$$m_{x,E,d} \leq m_{x,R,d}$$

$m_{x,E,d}$ är dimensionerande böjmoment i kNm/m.

$m_{x,R,d}$ är dimensionerande bärförmåga för böjmoment i kNm/m och beräknas:

$$m_{x,R,d} = W_{x,net} \cdot f_{m,xlay,d}$$

$$m_{y,E,d} \leq m_{y,R,d}$$

$m_{y,E,d}$ är dimensionerande böjmoment i kNm/m.

$m_{y,R,d}$ är dimensionerande bärförmåga för böjmoment i kNm/m och beräknas:

$$m_{y,R,d} = W_{y,net} \cdot f_{m,ylay,d}$$

Tvärkraft i xz-planet och yz-planet

$$n_{xz,E,d} \leq n_{xz,R,d}$$

$n_{xz,E,d}$ är dimensionerande tvärkraft i kN/m.

$n_{xz,R,d}$ är dimensionerande bärförmåga för tvärkraft i kN/m och beräknas:

$$n_{xz,R,d} = \frac{I_{x,net} \cdot 1 \text{ m}}{S_{R,x,net}} f_{v,9090,ylay,d}$$

$$n_{yz,E,d} \leq n_{yz,R,d}$$

$n_{yz,E,d}$ är dimensionerande tvärkraft i kN/m.

$n_{yz,R,d}$ är dimensionerande bärförmåga för tvärkraft i kN/m och beräknas:

$$n_{yz,R,d} = \frac{I_{y,net} \cdot 1 \text{ m}}{S_{R,y,net}} f_{v,9090,xlay,d}$$

Vridmoment i xy-planet eller yx-planet

$$m_{xy,E,d} \leq m_{xy,R,d}$$

$m_{xy,E,d}$ är dimensionerande vridmoment i kNm/m.

$m_{xy,R,d}$ är dimensionerande bärförmåga för vridmoment i kNm/m och beräknas:

$$m_{xy,R,d} = W_{tor,x,KLT} \cdot f_{tor,d}$$

Observera: $m_{xy} = m_{yx}$ om $b_x = b_y$

Normalkraft i x-riktning och y-riktning

$$n_{x,E,d} \leq n_{x,R,d}$$

$n_{x,E,d}$ är dimensionerande normalkraft i kN/m.

$n_{x,R,d}$ är dimensionerande bärförmåga för normalkraft i kN/m och beräknas:

$$n_{x,R,d} = A_{x,net} \cdot f_{t,xlay,d}$$

för dragspänning och

$$n_{x,R,d} = A_{x,net} \cdot f_{c,xlay,d}$$

för tryckspänning.

$$n_{y,E,d} \leq n_{y,R,d}$$

$n_{y,E,d}$ är dimensionerande normalkraft i kN/m.

$n_{y,R,d}$ är dimensionerande bärförmåga för normalkraft i kN/m och beräknas:

$$n_{y,R,d} = A_{y,net} \cdot f_{t,ylay,d}$$

för dragspänning och

$$n_{y,R,d} = A_{y,net} \cdot f_{c,ylay,d}$$

för tryckspänning.

Tvärkraft i xy-planet eller yx-planet

$$n_{xy,E,d} \leq n_{xy,R,d}$$

$n_{xy,E,d}$ är dimensionerande tvärkraft i KL-träskivans plan i kN/m.

$n_{xy,R,d}$ är dimensionerande bärförmåga för tvärkraft i kN/m.

$$n_{xy} = n_{yx}$$

3.5 Dimensioneringsprogram för KL-trä

Program för beräkning i en dimension för KL-trä

I programmen är KL-träskivor visade som endimensionella element, det vill säga en balk eller en pelare. Det finns en del leverantörsberoende beräkningsprogram samt en del program direkt utvecklade av KL-trätillverkare. Båda typerna av program baseras på KL-träets egenskaper utifrån ETA-godkännanden från KL-trätillverkare. Med införande av produktstandarden SS-EN 16351, är det möjligt att räkna KL-träskivor som inte är leverantörsberoende.

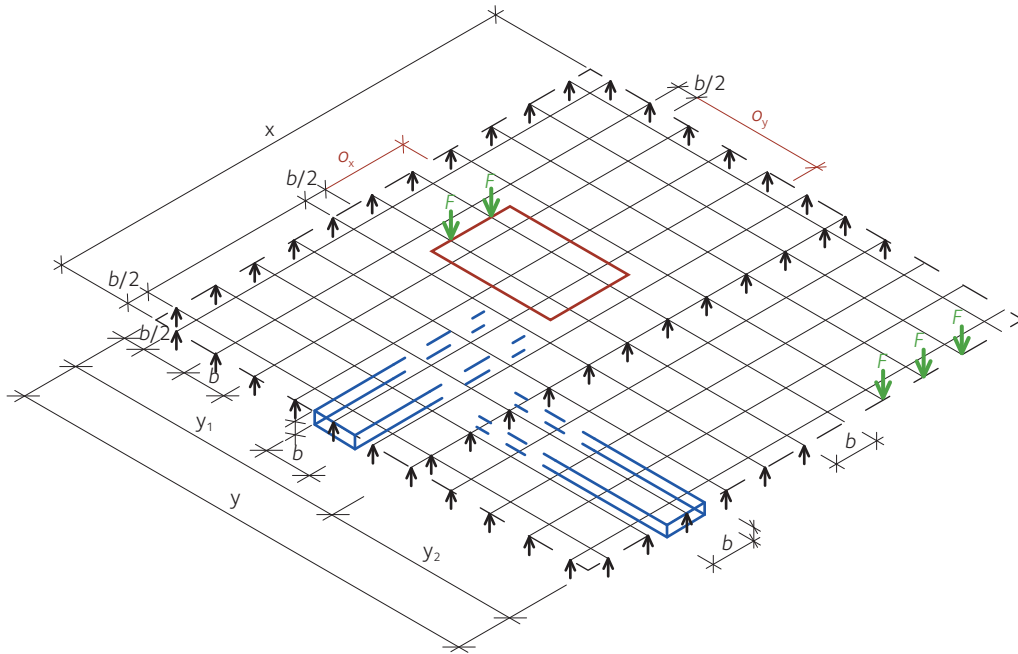
Det finns enkla program utvecklade med till exempel Java eller Excel som är anpassade till Eurokod 5. Programmen låter användare dimensionera KL-träskivor i brott- och bruksgränstillstånd. Metoder finns implementerade för att analysera i bruksgränstillstånd, enligt de metoder som presenteras i KL-trähandboken.

Programmen är ofta byggda med olika moduler, till exempel bjälklagsmodul och väggmodul, där bara ett element beräknas åt gången. Geometrier och laster anges, men brukar vara begränsade till de mest förekommande fallen. Indatamatningen vad gäller exempelvis antal spann, sned lastfördelning och punktlaster kan ha vissa begränsningar. Även typ av led vid upplag är sällan valbar, utan modelleras alltid som ledad knutpunkt.

Möjligheten att beakta flerdimensionell geometri med håltagning eller sned utformning saknas också i dessa mjukvaror.



Ulls Hus, Uppsala.



Figur 3.29 Exempel på rutnät uppbyggda av stångelement med olika egenskaper i olika riktningar i ett ramprogram.



Figur 3.30 Exempel på uppbyggnad av styvhetsmatriser för ortotropa ytor.

Program för beräkning i flera dimensioner för KL-trä

Det finns ett antal dimensioneringsprogram där KL-trä har inarbetats som valbart material. Här nedan anges några kommersiella dataprogram, som för närvarande (2017) används av ett flertal KL-trätillverkare och projektörer.

- **Abaqus** – Allmängiltigt program för i första hand forsknings- och undervisningmiljöer.
- **RFEM** – Allmänt program för beräkningar och dimensionering i 3D-miljö. Krav och regler från Eurokoder samt EKS finns inlagt i programmet och det finns moduler för KL-trä eller likvärdiga material att köpa till.
- **Solid-Works** – Allmänt program för beräkningar och dimensionering i 3D-miljö.
- **StatCon Structure** – Dimensionering av balkar och pelare enligt Eurokod 5. Egenskaper för skivor från KL-trätillverkare finns inlagda i programmet.
- **StruSoft FEM-Design** – Allmänt program för beräkningar och dimensionering i 3D-miljö.

Det finns även ett antal KL-trätillverkare som har utvecklat egna dimensioneringsprogram anpassade efter sina produkter.

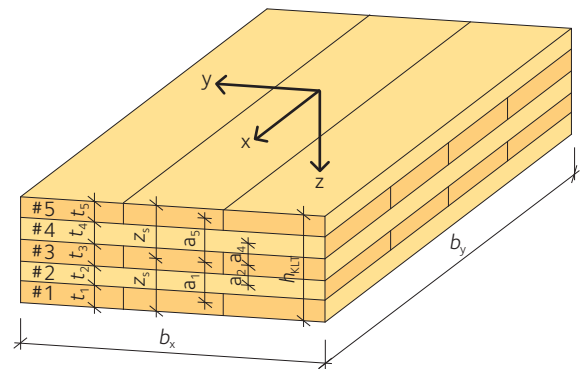
3.6 Beräkningsexempel

3.6.1 Tvärsnittsegenskaper och nedböjning för 5-skiktssymmetrisk platta av KL-trä

KL-träplattan är uppbyggd med 5 skikt enligt *tabell 3.17, sidan 69*, och *figur 3.31, sidan 69*, med en total tjocklek $h_{\text{KL-T}} = 140$ mm. Beräkning görs för en KL-träplatta med bredden $b_x = 1,0$ m.

Tabell 3.17 Uppbyggnad av 5-skiktssymmetrisk KL-träplatta.

Skikt	Riktning	Tjocklek (mm)	Hållfasthetsklass
5	Längs, x-riktning	20	C24
4	Tvärs, y-riktning	40	C24
3	Längs, x-riktning	20	C24
2	Tvärs, y-riktning	40	C24
1	Längs, x-riktning	20	C24



Figur 3.31 Definition av riktningar och mått.

Materialvärden:

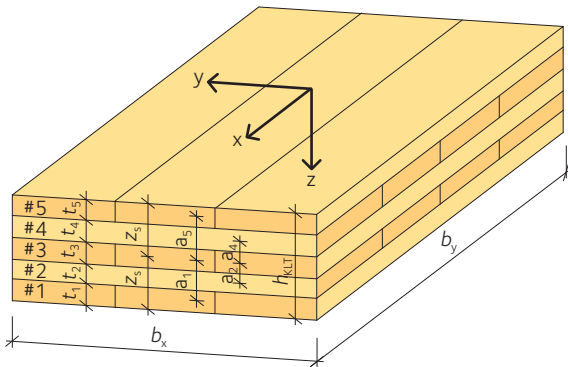
 $E_0 = 11\,000$ MPa för virke i hållfasthetsklass C24, $E_{90} = 0$ MPa, $G_{090} = 650$ MPa och $G_{9090} = 50$ MPa.

Tabell 3.18 Egenskaper för 5-skiktssymmetrisk KL-träplatta enligt ovan.

Egenskap	Beräkningsformel	Tillämpning för exemplet
Tyngdpunktscentrum (mm)	$z_s = \frac{h_{\text{KLT}}}{2}$	$z_s = \frac{140}{2} = 70$ mm
Nettotröghetsmoment (mm ⁴)	$I_{x,\text{net}} = b_x \left(\frac{t_1^3}{12} + t_1 a_1^2 + \frac{t_3^3}{12} + t_3 a_3^2 + \frac{t_5^3}{12} + t_5 a_5^2 \right)$ $= b_x \left(3 \cdot \frac{t_1^3}{12} + 2 \cdot t_1 a_1^2 \right)$	$I_{x,\text{net}} = 1000 \left(3 \cdot \frac{20^3}{12} + 2 \cdot 20 \cdot 60^2 \right) = 14600 \cdot 10^4$ mm ⁴
Nettoböjmotstånd (mm ³)	$W_{x,\text{net}} = \frac{2 \cdot I_{x,\text{net}}}{h_{\text{KLT}}}$	$W_{x,\text{net}} = \frac{2 \cdot 14600 \cdot 10^4}{140} = 2086 \cdot 10^3$ mm ³
Skjuvkapacitet i längsriktning (kN)	$S_{x,\text{KLT}} = \kappa_x b_x (G_{0t_1} + G_{90t_2} + G_{0t_3} + \dots)$ $= \kappa_x b_x (3 \cdot G_{0t_1} + 2 \cdot G_{90t_2})$	$\kappa_x = 0,208$ enligt tabell 3.10, sidan 43 $S_{x,\text{KLT}} = 0,208 \cdot 1000 \cdot (3 \cdot 650 \cdot 20 + 2 \cdot 50 \cdot 40) = 8944$ kN
Nedböjning vid 5 kN centrisk punktlast vid fri spännvidd $L = 6$ m, enligt Timoshenko	$w_{5\text{kN}} = \frac{PL^3}{48 \cdot E_0 \cdot I_{x,\text{net}}} + \frac{P \cdot L}{4 \cdot S_{x,\text{KLT}}}$	$w_{5\text{kN}} = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 6000^3}{48 \cdot 11000 \cdot 14600 \cdot 10^4} + \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 6000}{4 \cdot 8944 \cdot 10^3} = 14,0 + 0,8 = 14,8$ mm
Nedböjning av 3 kN/m vid fri spännvidd $L = 6$ m, enligt Timoshenko	$w_{3\text{kN/m}} = \frac{5 \cdot qL^4}{384 \cdot E_0 \cdot I_{x,\text{net}}} + \frac{qL^2}{8 \cdot S_{x,\text{KLT}}}$	$w_{3\text{kN/m}} = \frac{5 \cdot 3 \cdot 6000^4}{384 \cdot 11000 \cdot 14600 \cdot 10^4} + \frac{3 \cdot 6000^2}{8 \cdot 8944 \cdot 10^3} = 31,5 + 1,5 = 33,0$ mm
Effektivt tröghetsmoment (mm ⁴) för fri spännvidd $l_{\text{ref}} = 6$ m	$\gamma_1 = \gamma_5 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{x,i} t_i}{l_{\text{ref}}^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090,2}}}$ $I_{x,\text{ef}} = b_x \left(\frac{3 \cdot t_1^3}{12} + 2 \gamma_1 t_1 a_1^2 \right)$	$\gamma_1 = \gamma_5 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot 11000 \cdot 20}{6000^2} \cdot \frac{40}{50}} = 0,9849$ $I_{x,\text{ef}} = 1000 \left(\frac{20^3}{4} + 2 \cdot 0,9849 \cdot 20 \cdot 65^2 \right) = 14382 \cdot 10^4$ mm ⁴
Nedböjning av 5 kN centrisk punktlast vid fri spännvidd $L = 6$ m, enligt Gamma-metod	$w_{5\text{kN}} = \frac{PL^3}{48 \cdot E_0 \cdot I_{x,\text{ef}}}$	$w_{5\text{kN}} = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 6000^3}{48 \cdot 11000 \cdot 14382 \cdot 10^4} = 14,2$ mm
Nedböjning av 3 kN/m vid fri spännvidd $L = 6$ m, enligt Gamma-metod	$w_{3\text{kN/m}} = \frac{5 \cdot qL^4}{384 \cdot E_0 \cdot I_{x,\text{ef}}}$	$w_{3\text{kN/m}} = \frac{5 \cdot 3 \cdot 6000^4}{384 \cdot 11000 \cdot 15959 \cdot 10^4} = 32,0$ mm

3.6.2 Tvärsnittsegenskaper för 5-skikts osymmetrisk platta av KL-trä

KL-träplattan är uppbyggd med 5 skikt enligt tabell 3.19 och figur 3.32 med en total tjocklek h_{KLTr} = 160 mm. Beräkning görs för en KL-träplatta med bredden $b_x = 1,0$ m.



Figur 3.32 Definition av riktningar och mått.

Tabell 3.19 Uppbyggnad av 5-skikts osymmetrisk KL-träplatta.

Skikt	Riktning	Tjocklek (mm)	Hållfasthetsklass
5	Längs, x-riktning	20	C24
4	Tvärs, y-riktning	30	C16
3	Längs, x-riktning	40	C16
2	Tvärs, y-riktning	30	C16
1	Längs, x-riktning	40	C24

Materialvärden:

$E_0 = 11\,000$ MPa för virke i hållfasthetsklass C24 = E_{ref} ,

$E_0 = 8\,000$ MPa för C16,

$E_{90} = 0$ MPa, $G_{090} = 650$ MPa och $G_{9090} = 50$ MPa.

Beräkning av tyngdpunktscentrum, z_s , utförs med värden enligt tabell 3.20, där o_i är avstånd från nedre kanten till skiktets centrum:

$$z_s = \frac{\sum \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} b_x t_i o_i}{\sum \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} b_x t_i} = \frac{6428 \cdot 10^3}{89,2 \cdot 10^3} = 72,1 \text{ mm}$$

Tabell 3.20 Beräkning av tyngdpunktscentrum.

i	b_x (mm)	t_i (mm)	E_i/E_{ref}	$(E_i/E_{\text{ref}}) \cdot b_x \cdot t_i$ (mm ²)	o_i (mm)	$(E_i/E_{\text{ref}}) \cdot b_x \cdot t_i \cdot o_i$ (mm ³)
5	1 000	20	1,0	$20 \cdot 10^3$	150	$3\,000 \cdot 10^3$
3	1 000	40	0,73	$29,2 \cdot 10^3$	90	$2\,628 \cdot 10^3$
1	1 000	40	1,0	$40 \cdot 10^3$	20	$800 \cdot 10^3$
Summa				$89,2 \cdot 10^3$		$6\,428 \cdot 10^3$

Beräkning av nettotröghetsmoment, $I_{x,\text{net}}$, utförs med värden enligt tabell 3.21, där $a_i = o_i - z_s$:

$$I_{x,\text{net}} = \sum \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} \cdot \frac{b_x \cdot t_i^3}{12} + \sum \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} b_x t_i a_i^2 = 989 \cdot 10^4 + 23931 \cdot 10^4 = 24920 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Tabell 3.21 Beräkning av tröghetsmoment.

i	b_x (mm)	t_i (mm)	E_i/E_{ref}	$(E_i/E_{\text{ref}}) \cdot (b_x \cdot t_i^3/12)$ (mm ⁴)	a_i (mm)	$(E_i/E_{\text{ref}}) \cdot b_x \cdot t_i \cdot a_i^2$ (mm ⁴)
5	1 000	20	1,0	$67 \cdot 10^4$	77,9	$12\,137 \cdot 10^3$
3	1 000	40	0,73	$389 \cdot 10^4$	17,9	$936 \cdot 10^3$
1	1 000	40	1,0	$533 \cdot 10^4$	-52,1	$10\,858 \cdot 10^3$
Summa				$989 \cdot 10^4$		$23\,931 \cdot 10^3$

Beräkning av nettoböjmotstånd, $W_{x,\text{net}}$, utförs för avstånden z_u och z_o till under- respektive överkanten:

$$W_{x,\text{net,u}} = \frac{I_{x,\text{net}}}{z_u} = \frac{I_{x,\text{net}}}{z_s} = \frac{24920 \cdot 10^4}{72,1} = 3456 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

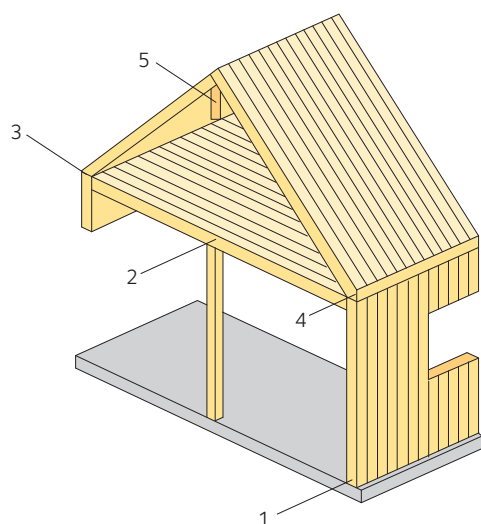
$$W_{x,\text{net,o}} = \frac{I_{x,\text{net}}}{z_o} = \frac{I_{x,\text{net}}}{h_{\text{KLT}} - z_s} = \frac{24920 \cdot 10^4}{160 - 72,1} = 2835 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$



KL-träskivor

Förband och anslutningsdetaljer

- 4.1 Förband och anslutningar 72
- 4.2 Dimensioneringsprinciper 73
- 4.3 Översikt av förbandstyper 74
 - 4.3.1 Träskruvar, skruvar och dymlingar 74
 - 4.3.2 Standardplåtbeslag 75
- 4.4 Utförande och detaljlösningar 75
 - 4.4.1 Förband i KL-träskivans plan 75
 - 4.4.2 Utanpåliggande förband i KL-träplattans plan 76
 - 4.4.3 Anslutningar mot balkar 76
 - 4.4.4 Infästningar väggskiva-väggskiva 77
 - 4.4.5 Infästningar väggskiva-bjälklagsplatta 78
 - 4.4.6 Infästningar väggskiva-grund, väggskiva-takplatta 79
- 4.5 Dimensionering av förband 80
 - 4.5.1 Spik- och skruvförband, allmänt 80
 - 4.5.2 Dimensionering av tvärkraftsbärförmåga för självborrande träskruvar i KL-trä 80
 - 4.5.3 Dimensionering av utdragsbärförmåga för självborrande träskruvar i KL-trä 82
 - 4.5.4 Dimensionering av spikningsplåtar i KL-trä 84
 - 4.5.5 Tillåtna centrumavstånd samt änd- och kantavstånd för spikar, träskruvar och dymlingar 88



Figur 4.1 Förband i en KL-trästomme.

1. Infästning mellan väggskiva och grund.
2. Infästning mellan pelare och bjälklagsplatta.
3. Infästning mellan väggskiva och bjälklagsplatta.
4. Infästningar mellan väggskiva och takplatta.
5. Infästning mellan nockbalk och takplattor.

Förbanden och deras utformning har ofta stor betydelse för konstruktionens egenskaper. Förbanden påverkar dess bärförmåga, stabilitet och egenskaper kopplade till brand och akustik. Utformningen av förbanden styr även ibland vilket typ av brott som kan uppkomma. Genom att dimensionera och utforma förbanden på rätt sätt, kan man utforma konstruktionen så att man undviker att brott inträffar utan förvarning. Detta kan åstadkommas om förbanden dimensioneras så att slutligt brott föregås av stora och synliga deformationer försakade av flytning i de ståldelar som ingår i förbanden, ett så kallat duktilt uppförande.

I de allra flesta förband i konstruktioner av KL-trä används träskruvar eller plåtbeslag tillsammans med ankarspik eller ankarskruv. Marknaden erbjuder idag en mångfald av olika långa självborrande träskruvar som direkt kan användas till lastöverförande skarvar. Det finns även ett stort utbud av standardplåtbeslag för olika ändamål.

Vid dimensionering av träkonstruktioner krävs att projektören beaktar ett antal faktorer. Sådana faktorer är lastens varaktighet, klimatklass och lastens riktning i förhållande till fibrerna. Lastriktningen är extra viktig då KL-trä är uppbyggt av flera brädsnitt i olika riktningar. Vid dimensionering av träförband är det också ytterst viktigt att konstruktören är förtrogen med materialets ortotropi och dess hygrokopiska egenskaper.

4.1 Förband och anslutningar

I en byggnad av KL-trä ingår ett stort antal olika förband och anslutningsdetaljer. Även för en enkel stomme uppbyggd av KL-träskivor finns det ett antal olika knutpunkter där det krävs förbandslösningar, se figur 4.1. Varje förbandstyp kan dimensioneras på många olika sätt och den tekniska utvecklingen bidrar till att nya infästningsdetaljer tillkommer i allt större omfattning. Utvecklingen av nya infästningsdon anpassade för KL-trä sker fortlöpande. I kapitlet beskrivs de olika förbandstyperna kortfattat, var och en med en allmän beskrivning av hur förbandet ska dimensioneras. Ur ekonomisk synvinkel är det oftast att föredra förbandslösningar med fästdon och plåtar ur standardsortimentet.

4.2 Dimensioneringsprinciper

Förbanden är ofta en konstruktions svaga punkt. Därför är det extra viktigt att omsorgsfullt tänka igenom hur ett förband fungerar statiskt, men även beakta förbandets påverkan på andra funktioner. Med förband avses de lastbärande delar vars uppgift är att sammanbinda olika byggnadsdelar i den bärande stommen. Konstruktionens systemlinjer bör normalt sammanfalla med strukturelementens tyngdpunktslinjer. Dessutom antar man ofta att dessa möts i antingen ledade eller momentstyva knutpunkter.

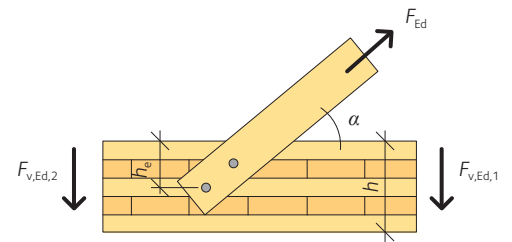
Konstruktören ska förstå hur förbandet överför krafter och genom noggrann utformning göra denna kraftöverföring möjlig. Konstruktörens första uppgift är att beräkna förekommande krafter och moment för att kunna dimensionera förbandet. Krafter och moment ska sedan överföras av förbandet och det är av yttersta vikt att man använder sig av korrekta mekaniska modeller.

Trä är ett hygroskopiskt material med fuktrelaterade rörelser. Detta är en viktig aspekt att beakta vid dimensionering av förband så att träet ges möjlighet att svälla och krympa vid fuktförändringar utan att alltför stora inre spänningar uppstår. Eftersom träets draghållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen är relativt liten, kan virket spricka vid uttorkning. För infästningar och förband av KL-trä är de fuktrelaterade rörelserna små och oftast används KL-trä till sådana användningsområden att detta inte utgör ett problem.

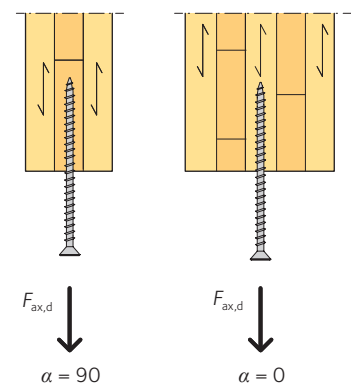
I gällande dimensioneringsregler finns modifieringsfaktorerna k_{mod} och k_{def} som tar i beaktande att hållfastheten blir lägre och deformationen större när fuktkvoten ökar.

Det saknas fortfarande underlag och fastlagda principer för KL-trä i ett flertal infästningssituationer som kan uppkomma. Med gott omdöme och erfarenheter från traditionella träkonstruktioner kan de flesta fall emellertid lösas. En situation där det finns uppenbar risk för till exempel fläkning är när ett fästdon förorsakar dragning vinkelrätt mot fiberriktningen som visas i *figur 4.2*. Vid infästningar i en KL-träskiva minskar dock risken för fläkningsskott då tvärgående brädsikt oftast fördelar ut spänningen. Om risken för fläkning kontrolleras med samma metoder som för konstruktionsvirke eller limträ underskattas därför förbandets bärförmåga.

Då KL-träskivor innehåller brädor med fiberriktningen åt olika håll (oftast med en skillnad av 90 grader) är det av största vikt att vara medveten om infästningarnas placeringar för att undvika infästningar i ändträ eller för korta infästningslängder. Förbandet medför ofta att dimensionerande area minskar och tvärsnittet försvagas på grund av genomgående skruvar, inslitsade plåtar och dymlingar.



Figur 4.2 Risk för fläkning förorsakad av belastning vinkelrätt mot fiberriktningen.



Figur 4.3 Placering av träskruvar har stor betydelse för utdragsbärförmågan, om de är placerade i brädsikt med fibrerna vinkelrätt mot eller parallellt med träskruvarna.

4.3 Översikt av förbandstyper



Takkonstruktion med limträ och KL-trä.

Det finns en stor mängd av olika typer av infästningar som kan användas vid förbandsutformning av anslutningar mellan väggar och bjälklag av KL-trä eller anslutningar mellan andra material och KL-trä. Långa självborrande träskruvar är vanligt förekommande vid förband mellan KL-träskivor men även andra traditionella förband såsom spik, inslitsade plåtar och spikningsplåtar förekommer i hög utsträckning. Det förekommer även ett antal mera innovativa lösningar såsom inlimmade stänger, utvecklade paketlösningar som täcker in alla hörnlösningar inklusive montageinfästningar och system för dolda lastöverförande skarvar. De nya systemen bygger ofta på att KL-träskivorna måste tillverkas med hög prefabriceringsgrad och att CNC-maskiner används vid utformningen av förbanden.

4.3.1 Träskruvar, skruvar och dymlingar

Förband med speciella träskruv, universalskruv eller träbyggnadsskruv, är enkla lösningar som används i stor omfattning vid infästning av KL-trä. Träskruvarnas förmåga att ta både tvärkrafter och dragkrafter tillsammans med deras enkelhet att använda på byggarbetsplatsen utan förborring har bidragit till deras popularitet. Självborrande träskruvar tillverkas med diametrar från 4 mm till 14 mm och med längder upp till 2 000 mm. De utformas med avseende på användningsområde. Vid infästningar där spikningsplåtar eller andra standardplåtbeslag används är det vanligt att använda ankarspik eller ankarskruv.



Ankarspik. Används i kombination med byggbeslag.



Ankarskruv. Används i kombination med byggbeslag.



Träbyggnadsskruv. Med specialutformade gängor. Behöver inte förborras.



Universalskruv. Med övre och undre förankringsgängor för två virkesstycken.



Självborrande dymling. Används för montage av inslitsade stålplåtar i träkonstruktioner.

Figur 4.4 Exempel på spik, träskruv och dymling som används i KL-träförband.

Skruvar, i vardagligt tal kallat bultar, och dymlingar är vanligt förekommande i stora träkonstruktioner speciellt till förband med stora tvärkrafter. Vid användning av skruvar och dymlingar i KL-träkonstruktioner måste speciell hänsyn tas till placeringen, då det finns risk för att fästdonen förskjuts mot spalter mellan brädorna vid användning av icke kantlimmade KL-träskivor. För att överföra större tvärkrafter finns det lösningar med stålhylsor i form av genomgående cylindriska ringar, se figur 4.12, sidan 76.

4.3.2 Standardplåtbeslag

Standardplåtbeslag är en viktig typ av förband mellan till exempel bjälklagsplattor och väggskivor av KL-trä. Det finns exempelvis ett stort antal olika vinkelbeslag att välja mellan, allt från beslag som klarar stora dragkrafter till beslag som är anpassade för att föra över huvudsakligen tvärkrafter. Nedan anges de vanligast förekommande beslagen inom byggande med KL-trä.

Spikplåtsvinkel

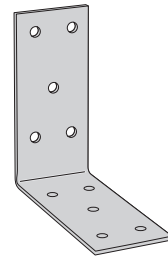
Spikplåtsvinklar kan användas vid förband mellan exempelvis bjälklagsplattor och väggskivor eller vid kryssförband med måttlig belastning. De tillverkas av varmförzinkad eller rostfri stålplåt med tjocklek 2 till 4 mm och håldiameter 5 mm för ankarspik eller ankarskruv, se figur 4.5.

Vinkelbeslag

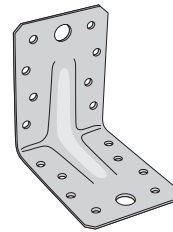
Vinkelbeslag används ofta som kryssförband med KL-trä. De kan även användas vid infästningar för KL-trä till betong och finns i ett flertal dimensioner för anpassning till aktuell belastning. De tillverkas av varmförzinkad eller rostfri stålplåt med tjocklek 2 till 3 mm och med håldiameter 5 mm för ankarspik eller ankarskruv samt större hål för expanderskruv, se figur 4.6.

Spikningsplåt

För måttliga krafter är spikningsplåtar ett bra alternativ. Det finns ett stort antal varianter av stansade spikningsplåtar. Stansade plåtar är i relation till borrarade plåtar oftast det kostnadseffektivaste alternativet. Stansning av plåtar förutsätter att plåttjockleken inte överskrider håldiametern. Hålen bör vara ungefär 1 mm större än fästdonets ytterdiameter. Spikningsplåtarna kan även gjutas in i betongplattan eller svetsas fast på ingjutna svetsplåtar, se figur 4.32, sidan 85.



Figur 4.5 Spikplåtsvinkel



Figur 4.6 Vinkelbeslag

4.4 Utförande och detaljlösningar

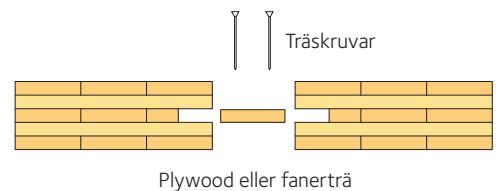
Detaljlösningarna i avsnittet visar på principlösningar.

4.4.1 Förband i KL-träskivans plan

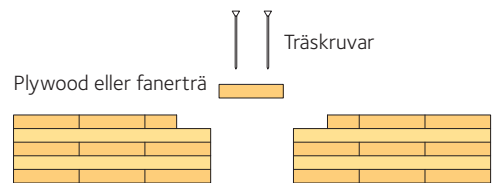
Skarvar mellan KL-träskivor kan utföras på ett antal olika sätt, skarv med lös fjäder, enkel eller dubbel lask, halvt i halvt och likartade lösningar. Lasken kan utgöras av plywood, fanerträ, dimensionshyvlat virke eller plattstål. Nedan återges en kort beskrivning av några olika principlösningar.

Skarv med lös fjäder är en vanlig lösning, se figur 4.7. Fjädern kan skruvas eller spikas ihop och är ett förband med två skär. Skarven kan också utföras med dubbla fjädrar, vilket skapar fyra skär. Skarven kan överföra krafter längs och tvärs KL-träskivans plan.

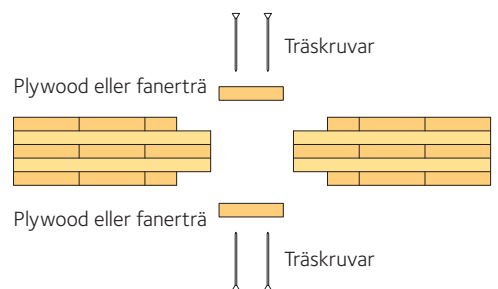
Skarv med enkel lask är troligen den enklaste skarven att utföra, se figur 4.8. Lasken kan skruvas eller spikas fast och betraktas som ett förband med ett skär. Skarven kan överföra krafter längs och tvärs KL-träskivans plan.



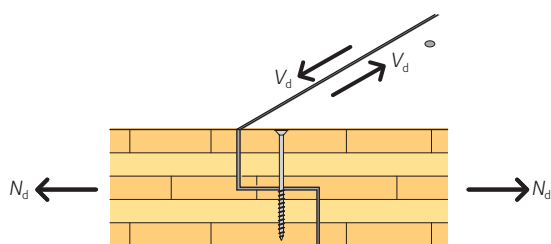
Figur 4.7 Skarv med lös fjäder.



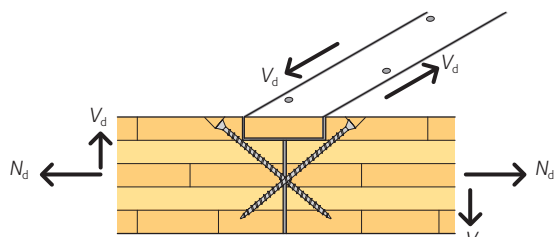
Figur 4.8 Skarv med enkel lask.



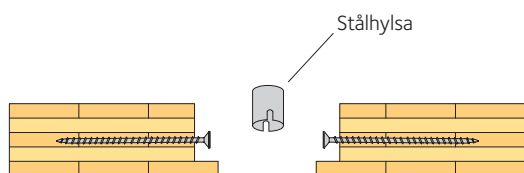
Figur 4.9 Skarv med dubbla laskar.



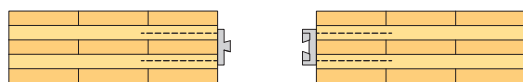
Figur 4.10 Skarv med urtag halvt i halvt.



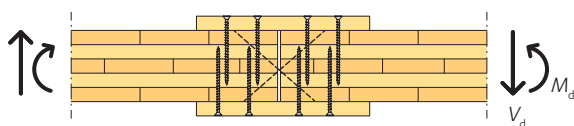
Figur 4.11 Skarv med enkel lask och skråskruvning.



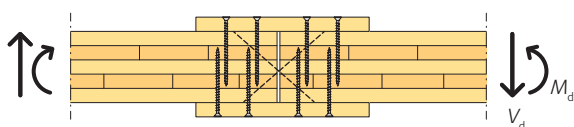
Figur 4.12 Skarv med sammanhållande stålhylsor och träskruvar.



Figur 4.13 Skarv med specialbeslag med träskruvar på skrå.



Figur 4.14 Förband i huvudbärriktningen.



Figur 4.15 Förband vinkelrätt mot huvudbärriktningen.

Skarv med dubbla laskar ökar konstruktionens och förbandets förmåga att överföra tvärförskjuvning, se figur 4.9, sidan 75. Laskarna kan skruvas eller spikas fast och är ett förband med ett skär per lask. Skarven kan också överföra mindre moment.

Skarv halvt i halvt är en väl beprövad metod inom träbyggnad, se figur 4.10. Metodens enkelhet gör att den tillsammans med självborrande träskruvar ger ett snabbt montage. Skarven kan överföra krafter längs och tvärs KL-träskivans plan.

Skarv med enkel lask och förstärkning med långa självborrande träskruvar, se figur 4.11.

Skarv med sammanhållande stålhylsor tillsammans med helgängade eller inlimmade skruvar, alternativt träskruvar, är en annan metod som utarbetats, se figur 4.12. Skruvarna monteras hos KL-trätillverkaren varvid enbart stålhylsa med slits enkelt kan monteras på byggarbetsplatsen. Utdragshållfastheten för de gängade eller inlimmade skruvarna har visat sig vara dimensionerande för denna typ av skarv. Skarven kan dimensioneras för stora tvärförskjuvningar i skarvens längdriktning.

Skarv med specialbeslag finns på marknaden i ett antal olika utföranden anpassade för sammanfogning av träkonstruktioner, se figur 4.13. Många av beslagssystemen bygger på olika haksystem. Haksystemen bygger på att stål- eller aluminiumbeslag skruvas till väggskivorna av KL-trä och KL-träskivorna kan sedan monteras ihop. Antal beslag och deras storlek bestämmer skarvens totala bärförmåga.

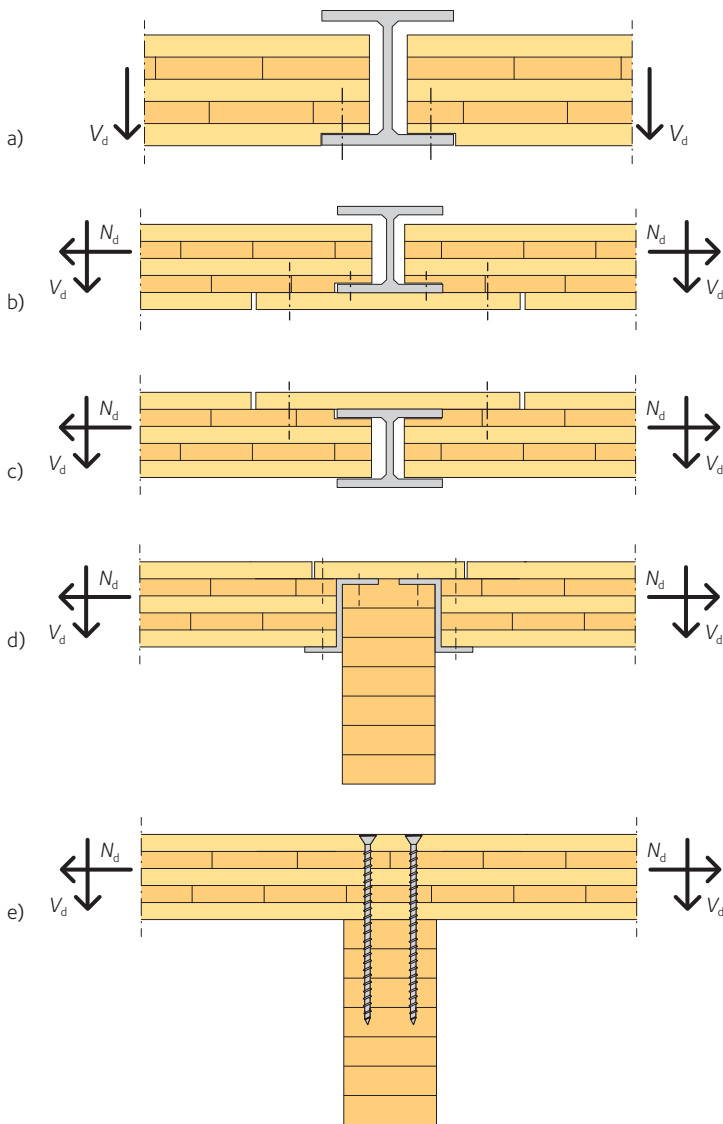
4.4.2 Utanpåliggande förband i KL-träplattans plan

Förband i KL-träplattans plan som till viss del överför moment kan fås om KL-träplattorna kompletteras med över- och underliggande laskar, se figur 4.14 och figur 4.15. Laskarna kan även placeras i de yttersta skikten av brädor, se figur 4.9, sidan 75. Det innebär att jämna ytor erhålls men mothållande moment blir mindre då de inre hävarmarna minskar. Bärförmåga och styvhet i skarven beror även av skruvantal och valt skarvmaterial. För utanpåliggande laskar kan cirka 50 procent av krafterna överföras i jämförelse med icke skarvad KL-träplatta.

4.4.3 Anslutningar mot balkar

KL-träplattor används ofta till stora bjälklag där mittupplag utgörs av underliggande eller integrerade balkar. Upplagen kan utformas på olika sätt och nedan presenteras några olika metoder.

Avväxlingar av bjälklag för öppningar och där man önskar jämna och plana under- och översidor görs ofta genom infällning av KL-träplattor i stålbeleg, se figur 4.16 a) – c), sidan 77. För att få plana ytor kompletteras konstruktionen med en överbyggnad eller täckande skivor av plywood eller fanerträ. Skivorna kan i vissa fall dimensioneras för att föra över tryck- och dragkrafter i bjälklagets plan, se figur 4.16 b) – d), sidan 77. I de fall det kan accepteras att avväxlingsbalken inte ryms inom KL-träplattans tjocklek är en mycket vanlig lösning att använda limträbalkar, se figur 4.16 d), sidan 77. Likaså är limträbalk som upplag en vanlig lösning som inre stöd för kontinuerliga KL-träplattor, se figur 4.16 e), sidan 77.



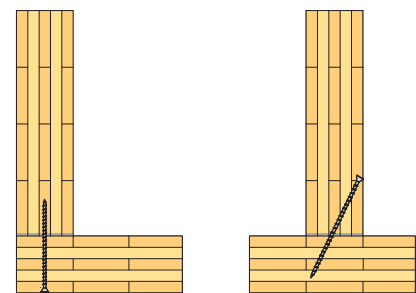
Figur 4.16 Exempel på anslutningar mot balkar.

4.4.4 Infästningar väggskiva-väggskiva

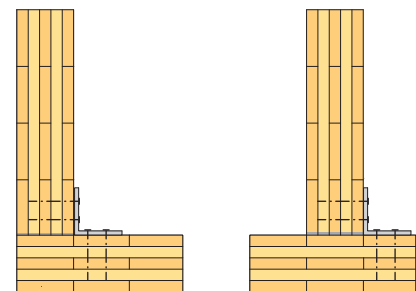
Infästningar mellan väggskivor kan principiellt utföras med träskruvar, vinkelbeslag eller dolda specialbeslag. Självborrande träskruvar och vinkelbeslag är vanligast förekommande, medan övriga infästningar är mera av innovativ karaktär. För att förbättra anslutningarnas egenskaper med avseende på brand och ljud kan det behövas ytterligare kompletteringar.

Den enklaste formen av infästning av KL-trä mot annan träyta är oftast att använda självborrande träskruv, se figur 4.17. Det är dock av största vikt att kontrollera placering av skruvarna så att de inte skruvas enbart i ändträ, det vill säga parallellt med fiberriktningen. För att minimera risken för detta samt i de fall där skruvning enbart är möjligt från sidan kan skrårskruvning vara ett alternativ.

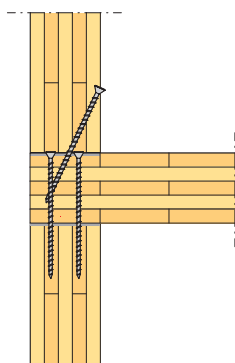
Ett annat enkelt system är att använda vinkelbeslag eller spikplåtsvinklar, se figur 4.18. Metoden är effektiv med avseende på överföring av tvärkrafter. Metoden är dock mindre lämplig för synliga ytor. På marknaden finns även specialanpassade beslag, både synliga och icke synliga.



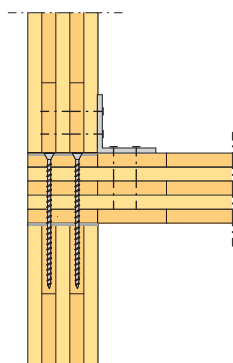
Figur 4.17 Infästning med skruvning, horizontalsnitt.



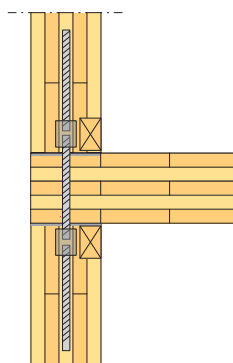
Figur 4.18 Infästning med vinkelbeslag, horizontalsnitt.



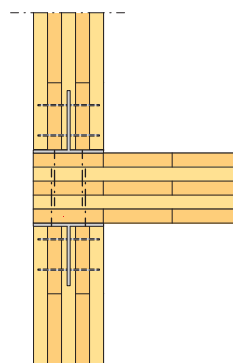
Figur 4.19 Infästning mellan väggskiva och bjälklagsplatta med långa träskruvar.



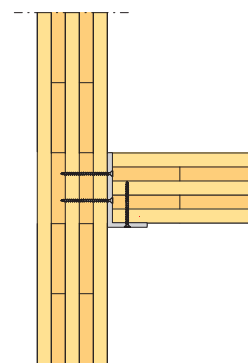
Figur 4.20 Infästning mellan väggskiva och bjälklagsplatta med vinkelbeslag.



Figur 4.21 Infästning mellan väggskivor och bjälklagsplatta med helgängade skruvar.



Figur 4.22 Infästning mellan väggskivor och bjälklagsplatta med inslitsade beslag och dymlingar.



Figur 4.23 Infästning mellan väggskiva och bjälklagsplatta med vinkelbeslag.

4.4.5 Infästningar väggskiva-bjälklagsplatta

Den enklaste metoden för infästningar mellan väggskiva och bjälklagsplatta är användning av långa självborrande träskruvar. Montage kan då ske från ovanliggande bjälklag direkt ner i underliggande KL-träskiva. Ovanliggande väggskiva fästs i sin tur med skråskruvning. I stället för långa träskruvar kan vinkelbeslag användas. För att förbättra anslutningarna med avseende på brand och ljud kan ytterligare kompletteringar behövas.

Infästning mellan väggskiva och bjälklagsplatta kan utföras med långa självborrande träskruvar, se figur 4.19. Metoden är enkel att utföra, dock krävs uppmärksamhet så att skruvning i ändträ undviks och att erforderliga förankringslängder erhålls.

Infästning mellan väggskiva och bjälklagsplatta kan utföras med vinkelbeslag eller spikplåtsvinklar, se figur 4.20. Oftast kan större tvärkrafter tas med vinkelbeslag i jämförelse med skruvning. Infästning av beslagen kan göras med spikning eller skruvning, med användning av ankarspik eller ankarskruv.

Infästning mellan väggskivor och bjälklagsplatta kan även utföras med långa eller korta helgängade skruvar, se figur 4.21. Korta inlimmade skruvar i vardera väggskivan tillsammans med gänghylsor skapar ett montagesystem anpassat för KL-träskivor. Hellånga stänger (lika med vägghöjden) kan användas för att föra ner lyftkrafter till grunden.

Infästning mellan väggskivor och bjälklagsplatta kan även utföras med inslitsade beslag, se figur 4.22. Inslitsade beslag, där beslagen först skruvas till KL-träplattan, blir dolda inuti väggskivorna som fixeras med dymlingar.

Anslutning mellan väggskiva och bjälklagsplatta kan även utföras med längsgående vinkelstål, se figur 4.23. Alternativt kan upplaget för KL-träplattan utgöras av underliggande trä- eller stålknäp eller av längsgående träreglar.

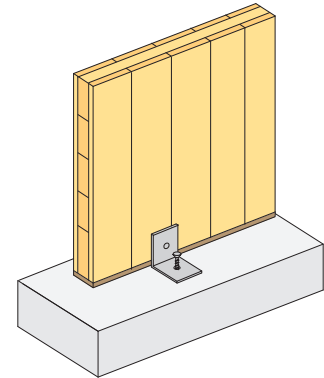
4.4.6 Infästningar väggskiva-grund, väggskiva-takplatta

Infästning för väggskiva som används i konstruktioner av KL-trä utformas normalt som icke momentupptagande förband. Väggskivan kan fästas i grunden genom att beslagen gjuts in i betongplattan eller så att de svetsas fast i ingjutna fästplåtar. Alternativt kan förankringen av beslagen i betongen göras med expanderskruv eller med kemiskt ankare. Vägghänder som vilar direkt mot betong, tegel, lättklinkerblock eller annat hygroskopiskt material bör förses med fuktspärr.

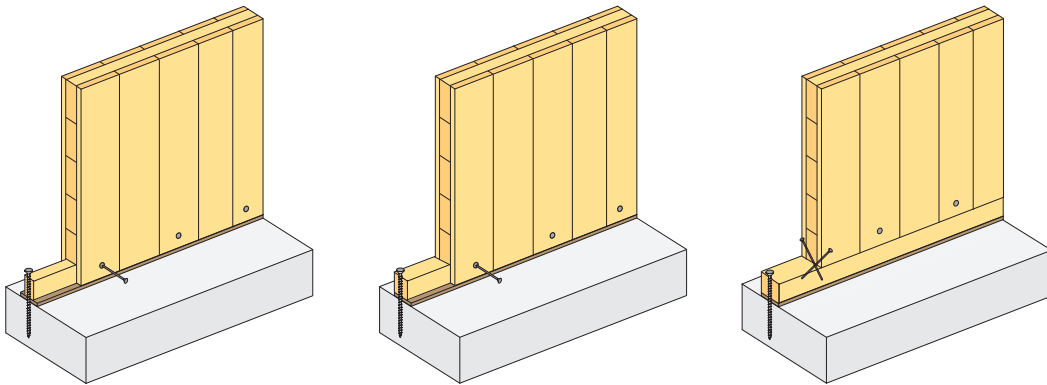
En enkel och vanligt förekommande infästning mot grund kan göras med spikningsplåt eller vinkelbeslag, se figur 4.24. Plåtarna monteras med hjälp av spikar eller skruvar. Den här typen av förband passar för både små och större horisontalkrafter. Beslagen kan utföras synliga eller dolda.

Infästning kan även göras mot en i grunden fastsatt styrregel, se figur 4.25. KL-träskivan ställs på eller mot styrregeln och fästs till styrregeln med exempelvis skråskruvning.

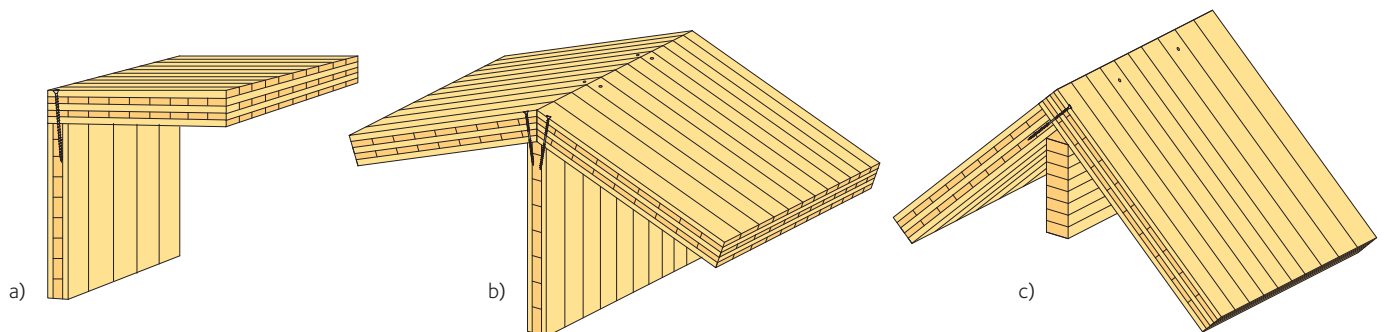
Vid infästningar mellan väggskivor och takplattor kan i princip alla infästningsalternativen nämnda under avsnitt 4.4.5, sidan 78 användas. Den enklaste formen av infästning och vanligast förekommande är att använda sig av självborrande träskruv, se figur 4.26.



Figur 4.24 Infästning mot grund med vinkelbeslag.



Figur 4.25 Infästningar mot grund med styrregel av trä.



Figur 4.26 Infästning mellan väggskiva respektive nockbalk av limträ och takplattor av KL-trä.



Montage av KL-träskivor till väggar.



Skruvförband i KL-träskiva.

4.5 Dimensionering av förband

4.5.1 Spik- och träskruvförband, allmänt

Värden och metoder som presenteras i kapitlet baseras till största delen på värden och metoder som framtagits av Uibel och Blass 2006 – 2007. Tillverkare av träskruvar, spikar och beslag kan i de flesta fall presentera egna karakteristiska värden för sina produkter baserade på provningar. Skruvförband dimensioneras utifrån att tvärkrafter och dragkrafter överförs av skruvförbanden. Tryckkrafter överförs normalt via kontaktryck mellan trärelementen men kan även överföras via skruvförbanden.

Vid dimensionering av förband bör följande brottmoder kontrolleras:

- Skjuvning av skruvförbandet.
- Utdragning och genomdragning av träskruvarna.
- Samverkande skjuvning och utdragning av träskruvarna.
- Skjuvning och dragning av träskruvarna (brott i stålmaterialiet).
- Tryck vinkelrätt mot fiberriktningen i förbandet.

Förbandets bärförmåga för tvärkrafter dimensioneras enligt *Eurokod 5, kapitel 8.2* och för utdragskrafter enligt *Eurokod 5, kapitel 8.7*. Samverkan mellan tvärkrafter och utdragskrafter dimensioneras enligt *Eurokod 5, kapitel 8.3*. Skruvstålets bärförmåga kontrolleras enligt *Eurokod 3* eller enligt anvisningar från skruvtillverkaren. Dessutom ska hänsyn tas till fläkning och eventuellt klossbrott. Tillämpas här till anvisningarna i *Eurokod 5* eller *Limträhandbok Del 2* fås i regel värden på säkra sidan på grund av KL-träets uppbyggnad.

4.5.2 Dimensionering av tvärkraftsbärförmåga för självborrande träskruvar i KL-trä

KL-trä är speciellt i jämförelse med konstruktionsvirke och limträ genom att infästningen sker i en skiva med två ”huvudriktningar” hos fibrerna. Det innebär att hänsyn måste tas till i vilka brädlager som infästningen sker. Beroende på skiktens uppbyggnad kommer resultaten från beräkningar att variera.

För beräkning av karakteristisk hållkanthållfasthet, $f_{h,k}$ vinkelrätt planet har Uibel och Blass tagit fram ett par modeller. Dimensioneringsmodellerna är empiriska och baserade på ett antal provningar.

Självborrande träskruvar är den vanligast förekommande infästningsmetoden vid byggande med KL-trä. Nedan angivna ekvationer baseras på ett stort antal provningar med träskruvar med en minsta draghållfasthet av $f_{u,k} = 800 \text{ N/mm}^2$. De gäller för konstruktioner med dominerande statiska laster. För dynamiska laster bör speciella utvärderingar göras.

Tvårkraftsbärförmågan för självborrande träskruvar vinkelrätt mot KL-träskivans plan

Tvårkraftsbärförmågan för träskruvar bestäms till stor del av KL-träets hållkanthållfasthet.

För beräkning av hållkanthållfastheten för en helgängad träskruv kan *ekvation 4.1* användas:

$$f_{h,k} = 0,019 \cdot d_{ef}^{-0,3} \cdot \rho_k^{1,24}$$

där:

- $f_{h,k}$ karakteristisk hållkanthållfasthet.
- d_{ef} träskruvens effektiva diameter i millimeter (minimivärdet av inre gängdiametern och släta halsens diameter).
- ρ_k karakteristisk densitet för KL-trä.

Ekvationen gäller under följande förutsättningar:

- träskruvens yttre gängdiameter, $d \geq 6$ mm
- brädornas tjocklek $t \geq 10$ mm
- träskruvens effektiva längd i KL-träskivan ska omfatta minst tre brädsnitt.

Vid beräkning av förbandets bärförmåga bör Johansens teori enligt Eurokod 5 användas. För ett förband med en grupp av träskruvar krävs ingen reduktion av antal träskruvar. KL-träskivans uppbyggnad förhindrar sprött brott och sprickbildning. Detta förutsätter dock att minimiavstånd upprätthålls mellan träskruvarna.

Tvårkraftsbärförmågan för självborrande träskruvar i KL-träskivans kant

Bärförmågan för tvårkraftsbelastade träskruvar i KL-träskivans kant beräknas enligt *ekvation 4.2* och gäller under nedan angivna förutsättningar. Det gäller för såväl träskruvar vinkelrätt mot fiberriktningen och träskruvar parallellt med fiberriktningen.

$$f_{h,k} = \frac{20}{\sqrt{d_{ef}}}$$

där:

- $f_{h,k}$ karakteristisk hållkanthållfasthet.
- d_{ef} träskruvens effektiva diameter i millimeter (minimivärdet av inre gängdiametern och släta halsens diameter).

Ekvationen gäller under följande förutsättningar:

- träskruvens yttre gängdiameter, $d \geq 8$ mm
- effektiv förankringslängd, $l_{ef} \geq 10 \cdot d$
- spalter mellan brädor < 6 mm.

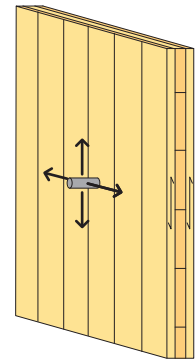
Vid beräkning av förbandets bärförmåga bör Johansens teori enligt Eurokod 5 användas. För ett förband med en grupp av träskruvar krävs ingen reduktion av antal träskruvar i likhet med *ekvation 4.3*. Skivans uppbyggnad förhindrar sprött brott och sprickbildning. Detta förutsätter dock att minimiavstånd upprätthålls mellan träskruvarna och gäller för träskruvar med ett centrumavstånd av $\geq 10d$. För centrumavstånd $\geq 14d$ krävs ingen reduktion.

$$n_{ef} = n^{0,85}$$

där:

- n_{ef} är effektiva antalet träskruvar.
- n är antalet träskruvar som samverkar i förbandet.

Figur 4.27 Principfigur, beräkning hållkanthållfasthet för träskruvar vinkelrätt mot KL-träskivans plan.

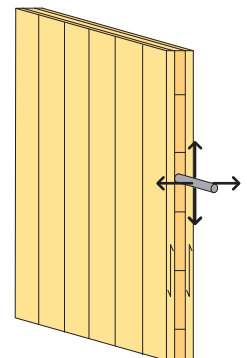


4.1

Tabell 4.1 Hållkanthållfasthet, $f_{h,k}$ för några olika skruvdiametrar. Träskruv vinkelrätt mot KL-träskivans plan, helgängad träskruv och trämateriallets karakteristiska densitet 350 kg/m^3 .

Diameter träskruv d (mm)	Hållkanthållfasthet, $f_{h,k}$ (N/mm^2)
6	15,8
7	15,1
8	14,5
9	14,0
10	13,6

Figur 4.28 Principfigur, beräkning hållkanthållfasthet för träskruvar vinkelrätt mot KL-träskivans kanter.



4.2

Tabell 4.2 Hållkanthållfasthet, $f_{h,k}$ för några olika skruvdiametrar. Träskruv i KL-träskivans kant, helgängad träskruv och trämateriallets karakteristiska densitet 350 kg/m^3 .

Diameter träskruv d (mm)	Hållkanthållfasthet, $f_{h,k}$ (N/mm^2)
8	7,1
9	6,7
10	6,3

4.3



Hantering av KL-träskivor hos tillverkaren.

4.5.3 Dimensionering av utdragsbärförmåga för självborrande träskruvar i KL-trä

Vid beräkning av karakteristisk utdragsbärförmåga, $F_{ax,Rk}$, för självborrande träskruvar kan *ekvation 4.4* generellt användas. *Ekvation 4.4* baseras på provningsresultat och tar även hänsyn till eventuella spalter mellan brädorna. Trämaterialets karakteristiska densitet bör uppgå till $\rho_k \approx 350 \text{ kg/m}^3$.

$$4.4 \quad F_{ax,Rk} = \frac{31 \cdot d^{0,8} \cdot l_{ef}^{0,9}}{1,5 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}$$

där:

$F_{ax,Rk}$ är karakteristisk utdragsbärförmåga.

d är träskruvens yttre gängdiameter i millimeter.

ρ_k är karakteristisk densitet för KL-trä vid infästning vinkelrätt mot planet och karakteristisk densitet för aktuella brädor vid infästning i kant, vanligtvis $\rho_k \approx 350 \text{ kg/m}^3$.

α är vinkeln mellan träskruvens axel och fiberriktningen.

l_{ef} är träskruvens effektiva förankringslängd i träet och där en minsta effektiv förankringslängd av $l_{ef,min} = 4d$ krävs.

Förankringslängden avser endast träskruvens gängade del.

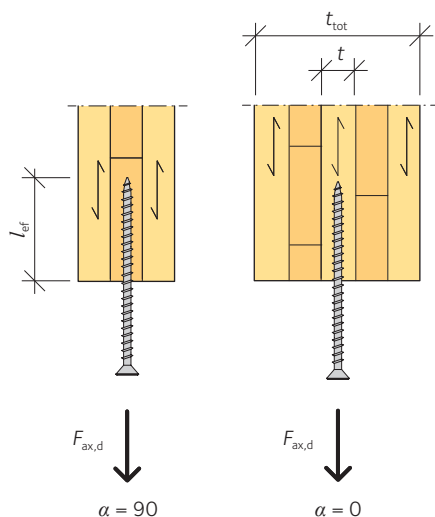
För ett förband med en grupp av träskruvar belastade med en kraftkomponent parallellt med träskruvarnas halsar är det effektiva antalet träskruvar:

$$4.5 \quad n_{ef} = n^{0,9}$$

där:

n_{ef} är effektiva antalet träskruvar.

n är antalet träskruvar som samverkar i förbandet.



Utdragsbärförmåga för självborrande träskruvar i KL-träskivans kant

Utdragsbärförmågan för träskruvar i kanten på KL-träskivor kan beräknas enligt *ekvation 4.6* och gäller under angivna förutsättningar. Det kan förekomma två olika fall, träskruvar vinkelrätt mot fiberriktningen och träskruvar parallellt med fiberriktningen.

För infästningar vinkelrätt mot fiberriktningen görs ett konservativt antagande då träskruven inte med säkerhet placeras i tvärsnittets mittlinje. Faktorn för träskruvens förhållande till fiberriktningen, α , sätts därför till noll, vilket ger:

$$4.6 \quad F_{ax,Rk} = \frac{31 \cdot d^{0,8} \cdot l_{ef}^{0,9}}{1,5}$$

där:

d är träskruvens yttre gängdiameter i millimeter.

l_{ef} är effektiv förankringslängd.

Ekvationen gäller under följande förutsättningar:

- yttre gängdiameter för träskruv, $d \geq 8 \text{ mm}$
- effektiv förankringslängd, $l_{ef} \geq 10 \cdot d$
- fler än två träskruvar per infästning
- brädtjocklek i vilken skruven placeras, $t \geq 3 \cdot d$
- total skivtjocklek, $t_{tot} \geq 10 \cdot d$
- karakteristisk densitet, $\rho_k \approx 350 \text{ kg/m}^3$.

Tabell 4.3 Karakteristisk utdragsbärförmåga, $F_{ax,Rk}$ för några olika skruvdiametrar och längder. Träskruvar i KL-träskivans kant, förankringslängd enligt tabell och trämateriallets karakteristiska densitet 350 kg/m^3 .

Diameter träskruv d (mm)	Förankringslängd, l_{ef} (mm)	Karakteristisk utdragsbärförmåga, $F_{ax,Rk}$ (kN)
8	50	3,7
8	100	6,9
10	50	4,4
10	100	8,2

Infästningar som görs parallellt med fiberriktningen för bärande syften bör undvikas då det vid tidpunkten för utgivning av *KL-trähandbok* endast finns få utförda långtidstester. Förslagsvis görs skruvningen inom brädsnittet med parallella fibrer, men träskruven vinklas cirka 30 grader. Det innebär att träskruvarna kommer att skära genom ett antal fibrer vilket ökar träskruvens bärförmåga. Förslagsvis reduceras karakteristisk utdragsbärförmåga vid skråskruvning (30 graders skruvvinkel) med en faktor 0,5 och görs parvis.

I tabell 4.4 och tabell 4.5 framgår karakteristisk utdragsbärförmåga för skråskruvade förband samt erforderlig korrektion med avseende på antal träskruvpar. För tabellerna gäller att träskruvarnas centrumavstånd inte bör understiga $a_1 = a_2 = 5d$. KL-träskivornas tjocklek t_1 respektive t_2 bör vara större än $10d$ respektive $8d$, se figur 4.30.

Tabell 4.4 Karakteristisk utdragsbärförmåga, $F_{ax,Rk}$ för skråskruvade förband (30° skruvvinkel, två skruvar). Träskruvar i KL-träskivans kant, förankringslängd enligt tabell och materialets karakteristiska densitet 350 kg/m^3 .

Diameter träskruv d (mm)	Förankringslängd, l_{ef} (mm)	Karakteristisk utdragsbärförmåga, $F_{ax,Rk}$ Skruvpar 30° skruvvinkel, reduktion med 50 procent (kN)
8	50	3,7
8	100	6,9
10	50	4,4
10	100	8,2

Tabell 4.5 Korrektionsfaktor beroende på antal skråskruvade skruvpar som samverkar i förbandet.

Antal skruvpar	1	2	4	8	12	16
Faktor	1,15	1,07	1,00	0,93	0,90	0,87

Om förankringen avser en knutpunkt mellan tvär- och längsgående KL-träskiva (exempelvis i hörn) eller innervägg som ansluter till ytterväggsskiva ska förhållandet mellan träskruvarnas förankringslängder vara:

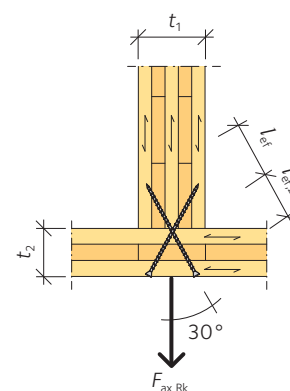
$$l_{ef,2} \geq 0,8l_{ef}$$

där:

- $l_{ef,2}$ är träskruvens förankringslängd i tvärgående KL-träskiva.
- l_{ef} är träskruvens förankringslängd i längsgående KL-träskiva.

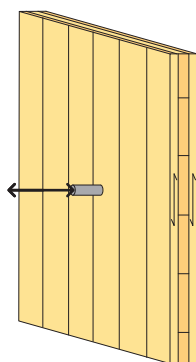


Montage av sommarhus, Skellefteå.



4.7

Figur 4.30 Skråskruvat förband.



Figur 4.31 Principfigur, beräkning av utdragsbärförmåga för träskruvar vinkelrätt mot KL-träskivans plan.

Utdragsbärförmåga för självborrande träskruvar vinkelrätt mot KL-träskivans plan

Utdragsbärförmågan för träskruvar placerade vinkelrätt mot KL-träskivans yta beräknas enligt ekvation 4.8 och under nedan angivna förutsättningar:

$$4.8 \quad F_{ax,Rk} = 31 \cdot d^{0,8} \cdot l_{ef}^{0,9}$$

där:

- d träskruvens yttre gängdiameter i millimeter.
- l_{ef} effektiv förankringslängd.

Ekvationen gäller under följande förutsättningar:

- yttre gängdiameter för träskruv, $d \geq 6$ mm
- inre gängdiameter, $d_1 \geq 0,6 \cdot d$
- effektiv förankringslängd, $l_{ef} \geq 8 \cdot d$
- fler än två träskruvar per infästning
- förankringslängd ska omfatta minst tre brädsnitt
- total skivtjocklek, $t_{tot} \geq 10 \cdot d$
- karakteristisk densitet, $\rho_k \approx 350$ kg/m³.

I tabell 4.6 och tabell 4.7 framgår karakteristisk utdragsbärförmåga för några olika träskruvtyper samt erforderlig korrektion med avseende på antal träskruvpar. För tabellerna gäller att träskruvarnas centrumavstånd inte bör understiga $a_1 = a_2 = 5d$. KL-träskivornas tjocklek t_1 respektive t_2 bör vara större än $10d$ respektive $8d$, se figur 4.30, sidan 83.

Tabell 4.6 Karakteristisk utdragsbärförmåga, $F_{ax,Rk}$ för några olika träskruvdiametrar och förankringslängder. Träskruvar vinkelrätt mot KL-träskivans plan, förankringslängd enligt tabell och materialets karakteristiska densitet 350 kg/m³.

Diameter träskruv d (mm)	Förankringslängd, l_{ef} (mm)	Karakteristisk utdragsbärförmåga, $F_{ax,Rk}$ (kN)
8	50	5,5
8	100	10,3
8	140	13,9
10	50	6,6
10	100	12,3
10	140	16,7

Tabell 4.7 Korrektionsfaktor beroende på antal träskruvar som samverkar i förbandet.

Antal skruvar	2	4	8	12	16
Faktor	1,07	1,00	0,93	0,90	0,87

4.5.4 Dimensionering av spikningsplåtar i KL-trä

Infästningen av väggskiva i grund eller mellan väggskivor kan göras med hjälp av laskar av stålplåt. Laskar med varierande hålmönster, tjocklek och ytbehandling kan beställas av tillverkare som levererar stansade infästningar. Priset är oftast lägst om hålen stansas, vilket betyder att plåttjockleken inte får överskrida håldiametern. Hålen bör vara ungefär 1 mm större än fästdonets ytterdiameter.

Kontroll och dimensionering av stålplåtar

Den här typen av förband överför tryckande vertikalkraft med hjälp av kontakt mellan KL-träskivan och grunden. Den horisontella kraften $F_{E,y}$ och den eventuella vertikala dragkraften $F_{E,x}$ överförs av spikarna till stålplåten, som för dem vidare till grunden, se figur 4.32. För ingjutna plåtar eller för plåtar som är svetsade mot ingjutna svetsplåtar, betraktas oftast plåten som en fast inspänd konsol i grunden.

Följande brottmoder bör kontrolleras:

- skjuvning av spikinfästningen i KL-trä
- klossbrott, se Eurokod 5, bilaga A
- brott i stålplåten förorsakat av moment, normalkraft och tvärkraft (både bruttotvärsnitt och nettotvärsnitt)
- knäckning av stålplåt förorsakad av normalkraft.

Vid kontroll av skjuvning av spikinfästningen antas horisontalkraften och den eventuella vertikala dragkraften verka i spikgruppens tyngdpunkt. Den resulterande kraften F_E blir då enligt ekvation 4.9:

$$F_E = \sqrt{F_{E,x}^2 + F_{E,y}^2}$$

För att bestämma antalet spikar hämtas värden för bärförmågan per fästdon, $F_{v,Rd}$ enligt Eurokod 5 eller verifierade värden från tillverkare. För spikar med diameter mindre än 8 mm är bärförmågan densamma oberoende av kraftens riktning. Antalet spikar, n , kan då bestämmas enligt ekvation 4.10:

$$n = \frac{F_E}{F_{v,Rd}}$$

Om spikarnas centrumavstånd i fiberriktningen sätts till minst $14d$ behöver man inte begränsa det effektiva antalet spikar i en rad, se Eurokod 5, tabell 8.1. Om standardiserade spikningsplåtar används bestäms avståndet också av plåtens hålmönster.

Klossbrott i förband kan lämpligen kontrolleras enligt Eurokod 5, bilaga A. Om stålplåten belastas med en vertikal och en horisontell kraft, ger horisontalkraftens excentricitet upphov till ett böjmoment. I stålplåtens fast inspända tvärsnitt blir momentet:

$$M_E = F_{E,y} \cdot e_1$$

I hålraden med största påkänningen gäller:

$$M_E = F_{E,y} \cdot e_2$$

Spänningarna i stålplåtens olika snitt beräknas utgående från momentet och de vertikala och horisontella krafterna. Om stålplåten är tunn, kan det vara nödvändigt att kontrollera risken för knäckning av plåten. Om fästdonens avstånd i stålplåten utförs enligt rekommendationer behöver detta inte kontrolleras. Därför bör avståndet mellan hålen i lasken och dessutom mellan den första hålraden och grunden inte vara större än det minsta av $14t$ (t är plåttjockleken) eller 200 mm. Infästningen av lasken i grunden ska också kontrolleras.



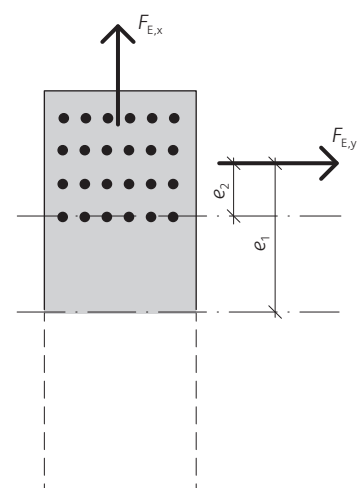
Innovativa förbandslösningar, här i form av X-RAD.

4.9

4.10

4.11

4.12



Figur 4.32 Infästning av KL-träväggskiva med laskar av stålplåt. Schematisk bild. Laskarna kan fästas med spikar eller träskruvar.



Underspänd takplatta av KL-trä,
Flyinge Ridhus, Lund.

Kontroll av stålplåtar

Kontroll av stålplåtar görs enligt Eurokod 3 – Dimensionering av stålkonstruktioner. Olika brott kan uppträda i stålplåten, drag-, tryck-, skjuv- och böjbrott, en kombination av dessa samt hållkantbrott men där hållkantbrott med normalt använda dimensioner är ovanligt.

För dragbrott i stålplåt kontrolleras hela tvärsnittet och nettotvärsnittet (del av tvärsnittet som återstår när hålen för fästdonen beaktas). Bärförmågan $N_{pl,Rd}$ för hela tvärsnittet kan beräknas enligt ekvation 4.13:

$$4.13 \quad N_{pl,Rd} = \frac{f_y \cdot A}{\gamma_{M0}}$$

Bärförmågan $N_{u,Rd}$ för nettotvärsnittet är:

$$4.14 \quad N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_{net}}{\gamma_{M2}}$$

$$4.15 \quad \gamma_{M2} = \max \left[1, 1; 0,9 \cdot \frac{f_u}{f_y} \right]$$

där:

- f_y är sträckgränsen för stålmaterialiet.
- f_u är brottgränsen för stålmaterialiet.
- A är tvärsnittets bruttoarea för stålplåten.
- A_{net} är tvärsnittets nettoarea för stålplåten (genom en hålrad).
- γ_{M0} är partialkoefficienten för materialet, 1,0.

Tryckbrott i stålplåten kontrolleras och bärförmågan vid tryck $N_{c,Rd}$ beräknas enligt ekvation 4.16:

$$4.16 \quad N_{c,Rd} = \frac{f_y \cdot A}{\gamma_{M0}}$$

där:

- f_y är sträckgränsen för stålmaterialiet.
- A är tvärsnittets bruttoarea för stålplåten.
- γ_{M0} är partialkoefficienten för materialet, 1,0.

Kontroll av buckling av stålplåten behöver inte göras om avståndet mellan fästdonen är mindre än a_1 och där a_1 kan skrivas som:

$$4.17 \quad a_1 \leq 9t \cdot \varepsilon = 9t \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

där:

- f_y är sträckgränsen för stålmaterialiet.
- t är stålplåtens tjocklek.
- ε är en dimensionslös faktor för bestämning av stålplåtens tvärsnittsklass.

Om avståndet mellan fästdonen är större än a_1 kontrolleras plåten genom att plåten betraktas som en tryckt pelare med knäcklängden $0,6a_1$.

Böjbrott i stålplåten kontrolleras och bärförmågan $M_{c,Rd}$ vid böjning då tvärsnittet blir fullständigt plastiskt beräknas enligt *ekvation 4.18*, för moment kring en tyngdpunktsaxel för ett tvärsnitt:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad 4.18$$

där:

- W_{pl} är det plastiska böjmotståndet för stålplåten.
- f_y är sträckgränsen för stålmaterialet.
- γ_{M0} är partialkoefficienten för materialet, 1,0.

För ett rektangulärt tvärsnitt fås:

$$W_{pl} = \frac{b \cdot h^2}{4} \quad 4.19$$

där:

- h är tvärsnittets höjd
- b är tvärsnittets bredd.

Hålens inverkan i den tryckta zonen behöver inte beaktas om hålen är fyllda med fästdon. I den dragna zonen behöver inte hålen beaktas så länge följande uppfylls:

$$\frac{A_{net} \cdot 0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad 4.20$$

$$\gamma_{M2} = \max \left[1,1; 0,9 \cdot \frac{f_u}{f_y} \right] \quad 4.21$$

där:

- f_y är sträckgränsen för stålmaterialet.
- f_u är brottgränsen för stålmaterialet.
- A är tvärsnittets bruttoarea för stålplåten.
- A_{net} är tvärsnittets nettoarea för stålplåten (genom en hålrad).
- γ_{M0} är partialkoefficienten för materialet, 1,0.

Skjuvbrott i stålplåten kontrolleras och tvärkraftsbärförmågan $V_{c,Rd}$ beräknas enligt *ekvation 4.22* om hela tvärsnittet blir fullständigt plastiskt:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad 4.22$$

där:

- f_y är sträckgränsen för stålmaterialet.
- A_v är tvärsnittets skjuvarea för stålplåten.
- γ_{M0} är partialkoefficienten för materialet, 1,0.

Brottkriterium enligt *ekvation 4.23* kan användas när stålplåten utsätts för samtidigt verkande normalkrafter och tvärkrafter:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) \leq 1 \quad 4.23$$



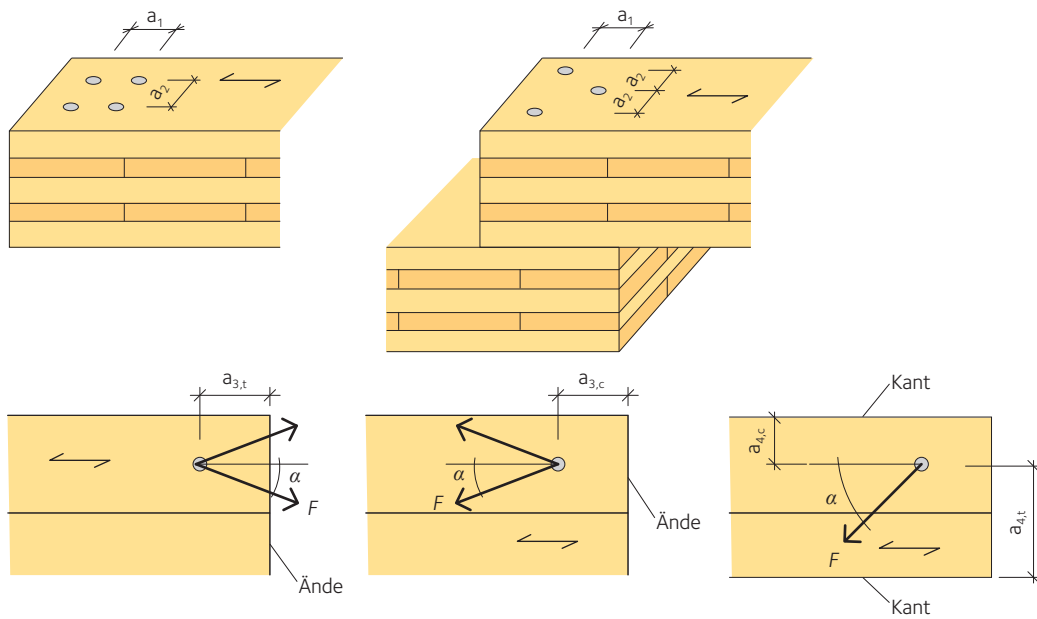
Trappor av KL-trä.

där:

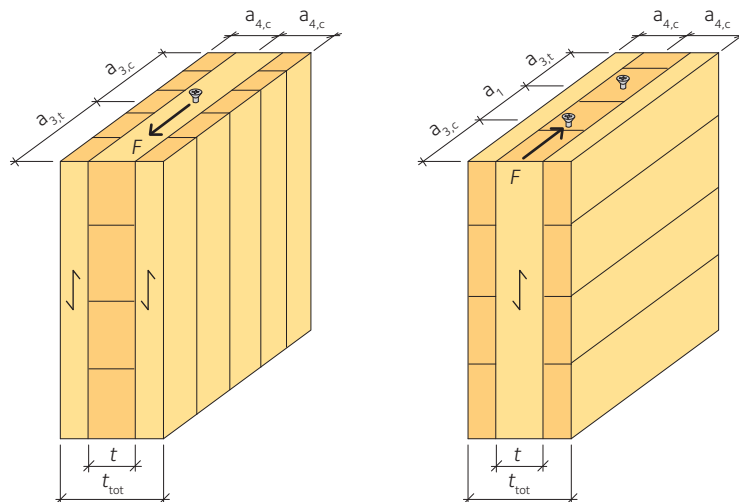
- $\sigma_{x,Ed}$ är dimensioneringsvärdet för normalspänningen i stålplåtens längdriktning.
- $\sigma_{y,Ed}$ är dimensioneringsvärdet för normalspänningen vinkelrätt mot stålplåtens längdriktning.
- τ_{Ed} är dimensioneringsvärdet för skjuvspänningen.
- f_y är sträckgränsen för stålmaterialiet.
- γ_{M0} är partialkoefficienten för materialet, 1,0.

4.5.5 Tillåtna centrumavstånd samt änd- och kantavstånd för spikar, träskruvar och dymlingar

För att man ska kunna utnyttja full bärförmåga och undvika fläkning måste vissa krav beträffande centrumavstånd samt änd- och kantavstånd för fästdon vara uppfyllda. Uppgifter om kantavstånd och centrumavstånd framgår av *tabell 4.8 – 4.11, sidan 89*, och *figur 4.33 – 4.34*. Angivna värden förutsätter att fiberriktning och kraftriktning i stort sett är parallella med eller vinkelräta mot förbandets systemlinjer.



Figur 4.33 Minsta centrumavstånd samt änd- och kantavstånd för spikar, träskruvar och dymlingar i KL-träskivans plan.



Figur 4.34 Minsta centrumavstånd samt änd- och kantavstånd för träskruvar i KL-träskivans kanter.

Tabell 4.8 Minsta centrumavstånd samt änd- och kantavstånd för självborrande träskruvar i KL-träskivans plan. Träskruvar med yttre gängdiameter ≥ 8 mm. Se figur 4.33, sidan 88.

	Beteckning	Avstånd
Centrumavstånd		
Parallellt med fiberriktningen	a_1	$4d$
Vinkelrätt mot fiberriktningen	a_2	$2,5d$
Änd-/kantavstånd		
Belastad ände	$a_{3,t}$	$6d$
Obelastad ände	$a_{3,c}$	$6d$
Belastad kant	$a_{4,t}$	$6d$
Obelastad kant	$a_{4,c}$	$2,5d$

Tabell 4.9 Minsta centrumavstånd samt änd- och kantavstånd för spikar och dymlingar i KL-träskivans plan och last parallellt med yttre brädsiktets fiberriktning. Beteckningar, se tabell 4.8. Se figur 4.33, sidan 88.

Fästdon	a_1	a_2	$a_{3,t}$	$a_{3,c}$	$a_{4,t}$	$a_{4,c}$
Spik	$(3+3 \cos\alpha)d$	$3d$	$(7+3 \cos\alpha)d$	$6d$	$(3+3 \cos\alpha)d$	$3d$
Dymling	$(3+3 \cos\alpha)d$	$4d$	$5d$	$4d \sin\alpha$ (min. $3d$)	$3d$	$3d$

α vinkel mellan lastriktning och yttre brädsiktets fiberriktning.

Tabell 4.10 Minsta centrumavstånd samt änd- och kantavstånd för självborrande träskruvar i KL-träskivans kanter med yttre gängdiameter ≥ 8 mm. Se figur 4.34, sidan 88.

	Beteckning	Avstånd
Centrumavstånd		
Parallellt med fiberriktningen	a_1	$10d$
Vinkelrätt mot fiberriktningen	a_2	$3d$
Änd-/kantavstånd		
Belastad ände, parallellt med fiberriktningen	$a_{3,t}$	$12d$
Obelastad ände, parallellt med fiberriktningen	$a_{3,c}$	$7d$
Belastad kant, vinkelrätt mot fiberriktningen	$a_{4,t}$	$12d$
Obelastad kant, vinkelrätt mot fiberriktningen	$a_{4,c}$	$5d$

Tabell 4.11 Minsta virkestjocklekar. Se figur 4.34, sidan 88.

Fästdon	Minsta tjocklek av belastat brädsikt t (mm)	Minsta totala skivtjocklek t_{tot} (mm)
Träskruv	$d > 8$ mm: $3d$ $d \leq 8$ mm: $2d$	$10d$
Dymling	$8d$	$6d$

Bjälklag

- 5.1 Bjälklag – översikt 91
 - 5.1.1 Plattbjälklag 91
 - 5.1.2 Kasset- och hålbjälklag 92
 - 5.1.3 Samverkansbjälklag 92
- 5.2 Deformationer 94
 - 5.2.1 Nedböjning hos bjälklag 94
 - 5.2.2 Lastkombinationer 96
 - 5.2.3 Beräkningsmetoder 96
- 5.3 Svikt och vibrationer 97
 - 5.3.1 Dämpning 98
 - 5.3.2 Beräkningsmetod 98
- 5.4 Brand 101
- 5.5 Ljud 101
- 5.6 Utförande och detaljlösningar 104
- 5.7 Beräkningsexempel 106
 - 5.7.1 Kontroll av bjälklag 106

Bjälklag och deras utformning har ofta stor betydelse för hur byggnaden och innemiljön upplevs. Utformningen av bjälklaget påverkar hela konstruktionens bärförmåga och stabilitet samt dess brand- och akustikegenskaper. Genom att dimensionera och utforma bjälklagen på rätt sätt kan man få tysta, stabila och komfortabla bjälklag. Med bjälklag av KL-trä menas bjälklag som till övervägande delen är uppbyggda av korslimmat trä. Bjälklag av KL-trä kan konstrueras på olika sätt och kan delas in i tre huvudkategorier:

- Plattbjälklag.
- Kasset- och hålbjälklag.
- Samverkansbjälklag.

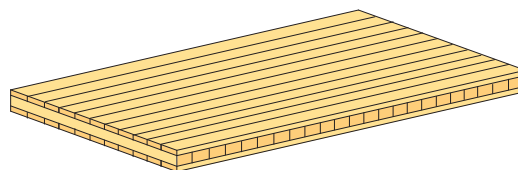
Plattbjälklag består av en KL-träplatta som om det krävs kompletteras med beklädnadsskivor och isolerande material. Kassetbjälklag består av en KL-träplatta som ges ökad styvhet med hjälp av ett antal balkliv. Hålbjälklag är ett bjälklag där en under- och ovanliggande KL-träplatta tillsammans med livbalkar skapar hålelement. Samverkansbjälklag av KL-trä består av KL-träplattor som samverkar med en pågjutning av betong. Alla typerna är lämpliga att förtillverka som element förutom



Flervåningshus, Sundbyberg.

samverkansbjälklag, där en större del av arbetet ofta görs på bygg- arbetsplatsen.

Dimensionering av träkonstruktioner kräver att projektören beaktar ett antal faktorer. Sådana faktorer är lastens varaktighet, klimatklass och lastens riktning i förhållande till fibrerna, vilket är extra viktigt då KL-trä är uppbyggt av brädlager i olika riktningar. Vid dimensionering av träförband är det också ytterst viktigt att konstruktören är väl förtrogen med materialets ortotropi och dess hygroskopiska egenskaper.



Figur 5.1 Plattbjälklag av KL-trä.

5.1 Bjälklag – översikt

Ett bjälklag är en huvudsakligen horisontellt bärande byggnadsdel som från antingen över- eller undersidan, eller från båda sidorna, avgränsar olika våningar i en byggnad. Bjälklag består av en bärande del som vanligtvis kompletteras med ytterligare avskiljande skikt och slutligen kompletteras med ytskikt i form av matta eller parkett och innertak. Bjälklaget ska dimensioneras för horisontella och vertikala laster, till exempel egentyngd, nyttig last, snölast och vindlast, var för sig eller i kombination. Likaså ska uppställda krav för deformationer, svikt och vibrationer uppfyllas. Bjälklaget ska även utformas så att det uppfyller kraven som ställs med avseende på brand, ljud och termisk isolerande förmåga. Bjälklag utförda med KL-träplattor kan betraktas som direkt yt bärande bjälklag då KL-träplattan i sig själv ger en bärande plan yta. Bjälklag kan finnas i olika former, bottenbjälklag, mellanbjälklag, lägenhetsskiljande bjälklag och takbjälklag.

5.1.1 Plattbjälklag

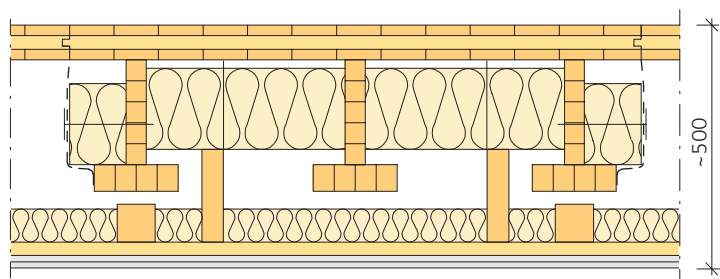
Plattbjälklag av KL-trä är den enklaste och vanligaste formen av bjälklag. Enbart KL-träplattan tar upp all last och fördelar den vidare till underliggande konstruktion. Plattans uppbyggnad med antal skikt och skiktjocklek bestäms utifrån de krav som ställs på slutresultatet. För att uppnå ljud- och brandkraven måste KL-träplattan oftast kompletteras med antingen under- eller överliggande konstruktioner eller ibland med både och.

KL-träplattans uppbyggnad med korslimmade brädor ger bjälklag med hög tvärstyvhet och små fuktbetingade rörelser. För bostäder och kontor kan spännvidder enligt tabell 5.1 förväntas. Dessa värden är avsedda att användas vid överslagsdimensionering och de utesluter inte att en beräkning måste göras.

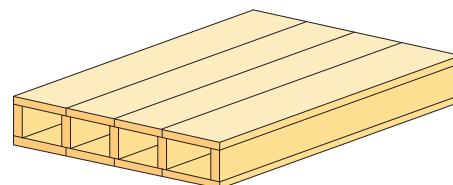
Tabell 5.1 Maximalt tillåtna spännvidder i bruksgränstillstånd för några olika bjälklagsplattor av KL-trä. Angivna spännvidder uppfyller nedböjningskravet $\leq L/300$ eller $\leq L/600$ och nedböjning < 20 mm samt egenfrekvens $f_1 > 8$ Hz. Egenvikt ingår för undertak och övergolv med totalt 25 kg/m^2 . Tabellen gäller för fritt upplagt bjälklag respektive kontinuerligt bjälklag över två fack i klimatklass 1.

Upplagsfall	Plattjocklek (mm)	Antal skikt (st)	Egenvikt (kg/m ²)	Maximal spännvidd (m)	
				L/300	L/600
	100	3	55	3,7	2,8
	140	5	90	4,2	3,2
	160	5	105	5,3	4,1
	100	3	55	3,9 ¹⁾	3,3
	140	5	90	4,5 ¹⁾	3,8
	160	5	105	5,2 ¹⁾	4,8

¹⁾ Svikt dimensionerande.



Figur 5.2 Exempel på kassetbjälklag, KL-träplatta förstärkt med livbalkar och flänsar av limträ samt med inhängt undertak.



Figur 5.3 Hålbjälklag

5.1.2 Kasset- och hålbjälklag

Genom att limma exempelvis limträbalkar på KL-träplattans undersida eller översida kan bjälklagen klara större laster och längre spannvidder. Bjälklagen är uppbyggda av en KL-träplatta med livbalkar med eller utan flänsar. För att uppnå ljud- och brandkraven måste träelementen oftast kompletteras. Hålrummen i bjälklaget kan till exempel fyllas med isolering och bjälklagens undersida kompletteras med fjädrande upphängt undertak av gipsskivor på en glespanel. Ännu bättre ljudtekniska lösningar kan uppnås om undertaket kan göras helt fritt från ovanliggande bjälklagsdel. I bjälklagens hålrum kan även rör och ledningar förläggas.

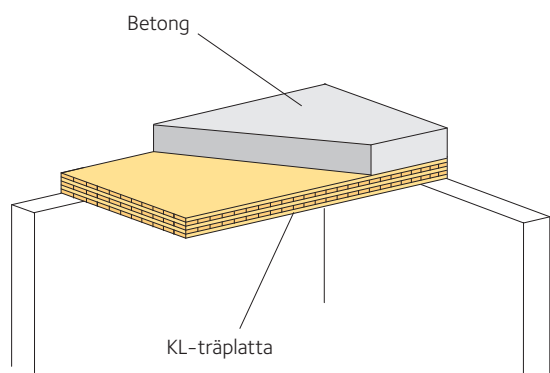
Hålbjälklag av KL-trä är bjälklagselement där över- och underliggande platta har sammanfogats med livbalkar och bildar ett hålrum. Hålbjälklagen kan utformas så att de klarar stora spannvidder och stora laster. Hålbjälklag av KL-trä har hittills använts i liten omfattning i Sverige.

5.1.3 Samverkansbjälklag

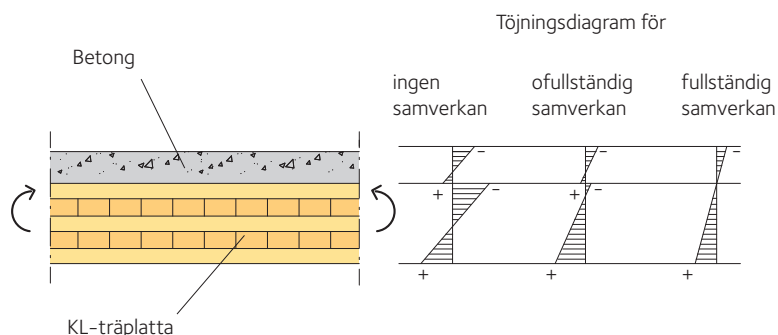
Sammansatt bjälklagselement av KL-trä och betong

Bjälklagstypen består huvudsakligen av två delar, nämligen en KL-träplatta på undersidan och en pågjuten betongplatta på ovasidan. Vanligtvis används någon form av skjuvförbindare för att sammanfoga trädelen med betongdelen och därmed öka konstruktionens böjstyvhet. Från statisk synpunkt är denna typ av konstruktion mycket effektiv då man utnyttjar materialens egenskaper på ett optimalt sätt, det vill säga betongens tryckhållfasthet och träets draghållfasthet. Böjstyvheten hos samverkansbjälklag är avsevärt högre än hos motsvarande träbjälklag med samma konstruktionshöjd. Detta innebär att större spannvidder kan byggas när trä används i samverkan med betong. Dessutom är de dynamiska egenskaperna i regel bättre hos samverkansbjälklag än hos motsvarande träbjälklag, på grund av att dämpningen ofta är mycket större hos det förstnämnda.

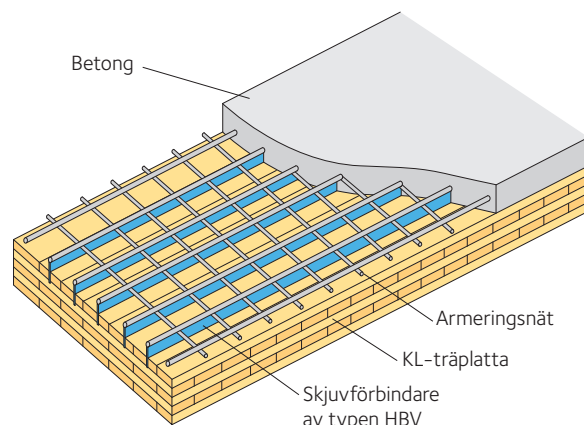
En annan positiv aspekt hos denna typ av konstruktion utgörs av betongplattans styvhet i bjälklagets plan, vilket gör att horisontella laster orsakade av exempelvis vind, kan fördelas jämnt över de vertikala bärande elementen såsom pelare och väggar. Även akustiken i samverkansbjälklag blir ofta bättre än i traditionella träbjälklag.



Figur 5.4 Samverkansbjälklag med två delar, schematiskt.



Figur 5.5 Töjningsdiagram av sammansatt bjälklag med varierande samverkansgrad. Töjningarna som visas i figuren är orsakade av endast böjmoment.



Figur 5.6 Samverkansbjälklag av KL-träplatta och betong med skjuvförbindare av typen HBV, Holz-Beton-Verbund.

Sammansatta bjälklagselement med ofullständig samverkan

I allmänhet är det ofta svårt att åstadkomma fullständig samverkan mellan trä och betong. I detta avsnitt beskrivs kortfattat sammansatta element med ofullständig samverkan, det vill säga där överföringen av tvärkrafter mellan trä- och betongdelen ger upphov till icke försumbar glidning i fogen. *Figur 5.4, se sidan 92*, visar en del av ett fritt upplagt bjälklag som är uppbyggt av två delar, en KL-träplatta och en betongplatta, med ofullständig samverkan.

I *figur 5.5* framgår att i det deformerade tillståndet har en förskjutning skett i fogen mellan delarna. Förskjutningen varierar från noll vid mittspannet till ett största värde vid upplagen. Förskjutningen ger upphov till krafter i de skjuvförbindare som sammanfogar de två delarna av bjälklaget. Vid tillräckligt stort antal skjuvförbindare och/eller vid valet av skjuvförbindare med mycket hög skjuvstyvhet, blir glidningen mellan trä och betong försumbar, vilket innebär att full samverkan mellan materialen kan antas vid dimensioneringen av bjälklaget. Å andra sidan, när antalet skjuvförbindare är mycket litet och dess skjuvstyvhet låg, kan glidningen mellan de två materialen ske nästintill obehindrat, vilket innebär att ingen samverkan alls får antas vid dimensioneringen av bjälklaget. I normala fall är skjuvförbindarnas skjuvstyvhet varken oändlig eller noll, utan den hamnar någonstans däremellan, så kallad ofullständig samverkan, *se figur 5.5*.

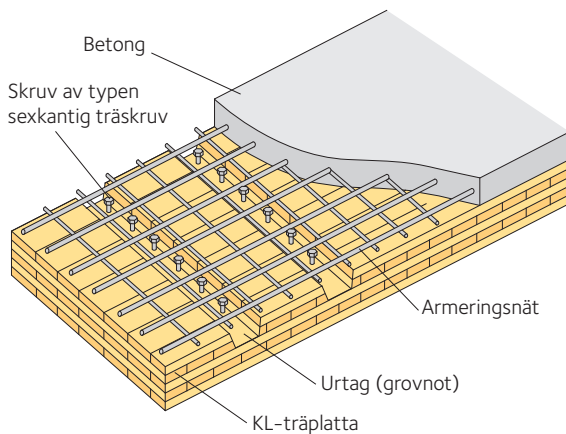
Skjuvförbindarna har avgörande betydelse för bjälklagets funktion. Valet av skjuvförbindare bör vara en kompromiss mellan effektivitet och ekonomi: skjuvförbindaren ska vara så styv som möjligt och samtidigt enkel och snabb att installera. Det finns en rad skjuvförband som uppfyller dessa krav mer eller mindre bra. Bland dessa kan nämnas:

- Skjuvförband med hålblåt.
- Skjuvförband med speciella skruvar.
- Skjuvförband via urtag/grovnöt i KL-träplattans ovansida.

Skjuvförbindare av typen HBV, Holz-Beton-Verbund, består av en speciell stålplåt av typen "stretched net steel plate", som placeras i längsgående slitsar i träelementets ovankant. Det vanligaste är att hålblåtarna limmas fast i KL-träplattan med polyuretan- eller epoxilim, *se figur 5.6*.



Princip för samverkan mellan trä och betong med skjuvförbindare av typen HBV, Holz-Beton-Verbund.



Figur 5.7 Samverkansbjälklag av KL-träplatta och betong där samverkan erhålls genom urtag i KL-träplattans ovankant.

Ett annat enkelt sätt att få god samverkan mellan trä och betong är genom att skapa urtag i KL-träplattans ovankant, så kallad grovnöt. I samband med detta utförande brukar man ibland även dra in några enstaka träskruvar i plattans urtag. Träskruvarnas huvudsyfte är att ta upp eventuell dragkraft som uppträder mellan trä- och betongdelen, när man belastar bjälklaget, se figur 5.7.

Dimensionering av samverkansbjälklag: principer och tumregler

Samverkansbjälklag av KL-träplatta och betong lämpar sig för spännvidder inom intervallet 6 – 12 m. Den totala tvärsnittshöjden h_{tot} kan preliminärt beräknas till $h_{\text{tot}} \approx L/25$, där L är bjälklagets spännvidd. Betongplattans tjocklek h_b väljs normalt till $h_b \approx 0,4 \times h_{\text{tot}}$, därmed blir KL-träplattans tjocklek $h_{\text{KL.T}} \approx 0,6 \times h_{\text{tot}}$. Vid preliminär dimensionering av bjälklaget, där kontrollen av de dynamiska egenskaperna ofta är avgörande, kan man anta att samverkanegraden är cirka 85 procent respektive 70 procent vid användning av skjuvförbindare enligt figur 5.6, sidan 93, respektive figur 5.7. Med andra ord antar man att det aktuella sammansatta bjälklaget har en effektiv böjstyvhet som är cirka 85 procent respektive cirka 70 procent av böjstyvheten hos ett motsvarande bjälklag där full samverkan råder – beroende på valet av skjuvförband.

Dimensioneringen i brottgränstillståndet utförs allt som oftast i två steg. I det första steget beräknas tvärsnittsegenskaperna och motsvarande spänningar i trä och i betong, med nyttjande av elasticitetsmoduler för korttidsbelastning.

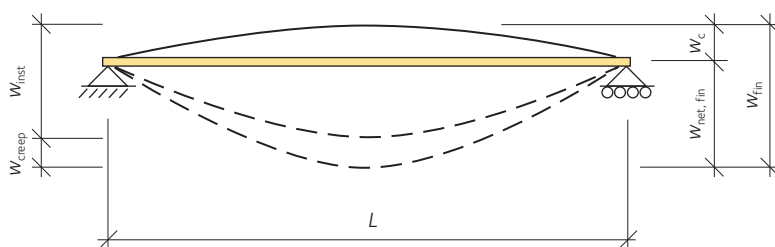
I det andra steget kontrolleras tvärsnittet med hänsyn till materialens långtidsegenskaper. Därvid tar man hänsyn till att krypningen i betongen i regel är större än i träet, vilket innebär att lastupptagningsmekanismen i det sammansatta bjälklaget förändras under långtidsbelastning, med konsekvent ”avlastning” på betongdelen och motsvarande ”pålastning” på trädelen. Med andra ord, vid en viss tvärsnitt i bjälklaget och efter en viss tids belastning, minskar böjspänningarna i betongen samtidigt som motsvarande böjspänningar i träet blir större. Man tar hänsyn till långtidseffekter genom att reducera E-modulerna med tillhörande krypkoefficienter som anges i Eurokod 2 och Eurokod 5, för betong respektive trä. Oftast är detta steg avgörande för dimensioneringen i brottgränstillståndet.

5.2 Deformationer

5.2.1 Nedböjning hos bjälklag

KL-trä som används till lägenhetsskiljande bjälklag dimensioneras enligt gällande nationell norm. Bruksgränstillståndet är vanligtvis dimensionerande för bjälklag av KL-trä vid normalt förekommande laster i bostäder och kontor. Utnyttjandegraden med avseende på bärförmågan för bjälklag är vanligtvis lägre än 50 procent. Vid dimensionering i bruksgränstillståndet bör deformationer, svikt och vibrationer beaktas. KL-träplattan bör betraktas som en ortotrop platta med olika styrke- och styvhetssegenskaper i båda riktningarna.

För de flesta konstruktioner består lasten av en permanent del G och en variabel del Q . För träkonstruktioner, där de variabla lasterna dominerar, varierar nedböjningen under konstruktionens livslängd.



Figur 5.8 Definitioner av nedböjning.

w_{inst} är momentan nedböjning.

w_{creep} är nedböjning orsakad av krypning.

w_c är eventuell överhöjning.

w_{fin} är slutlig nedböjning.

$w_{net,fin}$ är slutlig nettonedböjning.



Industrihotell med KL-trästomme, Älta.

För en byggnadsdel som är belastad med en konstant last under sin livslängd bestäms nedböjningen utifrån initialnedböjningen, w_{inst} , av materialets krypning, w_{creep} , och av deformationsfaktorn, k_{def} som bestäms av trämaterialiets fuktkvot och fuktkvotens variation.

$$w_{creep} = k_{def} w_{inst} \quad 5.1$$

Den slutliga deformationen kan då för permanenta laster skrivas som:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} + w_{creep,G} = w_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad 5.2$$

och för variabla laster:

$$w_{fin,Q_i} = w_{inst,Q_i} + w_{creep,Q_i} = w_{inst,Q_i} (1 + \psi_{2,i} k_{def}) \quad 5.3$$

Eftersom krypningen beror på tidsperioden som lasten kommer att vara verksam, har faktorn ψ_2 introducerats för att man ska kunna beskriva denna effekt. För bjälklag används vanligtvis klimatklass 1 ($k_{def} = 0,8$ eller $0,85$) och kvasipermanent värde för variabla laster.

Specificerad nedböjningsgräns kan väljas utifrån funktionella krav eller av visuella orsaker. Erfarenhetsmässigt har det visat sig att nedböjningskravet $L/300$ ($w_{net,fin}$) är ett lägsta acceptabelt värde med liten marginal på säkra sidan för bostäder och lokaler. Vid dimensionering av bjälklag i lagerutrymmen och liknande är det emellertid ofta acceptabelt att tillåta nedböjningar i storleksordningen $L/200 - L/150$ ($w_{net,fin}$). I tabell 5.2 visas rekommenderade nedböjningskriterier. Mer information om nedböjningsgränser ges i exempelvis tabell 6.1 i *Limträhandbok Del 2*.

Tabell 5.2 Exempel på nedböjningsgränser för olika lastkombinationer.

Konstruktionsdel	w_{inst}	$w_{net,fin}$	w_{fin}
Rekommendationer enligt Eurokod 5			
Balk på två stöd (max 20 mm)	$L/300-L/500$	$L/250-L/350$	$L/150-L/300$
Rekommendationer som grundar sig på litteratur och erfarenhet			
Golvbjälklag (max 20 mm)	$L/400-L/600$	$L/300$	$L/200-L/250$



Parkeringshus av limträ och KL-trä, Skellefteå.

5.2.2 Lastkombinationer

Vid deformationsberäkningar ska kontroll göras utifrån de laster som förväntas gälla för konstruktionen. För bjälklag är det vanligtvis tre olika lastkombinationer som kan vara aktuella: karakteristisk, frekvent och kvasipermanent kombination. Lastkombinationer som vanligtvis används anges i *ekvationerna* 5.4, 5.5 och 5.6.

Karakteristisk kombination används normalt när korttidsdeformationer, w_{inst} , beräknas:

$$5.4 \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Frekvent kombination används för att uppskatta reversibla effekter:

$$5.5 \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kvasipermanent kombination används för att bestämma långtidsverkan i form av krypning på den slutliga deformationen:

$$5.6 \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

där:

$G_{k,j}$	är lasteffekter av permanenta laster.
$Q_{k,1}$	är variabel huvudlast.
$\psi_{0,i}, \psi_{1,1}, \psi_{2,i}$	är lastkombinationsfaktorer.
$Q_{k,i}$	är övriga variabla laster.

5.2.3 Beräkningsmetoder

Nedböjningsberäkningarna för bjälklag görs med ett antal lastkombinationer och i många fall underlättar datorstödd dimensionering möjligheten att bestämma konstruktionens deformationer. Den enklaste metoden för att beräkna ett plattbjälklags nedböjning på grund av egentyngd och yttre last är att betrakta plattan som strimlor upplagda på två stöd.

Beräkning av bjälklagsplattans nedböjning kan då göras utifrån pålagt moment. Om förhållandet mellan spännvidden, L , och KL-träplattans tjocklek, $h_{KL,T}$, är mindre än 10 ska större hänsyn tas till skjuvdeformationen.

För ett bjälklag som är fritt upplagt på två stöd kan nedböjningen i mitten av spannet på grund av böjmoment beräknas enligt *ekvation* 5.7:

$$5.7 \quad w_m = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

där:

q	är jämnt fördelad last.
L	är bjälklagets spännvidd.
E	är bjälklagets elasticitetsmodul, se <i>avsnitt</i> 3.3.1, <i>sidan</i> 40.
I	är bjälklagets tröghetsmoment, se <i>tabell</i> 3.9, <i>sidan</i> 41.

Nedböjningen av ett momentbelastat bjälklag eller platta fås förutom av böjmoment även av tvärkrafter. Skjuvdeformationens andel är beroende av plattans elasticitetsmodul E , plattans skjuvmodul G och förhållandet mellan plattans tjocklek $h_{KL,T}$ och spännvidden L . För KL-träplattor är förhållandet E/G ungefär 15 – 30 och i praktiken

brukar h_{KLT}/L vara mellan 0,02 – 0,04, vilket leder till en skjuvdeformation mellan 5 – 20 procent av böjdeformationen.

Skjuvdeformationens bidrag w_s till den totala deformationen kan beräknas enligt *ekvation 5.8*:

$$w_s = \frac{\beta \cdot M}{b \cdot h_{\text{KLT}} \cdot G}$$

där:

- β kan sättas till 1,2 för rektangulära tvärsnitt.
- M är böjande moment.
- b är plattans bredd.
- h_{KLT} är plattans tjocklek.
- G är hela tvärsnittets skjuvmodul.

5.3 Svikt och vibrationer

Dynamiska effekter som uppkommer till exempel när människor går på ett golv påverkar vår upplevelse av konstruktionens kvalitet. Golvbjälklagets funktion påverkas av en mängd olika faktorer såsom golvbjälklagets massa, spännvidd, styvhet, lastfördelning och upplag. Bjälklag av KL-trä kan vara än mer fördelaktiga då bjälklagen till viss del kan betraktas som firsidigt upplagda plattor och därmed fördela de dynamiska lasterna i sidled, vilket kan dämpa de vibrationer som uppkommer.

Vibrationer förorsakade av människor är ett problem som uppkommer i bruksskedet. Personer som går omkring på ett golv tolererar ofta större vibrationer än personer som sitter stilla, som läser eller skriver. Vibrationer kan upplevas av den som förorsakar dem, medan i andra fall kan det vara andra människors aktivitet som förorsakar vibrationerna. Vibrationer kan därför indelas enligt följande definitioner:

- Golvsvikt beskriver upplevelsen av den självvållade vibrationen eller nedböjningen av golvet förorsakad av en enskild rörelse.
- Svängningar beskriver hur en person upplever golvet vibration förorsakad av andra människor.

Golvsvikt är vanligen problem endast för lätta golvkonstruktioner och sådana som deformeras under en koncentrerad last. Sådana golv är vanliga i lätta konstruktioner med trästomme och i andra byggnader med golvbjälklag av trä. I termer av responsen för ett golvsystem omfattar golvsvikt statisk nedböjning och impulshastighetsrespons, medan störande svängningar omfattar impulshastighetsrespons och stationär vibrationsrespons.

En metod för beaktande av vibrationer är så kallad frekvensavstämning. Metoden går ut på att verifiera att konstruktionens lägsta egenfrekvens, med största energin, är högre än exciteringsfrekvensen, det vill säga att undvika att belastningen sammanfaller med responsfrekvenserna. Praktiskt görs detta bland annat genom ökning av styvhet, minskning av massa eller minskning av spännvidden. Det är vanligtvis enklare att öka konstruktionsmaterialens förhållande mellan hållfasthet och massa, än att öka förhållandet mellan styvhet och massa. Alternativt kan dämpningen i bjälklaget ökas. Det är dock oftast ett komplicerat och dyrt alternativ.

Det är också viktigt att observera att bjälklagsplattor kan överföra vibrationer mellan olika rum. Vid användning av kontinuerliga plattor överförs vibrationerna från ett rum till ett annat och detta kan

5.8



Takbjälklag av limträ och KL-trä.



Flervåningshus, Bergen.

upplevas som störande, även om några problem inte upplevs i det rum där vibrationerna har sitt upphov. Vibrationer från ett intilliggande rum upplevs ofta mera irriterande än om vibrationskällan är i samma rum.

5.3.1 Dämpning

För träbjälklag bör relativ dämpning enligt Eurokod 5 antas till 1 procent, såvida inte andra värden påvisats vara lämpligare. Den relativa dämpningen för en KL-träplatta kan därför uppskattas till cirka 1 procent. Det är en fördel att uppnå ett så högt värde som möjligt för att minska risken för obehag. Det finns relativt få undersökningar kring dämpning hos KL-träbjälklag, men erfarenheter visar att dämpningen troligen är högre för det färdiga bjälklaget, *se tabell 5.3*.

Tabell 5.3 Förslag på värden för relativ dämpning hos olika bjälklag av trä och av KL-trä.

Material och uppbyggnad	Relativ dämpning
Träbjälklag utan flytande pågjutning	1,0 procent
Limmat brädstapelbjälklag med flytande pågjutning	2,0 procent
Träbjälklag och spikat brädstapelbjälklag med flytande pågjutning	3,0 procent
KL-träbjälklag med eller utan lättare överbyggnad, tvåsidigt upplagt	2,5 procent
KL-träbjälklag med tung flytande pågjutning, tvåsidigt upplagt eller upplagt på stålbalkar eller punktvis	2,5 procent
KL-träbjälklag med flytande pågjutning, fyrsidigt upplagt	3,5 procent
KL-träbjälklag med flytande pågjutning, fyrsidigt upplagt på träväggar	4,0 procent

5.3.2 Beräkningsmetod

Ett KL-träbjälklag kan betraktas som en tvådimensionell tunn platta. I många fall är plattans statiska styvhetsgenskaper tillräckliga för att uppnå ett tillfredsställande beteende med avseende på vibrationer. De viktigaste faktorerna som bestämmer bjälklagets kvalitet är lastens frekvensområde och storlek samt bjälklagets egentyngd, styvhet och dämpning. Bjälklagplattor av KL-trä har oftast större egentyngd än traditionella träbjälklag med bjälkar. En KL-träplatta kan betraktas som en ortotrop platta med olika styvheter i respektive bärriktning.

Ett KL-träbjälklag kan förenklat dimensioneras enligt balkteori. I Eurokod 5 ges en förenklad metod för att bedöma ett bjälklags svängningsbenägenhet. Metoden innebär att den statiska nedböjningen beräknas för ett träbjälklag under inverkan av en punktlast som är 1 kN och som simulerar ett fotsteg. Lasten verkar i mitten av en fritt upplagd balk och nedböjningen får inte överskrida ett visst värde. Dimensionering och kontroll av KL-träbjälklagsplattor till bostadsbjälklag kan schematiskt utföras enligt Eurokod 5:

- Bestäm egenfrekvensen. Om egenfrekvensen är lägre än 8 Hz krävs en särskild utredning, om den är högre utförs beräkningar enligt nedan.
- Bestäm önskad kvalitet på bjälklaget genom att bestämma gränsvärden för *a* och *b*, *se figur 5.9, sidan 99*.

- Kontrollera styvheten genom att beräkna nedböjningen, w , för en punktlast, F , av 1 kN och jämför med rekommenderat värde enligt *ekvation 5.9*:

$$\frac{w}{F} \leq a \quad [\text{mm/kN}] \quad 5.9$$

där w är den maximala vertikala momentana nedböjningen av en vertikal koncentrerad statisk kraft F .

- Kontrollera impulshastighetsresponsen v gentemot vald bjälklagskvalitet enligt *ekvation 5.10*:

$$v \leq b^{(f_1^2 - 1)} \quad [\text{m}/(\text{Ns}^2)] \quad 5.10$$

där:

v är bjälklagets impulshastighetsrespons, vilken kan beräknas enligt *ekvation 5.15*, *sidan 100*, för ett rektangulärt bjälklag. Det är den maximala vertikala initialhastigheten i m/s till följd av en ideal stöt med storleken 1 Ns anbringad där den ger störst verkan. Från vibrationskomponenter över 40 Hz får bortses.

ζ är relativ dämpning, *se tabell 5.3*, *sidan 98*.

f_1 är första egenfrekvensen, kan beräknas enligt *ekvation 5.14*, *sidan 100*.

b är en faktor satt till 100 m/(Ns²).

Nedböjningskriteriet i denna relativt enkla metod varierar i olika bestämmelser och handböcker.

Den statiska lasten som simulerar kraft vid gång är 1 kN och verkar mitt på bjälklaget. Nedböjningen, a , bör inte överskrida ett visst värde och kvaliteten på bjälklaget bestäms utifrån kraven. För svenska förhållanden har Boverket valt följande rekommendationer:

$a = 1,5 \text{ mm/kN}$ och $b = 100 \text{ m}/(\text{Ns}^2)$. En del studier och praxis tyder dock på att värdet på a kan behöva skärpas för träbjälklag i vissa sammanhang.

Människor är känsliga för vibrationer under 8 Hz och för att undvika störande vibrationer bör bjälklagens egenfrekvens inte understiga detta värde. Men även vibrationer över 8 Hz kan vara störande. Impulshastighetsrespons är en faktor som säger något om hur störande det är. Vilken impulshastighetsrespons som kan tillåtas beror på bjälklagets egenfrekvens och dämpning, den ska dock vara så låg som möjligt. För KL-träbjälklag som dimensioneras för kraven att nedböjning $\leq L/300$ och egenfrekvens $f_1 > 8 \text{ Hz}$ kommer impulshastighetsresponsen att vara inom det område som upplevs positivt från svikt- och vibrationssynpunkt.

Beräkning av nedböjning

Nedböjningen av en punktlast som placeras mitt på en 1 m bred plattstrimla som betraktas som en balk kan beräknas enligt *ekvation 5.11*:

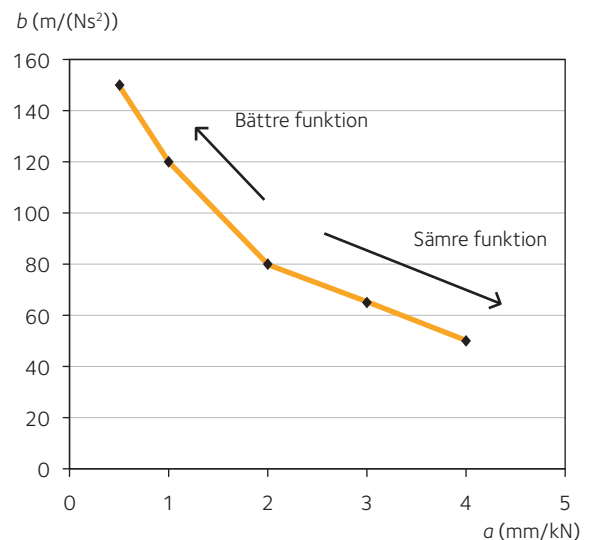
$$w = \frac{PL^3}{48EI} \quad 5.11$$

där:

w är beräknad nedböjning för punktlasten P .

L är bjälklagets spännvidd.

EI är bjälklagets böjstyvhet.



Figur 5.9 Rekommenderade gränsvärden a och b och rekommenderat samband mellan a och b enligt Eurokod 5.



Sommarhus, Skellefteå.

Ekvation 5.11, sidan 99 ger värdet på nedböjningen vid bärning i en riktning. En KL-träplatta har dock två bärriktningar och styvheten i bjälklagets båda riktningar kan därför användas och nedböjningen bestäms enligt ekvation 5.12:

$$5.12 \quad w = \frac{PL^3}{48 \cdot (EI)_L \cdot B_{ef}}$$

där B_{ef} är en lastfördelningsfaktor som kan beräknas enligt ekvation 5.13:

$$5.13 \quad B_{ef} = \frac{L}{1,1} \sqrt{\frac{(EI)_B}{(EI)_L}}$$

där:

- $(EI)_L$ är böjstyvheten i bjälklagets styvaste riktning.
- $(EI)_B$ är böjstyvheten vinkelrätt mot styvaste riktningen.
- L är längden i styvaste riktningen.

Beräkning av egenfrekvens, f_1

Den lägsta egenfrekvensen för ett golvbjälklag som betraktas som en balk beräknas vanligtvis enligt ekvation 5.14:

$$5.14 \quad f_1 = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}}$$

där:

- f_1 är lägsta egenfrekvensen.
- L är bjälklagets spännvidd.
- $(EI)_L$ är böjstyvheten i bjälklagets styvaste riktning.
- m är bjälklagets massa per meter.

Beräkning av impulshastighetsresponsen

För ett rektangulärt bjälklag med måtten $B \times L$, fritt upplagt längs sina fyra sidor får v skattas enligt ekvation 5.15:

$$5.15 \quad v = \frac{4(0,4 + 0,6n_{40})}{mBL + 200}$$

där:

- v är impulshastighetsresponsen, [m/Ns²].
- B är bjälklagets bredd, [m].
- L är bjälklagets spännvidd, [m].
- m är bjälklagets massa per ytenhet, [kg/m²].
- n_{40} är antalet första ordningens noder av egenfrekvenser upp till 40 Hz och beräknas enligt:

$$5.16 \quad n_{40} = \left[\left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{B}{L} \right)^4 \left(\frac{(EI)_L}{(EI)_B} \right) \right]^{0,25}$$

där:

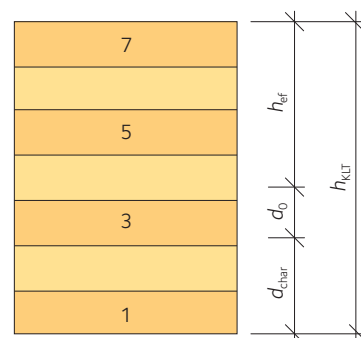
- $(EI)_L$ är böjstyvheten i bjälklagets styvaste längdriktning [Nm²/m].
- $(EI)_B$ är böjstyvheten vinkelrätt mot styvaste riktningen [Nm²/m],
- $(EI)_B < (EI)_L$.

5.4 Brand

För att uppnå den brandklass som eftersträvas är det viktigt att materialval och montage utförs på rätt sätt. Genom att komplettera bjälklagsplattan dikt an med gipsskivor eller nedpendlat undertak och/eller övergolv kan olika brandkrav nås. Det finns ett antal olika utföranden av undertak, exempelvis tunga, lätta, isolerande och/eller absorberande. Undertaken kan vara stelt infästa, fjädrande upphängda eller fribärande. I bostäder används ofta fasta, icke öppningsbara undertak. De består vanligtvis av en eller två gipsskivor på glespanel och isolering. De kan antingen platsbyggas eller levereras prefabricerade. De har en bärande stomme som ofta är fylld med isolering och delar av installationerna kan fås förmonterade. Leveransen till byggarbetsplatsen bör ske samtidigt som bjälklagen. I bostäder görs undertaket ibland fribärande eftersom spännvidderna är mindre och innerväggarna kan användas som upplag.

Bjälklag uppbyggda med KL-träplattor med eller utan ytterligare beklädnad på undersidan och utsatta för brand förlorar sin bärförmåga vid olika tidpunkter. Bjälklagets återstående bärförmåga bestäms av återstående effektivt tvärsnitt, h_{ef} . Effektivt tvärsnitt bestäms av kolskiktets, d_{char} , utveckling och icke lastupptagande skikt under kolskiktet, d_o .

I kapitel 7, *KL-trä och brand*, se sidan 133, presenteras underlag för beräkningar av ett flertal olika tvärsnittsuppbyggnader.



Figur 5.10 Effektivt tvärsnitt, h_{ef} , kolskikt, d_{char} och icke lastupptagande skikt, d_o för ett tvärsnitt påverkat av brand.

5.5 Ljud

För att ljudegenskaper ska uppfylla de krav som ställs är det viktigt att materialval och montage utförs på rätt sätt. Undertak används för att förbättra ljudisoleringen mellan olika delar i en byggnad men även för att dölja installationer för el, ventilation, vatten och sanitetsledning. Genom att komplettera bjälklagsplattan med gipsskivor, undertak och/eller övergolv kan olika ljudkrav uppfyllas.

Komplettering med övergolv kan utföras med regelkonstruktioner och golvschivor alternativt med övergolv av betong. Uppbyggnaden beror på vilka krav som ska uppfyllas. Generellt fås en något lägre bygghöjd med betongalternativet medan bjälklagets vikt blir högre. Båda alternativen kan användas till bostadsbjälklag respektive bjälklag i kontorsbyggnader. Vilket alternativ som bör väljas är objektsberoende och valet kan göras genom att väga alternativens för- och nackdelar mot varandra.

Det finns många olika typer av undertak, exempelvis tunga, lätta, isolerande och/eller absorberande. Dessa kan vara stelt infästa, fjädrande upphängda eller fribärande. Fribärande undertak ger bäst ljudisolering. Med fjädrande upphängt undertak kan ljudisoleringen bli acceptabel, men sämre än för det fribärande undertaket. För bland annat kontorsmiljöer är upphängt undertak dock att föredra på grund av långa spännvidder.

I bostäder används vanligtvis tyngre, fasta, icke öppningsbara undertak. De består oftast av en eller två gipsskivor på glespanel och isolering. De kan antingen platsbyggas eller levereras som prefabricerade planelement.

I bostadshus görs planelementen normalt fribärande eftersom spännvidderna är mindre och innerväggarna kan användas som upplag för kassetterna. Under montagetiden fram till dess att innerväggarna monteras, vilar planelementen på provisoriska upplag, så kallade stämp.

I kontorsmiljöer används vanligtvis lätta öppningsbara undertak som platsbyggs sedan all ledningsdragning ovan undertaket är utförd. Dessa undertak är vanligtvis endast absorberande, men även absorberande och isolerande typer förekommer. I tabell 5.4 presenteras ljudvärden för några utföranden på undertak och/eller övergolv tillsammans med plattbjälklag. L anger stegljudsnivå och D luftljudsisolering. För stegljudsnivå eftersträvas ett så lågt värde som möjligt och för luftljudsisolering eftersträvas ett så högt värde som möjligt. Angivna ljudvärden är i dB och värden inom parentes avser anpassningstermen $C_{1,50-2500}$ respektive $C_{50-3150}$. Se även tabell 8.14, sidan 153.

Tabell 5.4 Ljudvärden för olika typer av bjälklag med KL-träplattor. I tabellen framgår även vilka ljudklasser (A – D) som kan förväntas uppnås för olika bjälklagsuppbyggnader. Värden samt klasser ska betraktas som ungefärliga och ytterligare kompletteringar kan komma att krävas för att uppnå dem. Bidrag från flanktransmission måste också beaktas.

Bjälklagstyp	Material (mm)	Total höjd (mm)	Vikt (kg/m ²)	Vertikal ljudisolering (dB)	
				Stegljudsnivå, L	Luftljudsisolering, D
	Bjälklag typ 1 110 KL-träplatta 220 fasta regler 2 x 95 isolering 34 glespanel 2 x 13 gipsskiva	390	92	63 (+7)	56 (-6)
		Bostäder ljudklass ²⁾		–	D
		Kontor ljudklass ³⁾		–	A
	Bjälklag typ 2 80 betong 30 stegljudsmatta, dynamisk styvhet ≤ 9 MN/m ³ 200 KL-träplatta	310	270	52 (+5)	63 (-8)
		Bostäder ljudklass ²⁾		C	C
		Kontor ljudklass ³⁾		A	A
	Bjälklag typ 3 80 betong 30 stegljudsmatta, dynamisk styvhet ≤ 9 MN/m ³ 200 KL-träplatta 120 pendlade undertaksreglar 80 isolering 2 x 15 brandgipsskiva, densitet ≥ 1050 kg/m ³	460	310	33 (+17)	79 (-14)
		Bostäder ljudklass ²⁾		B	A
		Kontor ljudklass ³⁾		A	A
	Bjälklag typ 4 80 betong 30 stegljudsmatta, dynamisk styvhet ≤ 12 MN/m ³ 30 stegljudsmatta, dynamisk styvhet ≤ 12 MN/m ³ 120 tvättad singel 200 KL-träplatta 2 x 15 brandgipsskiva, densitet ≥ 1050 kg/m ³	490	480	40 (+4)	75 (-7)
		Bostäder ljudklass ²⁾		A	A
		Kontor ljudklass ³⁾		A	A

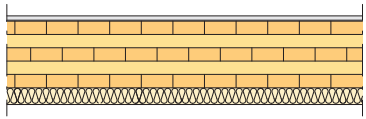
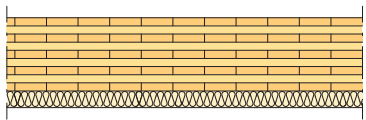
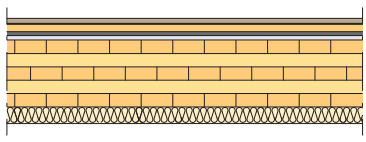
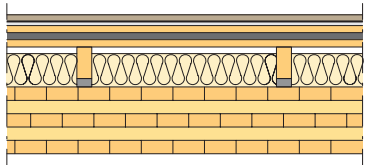
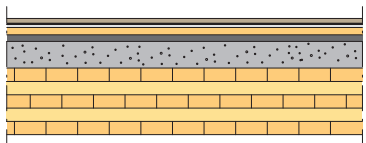
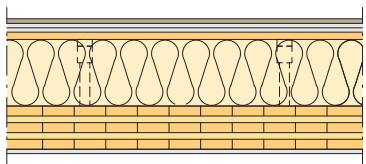
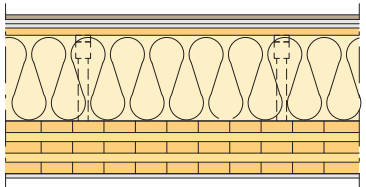
¹⁾ Värde saknas.

²⁾ Utrymme utanför bostaden till utrymme i bostaden.

³⁾ Från utrymme till utrymme för enskilt arbete eller samtal.

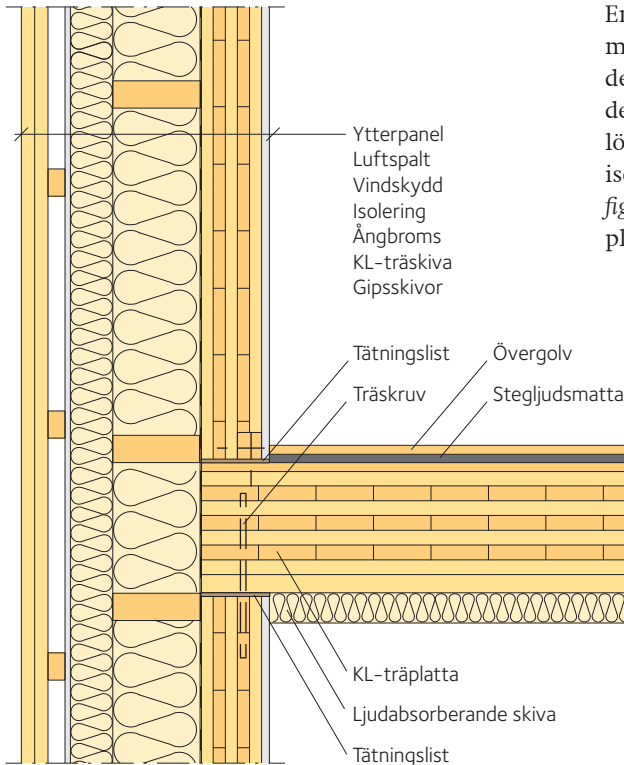
Forts >>>

Forts >>>

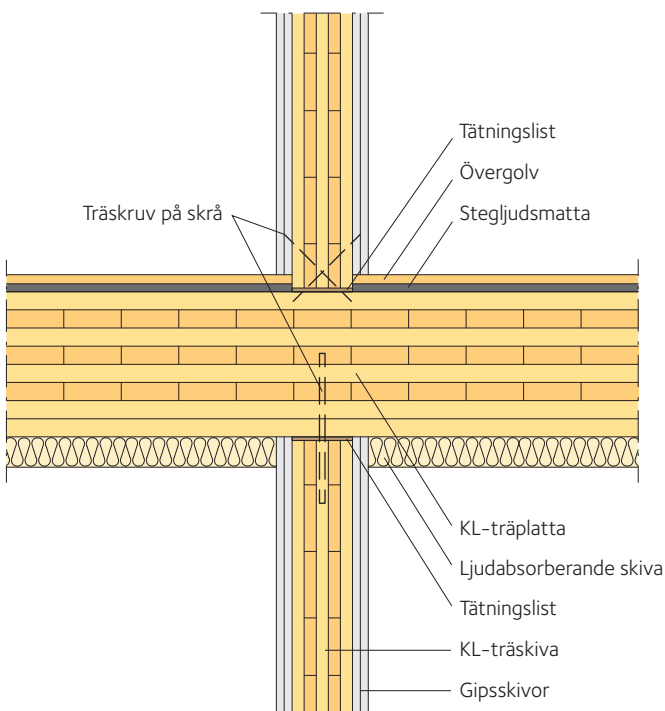
Bjälklagstyp	Material (mm)	Total höjd (mm)	Vikt (kg/m ²)	Vertikal ljudisolering (dB)	
				Stegljudsnivå, L	Luftljudsisolering, D
	Bjälklag typ 5 13 golvgips, flytande 3 underlagsfoam 200 KL-träplatta 50 tung isolering, densitet ≥ 100 kg/m ³	266	130	64	¹⁾
		Bostäder ljudklass ²⁾		–	–
		Kontor ljudklass ³⁾		B	–
	Bjälklag typ 6 200 KL-träplatta 50 tung isolering, densitet ≥ 100 kg/m ³	250	106	68	¹⁾
		Bostäder ljudklass ²⁾		–	–
		Kontor ljudklass ³⁾		–	–
	Bjälklag typ 7 14 parkett 3 underlagsfoam 22 golvspånskiva, flytande 12 stegljudsmatta, dämpning 4 dB 13 golvgipsskiva, skruvad 200 KL-träplatta 50 tung isolering, densitet ≥ 100 kg/m ³	314	150	60	¹⁾
		Bostäder ljudklass ²⁾		–	–
		Kontor ljudklass ³⁾		B	–
	Bjälklag typ 8 14 parkett 3 underlagsfoam 22 golvspånskiva, flytande 20 stegljudsmatta, dämpning 4 dB 22 golvspånskiva 95 golvreglar 95 isolering 25 sylodyn 200 KL-träplatta	401	145	54 (+6)	52 (-4)
		Bostäder ljudklass ²⁾		D	D
		Kontor ljudklass ³⁾		B	B
	Bjälklag typ 9 14 parkett 3 underlagsfoam 13 golvgipsskiva 22 golvspånskiva 20 stegljudsmatta 80 tvättad singel 200 KL-träplatta	352	235	44 (+6)	63 (-1)
		Bostäder ljudklass ²⁾		B	A
		Kontor ljudklass ³⁾		A	A
	Bjälklag typ 10 14 parkett 2 × 13 golvgipsskiva 22 golvspånskiva Uppstolpat golvregelsystem 200 isolering 130 KL-träplatta 13 gipsskiva	413	130	56	52
		Bostäder ljudklass ²⁾		C	C
		Kontor ljudklass ³⁾		B	A
	Bjälklag typ 11 14 parkett 2 × 13 golvgipsskiva 22 golvspånskiva Uppstolpat golvregelsystem 260 isolering 160 KL-träplatta 13 gipsskiva	493	145	52	56
		Bostäder ljudklass ²⁾		B	B
		Kontor ljudklass ³⁾		A	A

¹⁾ Värde saknas.²⁾ Utrymme utanför bostaden till utrymme i bostaden.³⁾ Från utrymme till utrymme för enskilt arbete eller samtal.

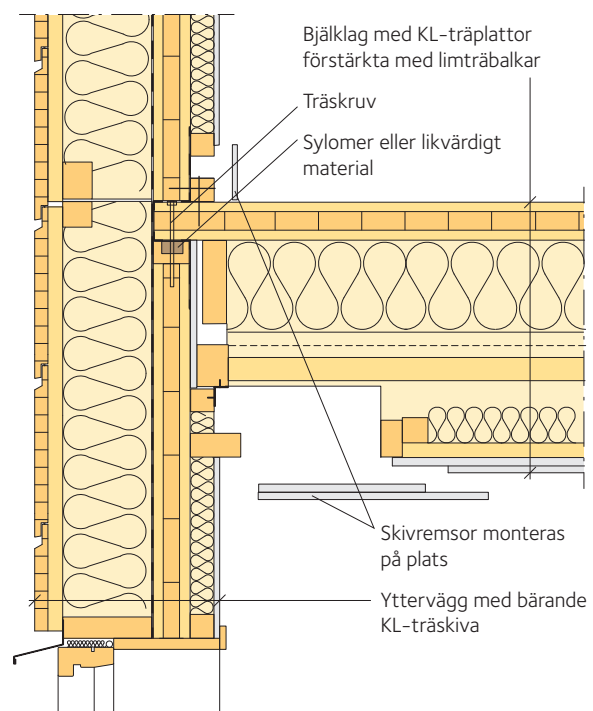
5.6 Utförande och detaljlösningar



Figur 5.11 Vertikalsnitt för byggnad utan högre krav, lokaler, på ljudisolering mellan övre och undre planet. Anslutning bjälklag mot yttervägg.

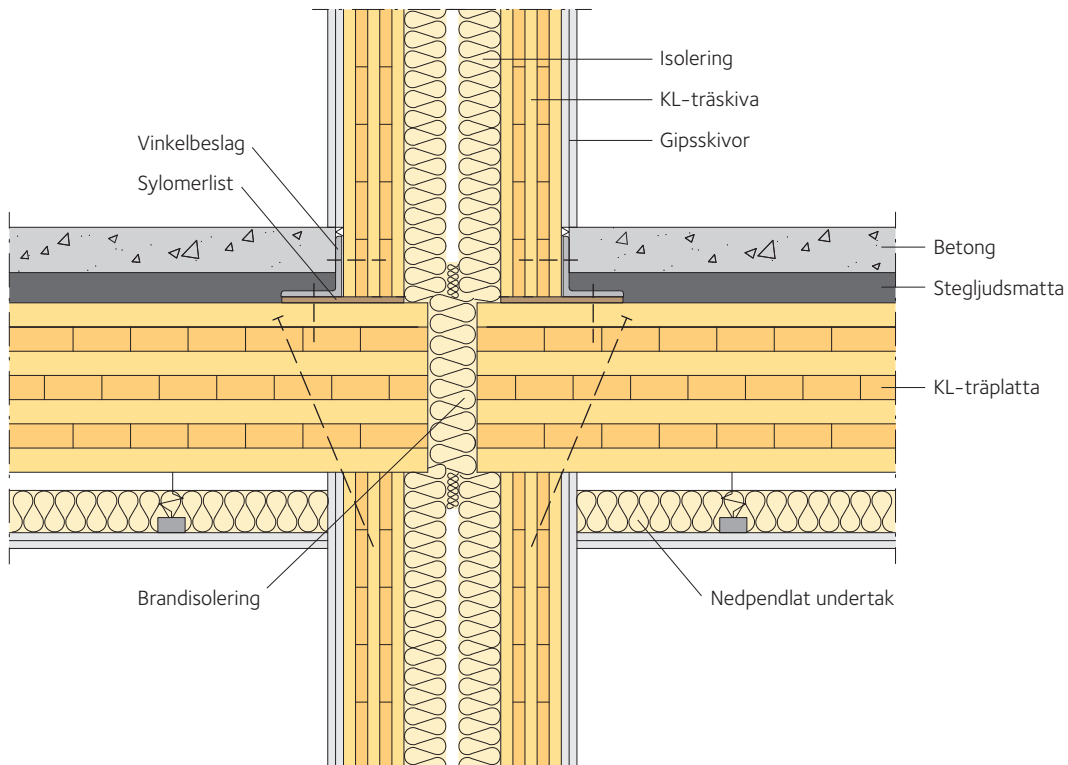


Figur 5.12 Vertikalsnitt för byggnad utan högre krav, lokaler, på ljudisolering mellan övre och undre planet. Anslutning bjälklag mot bärande innervägg.

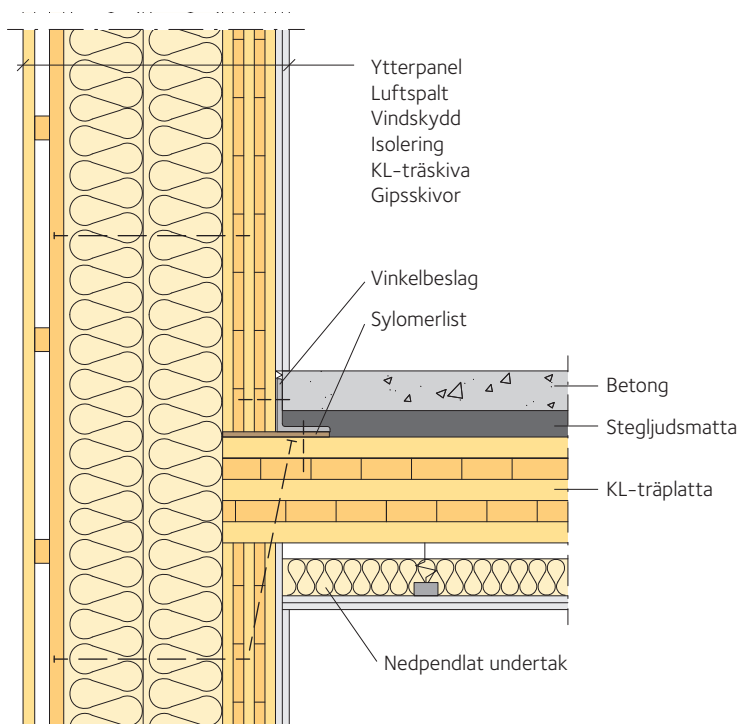


Figur 5.13 Vertikalsnitt för byggnad med höga krav, bostäder, på ljudisolering mellan övre och undre planet. Anslutning bjälklag mot yttervägg.

En byggnads stomme består bland annat av ett antal anslutningar mellan väggar/bjälklag, väggar/väggar eller väggar/tak. Beroende på de brand- och ljudkrav som ställs på byggnaden och konstruktionsdelarna kan utförandet variera. I *figur 5.11 – 5.13* visas ett antal principlösningar. *Figur 5.11 – 5.13* visar lösningar där större delen av de isolerande lagren är placerade på undersidan av KL-träplattan och *figur 5.14 – 5.15, sidan 105*, visar lösningar där de isolerande lagren är placerade både på KL-träplattans ovan- och undersida.



Figur 5.14 Vertikalsnitt för byggnad med höga krav, bostäder, på ljudisolering mellan övre och undre planet. Anslutning bjälklag mot bärande lägenhetsskiljande vägg.



Figur 5.15 Vertikalsnitt för byggnad med höga krav, bostäder, på ljudisolering mellan övre och undre planet. Anslutning bjälklag mot yttervägg.

5.7 Beräkningsexempel

5.7.1 Kontroll av bjälklag

Fritt upplagt bjälklag med längden $L = 4,5$ m och last och lasteffekter enligt tabell 5.5, sidan 107, klimatklass 1.

Laster:

Egentyngd $g_k = 1,1$ kN/m²

Nyttig last $q_k = 2,0$ kN/m²

Bjälklaget består av en 5-skiktspatta av KL-trä, med tjocklek $40 + 20 + 40 + 20 + 40 = 160$ mm och med samtliga skikt av brädor i hållfasthetsklass C24. Klimatklass 1, och säkerhetsklass 3, ($\gamma_d = 1$).

För KL-trä med enbart brädor i hållfasthetsklass C24 gäller enligt tabell 3.7, sidan 38:

$$E_{0,x,0,05} = 7\,400 \text{ MPa}$$

$$E_{0,x,\text{mean}} = 11\,000 \text{ MPa}$$

$$G_{9090,x,\text{lay,mean}} = 50 \text{ MPa}$$

$$G_{090,x,\text{lay,mean}} = 690 \text{ MPa}$$

Enligt tabell 3.6, sidan 38 gäller:

$$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 4 \text{ MPa}$$

Med $\gamma_M = 1,25$ enligt tabell 3.2, sidan 35 och $k_{\text{mod}} = 0,8$ enligt tabell 3.3, sidan 36 (nyttig last är huvudlast = medellång lastvaraktighet) blir dimensionerande hållfastheter:

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 24}{1,25} = 15,36 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 4}{1,25} = 2,56 \text{ MPa}$$

Beräkningar:

Tvårsnittstorheter för olika dimensioner för 5-skiktspattor av KL-trä återges i tabell 3.12, sidan 46 samt i tabell 3.14, sidan 50 för KL-trä med enbart brädor i hållfasthetsklass C24. Tvårsnittsegenskaper kan också beräknas för en strimla $b_x = 1,0$ m av plattan enligt tabell 5.6, sidan 107:

Dimensionerande lastkombination för vertikal last för en strimla $b_x = 1,0$ m:

$$q_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k = 0,89 \cdot 1,35 \cdot 1,1 + 1,5 \cdot 2,0 = 4,32 \text{ kN/m}$$



Exempel på bjälklagsuppbyggnad.

Moment

Dimensionerande moment för en fritt upplagd plattstrimla med längden $L = 4,5$ m:

$$M_d = \frac{q_d \cdot L^2}{8} = \frac{4,32 \cdot 4,5^2}{8} = 10,93 \text{ kNm}$$

$$\sigma_d = \frac{M_d}{W_{x,\text{net}}} = \frac{10,93 \cdot 10^3}{3800} = 2,88 \text{ MPa} < f_{m,d} = 15,36 \text{ MPa}$$

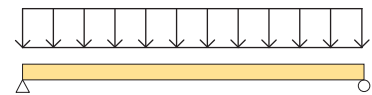
Tvärkraft

Dimensionerande tvärkraft:

$$V_d = 0,5 \cdot q_d \cdot L = 0,5 \cdot 4,32 \cdot 4,5 = 9,72 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S_{x,\text{net}}}{I_{x,\text{net}} \cdot b_x} = \frac{9,72 \cdot 10^3 \cdot 2600 \cdot 10^3}{30400 \cdot 10^4 \cdot 1000} = 0,083 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,56 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rv,d} = \frac{S_{Rv,\text{net}} \cdot V_d}{I_{x,\text{net}} \cdot b_x} = \frac{2400 \cdot 10^3 \cdot 9,72 \cdot 10^3}{30400 \cdot 10^4 \cdot 1000} = 0,076 \text{ MPa} < f_{Rv,d} = 0,45 \text{ MPa}$$

**Tabell 5.5** Laster och lastfaktorer.

Last	kN/m ²	γ_g, γ_Q	Lastvaraktighet	k_{mod}	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
g_k	1,1	0,89 · 1,35	Permanent	0,6	-	-	-
q_k	2,0	1,5	Medellång	0,8	0,70	0,50	0,30

Tabell 5.6 Egenskaper för 5-skitts symmetrisk platta av KL-trä, strimla med bredd $b_x = 1,0$ m. Plattjocklek 160 mm (40/20/40/20/40).

Egenskap	Beräkningsformel	Applikation till exempel
Nettotvårsnittsarea (mm ²)	$A_{x,\text{net}} = b_x \cdot 3 \cdot t_1$	$A_{x,\text{net}} = 1000 \cdot 3 \cdot 40 = 1200 \text{ mm}^2$
Nettotröghetsmoment (mm ⁴)	$I_{x,\text{net}} = b_x \left(\frac{t_1^3}{12} + t_1 a_1^2 + \frac{t_3^3}{12} + t_3 a_3^2 + \frac{t_5^3}{12} + t_5 a_5^2 \right) =$ $b_x \left(3 \cdot \frac{t_1^3}{12} + 2 \cdot t_1 a_1^2 \right)$	$I_{x,\text{net}} = 1000 \left(3 \cdot \frac{40^3}{12} + 2 \cdot 40 \cdot 60^2 \right) = 30400 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
Nettoböjmotstånd (mm ³)	$W_{x,\text{net}} = \frac{2 \cdot I_{0,\text{net}}}{h_{\text{KLT}}}$	$W_{x,\text{net}} = \frac{2 \cdot 30400 \cdot 10^4}{160} = 3800 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
Statiskt moment för rullskjvning (mm ³)	$S_{R,x,\text{net}} = b_x t_1 a_1$	$S_{R,x,\text{net}} = 1000 \cdot 40 \cdot 60 = 2400 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
Statiskt moment för längsskjvning (mm ³)	$S_{x,\text{net}} = b_x t_1 a_1 + b_x \cdot \frac{t_3^2}{4 \cdot 2}$	$S_{x,\text{net}} = 1000 \cdot 40 \cdot 60 + 1000 \cdot \frac{40^2}{4 \cdot 2} = 2600 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
Effektivt tröghetsmoment (cm ⁴) för spännvidd $L = 4,5$ m	$\gamma_1 = \gamma_5 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{x,1} t_1}{L^2} \frac{t_2}{G_{9090,2}}}$ $I_{x,\text{ef}} = b_x \left(\frac{3 \cdot t_1^3}{12} + 2 \gamma_1 t_1 a_1^2 \right)$	$\gamma_1 = \gamma_5 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 11\,000 \cdot 40}{4500^2} \cdot \frac{20}{50}} = 0,921$ $I_{x,\text{ef}} = 1000 \cdot \left(\frac{3 \cdot 40^3}{12} + 2 \cdot 0,921 \cdot 40 \cdot 60^2 \right) = 28\,125 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$



Tillbyggnad av villa med KL-trästomme, Nacka.

Deformation

$$\frac{L}{300} = \frac{4500}{300} = 15 \text{ mm}$$

$$w_{g,k} = \frac{5 \cdot g_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{x,\text{mean}} \cdot I_{x,\text{ef}}} = \frac{5 \cdot 1,1 \cdot 10^3 \cdot 4,5^4}{384 \cdot 11000 \cdot 10^6 \cdot 28 \cdot 125 \cdot 10^{-8}} =$$

$$= 0,00189 \text{ m} = 1,89 \text{ mm}$$

$$w_{q,k} = \frac{5 \cdot q_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{x,\text{mean}} \cdot I_{x,\text{ef}}} = \frac{5 \cdot 2,0 \cdot 10^3 \cdot 4,5^4}{384 \cdot 11000 \cdot 10^6 \cdot 28 \cdot 125 \cdot 10^{-8}} =$$

$$= 0,00345 \text{ m} = 3,45 \text{ mm}$$

Korttidsdeformation av karakteristisk last:

$$w_{\text{inst}} = w_{g,k} + w_{q,k} = 1,89 + 3,45 = 5,34 \text{ mm} < 15 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Slutlig deformation på grund av krypningens inverkan av kvasi-permanent last:

$$k_{\text{def}} = 0,85 \text{ för klimatklass 1, enligt tabell 3.4, sidan 36.}$$

$$w_{\text{fin}} = w_{\text{inst}} + w_{\text{creep}}$$

$$w_{\text{fin,g}} = w_{g,k} \cdot (1 + k_{\text{def}}) = 1,89 \cdot 1,85 = 3,50 \text{ mm}$$

$$w_{\text{fin,q}} = w_{q,k} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{\text{def}}) = 3,45 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,85) =$$

$$= 3,45 \cdot 1,25 = 4,31 \text{ mm}$$

$$w_{\text{fin}} = 3,50 + 4,31 = 7,81 \text{ mm} < 15 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Svängningar

Den lägsta egenfrekvensen, f_1 , för golvbjälklag beräknas:

$$f_1 = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}} = \frac{\pi}{2 \cdot 4,5^2} \sqrt{\frac{11000 \cdot 10^6 \cdot 28 \cdot 125 \cdot 10^{-8}}{110}} =$$

$$= 13,0 \text{ Hz} > 8 \text{ Hz} \quad \text{OK}$$

Kontrollera styvheten genom att beräkna nedböjningen, w , för en punktlast, $F = 1 \text{ kN}$ och jämför med största tillåtna värdet $a = 1,5 \text{ mm}$ enligt EKS.

$$w = \frac{FL^3}{48EI} = \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 4500^3}{48 \cdot 11000 \cdot 28 \cdot 125 \cdot 10^4} = 0,61 \text{ mm} < 1,5 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kontrollera impulshastighetsresponsen v med $b = 100$ enligt EKS, samt med dämpningen 2,5 procent enligt tabell 5.3, sidan 98.

$$v \leq b^{(f_1 \xi - 1)} = 100^{(13,0 \cdot 0,025 - 1)} = 0,045$$

Bjälklag med bredden $B = 4,5$ m, fritt upplagt längs fyra sidor:

$$n_{40} = \left[\left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{B}{L} \right)^4 \left(\frac{(EI)_L}{(EI)_B} \right) \right]^{0,25} =$$

$$= \left[\left(\left(\frac{40}{13,0} \right)^2 - 1 \right) \cdot \left(\frac{4,5}{4,5} \right)^4 \cdot \frac{11000 \cdot 10^6 \cdot 30400 \cdot 10^{-8}}{11000 \cdot 10^6 \cdot 3733 \cdot 10^{-8}} \right]^{0,25} = 2,88$$

där:

I_L, I_B är yttröghetsmoment för böjning kring y- respektive x-axeln enligt tabell 3.13, sidan 47.

$$v = \frac{4(0,4 + 0,6n_{40})}{mBL + 200} = \frac{4(0,4 + 0,6 \cdot 2,88)}{110 \cdot 4,5 \cdot 4,5 + 200} = 0,004 < 0,045 \quad \text{OK}$$



Balkonger av KL-trä, Växjö.

Väggar

- 6.1 Väggar – översikt 111
 - 6.1.1 Bärande ytter- och innerväggar 111
 - 6.1.2 Icke bärande innerväggar 112
- 6.2 Statisk dimensionering 112
 - 6.2.1 KL-trä och bärförmåga 112
 - 6.2.2 Lastkombinationer 112
 - 6.2.3 Bärförmåga och styvhet 113
- 6.3 Stomstabilitet 115
 - 6.3.1 Deformation hos enskilda och sammansatta KL-träskivor 115
 - 6.3.2 Stomstabilitet 116
- 6.4 Brand 121
- 6.5 Ljud 121
- 6.6 Väggtvärnsnitt 123
- 6.7 Utförande och detaljlösningar 124
 - 6.7.1 Anslutningar mot grund 124
 - 6.7.2 Anslutningar mellan vägg och bjälklag 125
 - 6.7.3 Anslutningar mellan vägg och takstomme 126
 - 6.7.4 Anslutningar mellan yttervägg och fönster 126
 - 6.7.5 Anslutningar i ytterväggshörn 127
- 6.8 Beräkningsexempel 127
 - 6.8.1 Väggskiva med öppningar – kontroll av knäckning 127
 - 6.8.2 Balk över öppning, upplagd på pelarstöd 129

Väggar utgör ofta en del i byggnadens bärande struktur men i många fall har de enbart en skyddande och avskiljande uppgift. KL-träskivor är i många fall ett självklart alternativ då en KL-träskiva kan fungera både som en bärande del och samtidigt ha en avskiljande funktion.

En vägg utförd av KL-träskivor kan vara allt ifrån ett enda stort planelement till sammansatta enheter av flera mindre planelement. Väggelementens storlek begränsas främst av hanterbarhet samt tillgänglig transport- och lyftkapacitet, men även av tillverkningskapacitet. Väggar av KL-trä utförs som skivor med tjocklekar från 60 mm till 300 mm, vilket medför att det är möjligt att tillverka långa våningshöga väggelement med stor bärförmåga. För att minska risken för att stora element blir veka i sidled kan elementen göras styvare med utanpåliggande regler. Från transportsynpunkt bör elementens höjd understiga 3,6 m, undantagsvis kan planelement upp till 4 m höjd transporteras, och längden bör inte överstiga 12 m. Med trailer eller specialtransport kan dock större element transporteras. Våningshöga KL-träskivor väger normalt från 25 kg/m² till 130 kg/m² beroende på utförande. Väggar levereras normalt med monterade lyftstroppar eller på annat sätt förberett för lyft.

Väggen kan bestå enbart av KL-trä eller vara kompletterad med isolering, fasadmateriell, fönster och dörrar. Ytterväggar kompletteras i de flesta fall med ytterligare isolerande skikt och fasadbeklädnad. KL-träskivans plana yta utgör ett bra underlag för andra skivor.

Innerväggar utformas efter behov och användningsområde. Väggen kan vara bärande eller icke bärande. Innerväggar som är lägenhets-skiljande ska uppfylla särskilda krav på ljudisolering och brandmotstånd och våtrumsväggar ska även konstrueras så att de motsvarar höga krav på fuktsäkerhet. För att säkerställa fuktsäkerheten är det viktigt att anslutningen mot andra byggnadsdelar utformas på rätt sätt, så att transportskadorna undviks.

Hur fönster och dörr ska monteras i en yttervägg beror på hur väggen är uppbyggd, vilken typ av lösningar som tillämpas, hur fönstersmygen utformas med mera.

Vanligt förekommande skivtjocklekar och uppbyggnader framgår i tabell 6.1. Ytterligare skivtyper kan tillverkas om så efterfrågas. Fråga KL-trätillverkare vid behov.

Tabell 6.1 Vanligt förekommande dimensioner för KL-trä som används till icke bärande och bärande väggar. Ungefärliga dimensionerande värden för linjelast avser vertikal linjelast för en tre meter hög vägg med lastvaraktighetsklass medellång (M), klimatklass 1 eller 2 och säkerhetsklass 2.

Tjocklek (mm)	Antal skikt (st)	Egenvikt (kg/m ²)	Lastvärde q_{Rd} (kN/m)
80	3	40	100
100	5	50	175
120	5	60	320



Tvärsnitt genom vägg med bärande KL-träskiva.

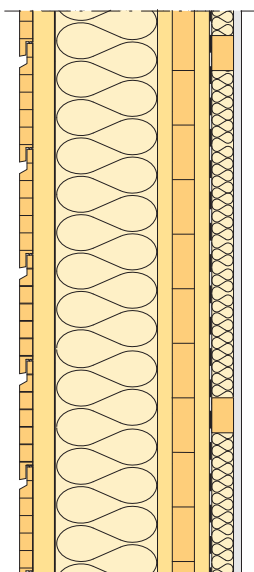
KL-träskivor färdiga för efterbearbetning.

KL-träskivor färdiga för kompletterande skikt.

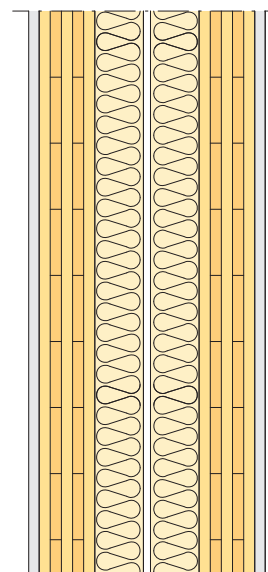
6.1 Väggar – översikt

6.1.1 Bärande ytter- och innerväggar

Bärande ytterväggars huvuduppgift förutom att ingå i ett klimatskal är att bära upp vertikala laster från ovanför liggande bjälklag och överföra vindlast till stabiliserande byggnadsdelar. I de fall väggarna ingår i stabiliseringen av stommen ska de även kunna ta upp horisontella laster i väggens plan. Vindlast och även inifrån verkande laster såsom trängselast och personlast ger upphov till böjande moment för vilket väggen måste dimensioneras. Brandlastfallet kan i många situationer vara dimensionerande och göra att KL-träskivans tjocklek sällan blir mindre än 70 mm. Den färdiga väggen kan tillverkas



Utifrån:
 25 liggande limträpanel
 34 stående spikläkt
 Vindskydd
 Vertikala regler och isolering
 80 KL-träskiva
 Ångbroms
 Horisontella regler och isolering
 Invändig beklädnad av skivor eller träpanel



13–15 gipsskiva
 100 KL-träskiva
 70 isolering
 10 luftspalt
 70 isolering
 100 KL-träskiva
 13–15 gipsskiva

Figur 6.1 Exempel på uppbyggnad av yttervägg med bärande KL-träskiva.

Figur 6.2 Exempel på uppbyggnad av lägenhetsskiljande vägg med bärande KL-träskivor.



Yttervägg av KL-trä.

industriellt i sin helhet eller platsbyggas, utgående från den prefabricerade KL-träskivan. Principuppbbyggnaden är densamma i båda fallen. KL-träskivor kompletteras vanligtvis med vindtätt skikt, värmeisolerande skikt och diffusionsspärr eller ångbroms. Invändigt kan KL-träskivan kompletteras direkt med en invändig gipsskiva eller med ytterligare isolering. En mindre isolerad, eller oisolerad, spalt på insidan kan vara att föredra då den kan tjäna som installationsutrymme. Om brandkraven uppfylls finns möjlighet att lämna KL-träskivan synlig invändigt. Utvändigt vindskydd distanseras från KL-träskivan med regler eller distanserad läkt. Utvändiga paneler eller annan utvändigt beklädnad utförs enligt gällande branschstandard.

En bärande innervägg har oftast en huvuduppgift, nämligen att föra vertikal last ner till underliggande konstruktion eller grund. Till skillnad från ytterväggen ska den bärande innerväggen ofta klara brandpåverkan samtidigt från båda sidor när väggen är placerad inom en och samma brandcell. Om övriga krav uppfylls kan innerväggar med fördel utföras med synligt KL-trä.

6.1.2 Icke bärande innerväggar

Innerväggar konstrueras olika beroende på vilken typ av innervägg det gäller. I de flesta fall eftersträvas en vägg i sin enklaste form, varvid regelväggar väljs. Innerväggar av KL-trä som inte är bärande kan väljas då en värme- och fuktrög stomme efterfrågas. Innerväggar som är lägenhetsskiljande ska uppfylla särskilda krav på ljudisolering och brandmotstånd samt att våtrumsväggar ska även konstrueras så att de motsvarar höga krav på fuktsäkerhet. Innerväggar av KL-träskivor används även för byggnader där stor mekanisk hållfasthet och tålighet mot yttre påverkan eftersträvas såsom i idrottshallar och djurstallar, se även avsnitt 7.1.2, sidan 135.

6.2 Statisk dimensionering

6.2.1 KL-trä och bärförmåga

KL-träskivor som påverkas av vertikallaster samt moment från till exempel excentrisk last från bjälklag eller vindlast ska dimensioneras som böjda och tryckta element. I de flesta fall sker deformationen i konstruktionens veka riktning och därmed kan reglerna för böjd och tryckt stång tillämpas. Dimensionering av tryckta massiva träkonstruktioner som KL-trä kan göras enligt Eurokod 5. För de slanka skivorna av KL-trä är stabilitetsfallet oftast avgörande för väggens bärförmåga. Även upplagstryck i väggars ändrar och mot syll och bjälklag måste kontrolleras. Kontroll av deformation kan i vissa fall vara aktuellt om det förekommer stora transversallaster.

6.2.2 Lastkombinationer

Vid dimensionering av väggar finns det huvudsakligen tre olika variabla laster att beakta: nyttig last, snölast och vindlast. Konstruktionen bör kontrolleras utifrån att var och en av dessa laster betraktas som huvudlast. Vanligtvis kontrolleras väggen i brottgränstillståndet och dimensionerande lasteffekt E_d av lastkombinationen beräknas enligt *ekvation 6.1* enligt Eurokod 0 och gällande EKS:

$$6.1 \quad E_d = \gamma_d \cdot 0,89 \cdot 1,35 \cdot G_k + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot Q_{k,1} + \sum_{i=2}^n \gamma_{d,i} \cdot 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

där:

- γ_d är partialkoefficient för säkerhetsklass.
- G_k är lasteffekter av permanenta laster.
- $Q_{k,1}$ är variabel huvudlast.
- Ψ är lastkombinationsfaktor.
- $Q_{k,i}$ är övriga variabla laster.

6.2.3 Bärförmåga och styvhet

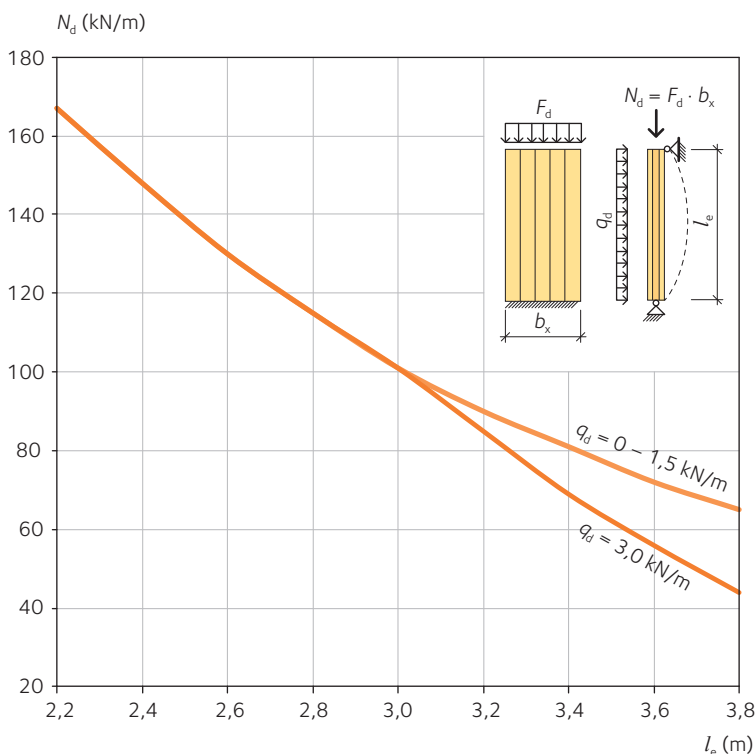
Bärförmåga och styvhet hos väggar uppförda med KL-träskivor beräknas i allmänhet utgående från att normalkrafter och böjande moment enbart tas upp av skivan och inte av sekundär samverkande konstruktion. Dimensionering av KL-träskivor kan göras enligt två alternativ: dimensionering med hjälp av tillhandahållna diagram eller tabeller samt dimensionering genom beräkning. Diagram och tabeller ska dock främst användas för överslagsdimensionering.

Dimensionering med hjälp av diagram eller tabeller

Då de flesta tillverkarna av KL-trä tillhandahåller dimensioneringshjälp för sina produkter kan det vara ett bra alternativ att ta hjälp av dessa hjälpmedel. Många tillverkare använder sig till exempel av dimensioneringsdiagram liknande *figur 6.3*. Vid användning av hjälpmedlen måste uppmärksamhet ges för vilka förutsättningar som angivna värden gäller. Kontrollera säkerhetsklass, lastvaraktighet, klimatklass, upplagsförhållanden och beakta även om hänsyn tagits till eventuell excentrisk last.

a) **Bestäm dimensionerande laster** i brottgränstillståndet, det vill säga dimensionerande vertikal last F_d och transversallast q_d för det aktuella lastfallet. För väggar krävs vanligtvis ingen dimensionering i bruksgränstillståndet.

b) **Bestäm väggens knäcklängd**, l_e .



Figur 6.3 Dimensionerande centrisk vertikal last för KL-träskivor med tjockleken 80 mm.



Montage av väggskivor av KL-trä.



Båthus med KL-trästomme, Skellefteå.

c) Bestäm bärförmågan med hjälp av dimensioneringsdiagram.

Diagrammet i figur 6.3 är exempelvis beräknat för lastvaraktighetsklass medellång (M) för vertikal last och korttid (S) för transversallast, klimatklass 1 eller 2 och säkerhetsklass 3 samt att väggen belastas centriskt. För excentriskt belastade väggar görs ett tillägg till den horisontella lasten motsvarande det tillkommande momentet på grund av lastens excentricitet. Bärförmågan jämförs med dimensionerande vertikal last F_d .

Dimensionering genom beräkning (se även avsnitt 3.3.5, sidan 52)

a) Bestäm dimensionerande laster i brottgränstillståndet, det vill säga dimensionerande vertikal last F_d och transversallast q_d för det aktuella lastfallet. För väggar krävs vanligtvis ingen dimensionering i bruksgränstillståndet.

b) Beräkna dimensionerande lasteffekter.

Bestäm dimensionerande normalkraft, N_d utifrån aktuella lastförhållanden, vilket till exempel kan vara upplagslaster från bjälklag.

Bestäm dimensionerande moment:

$$6.2 \quad M_d = \frac{q_d l_e^2}{8}$$

där:

l_e är väggens knäcklängd.

q_d är dimensionerande transversallast.

I normalfallet är väggens knäcklängd lika med väggens verkliga höjd. Vid beräkning av dimensionerande moment bör även bidragande moment från vertikala laster på grund av excentricitet hos upplag beaktas.

De böjspänningar som uppkommer beräknas enligt:

$$6.3 \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{x,net}} \leq f_{m,xlay,d}$$

där:

$M_{y,d}$ är dimensionerande moment.

$W_{x,net}$ är skivans nettoböjmotstånd.

c) Kontroll av tvärsnittet vid rent axiellt tryck

Enligt Eurokodernas principer dimensioneras väggskivor med hjälp av linjär knäckningsteori. De icke-linjära effekterna (andra ordningens effekter) beaktas vid dimensioneringen med hjälp av en hållfasthetsrelaterad reduktionsfaktor k_c . Villkoret som ska uppfyllas enligt ekvation 6.4 är:

$$6.4 \quad \sigma_{c,x,d} = \frac{N_d}{A_{x,net}} \leq k_c \cdot f_{c,0,xlay,d}$$

där:

$A_{x,net}$ är väggens nettotvärsnitt, det vill säga de stående brädsplikten.

k_c är en reduktionsfaktor som beaktar knäckningsrisken.

$f_{c,0,xlay,d}$ är dimensioneringsvärdet för tryckhållfastheten parallellt med fiberriktningen.

d) Kontroll av tvärsnitt vid kombinerad böjning och axiellt tryck

Teoretiskt kan axiellt tryck och böjning kring båda axlarna förekomma samtidigt för en bärande väggskiva. I de flesta fall är det enbart en

Tabell 6.2 Exempel på karakteristiska hållfasthets- och styvhetsvärden för KL-träskivor vid beräkning i brottgränstillstånd. $E_{0,05}$ -värden är baserade på hela tvärsnittet, bruttoyta. Övriga värden avser nettoyta.

Skivtjocklek (mm)	Böjning, elasticitetsmodul $E_{0,05}$ (MPa)	Tryck $f_{c,k}$ (MPa)	Böjning $f_{m,k}$ (MPa)
80 (3-skikt)	9 500	21	24
100 (3-skikt)	8 600	21	24
120 (5-skikt)	9 450	21	24

riktning som är av intresse vid dimensionering för tryck och böjning. Villkoret som ska uppfyllas enligt *ekvation 6.5* är:

$$\frac{\sigma_{c,x,d}}{k_c \cdot f_{c,0,xlay,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,xlay,d}} \leq 1 \quad 6.5$$

där:

- $\sigma_{c,x,d}$ är dimensioneringsvärdet för tryckspänningen.
- $\sigma_{m,y,d}$ är dimensioneringsvärdet för böjspänningen kring skivans y-axel.
- $f_{m,xlay,d}$ är dimensioneringsvärdet för skivans böjhållfasthet (oftast kring skivans y-axel).

Exempel på karakteristiska hållfasthets- och styvhetsvärden som kan användas vid beräkningar om inget underlag från KL-trätillverkare finns tillhanda framgår i *tabell 6.2*.

6.3 Stomstabilitet

6.3.1 Deformation hos enskilda och sammansatta KL-träskivor

KL-träskivor lämpar sig väl för stabilisering av byggnader då de har hög styvhet och bärförmåga. I en byggnad överförs normalt laster från bjälklag till stabiliserande väggar. En hel vägg består ofta av flera väggskivor som är sammankopplade med vertikala skarvar. Väggskiorna utsätts för en horisontell last i väggskivornas plan som ger skjuvspänningar och böjspänningar. Spänningarna i materialet ger tillsammans med förskjutningar i skarvarna en total deformation i skivans plan på grund av den horisontella lasten. I normala fall är deformationerna i skarvar och förband dimensionerande.

Om hela skivans skjuvmodul, G_{mean} och elasticitetsmodul, E_{mean} är känd kan den totala deformationen, δ_{tot} skrivas som:

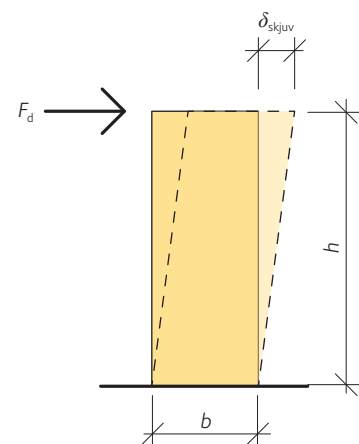
$$\delta_{\text{tot}} = \delta_{\text{skjuv}} + \delta_{\text{böj}} + \delta_{\text{skarv}} \quad 6.6$$

Deformation på grund av tvärkrafter, *se figur 6.4*, kan uttryckas enligt *ekvation 6.7*:

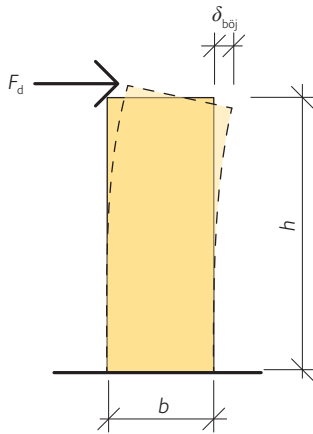
$$\delta_{\text{skjuv}} = \frac{F_d \cdot h}{b \cdot t_{\text{tot}} \cdot G_{\text{mean}}} \quad 6.7$$

där:

- F_d är dimensionerande horisontell last som verkar på skivan.
- h är skivans höjd.
- b är skivans bredd.
- G_{mean} är skivans skjuvmodul.
- t_{tot} är skivans totala tjocklek.



Figur 6.4 KL-träskivans deformation på grund av tvärkrafter.



Figur 6.5 KL-träskivans deformation på grund av moment.

Skivans deformation på grund av moment, se figur 6.5, kan uttryckas enligt ekvation 6.8:

$$6.8 \quad \delta_{b\ddot{o}j} = \frac{F_d \cdot h^3}{3 \cdot E_{mean} \cdot I}$$

där:

- F_d är dimensionerande horisontell last som verkar på skivan.
- h är skivans höjd.
- E_{mean} är skivans elasticitetsmodul.
- I är skivans tröghetsmoment.

Skivornas deformation på grund av förskjutningar i skarvar, se figur 6.6, kan uttryckas enligt ekvation 6.9:

$$6.9 \quad \delta_{f\ddot{o}g} = \gamma \cdot h = \Delta\gamma \frac{h}{b}$$

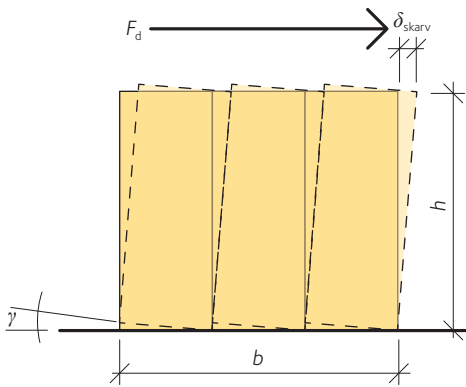
där:

- h är skivans höjd.
- b är skivans bredd.
- γ är vinkeländring i radianer.

$$6.10 \quad \Delta\gamma = \frac{F_d}{K_{ser}}$$

där:

- F_d är dimensionerande horisontell last som verkar på skivorna.
- K_{ser} är skarvens styvhetsvärde.



Figur 6.6 KL-träskivornas deformation på grund av förskjutningar i skarvar.

Tabell 6.3 Karakteristiska värden per skruvpar i brottgränstillstånd och bruksgränstillstånd för ett förband som består av träskruv Spax 5 x 40, eller likvärdiga, och plywoodremsa 12 x 60 i hållfasthet P30, eller likvärdig. Centrumavståndet mellan träskruvarna ska vara större än 40 mm. Dessa värden är empiriskt framtagna.

Brottgränstillstånd F_{Rk} (kN/skruppar)	Bruksgränstillstånd K_{ser} (kN/mm och skruppar)
1,5 ¹⁾	0,5 ²⁾

¹⁾ Maxlast vid 9 mm deformation.

²⁾ Styvhetsvärdet gäller för deformationer upp till 2 mm.

Tabell 6.4 Egenskaper hos KL-träskivor för beräkning i bruksgränstillståndet vid belastning i väggskivans plan. Styvhetsvärdena är baserade på hela tvärsnittet, bruttoyta.

Skivtjocklek (mm)	Skjuvmodul G_{mean} (N/mm ²)	Elasticitetsmodul $E_{m,0,mean}$ (N/mm ²)
80 (3-skikt)	400	6 400
100 (3-skikt)	400	5 700
120 (5-skikt)	400	6 200

Skarvens styvhetsvärden och även skivans styvhet bestäms av förbandets utformning och skivornas uppbyggnad. Tillverkare och leverantörer av skruvar och beslag kan i många fall bidra med underlag till styvhetsvärden. I tabell 6.3 och tabell 6.4 anges ungefärliga värden för några olika förband och skivor.

För kontroll av skjuvspänningar se avsnitt 3.3.5, sidan 52.

6.3.2 Stomstabilitet

Enbostadshus och andra mindre byggnader med högst två våningar och mindre utsatta lägen, behöver oftast inte kontrolleras genom beräkning. Tillräcklig stabilitet kan vanligtvis uppnås enbart med ytterväggar och mellanväggar uppbyggda med regler och skivbeklädning. Vissa delar av byggnaden med öppna planlösningar eller med stora fönsterytor bör dock kontrolleras.

Ett flervåningshus i trä stabiliseras oftast mot horisontella laster genom att man utnyttjar väggar och bjälklag som kraftupptagande styva skivor. I vissa fall kan långa dragstag som går från grunden till översta bjälklaget behövas, för att uppnå tillräcklig stabilitet och förankring.

Vindlasten mot byggnadens väggar och tak förs in via bjälklagen och vidare till byggnadens stomstabiliserande väggar. Ytterväggarna för vidare halva lasten till det övre bjälklaget och halva lasten till det undre bjälklaget. Genom skivverkan i bjälklaget fördelas lasten till underliggande stabiliserande väggar. De stomstabiliserande väggarna måste ha sådan bärförmåga och styvhet att de kan överföra såväl tvärkrafter som vertikala lyft- och tryckkrafter. I hus med flera

våningar är det vanligt att försöka använda samtliga väggar för stabilisering av byggnaden. Det är inte ovanligt att de stabiliserande väggarna är placerade så att det vid vindlast mot fasaden uppstår ett roterande moment. Detta moment kan tas upp av en vägg som är placerad vinkelrätt mot de stabiliserande väggarna för denna vindriktning. Väggarna utsätts för såväl tryck- som dragkrafter i respektive vägggände.

Kontroll av stjälpning och glidning

Byggnaden i sin helhet måste kontrolleras både för ett stjälpande moment och för en horisontell grundreaktion. Vid kontroll av stjälpning och glidning betraktas vanligtvis byggnaden inklusive bottenplattan som en sammanhängande enhet. Detta ställer krav på infästningen mellan stabiliserande överkonstruktion och grund.

Stjälpning kontrolleras genom en beräkning att byggnadens egentygnd är tillräcklig för att motverka vindlastens stjälpande moment. En enkel kontroll för att bedöma säkerheten mot stjälpning som kan anses vara betryggande, är att kontrollera om lastresultanten av den vertikala grundreaktionen ligger inom byggnadens kärngräns. Approximativt kan kärngränsen antas ligga inom en sjättedel av byggnadens bredd från centrumlinjen räknat, se figur 6.7.

Om egentygnden av byggnad och bottenplatta inte ger ett tillräckligt mothåll mot stjälpning måste byggnadens utformning ändras, genom att öka egentygnden eller förankra bottenplattan i undergrunden. Reduktion av egentygnden ska göras med en faktor 0,9 enligt gällande norm, då egentygnden i detta fall ska betraktas som gynnsam.

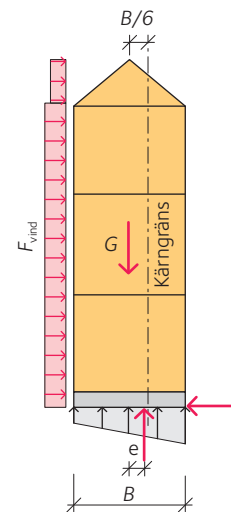
Säkerhet mot glidning vid grundläggning med bottenplatta är oftast inget stort problem. Det kontrolleras genom att skjuvspänningen mellan platta och mark inte överstiger den skjuvhållfasthet som bestäms av jordens odränerade skjuvhållfasthet vid grundläggning på kohesionsjord, eller materialets inre friktionsvinkel vid grundläggning på friktionsjord.

Skivverkan

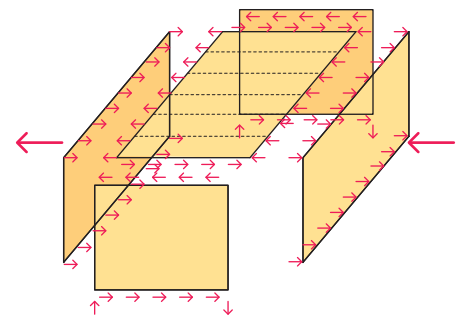
Byggnadens stomstabilitet kontrolleras vanligtvis i byggnadens huvudriktningar var för sig. De horisontella laster som ska beaktas är vindlaster och horisontalkrafter till följd av snedställning av vertikalt bärande väggar. Vindlasterna förs över till bjälklagen via ytterväggarna och horisontallasten överförs vidare via bjälklagsplattorna till de stabiliserande väggskevorna, se figur 6.8.

Fördelningen av lasterna mellan de stabiliserande väggarna beror av relationen mellan bjälklagets och väggarnas styvhet. Normalt betraktas bjälklagsplattan som helt styv i jämförelse med väggskevorna, vilket innebär att fördelningen av lasterna mellan väggarna beror på väggarnas placering och väggarnas inbördes styvhet. Vid stomsystem med stabiliserande väggar av KL-trä och veka bjälklag (exempelvis icke förstärkta balkbjälklag) bör bjälklagen betraktas som veka, vilket innebär att lasten fördelas enbart utifrån väggarnas läge. För plattor av KL-trä kan vindlaster fördelas till stabiliserande väggar baserade på bjälklagsplattans styvhet.

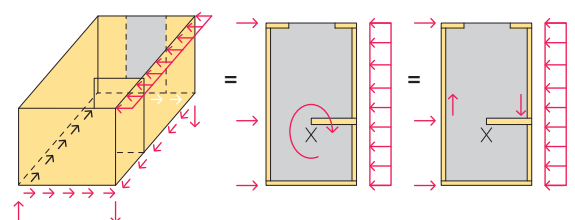
För byggnader som är osymmetriska med avseende på de stabiliserande väggarnas lägen och styvheter, kan väggskevorna i byggnadens andra riktning tas med i stabilitetsberäkningen för att ta upp den vridning av bjälklagsplattan som då uppstår, se figur 6.9.



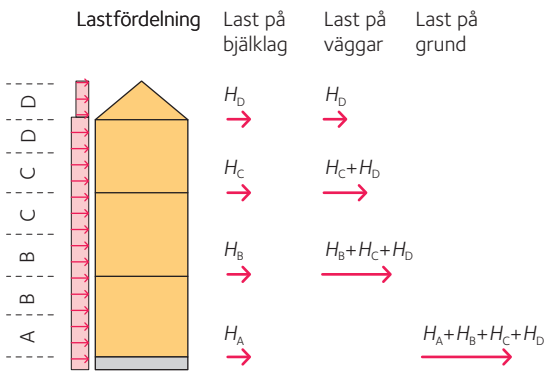
Figur 6.7 Kontroll mot stjälpning.



Figur 6.8 Skiss på lastöverföring i byggnad med stabiliserande väggskevor.



Figur 6.9 Skiss på lastfördelning i en osymmetrisk byggnad.



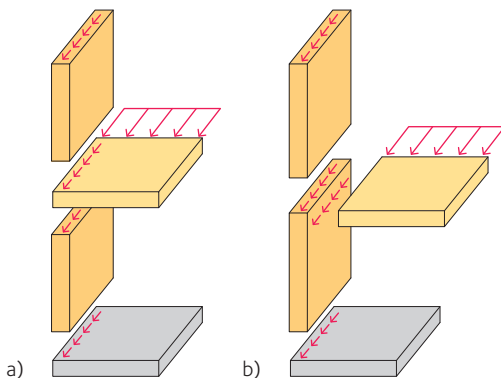
Figur 6.10 Påkänning på bjälklagsplattor och väggskivor.

De horisontalkrafter som väggar och bjälklag ska motstå vid stabilisering av flervåningsbyggnader visas i figur 6.10. Vindlasten fördelas till övre och undre bjälklaget. Om vindlasten antas vara konstant över hela höjden kommer således samtliga bjälklag (med undantag för vindsbjälklag och bottenbjälklag) att belastas av lika stora krafter. Tvärkraften i väggskivorna kommer dock att öka ju längre ned i byggnaden man kommer, eftersom de horisontella lasterna adderas våning för våning.

För att de krafter som uppkommer verkligen ska kunna överföras mellan väggar och bjälklag och föras ner i grunden, krävs att knutpunkterna dimensioneras för dessa.

Beräkningsgången för skivverkan kan skrivas som:

1. Bestäm horisontella laster på lovartsida och på läsida samt snedställningskrafter.
2. Bestäm horisontell last för respektive bjälklag.
3. Bestäm horisontell last för respektive stabiliserande vägg.
4. Kontrollera bjälklagens tvärkraftsbärförmåga för element och elementskarvar.
5. Kontrollera väggarnas tvärkraftsbärförmåga för element och elementskarvar.
6. Kontrollera förband mellan väggar och bjälklag för horisontella tvärkrafter.
7. Kontrollera knutpunkter för vertikala drag- och tryckkrafter.
8. Kontrollera risk för fortskridande ras.
9. Kontrollera horisontella deformationer.



Figur 6.11 Överföring av horisontella krafter mellan väggskivor och bjälklagsplattor vid upplagt respektive inhängt bjälklag.

Horisontell förankring mellan vägg och bjälklag

Vanligtvis krävs det någon form av mekaniskt förband för att uppnå tillräcklig tvärkraftsbärförmåga mellan de stabiliserande väggskivorna och bjälklagsplattorna.

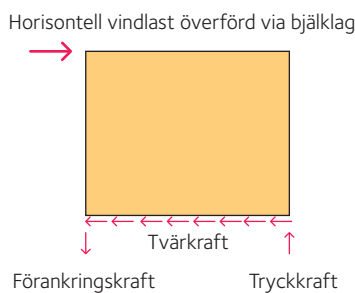
I de undantagsfall risken för fortskridande ras inte behöver beaktas, kan friktionen mellan komponenterna tillgodoräknas för att överföra de horisontella krafterna mellan stabiliserande konstruktionsdelar.

För upplagda bjälklag ska infästningen mellan bjälklag och ovanliggande vägg dimensioneras för en tvärkraft som motsvarar den horisontella lasten på ovanliggande vägg. För inhängda bjälklag ska infästningen mellan bjälklag och vägg dimensioneras för den horisontella kraft som bjälklaget överför till respektive underliggande stabiliserande vägg, se figur 6.11.

Vertikal förankring mellan vägg och bjälklag

Horisontella laster som överförs till stabiliserande väggar kommer att ge upphov till både horisontella och vertikala reaktionskrafter i väggarnas underkanter på grund av det stjälpande momentet. Genom att belasta väggen eller genom en förankring kan väggen förhindras från att lyfta. Väggen kan också förhindras att lyfta genom förband till närliggande förankrade väggskivor. Dimensionering av förankringen för en väggskiva beror således på storleken av den horisontella kraft väggen ska motstå, tyngden av ovanliggande konstruktioner, samt väggens anslutning till närliggande väggar.

Väggar med öppningar kan dimensioneras antingen förenklat eller genom en fullständig analys. I den förenklade metoden beaktas varje fullhögt väggparti utan öppningar som separata fullständigt förankrade väggskivor. Vid en fullständig analys beräknas den sammansatta väggens bärförmåga inklusive väggpartier ovan och under öppningar.



Figur 6.12 Kraftjämvikt för stabiliserande väggskiva.

Den förenklade metoden innebär att det i de flesta fall krävs förankringar även invid öppningarna, se figur 6.13.

En fullständig analys kan innebära att förankringar vid öppningar inte behövs. För att utelämnas förankringar krävs att böj- och tvärkraftsbärförmågan i KL-träskivorna ovan och under öppningarna är tillräcklig. Detta kan verifieras genom provning eller detaljerade beräkningar.

De vertikala reaktionskrafterna från ovanliggande stabiliserande väggar påverkar behovet och dimensioneringen av eventuella förankringar. Det innebär att förankringskrafterna blir större längre ned i byggnaden. När det finns behov av en förankring är det viktigt att kraften kan föras direkt ned till undergrunden. Det finns olika typer av förankringar för att åstadkomma detta, dels genomgående förankringsstag och dels olika former av vinkelbeslag. Förankringarna bör normalt utföras med viss förspänning för att kompensera för de långtidsdeformationer som uppstår under byggnadens livslängd.

Beräkningsgången för kontroll av lyftkrafter:

1. Bestäm vertikala reaktionskrafter på grund av horisontell last för respektive väggskiva.
2. Bestäm fördelning av egentygnd för respektive väggskiva.
3. Kontrollera om lyftkraft uppstår för respektive väggskiva och förankra om så behövs.

För högre byggnader kan de sammanlagda tryckkrafterna bli mycket stora, vilket kan leda till att tryckhållfastheten vinkelrätt mot fiberriktningen i underliggande KL-träplattor, bjälklagsbalkar eller andra anslutande detaljer överskrids. Därför måste en kontroll av tryckbärförmågan i knutpunkter genomföras enligt ekvation 6.11:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,d}}{A} \leq f_{c,90,d}$$

6.11

där:

$\sigma_{c,90,d}$ är dimensionerande tryckspänning vinkelrätt mot fiberriktningen.

$F_{c,d}$ är sammanlagd dimensionerande tryckkraft från ovanliggande konstruktioner.

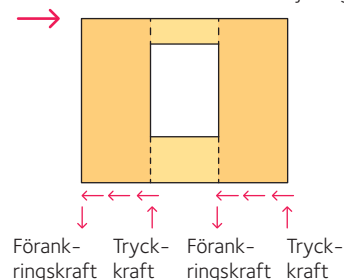
A är tryckbelastad area. För KL-trä bör inte längden väljas mer än $\frac{1}{4}$ av totala vägglängden och enbart arean för väggskivans stående brädsnitt bör tas med om inte lastfördelning mellanlägg används.

$f_{c,90,d}$ är dimensionerande tryckhållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen.

Vilket lastfall som ger störst påkänning är beroende på byggnadens geometri, användning och dess geografiska läge. Vanligtvis bör en kontroll göras för följande lastfall:

- Vind med karakteristiskt värde (huvudlast) och kombinationsvärdet för snölast och nyttig last.
- Nyttig last med karakteristiskt värde (huvudlast) och kombinationsvärdet för snölast och vindlast.
- Snölast med karakteristiskt värde (huvudlast) och kombinationsvärdet för vindlast och nyttig last.

Horisontell vindlast överförd via bjälklag



Figur 6.13 Kraftjämvikt enligt förenklad metod för stabiliserande väggskiva med öppning.



Exempel på yttervägg.



Exempel på lägenhetsskiljande vägg.

Fortskridande ras

För byggnad med bärande stomme av KL-trä är det vanligtvis inte rimligt att dimensionera enskilda element eller andra i stommen ingående delar för att motstå olyckslaster (exempelvis explosions- eller påkörningslast). I stället bör det sammansatta stomsystemet dimensioneras så att enskilda element kan slås ut utan att detta leder till fortskridande ras. Storlek och placering av skadeområden bedöms lämpligen med hjälp av de principer som redovisas i gällande norm.

Vid dimensionering för fortskridande ras ska både byggnadens totalstabilitet efter en primär skada och byggnadens sammanhållning kontrolleras. Totalstabiliteten för en byggnad med primär skada är vanligtvis inget problem för byggsystem med KL-trä eftersom ett flertal stabiliserande väggar normalt ingår i det stabiliserande systemet. Möjligheterna att omfördela laster om något element slås ut är därför goda.

Horisontell deformation

Vid beräkning av de horisontella deformationerna i ett stomsystem av KL-trä ska hänsyn tas till både deformationer i de enskilda byggelementen och deformationer i förbanden. Då KL-träskivor i de flesta fall är mycket styva kommer de största deformationerna att uppstå i skarvarna.

I praktiken har det visat sig att deformationerna i bruksgränstillståndet inte brukar orsaka några problem och därför görs oftast inte denna kontroll. Det saknas för övrigt enkla beräkningsmetoder för denna typ av kontroller. För högre byggnader över 8 – 10 våningar kan det dock vara aktuellt med kontroll av horisontell deformation. Det finns vanligtvis dolda kapacitetsreserver som inte utnyttjas vid dimensioneringen, till exempel icke bärande väggar eller stabiliserande innerväggar, som även bidrar till styvheten i byggnaden. För närvarande pågår forskning inom dessa områden.

Beräkningsgången för överslagsmässig kontroll av deformationer kan skrivas som:

1. Bestäm påkänningen i bruksgränstillståndet för väggarna och förbanden i respektive stabiliserande vägglinje.
2. Bestäm deformationerna i de enskilda väggarna utifrån överslagsmässiga beräkningsformler.
3. Bestäm deformationerna i de enskilda förbanden utifrån överslagsmässiga beräkningsformler (se exempelvis Eurokod 5, "joint slip modulus").
4. Beräkna den sammanlagda deformationen över hela byggnadens höjd i den mest belastade vägglinjen och kontrollera mot ställt krav (exempelvis $h/500$, enligt vad som tidigare angivits i normer). Kontrollera även enskilda våningsplan.
5. Vid behov, bestäm även deformationerna i de enskilda bjälklagen utifrån överslagsmässiga beräkningsformler.

6.4 Brand

Vid dimensionering av stomsystemet eftersträvas en hög tillförlitlighet även i brandlastfallet. Så länge kraven på klass E (integritet) och klass I (isolering) vid brand är uppfyllda, kan reserver i bärförmågan i den globala strukturen utnyttjas. Exempel på detta är att en pelare i en brandcell kan dimensioneras för lägre brandmotstånd än övriga bärande delar i brandcellen under förutsättningen att det finns alternativa lastupptagningsätt. För stabilisering av flervåningshus används ofta skivverkan och stabiliteten hos byggnaden måste vara säkerställd även om skivverkan delvis reduceras till följd av brand.

Brandteknisk dimensionering av byggnadskonstruktioner görs traditionellt på elementnivå, det vill säga man betraktar varje byggnadsdel för sig, till exempel väggar, bjälklag och pelare, oberoende av eventuella inspänningar i upplagen. Detta motsvarar samma förhållanden som vid brandprovning. Teoretiska modeller finns för KL-träskivor där skivans uppbyggnad med avseende på tvärgående skikt blir helt avgörande för bärförmågan. KL-träskivor har bra motstånd mot brand eftersom konstruktionen är tät och inbränningen oftast kan betraktas som endimensionell.

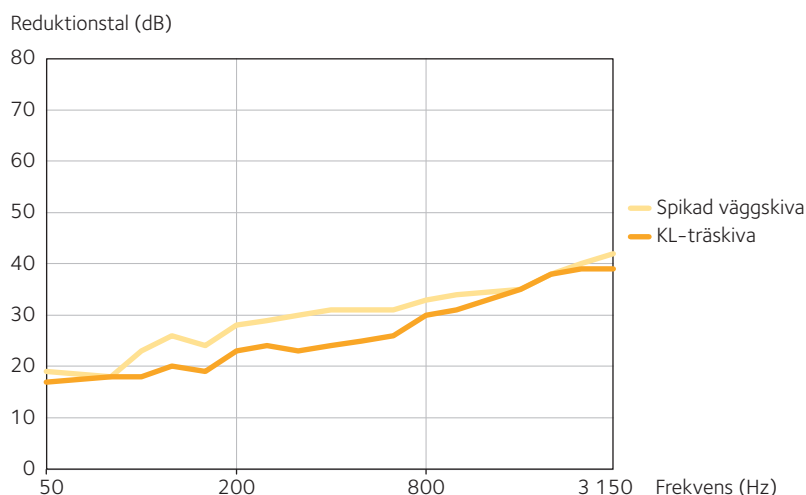
Inbränningshastigheten för barrträ är 0,65 – 0,80 mm/minut enligt Eurokod 5. I brandfallet uppstår en asymmetri med avseende på geometri och mekaniska egenskaper som oftast ligger till grund för dimensioneringen, *se vidare kapitel 7, sidan 133*. I tabell 6.5 ses en sammanställning av brandklasser för några väggskivor av KL-trä.

Tabell 6.5 Exempel på väggar av KL-trä som uppfyller krav på avskiljande förmåga vid brand, EI, efter olika tider. Brandmotståndet gäller under förutsättning att KL-träskivorna är fixerade mot en anslutande konstruktion.

Brandklass	Skivtjocklek (mm)
EI60	80 (3-skikt)
EI90	120 (5-skikt)

6.5 Ljud

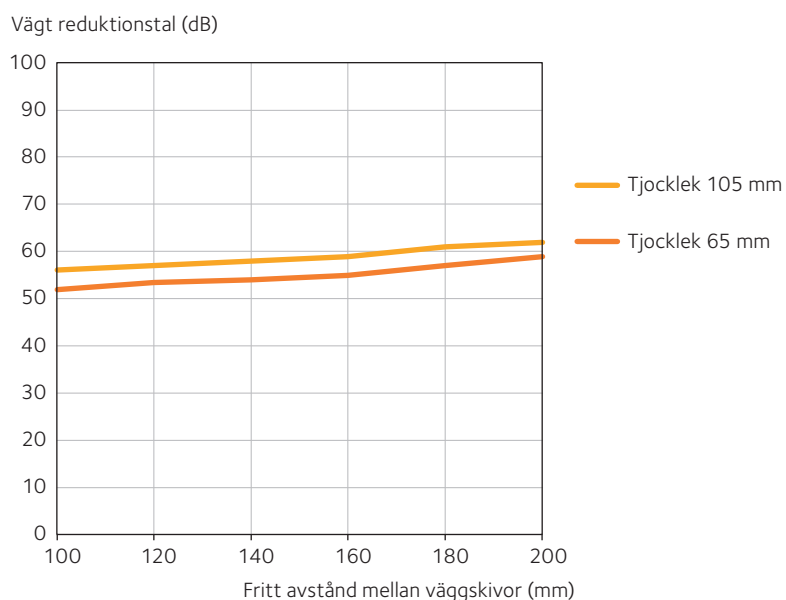
KL-träskivor är ortotropa, det vill säga de är olika styva i olika riktningar. Det medför att luftljudsisoleringen tydligt skiljer sig från andra homogena material. I figur 6.14 visas ett exempel på uppmätt ljudisolering hos två olika konstruktioner, båda med tjockleken 65 mm massivt trä. Skillnaden ligger i att den ena är vekare i form av en spikad väggskiva och den andra är en korslimmad väggskiva. Den lägre styvheten hos den spikade väggen ger bättre ljudisolering, $D_{w+C50-3150}$ är 34 dB för den spikade och 30 dB för den limmade väggen.



Figur 6.14 Uppmätt reduktionstal i laboratorium för en enkel massiv träskiva med tjockleken 65 mm, med spikad respektive limmat utförande inom frekvensområdet 50 – 3150 Hz.

Med en dubbelkonstruktion kan man uppnå mycket hög ljudisolering. I figur 6.15 visas vägt reduktionstal för en dubbelkonstruktion bestående av två 65 mm tjocka KL-träskivor där spalten är fylld med isolering. Resultatet har tagits fram genom interpolation från mätvärden vid 100, 150 och 200 mm spalt. Dessa kurvor är konstruerade utifrån laboriemätta värden och innefattar, liksom övriga data i detta avsnitt, inga säkerhetsmarginaler. Här använda skivtjocklekar är heller inga standardtjocklekar.

Dubbla väggar ger tillräckligt hög ljudisolering även för situationer med mycket höga krav, alltifrån bostäder till musikrum i skolor. De enkla väggarna ger däremot inte särskilt bra värden och kan därför normalt inte användas i de fall det ställs krav på ljudisolering. Man bör dock tänka på att ljudisoleringskurvorna är jämna och inte har några frekvensområden med utpräglat dålig isolering. Detta gör det inte osannolikt att dessa enkelväggar kan användas som rumsskiljande väggar i flervåningshus.



Figur 6.15 Vägt reduktionstal, $R_{w,50-3150}$, för en dubbelvägg med KL-träskivor med tjocklekarna 105 mm respektive 65 mm. Värden framtagna från laboriemätningar och utan säkerhetsmarginaler.

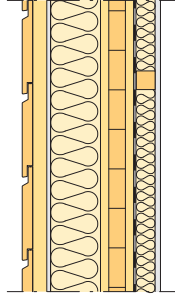
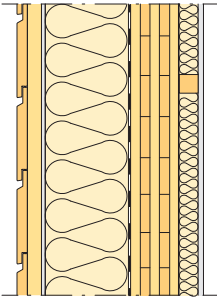
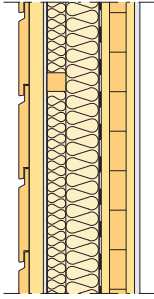
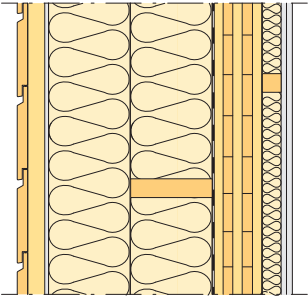
Tabell 6.6 Värden på luftljudsisolering för enkla respektive dubbla väggskivor av KL-trä.

Väggtyp	Skivtjocklek (mm)	Luftspalt mellan väggar (mm)	Isolertjocklek (mm)	$R_{w,50-3150}$ (dB)
Enkel skiva av KL-trä	65	–	–	31 (–1)
Enkel skiva av KL-trä	105	–	–	34 (–1)
Dubbel skiva av KL-trä	2 × 65	10	2 × 70	55 (–3)
Dubbel skiva av KL-trä	2 × 65	10	2 × 95	58 (–2)

6.6 Väggtvärsnitt

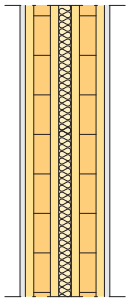
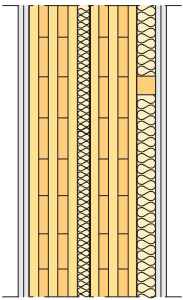
Ytterväggars uppbyggnad kan göras enligt ett stort antal alternativ och önskemål. Synlig insida, invändigt installationsskikt, lätt isolering mellan reglar eller tung isolering och enbart långa träskruvar som bär fasadskiktet, är några av de kombinationer som är möjliga. Nedan presenteras ett antal olika varianter av ytterväggsuppbyggnader. Angivna värden ska betraktas som riktvärden. Se även tabell 8.15, sidan 155.

Tabell 6.7 Sammanställning av några olika utföranden av yttervägg.

Väggtyp	Material (mm)	U-värde [W/m ² K]	Total tjocklek (mm)	Brandklass	Ljudisolering $D_w (C; C_{tr})$
	Vägg typ 1 22 utvändig panelbräda 34 spikläkt Vindskydd 120 tung isolering 80 KL-träskiva Ångbroms 45 reglar och isolering 13 gipsskiva	0,25	314	REI60	38 (-1;-4)
	Vägg typ 2 22 utvändig panelbräda 34 spikläkt Vindskydd 195 tung isolering Ångbroms 100 KL-träskiva 45 reglar och isolering 13 gipsskiva	0,15	409	REI60	41 (-;-)
	Vägg typ 3 22 utvändig panelbräda 34 spikläkt Vindskydd 45 reglar och isolering 95 tung isolering Ångbroms 80 KL-träskiva 15 brandgipsskiva	0,25	291	REI60	51 (-3;-9)
	Vägg typ 4 22 utvändig panelbräda 34 spikläkt Vindskydd 170 vertikala reglar och isolering 170 horisontella reglar och isolering Ångbroms 100 KL-träskiva 45 reglar och isolering 2 x 13 gipsskiva	0,10	567	REI90	52 (-;-)

Lägenhetsskiljande väggar ska avskilja två separata lägenheter med avseende på brand samt ljud och ofta ska lägenhetsskiljande väggen även klara vertikala och horisontella laster. Uppbyggnaden av lägenhetsskiljande väggar av KL-trä kan principiellt delas in i två alternativa lösningar, dubbla väggskivor av KL-trä och enkla väggskivor av KL-trä som kläs in med regelkonstruktioner. Nedan presenteras ett antal olika varianter av lägenhetsskiljande vägguppbyggnader. Angivna värden ska betraktas som riktvärden. Se även tabell 8.15, sidan 155.

Tabell 6.8 Sammanställning av några olika utföranden av lägenhetsskiljande vägg.

Väggtyp	Material (mm)	Total tjocklek (mm)	Brandklass	Ljudisolering D_w (C; C _v)
	Vägg typ 1 13 gipsskiva 80 KL-träskiva 30 isolering 80 KL-träskiva 13 gipsskiva	216	REI60	56 (-;-)
	Vägg typ 2 2 × 13 gipsskiva 100 KL-träskiva 30 isolering 100 KL-träskiva 45 regler och isolering 2 × 13 gipsskiva	327	REI90	62 (-;-)

6.7 Utförande och detaljlösningar

6.7.1 Anslutningar vägg mot grund

Anslutning mellan grund och yttervägg kan utföras på olika sätt. När väggen kompletteras på byggarbetsplatsen levereras en KL-träskiva som förses med isolering, tätskikt, fasad, fönster och dörrar på byggarbetsplatsen. I de fall då kompletterande skikt görs på byggarbetsplatsen finns alla möjligheter att dölja infästningarna. När väggen är prefabricerad så ingår isolering, tätskikt och eventuellt fasad beroende på typ, samt fönster och dörrar om så är önskvärt. En vanlig metod att göra infästningen på är att placera en syllregel som fästs mot grunden och fungerar som både infästning och styrregel för väggen. KL-träskivan skruvas sedan inifrån mot den i betongplattan fixerade syllregeln, se figur 6.16, sidan 125. På syllregelns översida ska en tätrensas finnas som tätar mot den prefabricerade väggens underkant.

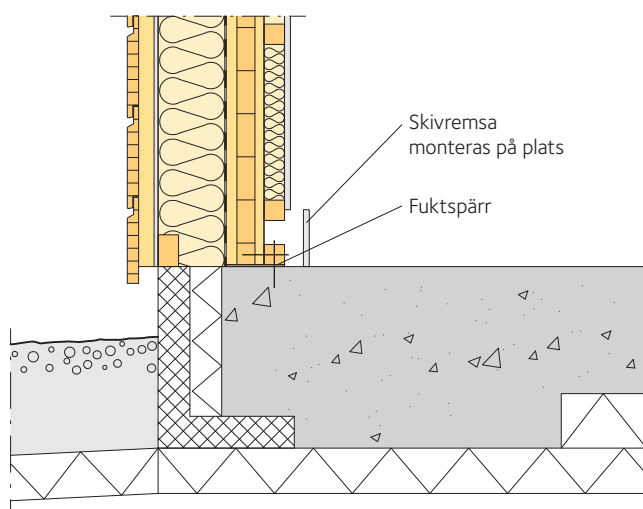
I anslutningen mellan vägg och grund råder normalt de högsta tvär- och lyftkrafterna. För att uppfylla kraven på bärförmåga och täthet i anslutningen är det viktigt att grunden görs med små måttoleranser. Med små ojämnheter i grunden blir montagearbetet med de massiva träkomponenterna också effektivare. För ytterligare information kring infästningar, se avsnitt 4.4.6, sidan 79.

6.7.2 Anslutningar mellan vägg och bjälklag

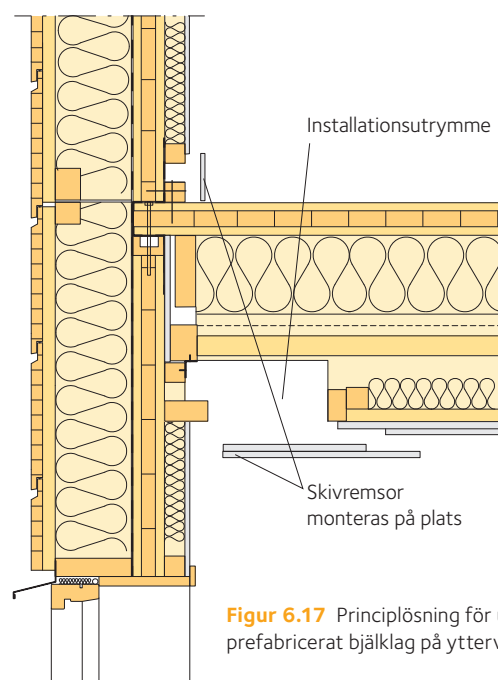
Anslutning mellan bärande vägg och bjälklag är den knutpunkt som oftast ska uppfylla ett stort antal funktioner; lastöverföring både vertikalt och horisontellt och samtidigt klara de byggfysikaliska kraven med avseende på täthet, isoleringsförmåga samt brand- och ljudkraven. Principiellt finns det två metoder för knutpunkten mellan bjälklag och vägg, upplagda bjälklag respektive inhängda bjälklag.

Med upplagt bjälklag, se figur 6.17, avses en knutpunkt där bjälklaget är placerat på den bärande väggen. Fördelen med att placera bjälklaget på väggen är framförallt byggbarhet och att vertikal last kommer ner centriskt på den bärande väggen. Bjälklagsplattan av KL-trä läggs upp på den bärande väggskivan av KL-trä. Mellan bjälklaget och väggen monteras en flanktransmissionslist som dimensioneras med avseende på upplagstrycket. Bjälklagsplattan fästs till underliggande vägg med vinkelbeslag eller träskruvar. Antal skruvar och beslag dimensioneras efter de förutsättningar som gäller för byggnaden. Om det erfordras kompletterande skikt för att uppnå brand- och ljudklasser finns möjligheten att det kan ingå i bjälklagsleveransen och enbart mindre kompletteringar krävs då på byggarbetsplatsen. Alternativt kan kompletteringarna för brand och ljud göras helt på byggarbetsplatsen. Beroende på kraven på ljudisolering och ytskikt med mera, kompletteras bjälklagets ovansida i våtrum med golvgips, tätskikt och klinker eller matta, se kapitel 8, sidan 145. För andra utrymmen läggs matta eller parkett.

För inhängda bjälklag görs anslutningen så att bjälklaget placeras mellan de bärande väggarna. Bjälkagen bärs upp av speciellt utformade beslag eller på väggen placerad kantbjälke. Fördelen med att



Figur 6.16 Anslutning prefabricerad yttervägg av KL-trä mot betongplatta.



Figur 6.17 Principlösning för upplagt prefabricerat bjälklag på yttervägg.

använda sig av inhängda bjälklag är att flanktransmissionslister med lägre densitet och bärförmåga kan användas, vilket innebär en kostnadsbesparing. För högre hus med stora vertikala laster kan det vara svårt att finna flanktransmissionslister med tillräcklig bärförmåga. En annan fördel gentemot upplagda bjälklag är att man får mindre trä utsatt för stora vertikala laster vinkelrätt mot fibrerna. För fler exempel på anslutningar, se avsnitt 5.6, sidan 104.

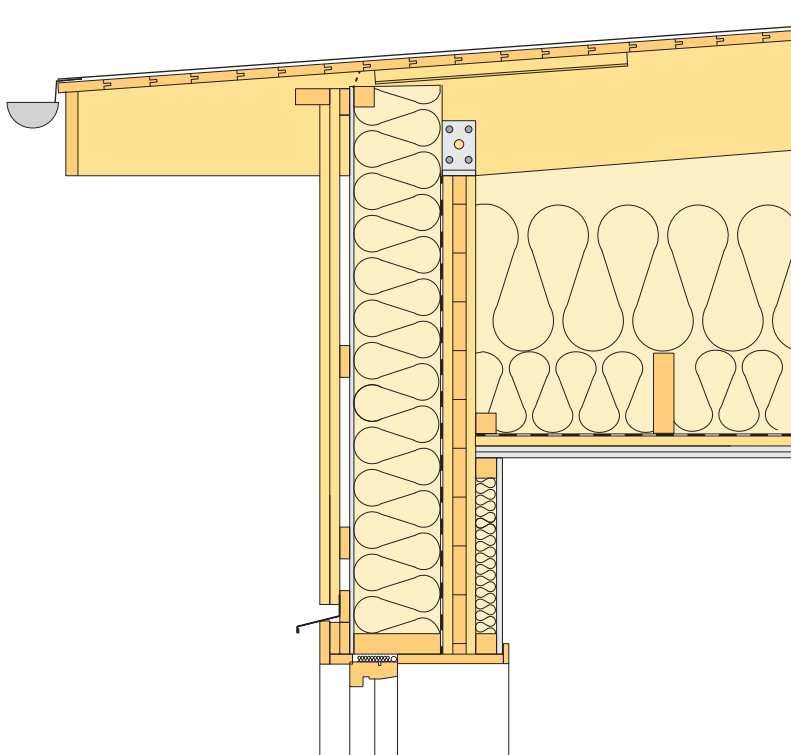
6.7.3 Anslutningar mellan vägg och takstomme

Anslutning mellan takstomme och KL-träskivor kan utföras med vinkelbeslag, gaffelankare eller skråskruvning direkt i KL-träskivorna. Dimensionering av förbandet ska göras enligt Eurokod 5 med tillhörande EKS. Upplagstrycket mellan en traditionell takstol och KL-träskivan kan bli relativt stort då väggskivan har relativt liten tjocklek och takstolens underram normalt endast består av 45 mm regler. För att fördela ut upplagstrycket kan takstolen kompletteras med limspikade trälaskar.

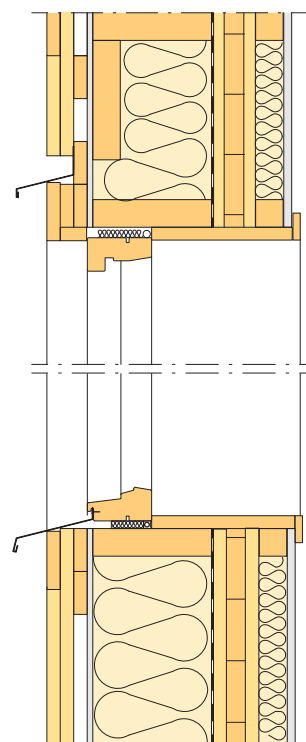
Fuktskydd och värmeisolering klaras genom att väggens uppbyggnad fortsätter upp för takstolen, med utvändigt fuktskydd av utvändiga panelbrädor, luftspalt och diffusionsöppen duk. Invändigt ansluts väggens diffusionskydd till takets diffusionskydd.

6.7.4 Anslutningar mellan yttervägg och fönster

Med KL-träskivor ges stor frihet att utforma infästningar av fönster, dörrar och beslag. För infästning av fönster och dörrar finns det två principlösningar, infästning direkt i KL-träskivan, alternativt att fästa en yttre ram eller vinkelbeslag till KL-träskivan där fönster kan fästas.



Figur 6.18 Exempel på anslutning och infästning av takbalkar.



Figur 6.19 Principutformning av fönsterinfästning.

Montage av fönster och dörrar kan göras på traditionellt vis och anslutningar görs vanligtvis enligt gällande anvisningar i AMA Hus och RA Hus. Ångbromsen kläms mot bottningslist och kompletteras i smygen. Tätningen kompletteras invändigt med fogmassa. Droppbleck monteras mot stödprofil av trä. Spiklätken och den horisontella regeln under karmbottenstycket placeras så att god lutning av fönsterblecket erhålls.

6.7.5 Anslutningar i ytterväggshörn

Med en bärande stomme av KL-trä får man stor frihet att välja uppbyggnaden av ytterhörn. Kompletterande regler och isolering kan utföras platsbyggda eller vara prefabricerade tillsammans med den bärande KL-träskivan. Vindskyddet skruvas eller kläms fast mot regelverket.

6.8 Beräkningsexempel

6.8.1 Väggskiva med öppningar – kontroll av knäckning

Förutsättningar:

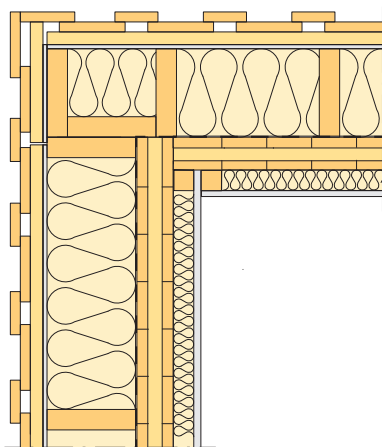
En vertikalt belastad yttervägg på första våningen i en tvåvåningsbyggnad har höjden $l_e = 2,95$ m och bredden $b_0 = 4,54$ m. Väggen har två fönster och effektiv väggbredd utan fönster är $b_{ef} = 2,40$ m, se figur 6.21 och figur 6.22, sidan 128.

Dimensionerande last från tak, vägg och bjälklag ovanför väggen är $F_d = 30$ kN/m. Vindtryck tvärs väggen är $q_d = 2,4$ kN/m².

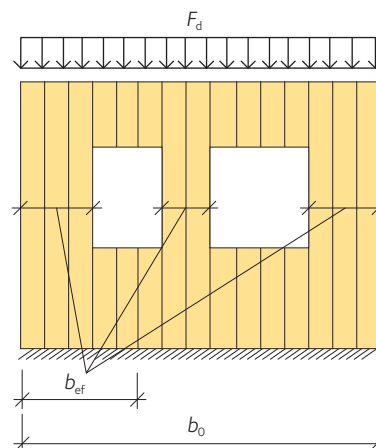
Väggen består av en 3-skiktsskiva av KL-trä, med tjockleken $3 \times 30 = 90$ mm och med samtliga skikt av brädor i hållfasthetsklass C24. Klimatklass 1, säkerhetsklass 3 ($\gamma_d = 1$).

För KL-trä med enbart brädor i hållfasthetsklass C24 gäller enligt tabell 3.7, sidan 38:

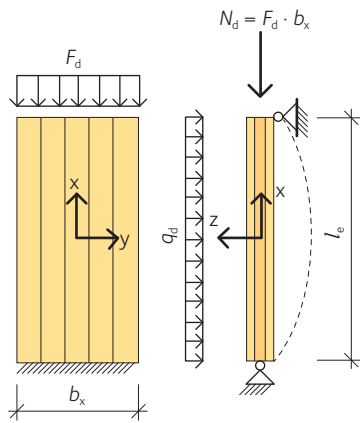
$$\begin{aligned} E_{0,x,0,05} &= 7\,400 \text{ MPa} \\ E_{0,x,\text{mean}} &= 11\,000 \text{ MPa} \\ G_{9090,x,\text{lay,mean}} &= 50 \text{ MPa} \\ G_{090,x,\text{lay,mean}} &= 690 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Figur 6.20 Principutförande av hörn i yttervägg, horisontalsnitt.



Figur 6.21 Väggskiva med öppningar.



Figur 6.22 Del av väggskiva.

Enligt tabell 3.6, sidan 38 gäller:

$$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$$

Med $\gamma_M = 1,25$ enligt tabell 3.2, sidan 35 och $k_{mod} = 0,9$ enligt tabell 3.3, sidan 36 (vindlast huvudlast = korttidslast) blir dimensionerande hållfastheter:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 24}{1,25} = 17,28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 21}{1,25} = 15,12 \text{ MPa}$$

Beräkningar:

Tvårsnittstorheter för olika dimensioner för 3-skiktsskivor av KL-trä finns i tabell 3.11, sidan 45 samt i tabell 3.13, sidan 47 för KL-träskivor med brädor i hållfasthetsklass C24. Tvårsnittsegenskaper kan också beräknas för en strimla $b_x = 1,0$ m av skivan, se tabell 6.9.

Knäckning kontrolleras i brottgränstillstånd:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

Tabell 6.9 Egenskaper för 3-skiktssymmetrisk skiva av KL-trä, strimla med bredd $b_x = 1,0$ m. Skivtjocklek 90 mm (30/30/30).

Egenskap	Beräkningsformel	Tillämpning i exemplet
Tyngdpunktscentrum (mm)	$z_s = \frac{h_{KLT}}{2}$	$z_s = \frac{90}{2} = 45 \text{ mm}$
Tvårsnittsarean (mm ²)	$A_{x,net} = b_x \cdot 2 \cdot t_1$	$A_{x,net} = 1000 \cdot 2 \cdot 30 = 600 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$
Nettotröghetsmoment (mm ⁴)	$I_{x,net} = b_x \left(\frac{t_3^3}{12} + t_1 a_1^2 + \frac{t_3^3}{12} + t_3 a_3^2 \right) = b_x \left(2 \cdot \frac{t_3^3}{12} + 2 \cdot t_1 a_1^2 \right)$	$I_{x,net} = 1000 \left(2 \cdot \frac{30^3}{12} + 2 \cdot 30 \cdot 30^2 \right) = 5850 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
Nettoböjmotstånd (mm ³)	$W_{x,net} = \frac{I_{x,net}}{z_s}$	$W_{x,net} = \frac{5850 \cdot 10^4}{45} = 1300 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
Gammavärden	$\gamma_1 = 1; \quad \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{x,3} t_3}{l_c^2} \frac{t_2}{G_{9090,2}}}$	$\gamma_1 = 1; \quad \gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 11000 \cdot 30}{2950^2} \frac{30}{50}} = 0,817$
Effektivt böjmotstånd (mm ⁴)	$I_{x,ef} = \frac{b_x t_3^3}{12} + b_x t_1 a_1^2 + \frac{b_x t_3^3}{12} + \gamma_3 b_x t_3 a_3^2 = b_x \cdot \left(\frac{2 \cdot t_3^3}{12} + (1 + \gamma_3) t_1 a_1^2 \right)$	$I_{x,ef} = 1000 \cdot \left(\frac{2 \cdot 30^3}{12} + (1 + 0,817) \cdot 30 \cdot 30^2 \right) = 5356 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
Effektiv tröghetsradie $i_{x,ef}$	$i_{x,ef} = \sqrt{\frac{I_{x,ef}}{A_{x,net}}}$	$i_{x,ef} = \sqrt{\frac{5356 \cdot 10^4}{600 \cdot 10^2}} = 29,87 \text{ mm}$
Slankhetsfaktor λ_y	$\lambda_y = \frac{l_e}{i_{x,ef}}$	$\lambda_y = \frac{2950}{29,87} = 98,8$

Reduktionsfaktorn $k_{c,y}$ kan skrivas som:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,971 + \sqrt{1,971^2 - 1,675^2}} = 0,332$$

där:

$$k_y = 0,5 \left(1 + 0,1 \left(\lambda_{rel,y} - 0,3 \right) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 0,5 \left(1 + 0,1 \left(1,675 - 0,3 \right) + 1,675^2 \right) = 1,971$$

där:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{98,8}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,675$$

Vid öppningar i väggen erhålls större belastning på de återstående väggdelarna. I regel kan man räkna med jämnt utbredd last på väggdelar mellan fönster. Laster fördelas till effektiva bredden b_{ef} med faktor f_b :

$$f_b = \frac{b_0}{b_{ef}} = \frac{4,54}{2,40} = 1,89$$

Vertikala lasten beräknas för en 1,0 m strimla av effektiva bredden b_{ef} :

$$N_d = b_x \cdot f_b \cdot P_d = 1,0 \cdot 1,89 \cdot 30 = 57 \text{ kN}$$

Moment av vindlasten:

$$M_{y,d} = \frac{q_d \cdot l_e^2}{8} = \frac{2,4 \cdot 1,89 \cdot 2,95^2}{8} = 4,93 \text{ kNm}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{N_d}{k_{c,y} \cdot A_{x,net} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{M_{y,d}}{W_{x,net} \cdot f_{m,d}} =$$

$$\frac{57 \cdot 10^3}{0,332 \cdot 600 \cdot 10^2 \cdot 13,44} + \frac{4,93 \cdot 10^6}{1300 \cdot 10^3 \cdot 15,36} = 0,213 + 0,247 = 0,460 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Väggen klarar tryck- och momentbelastningen, utnyttjandegraden är 46 procent.

6.8.2 Balk över öppning, upplagd på pellarstöd

Med minskande spännvidd/höjdförhållande gäller inte längre linjär spänningsfördelning enligt balkteorin. För väggbalkar med ungefär $l/h \leq 4$ blir icke-linjärt beteende märkbart och det måste beaktas vid $l/h \leq 2$. Kantspänningar vid beräkning enligt platteori beror på lasten vid skivans övre och nedre del och på l/h -förhållandet.

Vid kontinuerliga system påverkar skjuvdeformationen de inre krafterna. Moment vid upplag minskar och moment i fältmitt ökar. Därför rekommenderas att moment och böjspänningar samt böj deformationer bestäms utifrån en fritt upplagd balk i det längsta spannet. Upplagskrafter och tvärkrafter kan bestämmas utifrån en kontinuerlig balk.



Portvakten, Växjö.

Tabell 6.10 Laster och lastfaktorer.

Last	kN/m ²	γ_d, γ_Q	Lastvaraktighetsklass	k_{mod}	ψ_0	ψ_1	ψ_2
g_k	11,7	0,89 · 1,35	Permanent (P)	0,6	-	-	-
n_k	6,00	1,5	Medellång (M)	0,8	0,7	0,5	0,3
s_k	3,50	1,5	Medellång (M)	0,8	0,8	0,6	0,2

Förutsättningar:

En vertikalt och horisontellt belastad väggskiva, med två spann med längderna $l_1 = 4,5$ m och $l_2 = 6,5$ m och höjden $h = 3$ m, se figur 6.23.

Laster:

- Egentyngd från tak ovanför väggen är $g_k = 4,0$ kN/m och från vägg och bjälklag i nederkant är $g_k = 7,7$ kN/m.
- Nyttig last som belastar i nederkant är $n_k = 6,0$ kN/m.
- Snölast som belastar i ovankant är $s_k = 3,5$ kN/m.
- Laster och lastfaktorer enligt tabell 6.10.

Väggen består av en 5-skiktsskiva av KL-trä, med tjockleken $30+20+30+20+30 = 130$ mm och med samtliga skikt av brädor i hållfasthetsklass C24. Klimatklass 1, säkerhetsklass 3 ($\gamma_d = 1$).

För KL-trä med enbart brädor i hållfasthetsklass C24 gäller enligt tabell 3.7, sidan 38:

$$\begin{aligned} E_{0,x,0,05} &= 7\,400 \text{ MPa} \\ E_{0,x,\text{mean}} &= 11\,000 \text{ MPa} \\ G_{9090,x,\text{lay,mean}} &= 50 \text{ MPa} \\ G_{090,x,\text{lay,mean}} &= 690 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Enligt tabell 3.6, sidan 38 gäller:

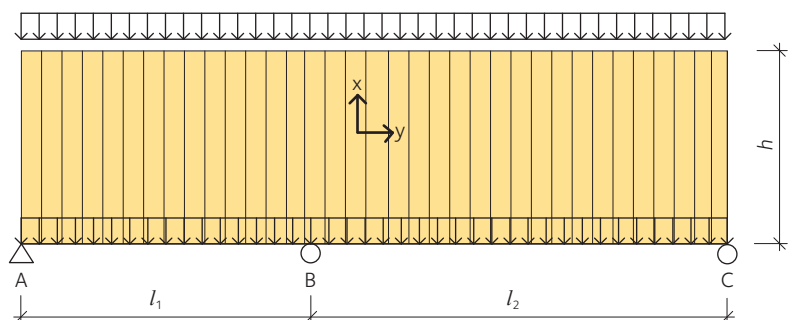
$$\begin{aligned} f_{m,k} &= 24 \text{ MPa} \\ f_{c,0,k} &= 21 \text{ MPa} \\ f_{v,k} &= 4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Med $\gamma_M = 1,25$ enligt tabell 3.2, sidan 35 och $k_{mod} = 0,8$ enligt tabell 3.3, sidan 36 (nyttig last huvudlast = medellång) blir dimensionerande hållfastheter:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 24}{1,25} = 15,36 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 21}{1,25} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 4}{1,25} = 2,56 \text{ MPa}$$



Figur 6.23 Väggskiva på pelarstöd.

Beräkningar:

Dimensionerande lastkombination för vertikal last:

$$q_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_{Q,n} \cdot n_k + \gamma_{Q,s} \cdot \Psi_{0,s} \cdot s_k =$$

$$0,89 \cdot 1,35 \cdot 11,7 + 1,5 \cdot 6,00 + 1,5 \cdot 0,8 \cdot 3,5 = 27,3 \text{ kN/m}$$

MomentDimensionerande moment för en enkelspänd balk med längden $l_2 = 6,5 \text{ m}$:

$$M_d = \frac{q_d \cdot l_2^2}{8} = \frac{27,3 \cdot 6,5^2}{8} = 144,2 \text{ kNm}$$

Tvärsnittet vid böjning beräknas för de horisontella skikten, det vill säga enbart brädskiten i bärriktningen:

$$W_{z,\text{net}} = \frac{d_z \cdot h^2}{6} = \frac{0,04 \cdot 3^2}{6} = 0,06 \text{ m}^3$$

med d_z = totala brädtjockleken för de horisontella skikten:

$$\sigma_d = \frac{M_d}{W_{z,\text{net}}} = \frac{144,2 \cdot 10^3}{0,06 \cdot 10^6} = 2,40 \text{ MPa} < f_{m,d} = 15,36 \text{ MPa}$$

Tvärkraft

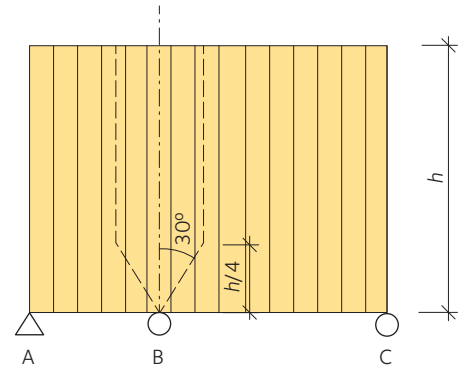
Dimensionerande tvärkraft:

$$V_d = 0,625 \cdot q_d \cdot l_2 = 0,625 \cdot 27,3 \cdot 6,5 = 110,9 \text{ kN}$$

$$A_{z,\text{net}} = d_z \cdot h = 0,04 \cdot 3 = 0,12 \text{ m}^2$$

med d_z = totala brädtjockleken för de horisontella skikten:

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A_{z,\text{net}}} = 1,5 \cdot \frac{110,9 \cdot 10^3}{0,12 \cdot 10^6} = 1,38 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,56 \text{ MPa}$$



Figur 6.24 Lastspridning av stödreaktion.

Tabell 6.11 Egenskaper för 5-skiktssymmetrisk skiva av KL-trä, strimla med bredd $b_x = 1,0 \text{ m}$. Skivtjocklek 130 mm (30/20/30/20/30).

Egenskap	Beräkningsformel	Applikation till exempel
Tvärsnittsarean (mm ²)	$A_{x,\text{net}} = b_x \cdot 3 \cdot t_1$	$A_{x,\text{net}} = 1000 \cdot 3 \cdot 30 = 900 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$
Gammavärden	$\gamma_3 = 1 \quad \gamma_1 = \gamma_5 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_{x5} t_5^2}{l_{\text{ref}}^2} \cdot \frac{t_4}{G_{9090,4}}}$	$\gamma_3 = 1 \quad \gamma_1 = \gamma_5 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 11000 \cdot 30 \cdot 20}{3000^2} \cdot \frac{20}{50}} = 0,874$
Effektivt böjmotstånd (mm ⁴)	$I_{x,\text{ef}} = \frac{b_x t_1^3}{12} + \gamma_1 b_x t_1 a_1^2 + \frac{b_x t_3^3}{12} + \frac{b_x t_5^3}{12} + \gamma_5 b_x t_5 a_5^2 = b_x \cdot \left(\frac{3 \cdot t_1^3}{12} + 2\gamma_1 t_1 a_1^2 \right)$	$I_{x,\text{ef}} = 1000 \cdot \left(\frac{3 \cdot 30^3}{12} + 2 \cdot 0,874 \cdot 30 \cdot 50^2 \right) = 13785 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
Tröghetsradie $i_{x,\text{ef}}$	$i_{x,\text{ef}} = \sqrt{\frac{I_{x,\text{ef}}}{A_{x,\text{net}}}}$	$i_{x,\text{ef}} = \sqrt{\frac{13785 \cdot 10^4}{900 \cdot 10^2}} = 39,1 \text{ mm}$
Slankhetsfaktor λ_y	$\lambda_y = \frac{l_k}{i_{x,\text{ef}}}$	$\lambda_y = \frac{3000}{39,1} = 76,7$



Interiör med KL-trä och limträ.

Tryckkraft

Lastspridning från upplag beräknas med vinkeln 30° ut från stödet upp till höjden $h/4$.

Upplagsreaktion:

$$M_B = -\frac{q_d l_1^3 + q_d l_2^3}{8(l_1 + l_2)} = \frac{27,3 \cdot 4,5^3 + 27,3 \cdot 6,5^3}{8(4,5 + 6,5)} = 113 \text{ kNm}$$

$$R_B = \frac{q_d l_1}{2} + \frac{q_d l_2}{2} - \frac{M_B}{l_1} - \frac{M_B}{l_2} = \frac{27,3 \cdot 4,5}{2} + \frac{27,3 \cdot 6,5}{2} - \frac{113}{4,5} - \frac{113}{6,5} = 193 \text{ kN}$$

Lastspridning:

$$B_{\text{uppl}} = 2 \cdot \frac{h}{4} \cdot \tan(30^\circ) = 2 \cdot \frac{3}{4} \cdot 0,577 = 0,86 \text{ m}$$

Det vill säga att upplagsreaktionen sprids på en bredd av 0,86 m med en kraft av:

$$n_d = \frac{R_B}{B_{\text{uppl}}} = \frac{193}{0,86} = 224 \text{ kN/m}$$

Kontroll av knäckning görs för en strimla av 1,0 m vilket ger kraften:

$$n_{1,d} = \frac{n_d}{B_{\text{uppl}}} = \frac{224}{0,86} = 260 \text{ kN/m}$$

Kontroll av knäckning

Egenskaperna för 5-skiktsskivan blir enligt tabell 6.11, sidan 131.

Knäckning kontrolleras i brottgränstillstånd:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

Reduktionsfaktorn $k_{c,y}$ kan skrivas som:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},y}^2}} = \frac{1}{1,395 + \sqrt{1,395^2 - 1,30^2}} = 0,526$$

där:

$$k_y = 0,5(1 + 0,1(\lambda_{\text{rel},y} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},y}^2) = 0,5(1 + 0,1(1,30 - 0,3) + 1,30^2) = 1,395$$

där:

$$\lambda_{\text{rel},y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{76,7}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,30$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{n_{1,d}}{A_{x,\text{net}}} = \frac{260 \cdot 10^3}{900 \cdot 10^2} = 2,88 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{2,88}{0,526 \cdot 13,44} = 0,41 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Väggen klarar tryckbelastningen, utnyttjandegraden är 41 procent.

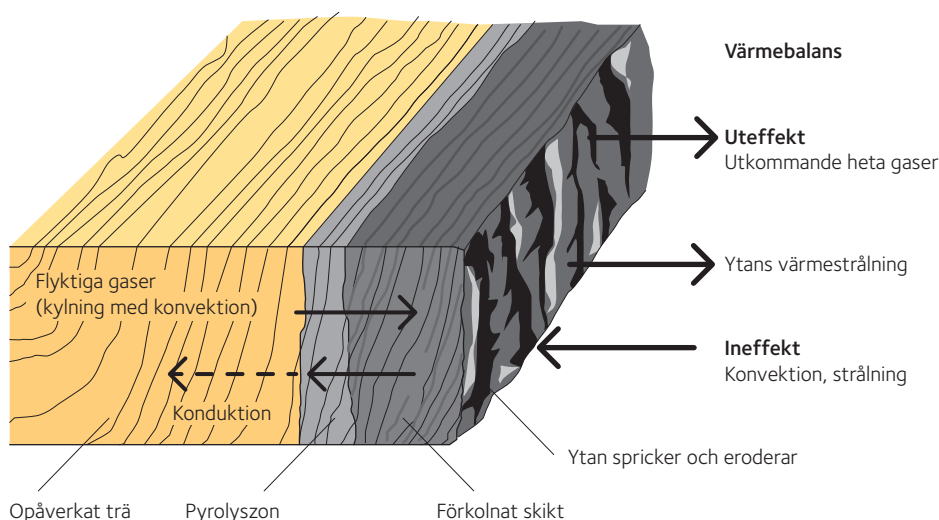
KL-trä och brand

Sedan mitten av 1990-talet har en övergång skett till funktionskrav i brandföreskrifterna. Detta har kunnat ske genom att kunskapen om brandbeteendet hos trämaterial och träkonstruktioner har ökat genom omfattande studier. Träkonstruktioner kan nu dimensioneras brandtekniskt med nya beräkningsmodeller. Trästommar har därmed blivit ett konkurrenskraftigt alternativ även för flervåningshus.

7.1 Trä och brand

Om en synlig träyta blir utsatt för brandpåverkan kommer den att antändas. Förbränningen fortskrider sedan inåt med i stort sett konstant hastighet. Inträngningen sker dock långsamt på grund av att det kolskikt som bildas är värmeisolerande och motverkar värmeflödet från brandrummet till pyrolyszonen. I pyrolyszonen råder temperaturer mellan cirka 250 och 350 °C och där bildas brännbara gaser som diffunderar genom kolskiktet tills de möter syre vid ytan och börjar brinna. En tydlig gräns mellan kolskiktet och resttvärsnittet bildas vid 300 °C, se figur 7.1. Vid breda sprickor och yttre hörn är inbränningen större. Träets gynnsamma egenskaper vid en brand beror främst på att det "skyddar sig självt", genom kolskiktet, men ibland behövs ett extra brandskydd av beklädnadsskivor.

Temperaturen i de oförbrända delarna av en grov träkonstruktion förblir även under långvarig brandpåverkan i huvudsak opåverkad. Endast i en smal zon omedelbart under kolskiktet, förekommer temperaturer över 100 °C, samtidigt som hållfastheten och styvheten där är väsentligt lägre än i det opåverkade träet.



Figur 7.1 Fenomen vid förkolningsprocessen.

7.1 Trä och brand 133

7.1.1 Brand i byggnader – två viktiga faser 134

7.1.2 Brandtekniska krav i byggreglerna 135

7.1.3 Dimensionerande laster vid brand 136

7.2 Brandmotstånd hos KL-trä 138

7.2.1 Förkolning 138

7.2.2 Effektivt tvärsnitt 138

7.3 Utförande och detaljlösningar 140

7.3.1 Genomföringar 140

7.4 Beräkningsexempel 141

7.4.1 Oskyddad bjälklagsplatta 141

7.4.2 Skyddad bjälklagsplatta 142

7.4.3 Oskyddad väggskiva 143

7.4.4 Skyddad väggskiva 143



Nordosterdal skola, Norge.

Trä isolerar bra mot värme. Under ett brandförlopp överförs en stor andel av värmen via massöverföring främst genom diffusion av brandgaser. När dessa gaser rör sig inåt stiger temperaturen tills träet börjar sönderfalla och förkolna, medan de i den förkolnade zonen dämpar temperaturhöjningen i det glödande kolskiktet. Innanför det förkolnade skiktet finns ett skikt där temperaturen inte är tillräckligt hög för att förkolning ska ske, men träets egenskaper påverkas. Metoden för effektivt tvärsnitt i SS-EN 1995-1-2 rekommenderas för att ta hänsyn till de reducerade egenskaperna.

Metoder för att beräkna brandmotstånd hos KL-trä finns inte med i nuvarande version av SS-EN 1995-1-2, men kommer att ingå i nästa version och baseras på bland annat den europeiska handboken *Fire Safety in Timber Buildings* och på den nordiska handboken *Brandsäkra trähus, version 3, se avsnitt 7.2, sidan 138*.

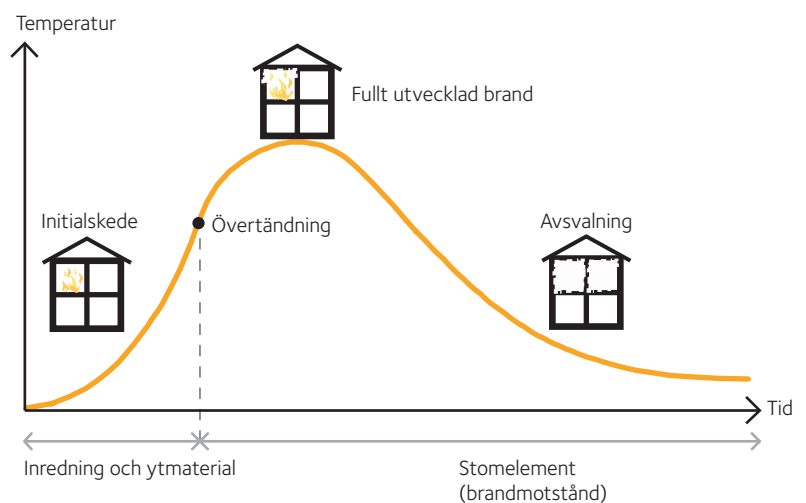
Metalliska fästdon som spikar, träskruvar, dymlingar med flera kan bidra till ökat värmeflöde in i träet och medföra en ökad inbränning. Forskning inom detta område pågår och viss information går att finna i SS-EN 1995-1-2.

7.1.1 Brand i byggnad – två viktiga faser

Det finns två viktiga faser för brand i byggnader, det inledande brandförloppet med krav på ytmaterial och den fullt utvecklade branden med krav på byggnadsstommen, se figur 7.2.

I brandens initialskele har byggnadens innehåll, det vill säga möbler och inredning störst betydelse, men det är inte reglerat i byggnormer. Ytskikt på väggar och i tak kan bidra, särskilt i utrymningsvägar och likartade utrymmen där det inte får finnas lös inredning. Begränsningar gällande användningen av brännbara ytskikt i utrymningsvägar finns därför i de flesta länders byggnormer. Vid fullt utvecklade brand, det vill säga efter övertändning av ett rum, blir brandmotståndet hos väggar och bjälklag viktiga för att begränsa branden till startutrymmet.

Generellt sett kan träkonstruktioner uppnå höga brandmotstånd, medan brandbeteendet hos synliga trätytor inte uppfyller de högsta brandkraven.



Figur 7.2 Brand i byggnader inkluderar två faser, initial brand med krav på brandegenskaper hos ytmaterial och fullt utvecklad brand med krav på brandmotstånd hos stomelement.

7.1.2 Brandtekniska krav i byggreglerna

Brandtekniska krav för byggnader omfattar krav på både ytskikt och stomme.

Övergripande krav

Byggnaders brandskydd ska projekteras, utformas och verifieras genom förenklad eller analytisk dimensionering. Förenklad dimensionering innebär att byggherren uppfyller föreskrifterna genom de lösningar och metoder som anges i Boverkets byggregler, BBR. Analytisk dimensionering innebär att byggherren uppfyller föreskrifterna på annat sätt och verifierar detta genom att göra en kvalitativ bedömning, scenarioanalys eller kvantitativ riskanalys.

Vilka krav som ställs på byggnaden bestäms av byggnadsklass Br 0 – Br 3 för hela byggnader och beror framförallt på utrymningsmöjligheterna och hur stor risken är för allvarliga personskador om en brand skulle uppstå. Faktorer som byggnadens storlek, antalet våningar och vad den ska användas till, exempelvis bostäder, påverkar byggnadsklassen. Byggnadsklasserna Br 0 – Br 3 definieras i BBR utifrån skyddsbehov, se tabell 7.1.

Det finns även en indelning av byggnader i verksamhetsklasser 1 – 6 som ska beaktas.

Brandkrav på stomme och byggnadsdelar

Byggnadsdelar ska uppfylla bland annat följande brandtekniska funktioner:

- R Bärförmåga
- E Integritet (täthet)
- I Isolering.

Beteckningarna kan kombineras och åtföljs av ett tidskrav; 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240 eller 360 minuter. Siffrorna anger den tid i minuter som byggnadsdelen förmår motstå brandpåverkan från en standardbrand, utan att förlora sin bärande eller avskiljande funktion. En bärande avskiljande vägg kan till exempel behöva uppfylla kravet REI 60, det vill säga behöva motstå en standardbrand under 60 minuter med avseende på alla tre kraven.

När konstruktionen måste klara en viss mekanisk påverkan kompletteras klassningen med beteckningen M. Beteckningen REI 90-M anger således att konstruktionen klarar mekanisk påverkan samtidigt som den klarar bärförmåga, täthet- och temperaturkrav i 90 minuter för en standardbrand. Konstruktionens mekaniska hållfasthet bestäms av lokalens verksamhet och KL-trä kan i de flesta fall uppfylla de krav som ställs enbart med de dimensioner som erhålls vid dimensionering i brandlastfallet.

Enligt de nationella föreskrifterna ska bärande konstruktioner utformas och dimensioneras så att säkerheten mot brott är betryggande även vid brandpåverkan. Detta visas genom att beräkna bärförmågan under realistiska förutsättningar beträffande till exempel temperaturförloppet (så kallat naturligt brandförlopp). För konstruktioner är beräkningsmetoder för naturliga bränder komplicerade och därför använder man en förenklad schablonmetod där standardbrandkurvan följer ett givet samband mellan tid och temperatur. Bärverket byggs då upp av brandtekniskt klassificerade delar dimensionerade för standardbrand av olika varaktighet enligt de nationella föreskrifterna.



Multihall, Svenljunga.

Tabell 7.1 Byggnadsklasser definierade i BBR utifrån skyddsbehov.

Byggnads-klass	Definition
Br 0	Byggnader med mycket stort skyddsbehov, ny klass som infördes 2012. Byggnad > 16 våningar ska dimensioneras analytiskt.
Br 1	Byggnader med stort skyddsbehov, främst byggnader > 2 våningar.
Br 2	Byggnader med måttligt skyddsbehov, främst byggnader med 1 – 2 våningar.
Br 3	Byggnader med litet skyddsbehov, främst enplansbyggnader.



Hantering av KL-träskivor hos tillverkaren.

Brandkrav på ytskikt

Ytskikt definieras som den yttre synliga delen av en byggnadskonstruktion som kan bli exponerad i en brands tidiga skede och ytskiktets klassen betecknar förmågan att hindra eller fördröja övertändning och rökutveckling. Ytskiktet kan vara en obehandlad träyta. Ytskikten indelas i europeiska brandklasser, se tabell 7.2. Exempel på brandklass för några byggmaterial visas också i tabellen.

Klass B är den högsta klass som kan uppnås för brännbara produkter och klass D motsvarar egenskaperna hos obehandlad träpanel. Takytor i brandsäkra byggnader (byggnadsklass Br 1) bör ha ytskikt som motsvarar klass B och väggytor i klass C. Brandhårdiga byggnader (byggnadsklass Br 2) bör ha ytskikt klass C i tak och klass D på vägg. För takytor rekommenderas i båda fallen underlag av obrännbart material eller så kallad tändskyddande beklädnad, till exempel gipskiva eller annat obrännbart skivmaterial.

Ytskikt klass D kan användas i främst i byggnadsklass Br 3, till exempel i enbostadshus. I övriga byggnadsklasser krävs ytskikt klass B eller C, som kan uppnås med brandskyddsbehandling. Men om byggnaden sprinklas kan ytskikt klass D användas även i högre och större byggnader. Dessutom kan man då erbjuda ett mycket säkert boende, eftersom sprinkler ger tid för utrymning och räddar därmed liv.

För golvbeläggningar finns liknande europeiska brandklasser kallade $A_{fl} - F_{fl}$. Massiva trägolv av gran kan uppnå klass C_{fl} och av furu klass D_{fl} .

7.1.3 Dimensionerande laster vid brand

Dimensionerande last för en konstruktionsdel i brandlastfallet är olyckslasten och konstruktionens bärförmåga vid brand ska verifieras för varje del genom att kriteriet enligt *ekvation 7.1* uppfylls:

$$7.1 \quad A_{d,f}(t) \leq R_{d,f}(t)$$

där:

$A_{d,f}$ är dimensioneringsvärdet för en last vid brand.

$R_{d,f}$ är bärförmågan vid samma förhållanden.

t är tiden för brandpåverkan.

Vid dimensionering i brandlastfallet används lastkombination *ekvation 7.2*, enligt Eurokod 0 och gällande EKS:

$$7.2 \quad G_k + \psi_{1,i} Q_{k,1} + \sum_{i=1}^n \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Tabell 7.2 Europeiska ytskiktsskisser utom golvbeläggningar.

Huvudklass	Rökklass	Droppklass	Krav enligt			FIGRA (W/s)	Exempel på produkter
			Obrännbarhet	SBI	Liten låga		
A1	–	–	x	–	–	–	Sten, glas, stål
A2	s1, s2 eller s3	d0, d1 eller d2	x	x	–	≤ 120	Gipsskivor (tunt papper), mineralull
B	s1, s2 eller s3	d0, d1 eller d2	–	x	x	≤ 120	Gipsskivor (tjockt papper), brandskyddat trä
C	s1, s2 eller s3	d0, d1 eller d2	–	x	x	≤ 250	Tapet på gipsskiva, brandskyddat trä
D	s1, s2 eller s3	d0, d1 eller d2	–	x	x	≤ 750	Trä, KL-trä och träbaserade skivor
E	–	– eller d2	–	–	x	–	Vissa syntetmaterial
F	–	–	–	–	–	–	Ingen brandklass bestämd

SBI = Single Burning Item, huvudmetod för ytmaterial utom golvbeläggningar.

FIGRA = Fire Growth Rate, viktigaste parametern för brandklass enligt SBI-metoden.

där:

- G_k är karakteristiskt värde för permanenta laster.
- $Q_{k,1}$ är karakteristiskt värde för den största samverkande variabla lasten.
- $Q_{k,i}$ är karakteristiska värden för de andra variabla lasterna.
- $\psi_{1,1}$ är kombinationsfaktorn för den största variabla lasten.
- $\psi_{2,i}$ är allmän kombinationsfaktor för de andra variabla lasterna.

Kombinationsfaktorerna ψ bestäms av byggnadsdelarnas olika lastkategorier och är vanligtvis mellan 0 och 0,7. Val av kombinationsfaktor ska särskilt övervägas om byggnadsdelens maximala last kan förväntas förekomma i brandsituationen, som i bibliotek, arkiv och lagerbyggnader.

En förenklad metod är att verifiering av konstruktionens bärlighet i brandlastfallet görs utifrån en reducerad last enligt SS-EN 1995-1-2, avsnitt 2.4.2, där lasteffekten vid brand $E_{d,fi}$ för en enskild konstruktionsdel beräknas enligt ekvation 7.3:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d$$

där:

- E_d är den dimensionerande lasteffekten vid dimensionering för normal temperatur.
- η_{fi} är reduktionsfaktorn för dimensionerande last vid brand beroende av lastkvoten $\xi = Q_{k,1}/G_k$ och kombinationsfaktorn ψ_{fi} för frekvent värde för variabla laster. För överslagsmässiga beräkningar rekommenderas $\eta_{fi} = 0,6$. Vid nyttig last i kategori E enligt Eurokod 1, (utrymmen där lastansamling kan förväntas, inklusive kommunikationsutrymmen) är rekommenderat värde $\eta_{fi} = 0,7$. För lätta bjälklag kan reduktionsfaktorn η_{fi} vara mindre.

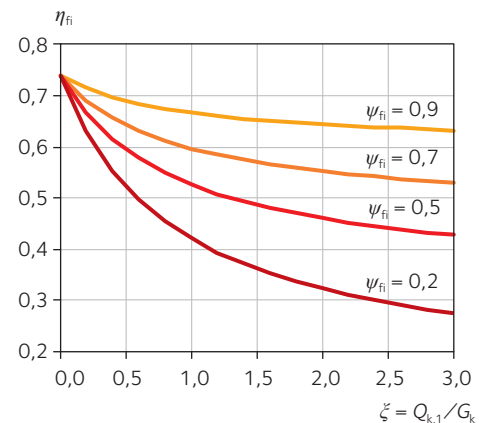
För mekanisk bärförmåga i brandlastfallet ska dimensionerande värden på hållfasthet och styvhet bestämmas enligt *ekvationerna* 7.4 – 7.7:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad S_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad 7.4, 7.5$$

$$f_{20} = k_{fi} f_k \quad S_{20} = k_{fi} S_{05} \quad 7.6, 7.7$$

där:

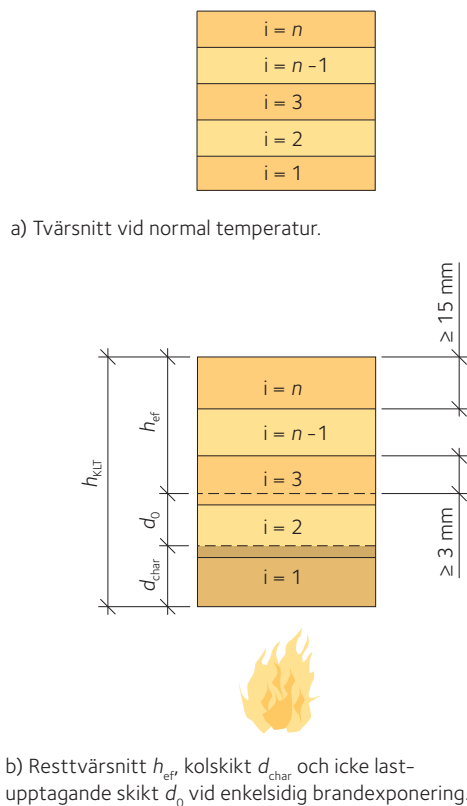
- $f_{d,fi}$ är dimensionerande hållfasthet vid brand.
- $S_{d,fi}$ är dimensionerande styvhetsegenskap vid brand.
- f_{20} är 20-procentfraktilen för en hållfasthetsegenskap vid normal temperatur.
- S_{20} är 20-procentfraktilen för en styvhetsegenskap vid normal temperatur.
- $k_{mod,fi}$ lastvaraktighet- och fuktfaktor vid brand. Rekommenderat värde 1,0 vid användning av metod med reducerat tvärsnitt.
- $\gamma_{M,fi}$ är partialkoefficienten för trä vid brand. Rekommenderat värde 1,0.
- k_{fi} faktor vid omvandling av 5-procentfraktil till 20-procentfraktil. För korslimmat trä, KL-trä, är $k_{fi} = 1,15$.



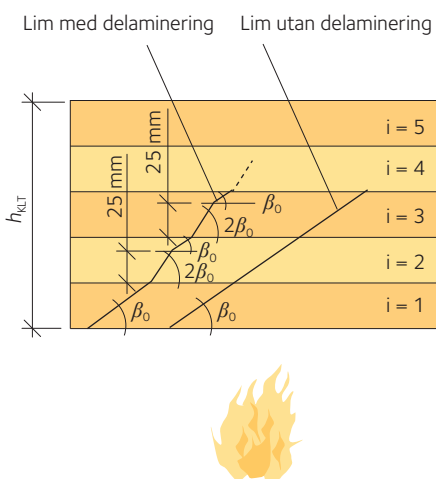
Figur 7.3 Exempel på variation av reduktionsfaktorn η_{fi} med lastkvoten $\xi = Q_{k,1}/G_k$.

7.3

7.2 Brandmotstånd hos KL-trä



Figur 7.4 Tvärsnitt KL-trä.



Figur 7.5 Förkolning med och utan delaminering av förkolade brädsnitt.

För KL-träskivor som består av ett udda antal skikt med bestämda tjocklekar, antas fogarna mellan två skikt vid brandpåverkan kunna överföra tvärkrafter. Vid modellering av KL-träskivor med avseende på böjning, betraktas oftast ytterskikt och skikt parallella med ytterskikten som lastbärande. Tvärgående skikt betraktas icke direkt lastbärande men de bidrar till att överföra tvärkrafter mellan skikten i längdriktningen.

Brandberäkningsmetod för KL-trä ingår inte i SS-EN 1995-1-2. I den europeiska handboken *Fire Safety in Timber Buildings* anges effektiv tvärsnittsmetod för att beräkna brandmotstånd hos konstruktioner av KL-trä. Enligt metoden tas hänsyn till reducering av hållfasthet vid brand med icke lastupptagande skikt. Termisk simulering och provning av KL-trä i brandfallet visar att det icke lastupptagande skiktet i KL-trä inte är konstant. Förenklad modell för ett antal olika tvärsnitt framgår av principerna i *figurerna 7.4 a) och b)*.

7.2.1 Förkolning

Om ett skikt av korslimmat trä, KL-trä, består av brädor som är kantlimmade eller om spalten mellan två brädor är mindre än 2 mm, bör en dimensionell förkolning användas enligt *ekvation 7.8*:

$$7.8 \quad d_{\text{char},0} = \beta_0 t$$

där:

β_0 är 0,65 mm/min och är dimensionell förkolningshastighet under en standardbrand.

t är brandexponeringstiden.

Om spalter mellan brädorna är större än eller lika med 2 mm, men mindre än 6 mm, bör en nominell förkolningshastighet användas enligt *ekvation 7.9*:

$$7.9 \quad d_{\text{char},n} = \beta_n t$$

Enligt *SS-EN 1995-1-2, tabell 3.1* kan nominella förkolningshastigheter för trä med rektangulära tvärsnitt som brandexponeras på tre eller fyra sidor sättas till:

β_n är 0,7 mm/min för limträ och fanerträ av barrträ.

β_n är 0,8 mm/min för konstruktionsvirke av barrträ (KL-trä).

β_n är ekvivalent dimensionerande förkolningshastighet som inkluderar effekten av rundningar i hörnen och av sprickor.

Det finns två möjliga scenarier av förkolning av KL-trä. Med lim utan delaminering, till exempel melamin-urea-formaldehyd-lim, i dagligt tal så kallat melaminlim eller MUF-lim, sker förkolningen med hastigheten β_0 på samma sätt som för konstruktionsvirke. Med lim med delaminering, till exempel vissa polyuretanlim, i dagligt tal så kallat PUR-lim, blir förkolningshastigheten för de första 25 mm av varje skikt fördubblad, det vill säga $2\beta_0$, se *figur 7.5*.

7.2.2 Effektivt tvärsnitt

Dimensioneringsmetoden för bärförmåga enligt nedan följer de allmänna principerna i metoden för ett reducerat tvärsnitt, det vill säga det ursprungliga tvärsnittet reduceras med ett effektivt förkolningsdjup d_{eff} . Påverkan på materialets egenskaper på grund av temperatur-

ökning beaktas genom att en del av tvärsnittet, d_0 , inte räknas med i det effektiva resttvärsnittet, h_{ef} . Se ekvationerna 7.10 och 7.11:

$$d_{ef} = d_{char,0} + d_0 \quad 7.10$$

eller:

$$d_{ef} = d_{char,n} + d_0 \quad 7.11$$

I tabell 7.3 – 7.5 finns ett antal formler för det icke lastupptagande skiktet d_0 som är baserade på provningsresultat och termiska simuleringar. För KL-trä som används i bjälklag har den förenklade metoden

Tabell 7.3 Icke lastupptagande skikt, d_0 , för $t = 0-120$ minuter för KL-träskiva med 3 skikt.

Brand på	Bjälklagsplatta		Väggskiva	
	Oskyddad yta (mm)	Skyddad yta ¹⁾ (mm)	Oskyddad yta (mm)	Skyddad yta ¹⁾ (mm)
Skivans dragna sida	$d_0 = \frac{h_{KLT}}{30} + 3,7$	$d_0 = 10$	Ej relevant	Ej relevant
Skivans tryckta sida	$d_0 = \frac{h_{KLT}}{25} + 4,5$	$d_0 = \min \left\{ \begin{array}{l} 13,5 \\ \frac{h_{KLT}}{12,5} + 7 \end{array} \right.$	$d_0 = \frac{h_{KLT}}{25} + 3,95$	$d_0 = \min \left\{ \begin{array}{l} 13,5 \\ \frac{h_{KLT}}{12,5} + 7 \end{array} \right.$

¹⁾ Värderna kan även användas för $t > t_f$, där t_f är tiden då skyddet upphör att verka, den så kallade nedfallstiden.

Tabell 7.4 Icke lastupptagande skikt, d_0 , för $t = 0-120$ minuter för KL-träskiva med 5 skikt.

Brand på	Bjälklagsplatta		Väggskiva	
	Oskyddad yta (mm)	Skyddad yta ¹⁾ (mm)	Oskyddad yta (mm)	Skyddad yta ¹⁾ (mm)
Skivans dragna sida	$d_0 = \frac{h_{KLT}}{100} + 10$	$75 \text{ mm} \leq h_{KLT} \leq 100 \text{ mm}$ $d_0 = 34 - \frac{h_{KLT}}{4}$ $h_{KLT} > 100 \text{ mm}$ $d_0 = \frac{h_{KLT}}{35} + 6$	Ej relevant	Ej relevant
Skivans tryckta sida	$d_0 = \frac{h_{KLT}}{20} + 11$	$d_0 = 18$	$d_0 = \frac{h_{KLT}}{15} + 10,5$	$d_0 = 20$

¹⁾ Värderna kan även användas för $t > t_f$, där t_f är tiden då skyddet upphör att verka, den så kallade nedfallstiden.

Tabell 7.5 Icke lastupptagande skikt, d_0 , för $t = 0-120$ minuter för KL-träskiva med 7 skikt.

Brand på	Bjälklagsplatta		Väggskiva	
	Oskyddad yta (mm)	Skyddad yta ¹⁾ (mm)	Oskyddad yta (mm)	Skyddad yta ¹⁾ (mm)
Skivans dragna sida	$105 \text{ mm} \leq h_{KLT} \leq 175 \text{ mm}$ $d_0 = \frac{h_{KLT}}{6} + 2,5$ $h_{KLT} > 175 \text{ mm}$ $d_0 = 10$	Samma som oskyddad yta	Ej relevant	Ej relevant
Skivans tryckta sida	$105 \text{ mm} \leq h_{KLT} \leq 175 \text{ mm}$ $d_0 = \frac{h_{KLT}}{6} + 2,5$ $h_{KLT} > 175 \text{ mm}$ $d_0 = 13$	Samma som oskyddad yta	$105 \text{ mm} \leq h_{KLT} \leq 175 \text{ mm}$ $d_0 = \frac{h_{KLT}}{6} + 4,0$ $h_{KLT} > 175 \text{ mm}$ $d_0 = 16$	Samma som oskyddad yta

¹⁾ Värderna kan även användas för $t > t_f$, där t_f är tiden då skyddet upphör att verka, den så kallade nedfallstiden.



Industrihotell med KL-trästomme, Älta.

anpassats till resultaten från simuleringar så att bästa överensstämmelse åstadkoms mellan 20 procent och 40 procent av bärförmågan vid normal temperatur upp till 120 minuters standardbrand.

Motsvarande dimensionering av väggar utfördes för lastförhållandet 30 procent av bärförmågan.

Metoden bör inte användas för längre brandförlopp än två timmar. Brandskyddseffekten från beklädnader (skivor och isolering på den brandexponerade sidan) beaktas enligt SS-EN 1995-1-2. Om återstoden av ett lastupptagande skikt är mindre än 3 mm, bör det inte tas med vid beräkning av effektivt resttvärsnitt, h_{er} .

Generellt bestäms d_0 av:

- Antal skikt.
- Tjocklek hos KL-träskivan.
- Typ av påkänning, dragning eller tryck på den brandexponerade sidan.
- Temperaturgradient under kolskiktet, det vill säga om skiktet är skyddat eller oskyddat.

För KL-träskivor som är brandexponerade på en sida, hämtas värden för det icke lastupptagande skiktets tjocklek, d_0 , från *tabell 7.3 – 7.5, sidan 139*. Brandexponerade träväggar böjer ut från branden vilket innebär att dragpåkänningar endast kan uppstå på den icke exponerade sidan av väggen och därmed anges d_0 endast för brandexponering på tryckt sida. Dimensionering av väggar som är brandexponerade på båda sidor bör göras med utgångsvärden baserade på provningar.

7.3 Utförande och detaljlösningar

Byggnadstekniska detaljer är viktiga för träbyggnaders brandsäkerhet. Träkonstruktioner har ett förutsägbart brandtekniskt beteende, men konstruktionsdetaljer måste utformas noggrant för att kunna säkerställa byggnadens totala brandsäkerhet. Det som direkt berör byggande med KL-trä är oftast spalter i väggar, takfot och genomföringar av installationer.

Vid projektering och dimensionering mot brand måste bland annat placering av brandstopp beaktas, i takfot, i fasadspalt, i och kring kanaler och mellan lägenheter. Det finns ett antal olika produkter och system som kan användas som brandstopp. Det finns tätningsmassor anpassade för tätning av öppningar och fogar runt genomföringar av elkablar och kabelrör och genom brandcellsskiljande element som väggar och golv. De flesta är certifierade endast för obrännbara konstruktioner, men många av dessa produkter bör kunna användas även för träkonstruktioner, till exempel brandfogmassa, brandskyddstejp, brandskyddsmanschett/förslutare, knipare, skivor och spjäll. För detaljlösningar, se även *avsnitt 5.6, sidan 104*.

7.3.1 Genomföringar

Val av tätning bör baseras på byggnadsdelens konstruktion och de installationer som ska föras genom konstruktionen. KL-trä är ett brännbart material och hänsyn till detta ska därför tas vid projektering av genomföringar. Några typer som kan användas är:

- Knipare är en stålhylsa med ett invändigt, värmeexpanderande material.
- Brandskyddsmanschetter är avsedda för brandtätning av brännbara rör genom brandceller och består av plåthölje och ett inre skikt av ett material som sväller och förhindrar spridning av brand.
- Fogmassor anpassade för trä. Fogmassans brandtekniska klass är beroende av vilka material som kombineras.
- Brandskyddsskivor används vid större genomföringar och kompletteras ofta med fogmassor. Brandteknisk klass EI 60 – EI 120 kan fås och bestäms av skivornas tjocklek.

Brandprovning av kabelgenomföringar med tätningsmassa i träkonstruktioner har visat att:

- Fogar måste vara helt fyllda genom elementets tjocklek.
- Otätheter mellan kabel och håldiameter måste tätas.
- För mer än fem buntade kablar ska särskilda system eller obrännbar isolering användas.
- För röktäta förband och fogar bör permanent elastisk tätningsmassa användas.

För större genomföringar för ventilation eller VA-installationer kan samma system användas för KL-trä som för andra träbyggsystem, se exempelvis *Brandsäkra trähus, version 3*. Anslutning av toalett, handfat eller golvbrunn ska utföras utan avkall på brandmotståndet. Isoleringsmaterial ska fasthållas så att det inte faller ned vid brand.



Exempel på tätad genomföring i ett KL-träbjälklag.

7.4 Beräkningsexempel

7.4.1 Oskyddad bjälklagsplatta

Dimensioneringsmetodik för en KL-träplatta som används till bjälklag. En oskyddad bjälklagsplatta bestående av 7-skikt KL-trä med 19 mm brädtjocklek, exponerad av brand från undersidan och med mindre än 2 mm spalt mellan bräderna. Bestäm effektiv plattjocklek efter 60 minuters brandexponering.

a) Utan delaminering (med kvarsittande kolskikt)

Inbränningsdjup efter 60 minuter:

$$d_{\text{char},0} = \beta_0 t_{\text{req}} = 0,65 \cdot 60 = 39 \text{ mm}$$

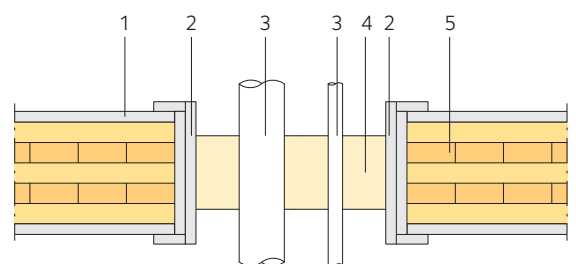
Icke lastupptagande skikt för brand på den dragna sidan enligt tabell 7.5, sidan 139:

$$d_0 = \frac{h_{\text{KLT}}}{6} + 2,5 = \frac{133}{6} + 2,5 = 25 \text{ mm}$$

Resttvärsnitt:

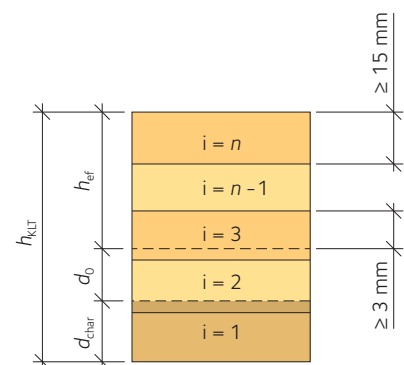
$$h_{\text{ef}} = h_{\text{KLT}} - d_{\text{char},0} - d_0 = 133 - 39 - 25 = 69 \text{ mm}$$

Eftersom påverkan från branden når in ända till ett tvärgående icke bärande skikt (skikt 4) kommer det återstående effektiva resttvärsnittet bestå av tre skikt 5, 6 och 7, se princip i figur 7.7.



Figur 7.6 Exempel på brandtätningar.

1. Beklädnadsskiva.
2. Skyddsskiva.
3. Genomföring.
4. Tätning.
5. KL-trä.



Figur 7.7 Effektiv tvärsnittshöjd, h_{ef}



Limnologen, Växjö.

b) Med delaminering (utan kvarsittande kolskikt)

Nedfallstiden för skikt 1 sätts lika med tiden när skikt 2 börjar förkolas:

$$t_{\text{ch}} = t_{f,1} = \frac{h_1}{\beta_0} = \frac{19}{0,65} = 29 \text{ minuter}$$

Inbränningsdjup efter 60 minuter:

$$d_{\text{char}} = h_1 + (t_{\text{req}} - t_f) \beta_0 k_3 = 19 + (60 - 29) \cdot 0,65 \cdot 2 = 59 \text{ mm}$$

k_3 enligt SS-EN 1995-1-2.

Icke lastupptagande skikt för brand på den dragna sidan enligt tabell 7.5, sidan 139:

$$d_0 = \frac{h_{\text{KLT}}}{6} + 2,5 = \frac{133}{6} + 2,5 = 25 \text{ mm}$$

Resttvärsnitt:

$$h_{\text{ef}} = h_{\text{KLT}} - d_{\text{char}} - d_0 = 133 - 59 - 25 = 49 \text{ mm}$$

Resttvärsnittet är 49 mm för den oskyddade bjälklagsplattan.

7.4.2 Skyddad bjälklagsplatta

Dimensioneringsmetodik för en KL-träplatta som används till bjälklag. KL-träplattan skyddas av en 12,5 mm gipsskiva av typ F. Nedfallstid för gipsskivan enligt gipsskivetillverkaren är $t_f = 45$ minuter. Bjälklagsplattan består av 7-skikts KL-trä med 19 mm bräntjocklek, exponerad av brand från undersidan. Bestäm effektiv plattjocklek efter 60 minuter.

Utan delaminering (med kvarsittande kolskikt)

$$t_{\text{ch}} = 2,8h_p - 14 = 2,8 \cdot 12,5 - 14 = 21 \text{ minuter}$$

Skyddsfaktorerna för en gipsskiva av typ F kan enligt SS-EN 1995-1-2 skrivas som:

$$k_2 = 1 - 0,018h_p = 1 - 0,018 \cdot 12,5 = 0,775$$

$$k_3 = 2$$

Tidsgränsen t_a kan beräknas enligt SS-EN 1995-1-2 till:

$$t_a = \frac{25 - (t_f - t_{\text{ch}}) k_2 \beta_0}{k_3 \beta_0} + t_f = \frac{25 - (45 - 21) \cdot 0,775 \cdot 0,65}{2 \cdot 0,65} + 45 = 55 \text{ minuter}$$

Inbränningsdjup efter 60 minuter:

$$d_{\text{char}} = 25 + (t_{\text{req}} - t_a) \beta_0 = 25 + (60 - 55) \cdot 0,65 = 28 \text{ mm}$$

Icke lastupptagande skikt för brand på den dragna sidan enligt tabell 7.5, sidan 139:

$$d_0 = \frac{h_{\text{KLT}}}{6} + 2,5 = \frac{133}{6} + 2,5 = 25 \text{ mm}$$

Resttvärsnitt:

$$h_{\text{ef}} = h_{\text{KLT}} - d_{\text{char}} - d_0 = 133 - 28 - 25 = 80 \text{ mm}$$

Genom att skydda bjälklagsplattan på undersidan med en 12,5 mm gipsskiva av typ F blir resttvärsnittet istället 80 mm.

7.4.3 Oskyddad väggskiva

Dimensioneringsmetodik för en KL-träskiva som används till bärande vägg. En väggskiva exponerad för brand från en sida bestående av 5-skikt KL-trä med 19 mm brädtjocklek. Beräkningen förutsätter att delaminering inte sker. Bestäm effektiv skivtjocklek efter 30 minuter:

$$d_{\text{char}} = \beta_0 t_{\text{req}} = 0,65 \cdot 30 = 20 \text{ mm}$$

Icke lastupptagande skikt för brand på den tryckta sidan enligt tabell 7.4, sidan 139:

$$d_0 = \frac{h_{\text{KLT}}}{15} + 10,5 = \frac{95}{15} + 10,5 = 17 \text{ mm}$$

Resttvärsnitt:

$$h_{\text{ef}} = h_{\text{KLT}} - d_{\text{char}} - d_0 = 95 - 20 - 17 = 58 \text{ mm}$$

Påverkan från branden når in till första tvärgående skiktet (skikt 2). Det innebär att cirka 58 mm återstår av väggskivan och att återstående bärförmåga tas av två vertikala skikt.

7.4.4 Skyddad väggskiva

Dimensioneringsmetodik för en KL-träskiva som används till bärande vägg. En väggskiva exponerad för brand 60 minuter från en sida bestående av 5-skikt KL-trä med 19 mm brädtjocklek. KL-träskivans insida är skyddad från brand med en 15 mm gipsskiva av typ F. Nedfallstid för gipsskivan enligt gipsskivetillverkaren är $t_f = 45$ minuter.



KL-träskivor färdiga för kompletterande skikt.

Tabell 7.6 Karakteristisk bärförmåga hos väggskivor av KL-trä vid brand från en sida.

KL-träskiva och kompletterande skikt	Bärförmåga efter 30 min (kN/m)	Bärförmåga efter 60 min (kN/m)	Bärförmåga efter 90 min (kN/m)
5 × 19 mm i kallt tillstånd; 277 kN/m	–	–	–
5 × 19 mm + GtA 13	159	6,5	–
5 × 19 mm + GtF 15	159	82	0,6
5 × 19 mm + GtF 15 + GtA 13	159	159	154
5 × 19 mm + GtF 15 + 15 GtF 15	159	159	159
5 × 19 mm + GtA 13 + stenull 45	159	159	6,1

Förutsättningar: KL-träskiva 5 × 19 mm, höjd 2,8 m, centrisk last, inga sidolaster, virke i samtliga skikt av minst hållfasthetsklass C24. Bärförmåga i kallt tillstånd 277 kN/m. Nedfallstid för GtA $t_f = 21$ minuter, GtF $t_f = 45$ minuter, GtF + GtA $t_f = 80$ minuter.



Inre Hamnen, Sundsvall.

Resttvärsnitt:

$$t_{\text{ch}} = 2,8h_p - 14 = 2,8 \cdot 15 - 14 = 28 \text{ minuter}$$

Skyddsfaktorerna för en gipsskiva av typ F kan enligt SS-EN 1995-1-2 skrivas som:

$$k_2 = 1 - 0,018h_p = 1 - 0,018 \cdot 15 = 0,73$$

$$k_3 = 2$$

Tidsgränsen t_a kan beräknas enligt SS-EN 1995-1-2 till:

$$t_a = \frac{25 - (t_f - t_{\text{ch}})k_2\beta_0}{k_3\beta_0} + t_f = \frac{25 - (45 - 28) \cdot 0,73 \cdot 0,65}{2 \cdot 0,65} + 45 = 58 \text{ minuter}$$

Inbränningsdjup efter 60 minuter:

$$d_{\text{char}} = 25 + (t_{\text{req}} - t_a)\beta_0 = 25 + (60 - 58) \cdot 0,65 = 26 \text{ mm}$$

Icke lastupptagande skikt för brand på den tryckta sidan enligt tabell 7.4, sidan 139:

$$d_0 = 20 \text{ mm}$$

Resttvärsnitt:

$$h_{\text{ef}} = h_{\text{KLT}} - d_{\text{char}} - d_0 = 95 - 26 - 20 = 49 \text{ mm}$$

Det innebär att två stående skikt återstår, varav ett skikt är helt intakt och cirka 11 mm återstår av det andra stående skiktet efter 60 minuters brand. Båda skikten är lastupptagande.

KL-trä och ljud

Ljud och ljudisolering bör beaktas i ett tidigt skede av byggprocessen. Detta gäller vid projektering, men även utförandet i tillverkningskedet eller på byggarbetsplatsen är naturligtvis viktigt för att uppnå god ljudmiljö. Utvecklingen av metoder, lösningar och inte minst mätningar i färdiga byggnader av KL-trä visar att god ljudmiljö kan uppnås.

Eftersom förutsättningarna varierar från objekt till objekt är det viktigt att i ett så tidigt skede som möjligt gå igenom vilka krav och förväntningar som gäller för byggnaden, vilka akustiska behov som ska uppfyllas och därefter välja lämplig ljudklass. Det är viktigt att dessa projekthanpassningar görs tillsammans med akustikingenjörer.

8.1 Projektering med hänsyn till ljud

Ljud kan uppträda i flera olika former. Med ljud menas i detta fall de tryckvariationer som uppstår i luften och som kan uppfattas via hörseln. Ljudets styrka i luft är ett tryck och anges därför i N/m^2 eller i Pascal. För att förenkla har man infört en logaritmisk decibelskala som direkt är relaterad till trycket. När ljudets styrka anges i decibel, dB kallas motsvarande storhet för ljudtrycksnivå. Ljudtrycksnivån är definierad så att 0 dB ungefär motsvarar svagast hörbara ljud. Vidare är en ändring med 1 dB ungefär den minsta ändring som kan uppfattas med hörseln under gynnsamma omständigheter, medan en ändring med 8 – 10 dB brukar sägas motsvara en fördubbling eller halvering av det subjektiva hörselintrycket.

Förutsättningarna varierar från projekt till projekt och då är det viktigt att tidigt gå igenom vilka aktiviteter som ska vara i byggnaden, vilka akustiska krav och behov som finns, och därefter välja lämplig ljudklass. Kostnaden för att i ett senare skede av bygget åtgärda ljudproblem på grund av felaktig projektering, fel i utförande och andra felbedömningar ökar kraftigt från planeringsskedet till bruksskedet.

Planering och projektering av akustik för byggnader omfattar ofta fem ljudområden, stegljudsisolering, luftljudsisolering, rumsakustik, ljud från trafik och andra yttre källor samt ljud från installationer. I kapitlet fokuseras på stegljud och luftljud.

8.1 Projektering med hänsyn till ljud 145

8.1.1 Ljudkraven i byggreglerna 147

8.2 Ljud i KL-träkonstruktioner 151

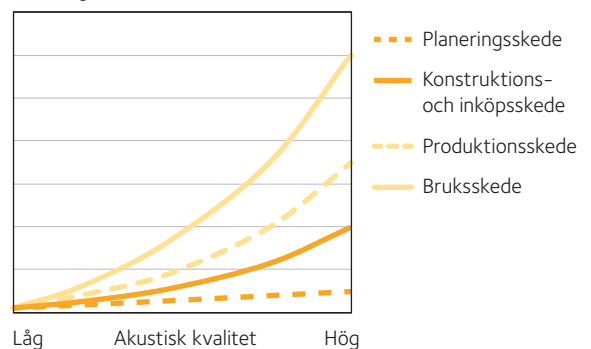
8.3 Bjälklag 151

8.3.1 Plattbjälklag med och utan undertak 152

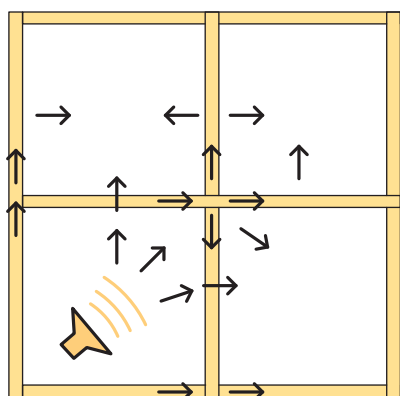
8.4 Väggar 154

8.5 Att tänka på 156

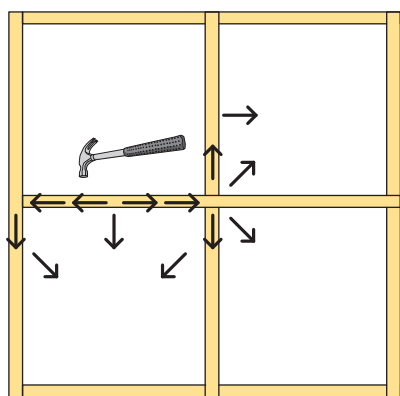
Kostnader för bulleråtgärder



Figur 8.1 Kostnader för bulleråtgärder i olika skeden.



Figur 8.2 Exempel på luftljudets olika transmissionsvägar.



Figur 8.3 Exempel på stegljudets olika transmissionsvägar.



Högtalare som används vid provning av luftljudsisolering.



Stegljudsmaskin som används vid provning av stegljudsnivå.

Luftljudsisoleringen, se figur 8.2, är ett mått på hur mycket ljud som går från ett utrymme till ett annat. Ju högre ljudisoleringvärde, D , desto bättre ljudkvalitet. Stegljudsnivån, se figur 8.3, är ett mått på hur mycket ljud som hörs i ett rum då en standardiserad hammarapparat slår på golvet i ett annat rum. Ju lägre stegljudsnivå, L , desto bättre ljudkvalitet.

Det mänskliga örat uppfattar ljud olika starkt för olika frekvenser. För att väga in detta har en modifierad, så kallad vägd, ljudtrycksnivå införts vilken ofta kallas enbart för ljudnivå. Vanligtvis används den A-vägd ljudtrycksnivån med beteckningen L_A och enheten decibel, dB.

Krav på högsta bullernivå uttrycks vanligtvis i den A-vägd ljudtrycksnivån. I tabell 8.1 återfinns en sammanställning av olika beteckningar och symboler tillsammans med definitioner som används inom byggnadsakustiken.

Tabell 8.1 Sammanställning av beteckningar med tillhörande definitioner inom byggnadsakustiken.

Begrepp	Definition
Luftljudsisolering	Isolering av luftburet ljud, till exempel tal. Ett så högt värde som möjligt eftersträvas.
D_{nT}	Ljudnivåskillnad, ett mått på en byggnads förmåga att isolera ett utrymme mot luftburet ljud från ett annat utrymme eller utifrån. Standardiseras till 0,5 s efterklangstid.
$D_{nT,w,50}$	Vägd standardiserad ljudnivåskillnad med spektrumanpassnings-term (dB), ett förkortat skrivsätt för $D_{nT,w} + C_{50-3150}$.
$D_{nT,w,100}$	Vägd standardiserad ljudnivåskillnad (dB), ett förkortat skrivsätt för $D_{nT,w} + C$.
$D_{nT,A,tr}$	Vägd standardiserad ljudnivåskillnad med spektrumanpassnings-term för ljud från blandad gatutrafik och liknande (dB), ett förkortat skrivsätt för $D_{ls,2m,nT,w} + C_{tr}$.
R'_w	Vägt reduktionstal i byggnader.
Stegljud	Strukturbundet ljud som uppkommer från vibrationer såsom gångtrafik. Ett så lågt värde som möjligt eftersträvs.
L_{nT}	Stegljudsnivå, ett mått på en byggnads förmåga att isolera ett utrymme mot stomburet ljud från ett annat utrymme eller utifrån. Standardiseras till 0,5 s efterklangstid.
$L_{nT,w,50}$	Vägd standardiserad stegljudsnivå (dB), ett förkortat skrivsätt för $L_{nT,w} + C_{1,50-2500}$. Om anpassningstermen $C_{1,50-2500}$ är negativ ska den sättas lika med noll.
$L_{pAeq,nT}$	Ekvivalent A-vägd ljudnivå (dB), under den tid ljudet förekommer mer än tillfälligt. Standardiseras till 0,5 s efterklangstid.
$L_{pAFmax,nT}$	Maximal A-vägd ljudnivå med tidsvägning F (FAST) (dB), för intermittenta och mer än tillfälligt förekommande kortvariga ljud. Standardiseras till 0,5 s efterklangstid.
T	Efterklangstid, den tid det tar för ljudnivån att minska 60 dB efter det att ljudkällan har stängts av. Avser T_{20} .
Direkt-transmission	Ljud som passerar direkt genom den avskiljande konstruktionen.
Flank-transmission	Ljud som går via en annan del av konstruktionen.

För att få en förståelse för vad sifferbeteckningarna innebär i vardagen har tabeller tagits fram som anger den subjektiva upplevelsen för till exempel olika stegljudsnivåer, se tabell 8.2, sidan 147.

Tabell 8.2 Subjektiv upplevelse för olika stegljudsnivåer för lätta konstruktioner med god stegljudsdämpning vid låga frekvenser ($C_{1,50-2500}$ högst 4 dB).

$L'_{n,w}$ $L'_{nT,w}$	Lugn gång- trafik med mjuka skor	Lugn gång- trafik med klackskor	Snabb gång/ spring med mjuka skor	Snabb gång/ spring med klackskor	Barnlek/ hopp "normal"	Barnlek/ hopp "avancerad"	Gymnastik kraftiga dunsar etc.
64	■	■	■	■	■	■	■
60	■	■	■	■	■	■	■
56	–	■	■	■	■	■	■
52	–	–	■	■	■	■	■
48	–	–	–	■	■	■	■
44	–	–	–	–	■	■	■
40	–	–	–	–	–	■	■

- Hörs.
- Kan höras, men stör inte under normala förhållanden.
- Hörs inte men kan förnimmas.

Källa: Boverkets handbok *Bullerskydd i bostäder och lokaler*.

8.1.1 Ljudkraven i byggreglerna

Boverkets byggregler, BBR, ställer ett generellt krav på att byggnaders ljudmiljö ska utformas så att boende och brukare skyddas effektivt mot buller.

Tabell 8.3 Lägsta ljudnivåskillnad respektive högsta stegljudsnivå i bostäder när särskilt ljudisolerande åtgärder inte behöver vidtas, motsvarande ljudklass C. För andra situationer och komplett information, se aktuell norm från Boverket.

Typ av utrymme	Ljudnivåskillnad $D_{nT,w,50}$ mellan utrymmen (dB)	Stegljudsnivå $L_{nT,w,50}$ i utrymme (dB)
Från utrymme utanför bostaden till utrymme i bostaden.	52	56 ¹⁾
Från trapphus och korridor till bostad.	52	62
Från närings- och serviceverksamhet och gemensamma garage till bostad.	56	52
Från loftgång, trapphus eller korridor med dörr eller fönster till utrymme för sömn, vila eller daglig samvaro ²⁾ .	44 / 40 ³⁾ / 38 ⁴⁾	62

¹⁾ Från hygienrum och förråd till bostad samt vid mätning på golvyta omedelbart innanför tamburdörr (cirka 1 m²).

²⁾ För luftljud avses $D_{nT,w,100}$.

³⁾ Gäller vid en gemensam och från övriga utrymmen avskild korridor till utrymme för sömn och vila i exempelvis boendeformer för studerande och i särskilda boendeformer för äldre.

⁴⁾ Gäller från utrymme utanför bostad där betydande gångtrafik och höga ljudnivåer kan antas förekomma mer än tillfälligt, exempelvis vid postfack eller hiss.

Tabell 8.4 Dimensionering av byggnadens ljudisolering mot yttre ljudkällor. För andra situationer och komplett information se aktuell norm från Boverket.

Typ av utrymme	Ekvivalent ljudnivå från trafik eller annan yttre ljudkälla, $L_{pAeq,nT}$ (dB) ²⁾	Maximal ljudnivå nattetid, $L_{pAFmax,nT}$ (dB) ³⁾
Ljudisolering bestäms utifrån fastställda ljudnivåer utomhus så att följande ljudnivåer inomhus inte överskrider ¹⁾ :		
Utrymme för sömn, vila eller daglig samvaro.	30	45
Utrymme för matlagning eller personlig hygien.	35	–

¹⁾ Dimensionering kan göras förenklat eller detaljerat enligt SS-EN 12354-3.

²⁾ Avser dimensionerande dygnsekvivalent ljudnivå.

³⁾ Avser dimensionerande maximal ljudnivå som kan antas förekomma mer än tillfälligt under en medel natt.

I ett allmänt råd anger BBR ett antal lägsta kravnivåer på bostäder och lokaler. I råden anges även att om bättre ljudförhållanden önskas kan ljudklass A eller B väljas enligt SS 25267 för bostäder och SS 25268 för lokaler.

Lägsta godkända värden med avseende på luft- och stegljud kan ibland vara för lågt ställda. I standarderna SS 25267 och SS 25268 har ett antal kvalitetsnivåer presenterats, ljudklass A till ljudklass D. Vilken av ljudklasserna som ska användas under projekteringsstadiet och senare under byggskedet bestäms av byggherren i samråd med i första hand akustiker. Ett för högt ställt krav kan i många sammanhang medföra orealistiska kostnader. Idag är det vanligt inom bostadsbyggandet att sträva mot ljudklass B.

Tabell 8.5 Ljudklasser.

Ljudklass	Kvalitet
A	Används när mycket högklassig ljudmiljö prioriteras.
B	Lämplig för utrymmen och verksamheter där bättre ljudmiljö prioriteras.
C	Utgör minimikraven i Boverkets byggregler, BBR. Enligt enkätundersökningar kan cirka 20 procent av de boende uppleva sig i viss grad vara störda av ljud i sin bostad när det allmänna rådet i BBR är uppfyllt.
D	Låg ljudstandard och används enbart när användningen av ljudklass C medför orimliga konsekvenser. Beslut om att använda ljudklass D kräver normalt godkännande av lokala myndigheter.

Eftersom förutsättningarna varierar från objekt till objekt är det av stor vikt att i ett tidigt skede gå igenom vilka akustiska behov som finns och därefter välja lämplig ljudklass. Ljudklassen visar tydligt vilka värden som ska uppfyllas inom de olika ljudområdena. För varje ljudklass finns det angivet lägsta godkänt värde för luftljudsnivå respektive stegljudsnivå, se tabell 8.6 respektive tabell 8.7, sidan 149. Ibland kan det finnas anledning att göra avsteg från tabellerade värden.

Tabell 8.6 Lägsta vägda standardiserade luftljudnivåskillnad, $D_{nt,w,50}$, för bostäder enligt Boverkets byggregler, BBR, och gällande standarder.

Typ av utrymme	Ljudklass (dB)			
	A	B	C	D
Från utrymme utanför bostaden till utrymme i bostaden.	60	56	52	48 ¹⁾
Från trapphus och korridor till bostad.	52 ⁴⁾	48 ⁴⁾	52	40
Från närings- och serviceverksamhet och gemensamma garage till bostad.	60	60	56	52
Från loftgång, trapphus eller korridor med dörr eller fönster till utrymme för sömn, vila eller daglig samvaro.	52	48	44/40 ²⁾ /38 ³⁾	–

¹⁾ För luftljud avses $D_{nt,w,100}$.

²⁾ Gäller vid en gemensam och från övriga utrymmen avskild korridor till utrymme för sömn och vila i exempelvis boendeformer för studerande och i särskilda boendeformer för äldre.

³⁾ Gäller från utrymme utanför bostad där betydande gångtrafik och höga ljudnivåer kan antas förekomma mer än tillfälligt, exempelvis vid postfack eller hiss.

⁴⁾ Från utrymme utanför bostad där ljudnivån kan förväntas vara låg, exempelvis avskilt våningsplan med entrédörr till högst fyra bostäder och högst 0,5 s efterklangstid, accepteras $D_{nt,w,100} = 44$ dB.

Tabell 8.7 Högsta vägda standardiserade stegljudsnivå, $L'_{nt,w,50}$, för bostäder enligt Boverkets byggregler, BBR, och gällande standarder.

Typ av utrymme	Ljudklass (dB)			
	A	B	C	D
Från utrymme utanför bostaden till utrymme i bostaden.	48	52	56 ¹⁾	60 ²⁾
Från trapphus och korridor till bostad.	48	52	62	62 ²⁾
Från närings- och serviceverksamhet och gemensamma garage till bostad.	44	48	52	56
Från loftgång, trapphus eller korridor med dörr eller fönster till utrymme för sömn, vila eller daglig samvaro ¹⁾ .	58	62	62	66 ²⁾

¹⁾ Från hygienrum och förråd till bostad samt vid mätning på golvyta omedelbart innanför tamburdörr (cirka 1 m²).

²⁾ Kravet avser $L'_{nt,w}$.

Motsvarande värden för skol- och kontorsbyggnader framgår av tabell 8.8 – 8.11. Rekommenderade värden för skol- och kontorsbyggnader anges bland annat i olika standarder och slutgiltigt val av nivåer bestäms utifrån aktuell verksamhet och omgivande verksamhet. För skol- och kontorsbyggnader är även andra värden såsom längsta tillåtna efterklangtid, ekvivalent ljudnivå från installationer samt dimensionerande ljudnivå från trafik och andra yttre ljudkällor viktiga faktorer att beakta.

Tabell 8.8 Lägsta vägda reduktionstal i byggnad, R'_w , för undervisningslokaler: skolor, förskolor och fritidshem enligt Boverkets byggregler, BBR, och gällande standarder.

Typ av utrymme	Från annat utrymme Ljudklass (dB)				Från korridor Ljudklass (dB)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Till utrymmen för gemensam undervisning.	48	44	44	40	44	40	40	30
Till utrymmen för undervisning eller elevarbete i mindre grupper, exempelvis grupprum.	44 ¹⁾	44 ¹⁾	44 ¹⁾	40 ¹⁾	40 ¹⁾	40 ¹⁾	40 ¹⁾	30 ¹⁾
Till utrymmen för undervisning eller elevarbete i större grupper, exempelvis utbildningslandskap.	40	35	35	30	–	–	–	–

¹⁾ För skiljekonstruktion med dörr från annat utrymme för undervisning godtas 5 dB lägre värden.

Tabell 8.9 Högsta vägda standardiserade stegljudsnivå, $L'_{nt,w}$, för undervisningslokaler: skolor, förskolor och fritidshem enligt Boverkets byggregler, BBR, och gällande standarder.

Typ av utrymme	Från annat utrymme Ljudklass (dB)				Från korridor Ljudklass (dB)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Utrymmen för gemensamma samlingar, mer än 50 personer ¹⁾ .	48	48	52	–	40	44	48	56
Utrymmen för gemensam undervisning ¹⁾ .	56	56	60	–	52	52	56	60
Övriga utrymmen för undervisning.	60	60	64	–	56	56	60	64

¹⁾ För ljudklass A och B ska även $L'_{nt,w} + C_{1,50-2500}$ uppfylla ställda kravvärden.

Tabell 8.10 Lägsta vägda reduktionstal i byggnad, $R'_{w'}$ för kontorslokaler enligt Boverkets byggregler, BBR, och gällande standarder.

Typ av utrymme	Från annat utrymme Ljudklass (dB)				Från korridor Ljudklass (dB)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Till utrymme för enskilt arbete eller samtal.	40	35	35	–	35	30	30	–
Till utrymme med krav på måttlig sekretess eller avskildhet.	48	44	44	40	40 ¹⁾	35 ¹⁾	35 ¹⁾	30
Till utrymme med krav på hög sekretess.	52	52	48	48	44	44	40	40
Till utrymme hos annan hyresgäst.	52	52	48	44	52	52	48	44

¹⁾ För skiljekonstruktion med större glasparti som ger god uppsikt om vad som sker utanför godtas 5 dB lägre värden.

Tabell 8.11 Högsta vägda standardiserade stegljudsnivå, $L_{nt,w'}$ för kontorslokaler enligt Boverkets byggregler, BBR, och gällande standarder.

Typ av utrymme	Från utrymme med låg stegljudsbelastning Ljudklass (dB)				Från utrymme med hög stegljudsbelastning Ljudklass (dB)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Till utrymme för presentationer för mer än cirka 20 personer.	52	60	60	–	48	56	56	64
Till utrymme för enskilt arbete eller samtal.	68	–	–	–	64	64	68	–
Till utrymme med särskilda krav på störfrihet.	64	–	–	–	60	60	64	–
Från och till annans verksamhet.	64 ¹⁾	64 ¹⁾	68 ¹⁾	–	60 ¹⁾	60 ¹⁾	68 ¹⁾	–

¹⁾ Kravet avser normaliserad stegljudsnivå, $L'_{n,w'}$.



Exempel på vibrationsdämpande mellanlägg.

Vid en slutbesiktning är det vanligt att dokument överlämnas som verifierar att de akustiska kraven är uppfyllda. Verifieringen kan ske genom mätning eller via projekterings- och utförandekontroller, alternativt en kombination av båda. Vilken verifieringsmetod som ska användas fastställs i kontrollplanen. Slutligen bestäms omfattningen av verifiering, som är en uppgörelse mellan byggherren och entreprenören.

Luftljudsisolering kan till en del kontrolleras genom okulärbesiktning. Provnings av luftljudsisolering kan behöva göras av lägenhets-skiljande väggar enligt standardiserade förfaringsätt. Stegljudsisoleringen kan också kontrolleras genom okulärbesiktning i form av kontroll att valda golvbeläggningar överensstämmer med bygghandlingarna. Om osäkerhet föreligger bör stickprovskontroll göras och det bör framgå av kontrollplanen vilka konstruktioner som avses.

8.2 Ljud i KL-träkonstruktioner

För KL-träkonstruktioner är det i likhet med övriga lätta konstruktioner att ljud vid låga frekvenser är svåra att isolera bort. Det är därför viktigt att säkerställa ett väl fungerande bjälklag, då det är svårt i efterhand att åtgärda eventuella problem. Vanligtvis klarar bjälklag normala spännvidder med de plattjocklekar för KL-trä som finns på marknaden. Vid långa spännvidder och för att styva upp plattan kan bärande, lätta innerväggar användas för de laster som förekommer i bruksgränstillstånd. I ett sådant fall måste även direkt ljudtransmission mellan lägenheterna beaktas.

För att uppnå god ljudmiljö krävs det i de flesta fall att flanktransmissionen minimeras, se figur 8.2, sidan 146. Det kan göras i princip enligt två metoder, avvibrering med hjälp av flanktransmissionsspärr alternativt med fristående inre beklädnader av bärande delar. En kombination av dessa metoder förekommer även.

Flanktransmissionsspärrar används för att reducera vibrationerna i framför allt vertikal riktning. Ofta består de av elastiska lister som monteras så att man får en avskiljning mellan våningarna som minskar ljudöverföringen, men tillåter överföring av statiska krafter. Flanktransmissionsspärrar kan utföras på flera olika sätt. Gott resultat har sålunda erhållits med spärrar av elastiska material men också med icke-elastiska spärrar i form av stålrollar. En elastisk fog måste kunna ta upp eventuella lyftkrafter. Den förankring som behövs för detta får dock inte äventyra fogens akustiska funktion.

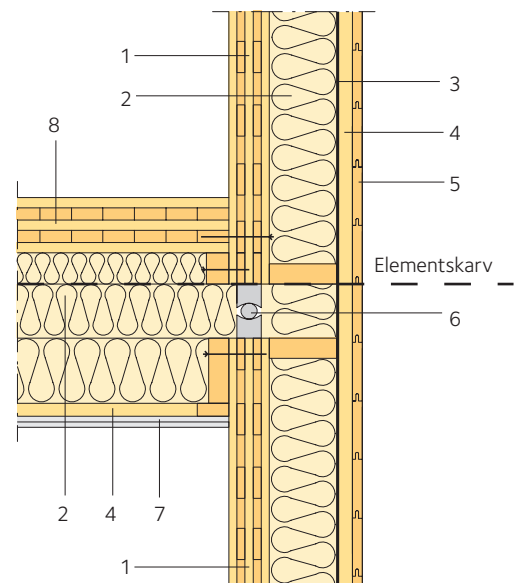
8.3 Bjälklag

Ett bjälklag ska samtidigt uppfylla ett antal krav förutom att vara ljudisolerande, såsom krav på bärighet, brandmotstånd med mera. För att uppnå detta krävs oftast dubbelkonstruktioner för att åstadkomma hög ljudisolerings. Det är av akustiska skäl fördelaktigt om bjälklag är uppbyggda i två delar som är akustiskt helt frikopplade från varandra och bärande väggar.

Ljudet som alstras av fotsteg eller gång sprids via bjälklagets övre del och överförs till bärande väggar i form av vibrationer och strålar ut som oönskat ljud i angränsande rum, så kallad flanktransmission. Stegljud genererar också hög energi vid låga frekvenser vilket speciellt avspeglar sig för lätta konstruktioner. Normalt brukar en konstruktion med god stegljudisolerings medföra att kraven uppfylls även för luftljud.



Exempel på stålrollager som reducerar flanktransmissionen.



Figur 8.4 Exempel på anslutning mellan bjälklag och vägg.

1. KL-träskiva
2. Isolering
3. Vindskydd
4. Läkt
5. Utvändig panelbräda
6. Stålrollager som reducerar flanktransmission
7. Gipsskivor
8. KL-träplatta



Utformning av ett testhus avsett för ljudmätningar.

8.3.1 Plattbjälklag med och utan undertak

Ljudkrav på byggdelar och mellan byggdelar ska uppfyllas i alla riktningar såväl horisontellt som vertikalt. Vanligtvis är det den vertikala riktningen som är dimensionerande. Att bestämma akustiska egenskaper och bedöma ljudisolerande förmåga för olika konstruktioner är komplicerat och angivna värden baseras ofta på empiriska försök och mätningar i färdiga konstruktioner. Ett stort antal provningar och tester har gjorts under ett tiotal år och tillverkare har idag erfarenheter från ett antal färdigställda byggobjekt.

Bland annat har det i ett testhus genomförts provningar för att i så realistiska förhållanden som möjligt jämföra betydelsen av olika kompletterande materialskikt. Testhuset bestod av två rum i två våningar med längden 3,8 m, bredden 3,4 m och invändig höjd 2,5 m med bjälklags- och vägguppbyggnader enligt *tabell 8.12*. Ljudmätningar gjordes för ett stort antal olika alternativa utföranden. Standardutförandet ligger på gränsen för idag godkända värden. Luftljudsisolering kan förbättras genom att den fristående regelväggen kompletteras med ytterligare lager gipsskivor. Genom att skapa asymmetri i skiljeväggen skapas bättre förutsättningar för att förbättra luftljudsisoleringen horisontellt. Horisontellt uppnås ljudklass A med avseende på stegljudsnivåer. Vertikalt uppnås stegljudsnivåer motsvarande ljudklass C.

Det finns naturligtvis ett stort antal möjligheter att bygga upp olika bjälklagslösningar med KL-träplattor som bärande del. I *tabell 8.14*, *sidan 153*, har ett antal olika bjälklagslösningar sammanställts där ljudmätningar genomförts ner till 20 Hz. Mätvärden beror av ett antal faktorer, såsom upplag, rumsstorlekar med mera, så angivna värden ska betraktas som riktvärden. Se även *tabell 5.4*, *sidan 102*.

Tabell 8.12 Konstruktioner i testhuset.

Byggdel	Uppbyggnad i grundutförande
Bjälklag	170 mm KL-träplatta, inhängd + 24 × 40 mm elastomer + 195 mm fribärande regelverk med isolering + 2 × 13 mm gipsskiva
Yttervägg	120 mm KL-träskiva + 70 mm regler, fristående / 70 mm isolering + 12 mm plywoodskiva + 13 mm gipsskiva
Innervägg	13 mm gipsskiva + 12 mm plywoodskiva + 70 mm isolering / 70 mm regler, fristående + 100 mm KL-träskiva + 70 mm regler, fristående / 70 mm isolering + 12 mm plywoodskiva + 13 mm gipsskiva

Tabell 8.13 Resultat från ljudmätningar.

	Stegljudsnivå $L_{nT,w,50}$	Luftljudsisolering $D_{nT,w,50}$	
Utförande enligt <i>tabell 8.12</i>	56 dB (klass C)	52 dB (klass C)	Vertikalt
	48 dB (klass A)	51 dB (-)	Horisontellt
Extra gipsskiva, väggar	57 dB (-)	54 dB (klass C)	Vertikalt
	43 dB (klass A)	56 dB (klass B)	Horisontellt
Extra påbyggnad innervägg, 45 mm, asymmetri alternativt extra gipsskiva på samtliga väggar	56 dB (klass C)	52 dB (klass C)	Vertikalt
	42 – 48 dB (klass A)	53 – 56 dB (klass C/B)	Horisontellt

Tabell 8.14 Sammanställning av några olika bjälklagsalternativ.

Bjälklagstyp	Material (mm)	Total höjd (mm)	Vikt (kg/m ²)	Stegljud $L_{n,w} (C_{1,50-2500})$ (dB)	Luftljud $D_w (C_{50-3150})$ (dB)
	Bjälklag typ 1 140 KL-träplatta 70 isolering 45 × 220 regler, fribärande 2 × 95 isolering 28 glespanel 2 × 13 gipsskiva	449	130	≤ 54	≥ 56
	Bjälklag typ 2 14 parkett 3 underlagsfoam 22 golvspånskiva 20 stegljudsmatta 22 golvspånskiva 95 golvreglar 95 isolering 25 sylodyn 200 KL-träplatta	401	145	≤ 54 (+6)	≥ 52 (-4)
	Bjälklag typ 3 14 parkett 3 underlagsfoam 13 golvgipsskiva 22 golvspånskiva 20 stegljudsmatta 80 tvättad singel 200 KL-träplatta	352	235	≤ 44 (+6)	≥ 63 (-1)
	Bjälklag typ 4 80 betong 30 stegljudsmatta, dynamisk styvhet ≤ 9 MN/m ³ 200 KL-träplatta	310	270	52 (+5)	63 (-8)
	Bjälklag typ 5 80 betong 30 stegljudsmatta, dynamisk styvhet ≤ 9 MN/m ³ 200 KL-träplatta 120 pendlade undertaksreglar 70 isolering 2 × 15 brandgipsskiva	460	310	33 (+17)	79 (-14)
	Bjälklag typ 6 80 betong 2 × 20 stegljudsmatta, dynamisk styvhet ≤ 12 MN/m ³ 120 tvättad singel 200 KL-träplatta 13 gipsskiva	453	460	40 (+4)	75 (-7)

8.4 Väggar

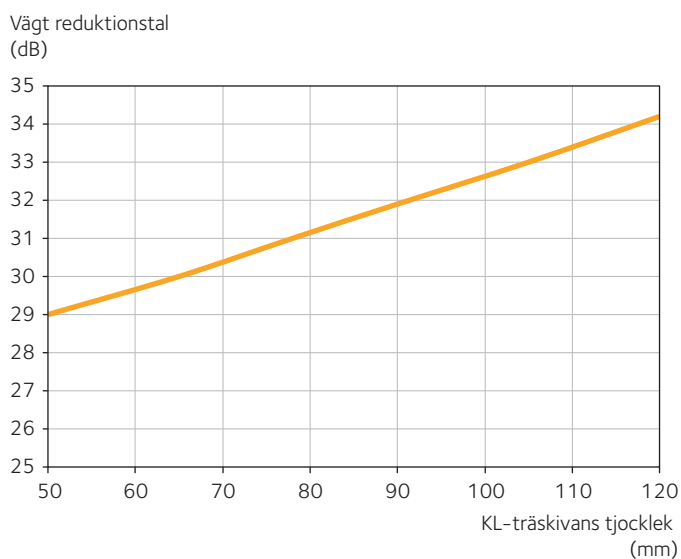
För konstruktioner där det inte ställs några krav på ljudisolering kan en KL-träskiva användas utan extra kompletteringar. KL-träskivans uppbyggnad gör att acceptabla värden uppnås även för 3-skiktsskivor.

Väggar uppbyggda med KL-träskivor betraktas i likhet med träregelkonstruktioner som lätta väggar i jämförelse med tunga stommaterial som betong och murverk. Eftersom tyngden har betydelse för ljudisoleringen innebär det att antalet kompletterande skikt får avgörande betydelse ur ljudsynpunkt men även genom att utnyttja dubbelkonstruktioner kan god ljudisolering uppnås.

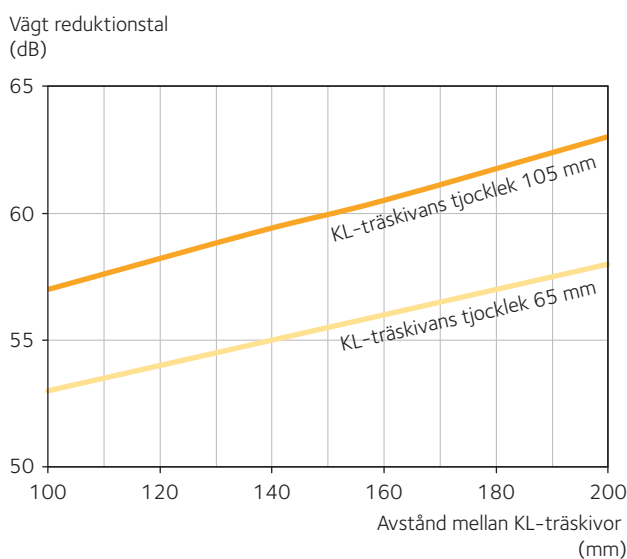
En enkel vägg av KL-trä kan förväntas få luftljudsisolering enligt figur 8.5.

Dubbelkonstruktioner byggs lämpligen upp av dubbla skivor av KL-trä med ett hålrum delvis fyllt med isolering. Hur bra denna ljudisolering blir beror på massan och styvheten hos KL-träskivan, avstånd mellan skivorna och vilken typ av isolering som används. Avståndet mellan KL-träskivorna bör vara minst 100 mm och ökat avstånd mellan KL-träskivorna ger bättre ljudisolerande egenskaper. För att undvika resonans mellan KL-träskivorna bör resonansfrekvensen, f_0 , vara lägre än 35 Hz för lägenhetsskiljande väggar för att uppnå bra ljudmiljö.

Ytterväggar och lägenhetsskiljande väggars uppbyggnad kan göras enligt ett stort antal alternativ och önskemål. Synlig insida, invändigt installationsskikt, lätt isolering med regler eller tung isolering och enbart långa träskruvar som bär fasadskiktet. Uppbyggnaden av lägenhetsskiljande KL-träväggar kan principiellt delas in i två alternativa lösningar, dubbla väggskivor av KL-trä eller enkla väggskivor av KL-trä som kläs in med regelkonstruktioner. I tabell 8.15, sidan 155, presenteras ett antal olika varianter på uppbyggnad av ytterväggar och lägenhetsskiljande väggar. Angivna värden i tabell 8.15 ska betraktas som riktvärden. Se även tabell 6.7, sidan 123 och tabell 6.8, sidan 124.

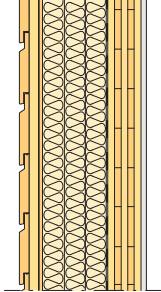
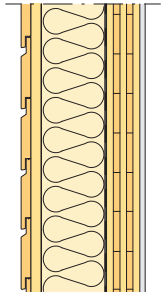
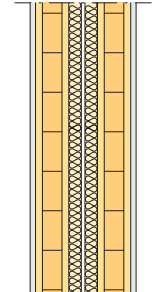
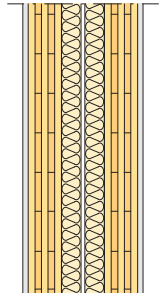
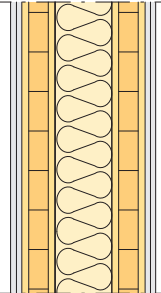


Figur 8.5 Vägt reduktionstal ($D_{w+C50-3150}$) för KL-träskivor. Kurvan bygger på laboratoriemätningar av väggar med tjockleken 65 och 105 mm. Vägt reduktionstal exklusive anpassningsterm blir 1 dB högre.



Figur 8.6 Vägt reduktionstal ($D_{w+C50-3150}$) för KL-trä skivor. Kurvan bygger på laboratoriemätningar av väggar med tjockleken 65 och 105 mm. Vägt reduktionstal exklusive anpassningsterm blir 1 dB högre.

Tabell 8.15 Sammanställning av några olika väggalternativ.

Väggtyp	Material (mm)	Total tjocklek (mm)	Luftljud $D'_{w'} (C, C_{tr})$ (dB)	Brandklass/U-värde ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
	Yttervägg typ 1 22 utvändig panelbräda 28 spikläkt Vindskydd 12 × 70 plywood 70 tung isolering 145 reglar 70 + 70 isolering Ångbroms 120 KL-träskiva 15 brandgipsskiva	412	$D'_{w'} = 48 - 55$	EI90 / 0,15
	Yttervägg typ 2 22 utvändig panelbräda 27 × 97 fanerträ, c600 200 tung isolering Ångbroms 120 KL-träskiva 15 brandgipsskiva	384	$D'_{w'} = 52$	EI90 / 0,15
	Lägenhetsskiljande vägg typ 1 15 brandgipsskiva 80 KL-träskiva 45 – 70 isolering 20 luftspalt 45 – 70 isolering 80 KL-träskiva 15 brandgipsskiva	300 – 350	≥ 52 (100 mm mellan KL-träskivor) alternativ ≥ 48 (50 mm mellan KL-träskivor) ≥ 56 (170 mm mellan KL-träskivor) ≥ 58 (200 mm mellan KL-träskivor)	EI60 (ensidig brand)
	Lägenhetsskiljande vägg typ 2 13 gipsskiva 120 KL-träskiva 45 isolering 20 luftspalt 45 isolering 120 KL-träskiva 13 gipsskiva	376	≥ 55 (100 mm mellan KL-träskivor) alternativ ≥ 50 (50 mm mellan KL-träskivor) ≥ 60 (170 mm mellan KL-träskivor) ≥ 61 (200 mm mellan KL-träskivor)	EI60 (ensidig brand)
	Lägenhetsskiljande vägg typ 3 2 × 15 brandgipsskiva 70 KL-träskiva 170 lösullsisolering 70 KL-träskiva 2 × 15 brandgipsskiva	370	$D'_{w'+C50-3150} \geq 60$	EI60 (ensidig brand)



Flervåningshus, Skellefteå.

8.5 Att tänka på

I tidiga skeden kartlägg förutsättningarna samt diskutera layoutfrågor med avseende på ljud med utgångspunkt från SS 25267 och SS 25268 samt gå igenom akustiska önskemål och krav. Omvandla önskemål och krav till ljudklass och tydliga projekteringsanvisningar. Några tumregler för flervåningshus att använda sig av är:

I projekteringsskedet:

- Använd minimikrav enligt Boverkets byggregler, BBR, ljudklass C, men arbeta för ljudklass B med extra fokus på låga frekvenser.
- Prioritera stegljudsisolering.
- Minimera spännvidder.
- Planera för lite högre bjälklag.
- Bärande bjälklagsdelar vibrationsdämpas i undertak eller övergolv.
- Knutpunkter dimensioneras med avseende på ljud och redovisas tydligt.
- Plats för installationer.
- Flanktransmissionslisters placering och densitet beräknas och redovisas tydligt.
- Undvik att placera vibrerande utrustning eller tunga installationer på lätta bjälklag. Om möjligt placera dessa på ett avgränsat fundament på bottenplattan.

I byggskedet:

- Informera personal och underentreprenörer om vikten av noggrant arbete för att uppnå god ljudstandard.
- Kontrollera att inga "kortslutningar" finns mellan bärande delar och vibrationsdämpade delar.
- Kontrollmätning och visuell kontroll genomförs före inklädnad.
- Kontrollera alltid bjälklaget, med ljudmätning, i god tid före färdigställandet.

KL-trä och värme och fukt

Byggnadsfysik är kunskapen om värme, luft, fukt och ljud i byggnader. En del av byggnadsfysiken handlar om flöden och hur värme, luft, ljud och fukt breder ut sig och transporteras genom byggnadsdelar och byggnader. Hus med KL-trästommar uppvisar många fördelar ur boendeklimat- och energisynpunkter. Med rätt utformning och tillvaratagande av KL-trästommens egenskaper, kan kostnaderna för installationer hållas lägre än för många andra byggsystem. Ett gott boendeklimat har stor betydelse för de som ska vistas i byggnaden.

Det nordiska klimatet kräver i regel uppvärmning av en byggnad för att uppnå ett behagligt inomhusklimat. När värme tillförs från installationer eller apparater och personer, som exempelvis i kontor, kan det under vissa perioder också behövas kylning. Kylning kan även behövas sommartid när solstrålning och hög utetemperatur värmer upp byggnaden. I ett rum som omges av väggar, golv och tak som har hög förmåga att lagra värme, exempelvis av KL-trä, kommer temperaturen att jämnas ut under dygnets timmar. Samtidigt som byggnadsdelen kyls ner, kommer luften att värmas och omvänt när byggnadsdelen värms kommer luften att kylas ner. Förutsättningen för att man ska kunna dra nytta av denna utjämnande effekt och den energibesparing den för med sig, är att man accepterar att temperaturen inomhus får variera några grader upp och ner. Vid en strikt styrd temperaturreglering kommer i stället uppvärmning att starta så snart temperaturen faller det minsta och på samma sätt kommer kylning att sätta igång när temperaturen stiger, med större energiförbrukning som följd.

9.1 KL-trä och värmelagring och fuktbuffering

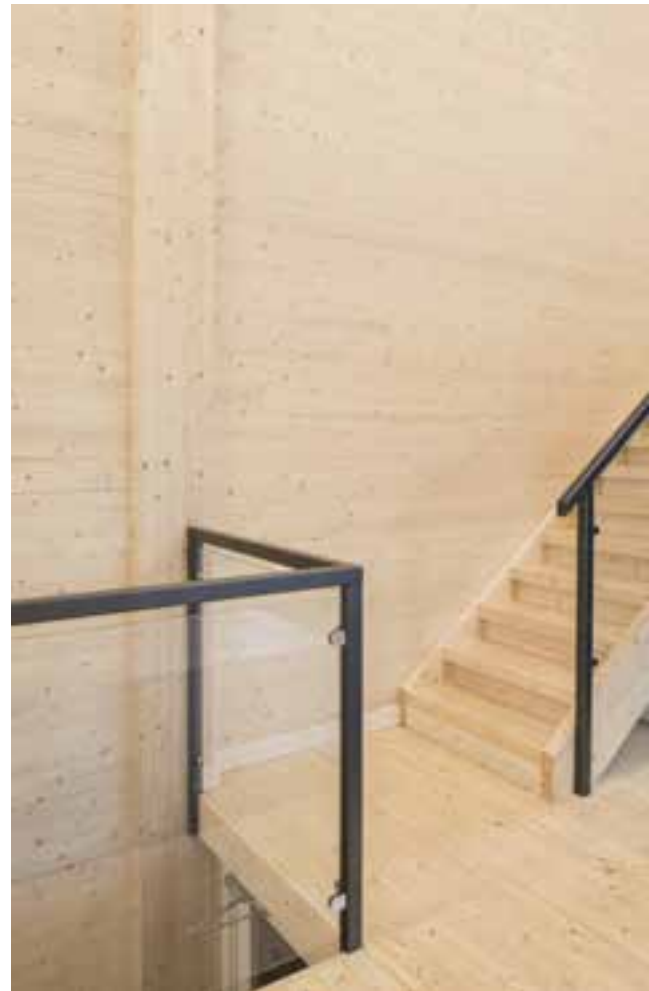
Det är ett välkänt förhållande att inomhusklimatet är behagligt i timmerhus, med tjocka, massiva träväggar. Flera mätningar och data-simuleringar har utförts för att fastställa hur det förhåller sig med boendeklimatet i hus med KL-trästomme eller likartade stommar och deras energieffektivitet. Resultaten tyder på att de är både behagliga att bo i och att energiförbrukningen för uppvärmning är låg. En betydande minskning av energiförbrukningen för uppvärmning, i jämförelse med lättväggar och lätta bjälklag, är möjlig att uppnå.

Träets låga värmeledningsförmåga gör också att golv- och vägg-ytorna är behagliga att beröra. Genom att köldbryggorna är få och träytorna inte känns kalla kan temperaturen inomhus sänkas, med bibehållen behaglighet, med uppemot ett par grader. Rummet går också snabbt att värma upp efter en nedkylning.

9.1 KL-trä och värmelagring
och fuktbuffering 157

9.2 KL-trä och fuktbetingade rörelser 160

9.3 KL-trä och värmeisolering 160



Kontorsmiljö, Älta.

Tabell 9.1 Materialdata för några vanliga byggmaterial.

Material	Värmeledningsförmåga (λ) (W/m °C)	Specifik värmediffusivitet (a) (m ² /s)	Värmekapacitet (c) (J/kg °C)
KL-trä	0,13	$0,19 \cdot 10^{-6}$	1 600
Lättbetong	0,14	$0,28 \cdot 10^{-6}$	500
Mineralull	0,04	$0,30 \cdot 10^{-6}$	120
Gips	0,25	$0,31 \cdot 10^{-6}$	720
Tegel	0,6	$0,44 \cdot 10^{-6}$	1 350
Betong	1,7	$1,00 \cdot 10^{-6}$	1 000

Tabell 9.2 Periodiskt inträngningsdjup för en temperaturcykel på ett dygn för några vanliga byggmaterial.

Material	Periodiskt inträngningsdjup (mm)
KL-trä	70
Gips	90
Lättbetong	90
Tegel	110
Betong	140
Mineralull	160
Sten (granit)	210

Värmelagring i byggnadsstommar och nyttan av värmelagring bestäms av ett antal faktorer; material, byggmetod, täthet, fasförskjutning med mera. Optimalt är att lagra in den mängd värme som man annars varit tvungen att vädra bort. Det ställs även höga krav på övriga delar i klimatskärmen. Klimatskärmen måste vara tät och välisolerad för att förhindra att värmen försvinner ut genom väggen. Installationer i övrigt, såsom ventilation och reglering av radiatorer, måste även anpassas för att utnyttja värmelagringen optimalt.

Ett materials förmåga att lagra värme beror på dess tyngd och dess specifika värmelagringsförmåga, se tabell 9.1. Trä har trots den låga densiteten hög värmelagringsförmåga tack vare en i förhållande till andra material hög specifik värmekapacitet, c . Specifik värmekapacitet anger den mängd värme i Ws eller J som åtgår för att höja temperaturen en grad i ett kilo av materialet. Värmeledningsförmåga, λ , även kallad värmeledningsförmåga, är en materialegenskap som anger hur lätt värme transporteras i ett material. Det vill säga materialets värmeisolerande förmåga. Ett annat mått som är av intresse är värmediffusivitet, a , som visar hur snabbt en temperaturförändring sprider sig i materialet.

För att lagra värme i exempelvis solbelysta innerväggar har även inträngningsdjupet en betydelse då det talar om hur stor del av materialet som är aktivt under en bestämd tidsperiod. Periodiska inträngningsdjupet för några vanliga byggmaterial framgår i tabell 9.2.

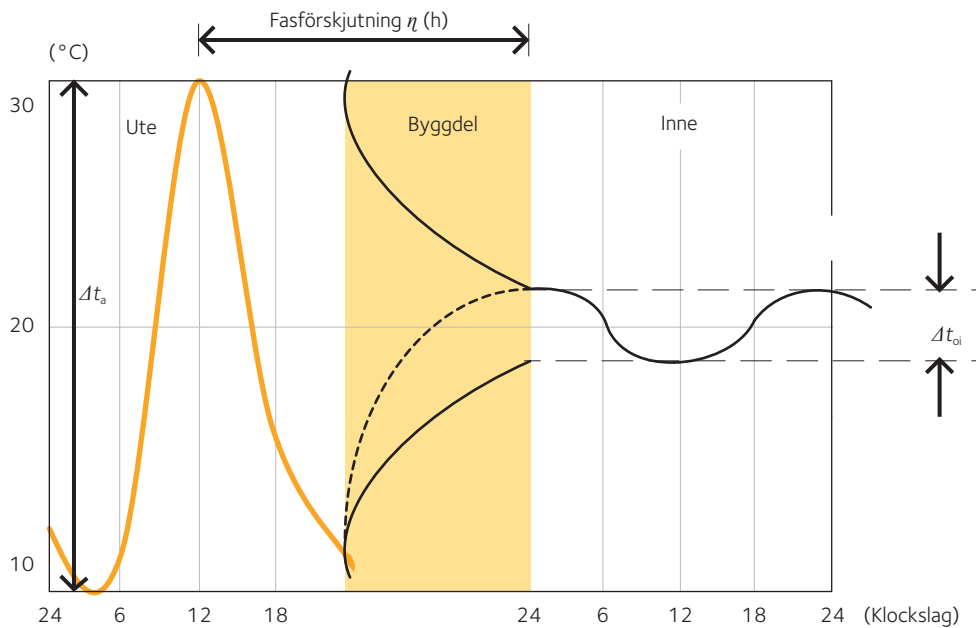
En ytterligare fördel som kan tillskrivas den massiva träytterväggen, till följd av hög värmekapacitet och låg värmeledningsförmåga, är den så kallade fasförskjutning, η , som uppträder mellan temperaturerna på väggens ut- och insida. Fasförskjutningen beskriver den tidsförskjutning inom vilken den högsta dagstemperaturen vandrar från ut- till insidan genom en byggnadsdel och avger utomhustemperaturen till rummets inomhustemperatur. I en massiv trävägg tar det lång tid innan värmetopparna på väggens utsida når insidan, ända upp till 10 – 12 timmar. För att fasförskjutningen i ytterväggen ska bli stor ska det så kallade temperaturledningstalet, a , med enheten (m kg °C)/J vara lågt. Inte att förväxla med a i tabell 9.1. Temperaturledningstalet kan beräknas enligt ekvation 9.1:

$$9.1 \quad a = \frac{t}{c}$$

där:

t är väggjocklek i meter.

c är väggens värmekapacitet i J/kg °C.



Figur 9.1 Graf över fasförskjutning och amplitudförändring över en väggkonstruktion.

Källa: *BSPhandbuch*.

För att uppnå samma fasförskjutning i en vägg av stenmaterial krävs cirka dubbelt så stor tjocklek som på den massiva träväggen.

För att beskriva temperaturförändringar i en yttervägg är det av intresse att titta på temperaturamplitudernas förändring i väggen och fasförskjutningen. Man kan då studera den ytterväggs utvändiga ytskiktstemperatur och ytterväggs invändiga ytskiktstemperatur. Principiellt kan det beskrivas enligt figur 9.1.

Amplituddämpningen θ kan beräknas enligt ekvation 9.2:

$$\theta = \frac{\Delta t_a}{\Delta t_{oi}} \quad 9.2$$

där:

- Δt_a är temperturamplitud utomhus i °C.
- Δt_{oi} är temperaturamplitud inomhus i °C.
- η är fasförskjutning i timmar.

Värden som ofta eftersträvas är en amplituddämpning som är större än 3,3 för ytterväggar och större än 5,0 för yttertak. Exempelvis $\theta = \Delta t_a / \Delta t_{oi} = 25 \text{ °C} / 5 \text{ °C} = 5$. Samtidigt bör fasförskjutningen vara större än 10 timmar för att uppnå ett behagligt inomhusklimat.

Beroende på hur konstruktionen byggs upp och vilka ingående material som väljs, går det att påverka fasförskjutningen och amplituddämpningen, se tabell 9.3.

Tabell 9.3 Temperaturen fasförskjutning beroende av väggens uppbyggnad.

Väggtyp (mm)	Värmegenomgångstal (U) ($W/m^2\text{°C}$)	Effektiv lagringsmassa (m) (kg/m^2)	Fasförskjutning (η) (h)	Amplituddämpning (θ)
120 KL-trä	0,88	31	7,8	3,76
95 mineralull 120 KL-trä	0,32	38	10,7	23,8
95 mineralull 120 KL-trä 50 mineralull 15 gipsskiva	0,22	48	16,3	60,8



Paviljong med krökta KL-träelement, Österrike.

Dimensionering mot kondens

Ytterväggen har som uppgift att hålla en temperaturdifferens mellan inneluften och uteluften. Klimatskärmen utsätts för stora klimatvariationer vilket gör att fuktillståndet kommer att variera och med ökande isoleringstjocklekar ökar även risken för kondens inne i konstruktionerna. Bedömning med hänsyn till risk för skadlig kondens inuti en konstruktion kan göras med hjälp av anpassade fuktberäkningsprogram. En konstruktion kan anses uppfylla kraven om kondens inte inträffar, eller om kondenserad vattenmängd kan föras bort över tid. Alternativt att mängden kondenserad fukt är så ringa i förhållande till materialets förmåga att lagra kondenserad fukt tills fukten kan avdunsta, att inga skador kan väntas uppstå. En massiv trästomme har stor förmåga att lagra fukt. Ytfuktkvoten i trämaterial bör därvid understiga 18 % vid inbyggnad för att förhindra mikrobiell påväxt.

För att undvika diffusion genom en vägg- eller takkonstruktion används vanligtvis någon form av ångspärr eller -broms. KL-träskivor utförda med minst fem brädsnitt och skivtjocklekar större än 70 mm kan i många fall fungera som ångbroms och innebära att ytterligare skikt inte behövs för att förhindra diffusion genom konstruktionen. Det är dock beroende av hur KL-träskivorna tillverkas och ställer även krav på att anslutningar mellan till exempel bjälklag och vägg eller vägg och vägg kan utföras på sådant sätt att erforderlig lufttätning uppnås. Luftrörelser i springor och andra otätheter ger dock koncentrationer av fukt och en åldersbeständig folie eller likvärdigt material spelar där en viktig roll för att säkerställa väggens lufttätning.

9.2 KL-trä och fuktbetingade rörelser

Tabell 9.4 Fuktbetingad dimensionsändring hos trä.

Material: Furu och gran	Procent dimensions- ändring vid 1 % ändring av fuktkvoten
Parallellt fibrerna	0,01 – 0,02
I radiell riktning	0,19
I tangentiell riktning	0,36
Medelvärde tvärs fibrerna	0,24

När träets fuktkvot ändras, ändras också träets volym. Träet sväller eller krymper. Denna dimensionsförändring är olika i olika riktningar i träet. Den är obetydlig i fiberriktningen, störst i tangentiell riktning och något mindre i radiell riktning, se tabell 9.4.

Med hänsyn till träets fuktbetingade rörelser är det viktigt att KL-träskivorna vid inbyggnaden har en fuktkvot som så nära som möjligt stämmer överens med miljön i den färdiga byggnaden.

KL-träskivor har ungefär samma fuktbetingade rörelser som plywoodskivor. Beroende på hur stor andel av fibrerna som är orienterade i vardera riktningen, kommer svällningen eller krympningen i KL-träskivans plan att uppgå till cirka 0,016 – 0,023 procent per procent ändring av fuktkvoten, vilket är obetydligt mer än för trä parallellt med fiberriktningen. Se även avsnitt 1.6.3, sidan 20.

9.3 KL-trä och värmeisolering

När KL-träskivor används i en yttervägg kompletteras KL-träskivan allt som oftast med isolering och ett fasadskikt. Fasaden är till för att få ett stationärt klimat i övriga delar av väggen. Vid stationära förhållanden, till exempel vid långa kalla vinterperioder, bestäms värmeflödet genom väggen endast av dess värmegenomgångstal, det så kallade U-värdet. U-värdet är det inverterade värdet av det totala värmemotståndet, R, i en byggnadsdel. En KL-trästomme är i sig isolerande och har få köldbryggor. KL-trä placeras oftast mot den varma sidan och den plana ytan gör att det är enkelt att uppnå bra underlag för kompletterande, ofta heltäckande, isoleringsskikt.

Trä har goda värmeisolerande egenskaper men för att uppfylla de krav vi har idag på klimatskalet krävs ytterligare isolering. En KL-trästomme lämpar sig därvid väl att isolera med någon form av träbaserad isolering, då de båda materialen uppvisar liknande byggfysikaliska egenskaper, även om mineralullsisolering är det vanligaste isolermaterialet i Sverige. Pågående forskning visar på att massiva trästommar kan ha positiv inverkan på en byggnads energiförbrukning.

U-värdet, eller värmegenomgångskoefficienten, talar om hur mycket värme som strömmar genom 1 m^2 vägg vid en temperaturskillnad på $1 \text{ }^\circ\text{C}$ mellan den varma och kalla sidan.

Värmeledningstalet, eller värmekonduktiviteten, för trä beror på träets densitet och fuktkvot. För torr furu och gran med en fuktkvot på cirka 12 % är värmekonduktiviteten, det så kallade lambdavärdet, $\lambda = 0,10 - 0,12 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, det vill säga cirka tre gånger det värde som gäller för traditionell isolering. Som praktiskt tillämpbart värde brukar man räkna med $\lambda = 0,13 - 0,14 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

För att beräkna konstruktionens isolerande förmåga kan följande beräkningsgång användas:

- Bestäm värmekonduktiviteten, λ** , för samtliga ingående material, se tabell 9.5. Andra värden kan erhållas ur produktblad, handböcker eller standarder.
- Bestäm värmemotståndet, R** , för luftspalter och värmeövergångsmotstånd, R_{si} och R_{se} . Man skiljer på tre olika typer av luftspalter, se tabell 9.6.

Tabell 9.5 Värmekonduktivitet för några olika material.

Material	Värmekonduktivitet, λ (W/m $^\circ\text{C}$)
Isolering	0,04
KL-trä	0,13
Trä	0,14
Gipsskiva	0,25
Betong	1,7

Tabell 9.6 Värmemotstånd för olika luftspalter.

Luftspalt	Värmemotstånd, R (m 2 $^\circ\text{C}/\text{W}$)
Oventilerade luftspalter	< 0,18
Svagt ventilerade luftspalter	< 0,15
Väl ventilerade luftspalter	0

Tabell 9.7 Värmeövergångsmotstånd för olika byggdelar.

Byggdela	Värmeövergångsmotstånd, R_{si} (m 2 $^\circ\text{C}/\text{W}$)	Värmeövergångsmotstånd, R_{se} (m 2 $^\circ\text{C}/\text{W}$)
Väggar	0,13	0,04
Tak	0,10	0,04
Golv	0,17	0,04

Tabell 9.8 Exempel på korrektionsterm för ytterväggar.

Byggdela	ΔU (W/m 2 $^\circ\text{C}$)
Yttervägg med ett isoleringsskikt med regler	0,01
Yttervägg med korslagda regler	0



Isolering av väggelement av KL-trä.

c) **Bestäm korrektionsfaktorer, ΔU** , för fästianordningar, springor och spalter,

där:

ΔU_f är en korrektionsterm för extra värmeflöde på grund av mindre fästianordningar i konstruktionen. Termen är oftast försumbar, speciellt för träkonstruktioner.

ΔU_g är en korrektionsterm som tar hänsyn till normala utförandefel vid montage av konstruktionen.

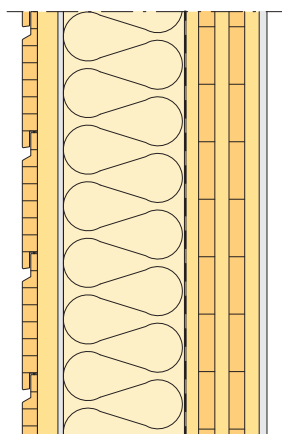
d) **Beräkna värmegenomgångskoefficienten** för hela konstruktionen.

Om konstruktionen enbart innehåller homogena skikt beräknas varje skikts värmemotstånd och summeras varefter U-värdet kan beräknas enligt *ekvationerna 9.3 – 9.5*:

$$9.3 \quad R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}]$$

$$9.4 \quad R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad [\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}]$$

$$9.5 \quad U = \frac{1}{R_T} + \Delta U_g + \Delta U_f \quad [\text{W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}]$$



Figur 9.2 Vertikalsnitt genom yttervägg med KL-träskiva.

Vid beräkning av U-värdet för konstruktion som innehåller inhomogena skikt såsom regler i ett isoleringsskikt ska beräkning av värmegenomgångskoefficienten göras på två sätt enligt SS-EN ISO 6946, U-värdesmetoden och λ -värdesmetoden. Beräkningarna ger ett undre och ett övre värde för det totala värmemotståndet, R . Det värmemotstånd som sedan ska användas för att få fram U-värdet är medelvärdet av de två värmemotstånden.

Vid U-värdesmetoden används vid viktningen areor vinkelrätt mot värmeflödet och vid λ -värdesmetoden viktas ett nytt λ -värde fram för varje inhomogent skikt.

Exempel:

Vägg uppbyggd enligt följande: 13 mm gipsskiva, 100 mm KL-träskiva, ångbroms, 170 mm isoleringsskiva med 12 procent träregelandel, vindskydd, 34 mm luftspalt, 25 mm liggande limträpanel, se figur 9.2.

Vid **U-värdesmetoden** används vid viktningen areor vinkelrätt mot värmeflödet. I detta fall får vi enbart två areor i det inhomogena skiktet, trä och isolering.

$$A_1 = 0,12 \quad [\text{m}^2]$$

$$A_2 = 0,88 \quad [\text{m}^2]$$

Beräkning sker av fyra U-värden, och börjar med att summera ihop motstånden för de två fallen. Värmemotståndet för gipsskivan, KL-träskivan samt de två värmeövergångsmotstånden ingår alltid och summeras till:

$$R = 0,052 + 0,769 + 0,130 + 0,040 = 0,991 \quad [\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}]$$

Fall 1: Area A_1 , träregel:

$$R_1 = 0,991 + \frac{0,170}{0,14} = 2,205 \quad [\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}]$$

$$U_1 = \frac{1}{2,205} = 0,454 \quad [\text{W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

Fall 2: Area A_2 , isoleringsskiva:

$$R_2 = 0,991 + \frac{0,17}{0,037} = 5,586 \quad [\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}]$$

$$U_2 = \frac{1}{5,586} = 0,179 \quad [\text{W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

U-värden viktas ihop med hjälp av areorna:

$$U_u = 0,12 \cdot 0,454 + 0,88 \cdot 0,179 = 0,212 \quad [\text{W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}]$$

vilket ger:

$$R_u = \frac{1}{0,212} = 4,717 \quad [\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}]$$

Vid λ -värdemetoden viktas ett nytt λ -värde fram för varje inhomogent skikt. Träandelen är 0,12 i det inhomogena skiktet:

$$\lambda = 0,12 \cdot 0,14 + 0,88 \cdot 0,037 = 0,0494 \quad [\text{W} / \text{m} \text{ } ^\circ\text{C}]$$

R-värdet beräknas till:

$$R_\lambda = 0,991 + \frac{0,170}{0,0494} = 4,432 \quad [\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}]$$

Medelvärdet för de två metoderna ger:

$$R_T = \frac{(R_u + R_\lambda)}{2} = \frac{(4,717 + 4,432)}{2} = 4,575 \quad [\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}]$$

Varefter U-värdet beräknas till:

$$U = \frac{1}{R_T} + \Delta U = \frac{1}{4,575} + 0,01 = 0,23 \quad [\text{W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}]$$



Flervåningshus, Finland.

Upphandling och montage

10.1 Förfrågan och upphandling 164

10.2 Hantera KL-trä rätt 164

- 10.2.1 Leverans, mottagning och lagring 165
- 10.2.2 Generella principer för lyft och hantering av KL-träskivor 166
- 10.2.3 Egenvikt element och dynamiska effekter 167
- 10.2.4 Exempel: Dimensionering av infästning av förankringsskruv vid lyft 168
- 10.2.5 Stomstabilisering under byggtiden 169

10.3 Skydd av konstruktionen under byggtiden 170

- 10.3.1 Väderskydd under byggtiden 170
- 10.3.2 Kontroll och uppföljning 171

10.4 Kom ihåg 174

I detta kapitel riktar vi oss främst mot de frågeställningar som är aktuella när en byggnad med KL-trästomme ska uppföras. Det behandlar skeden från planering, via förfrågan och upphandling till fysiska åtgärder på bygget.

10.1 Förfrågan och upphandling

Förfrågan ska innehålla samtliga relevanta uppgifter som KL-trätillverkaren behöver för att kunna lämna en fullständig offert. Förutom priset ska frågor om materialets hållfasthets- och utseendeklass, mått och vikt samt leveranstider med mera besvaras. Om man önskar att leverantören ska delta i konstruktionsarbetet ska detta framgå tydligt i offertförfrågan. I många fall kan det vara en fördel att sända med planritningar och sektioner till leverantörer för att få förslag till indelning och optimering av leveranser.

En väl utförd konstruktion av KL-trä förutsätter en korrekt och entydig beskrivning. För att uppnå en effektiv och felfri leverans är det av vikt att göra en så detaljrik förfrågan som möjligt. Några delar som bör ingå vid en förfrågan framgår i *tabell 10.1*.

KL-träelementen levereras med specificerad måttnoggrannhet. Det är viktigt att man tar hänsyn till detta så att de kan passas in mot platsbyggda konstruktioner. Dessa bör ha lika goda måttoleranser som KL-träelementen och om detta inte är möjligt ska det beaktas i projekteringen. Inhängda bjälklag, det vill säga bjälklag som passas in mellan väggarna, kräver stor måttoggrannhet vid utsättning. Den som ansvarar för utsättningsarbetet måste vara väl informerad om vilka toleranser som gäller.

10.2 Hantera KL-trä rätt

Lagring och hantering av KL-träskivor och element tillverkade av KL-trä kräver i likhet med alla byggprodukter omsorg och har en avgörande påverkan, inte bara på konstruktionens beständighet och utformning, utan även på projektets ekonomi och planering.

En viktig fråga i alla byggprojekt är hur man löser klimatskyddet under byggtiden och hur man på så sätt undanröjer risken för framtida skador förorsakade av fukt. Frågan om vilket klimatskydd som ska användas bör ha hög prioritet i planeringsarbetet. En stor fördel med träbyggande är den snabba byggtiden. För att utnyttja denna maximalt ska träet skyddas mot fukt, så att ingen uttorkning krävs på byggarbetsplatsen. Grundprincipen i detta sammanhang är att klimat känsliga konstruktionsdelar, såsom färdiga byggelement, ska byggas in och på så vis skyddas så snabbt som möjligt. Om det inte är möjligt att bygga in dessa delar direkt, ska de skyddas med ett temporärt klimatskydd som är så effektivt som möjligt. När man tidplanerar ett projekt har man viss möjlighet att styra planeringen för att kunna

Tabell 10.1 Förteckning över ett antal uppgifter som bör ingå vid en förfrågan om KL-trä.

Text
Elementbeteckning och tydlig montageordning för identifikation.
Antal enheter. För olika enheter specificera antal enheter och form.
Mått och toleranser ska tydligt anges.
Önskas synliga ytor ska utseendekvalitet anges, se exempel sidan 21.
Ange om annat träslag önskas. ¹⁾
Särskilda önskemål beträffande emballage, till exempel styckevis emballering, lastordning, kantskydd för kranmontage etcetera.

¹⁾ Tillgängligheten bör kontrolleras före förfrågan skrivs.

prioritera att snabbt bygga in fuktkänsliga konstruktionsdelar. Årstid och lokala klimatförhållanden på orten där byggprojektet genomförs har också betydelse. Att planera leverans och montage på ett sätt som gör att montaget sker snabbt och effektivt är också viktigt för att minimera fuktproblem.

10.2.1 Leverans, mottagning och lagring

KL-träelement har förhållandevis låg egenvikt och elementens kompakta format gör att de går att lasta och transportera på ett effektivt sätt. I Sverige kan transporter vanligtvis ha följande totalmått utan att specialtillstånd krävs; 24 m långa, 2,6 m breda och 4,5 m höga. Detta innebär att det i regel inte är några problem att transportera KL-träelement i fullformat. Det normala är att transporter köps in från tillverkaren av KL-träskivor eller färdiga KL-träelement. Det är viktigt att elementen lastas i rätt ordning så att de sedan kan lossas i den ordning de sedan ska monteras. Varje element ska vara försett med en märkning så att det är lätt att spåra på en montageplan. KL-trätillverkaren måste vara väl informerad om montageordningen och bör ha tillgång till montageplanen för att få korrekt information om helheten i montagearbetet. Vidare bör följande beaktas:

- Planera montaget i god tid före lossning för att undvika tidskrävande omlastningar.
- Kontrollera att emballaget är helt.
- Kontrollera att antal element och dimensioner stämmer mot beställningen och följesedeln.
- Kontrollera leveransen, notera eventuella synliga skador. Stäm av hållfasthets- och utseendeklass och märkning mot beställningen och följesedeln.
- Ta stickprov av fuktkvoten på ett antal ställen med en elektrisk resistansfuktkvotmätare med isolerade hammarelektroder för att få en indikation på att fuktkvoten stämmer mot beställningen.
- Kontrollera att KL-träelementen är rena från jord och smuts.
- Undvik mellanlagring och om möjligt montera direkt från lastbilen.
- Placera inte KL-träelement där det finns risk för nedsmutsning av till exempel stänk från takdropp eller trafik.
- Se till att lagringsplatsen ligger i skugga under vår, sommar och höst. Emballerade solbelysta KL-trätytor får högre temperatur än utomhustemperaturen, vilket kan leda till sprickbildning eller kondens, som ökar risken för mikrobiell påväxt.
- Använd rena underslag, minst 300 mm höga över mark eller golv och som ger god luftning. Se till att ha tillräckligt stort antal underslag så att inte KL-träelementen böjs.
- Underlaget ska vara torrt och plant så att KL-träelementen inte slår sig eller belastas så att bestående deformationer uppstår.

En leverans av KL-trä har normalt en fuktkvot som högst motsvarar målfuktkvot 16 % vid leverans från KL-trätillverkaren. KL-träskivor eller kompletta byggnadselement levereras oftast med ett transportskydd. Om emballaget är helt tätt kan produkterna under en kortare tid förvaras utomhus under presenning. Om emballaget bryts ska det lagas (även mindre revor) eller tas bort helt och KL-träet bör fortsätta lagras i ett torrt och varmt utrymme om det ska användas inomhus. KL-trä som ska användas i icke uppvärmda byggnader eller i utomhusklimat, skyddat under tak, kan lagras i ett kallt utrymme väl skyddat mot nederbörd. Se vidare i *avsnitt 10.3.2, sidan 171* och i *avsnitt 10.4, sidan 174*.



Väggelement färdiga för leverans.



Emballerade platta paket av KL-trä.



Montage av KL-trä.

10.2.2 Generella principer för lyft och hantering av KL-träskivor

Det finns viktiga arbetskyddsfrågor att beakta vid elementmontaget. Det är bland annat viktigt att väggelementen snabbt förankras och strävas upp. Yrkesinspektionen har ställt upp regler för hur detta ska genomföras. Andra viktiga frågor är fall- och halkrisken. Ofta är det inte praktiskt möjligt att ha skyddsräcken under själva montaget, vilket är en risk i sig. Alternativt kan livlinor användas.

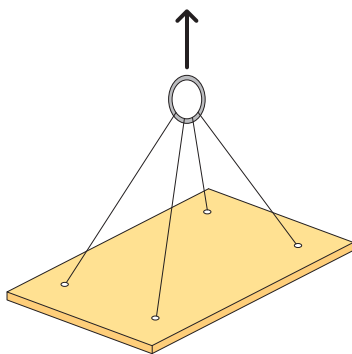
Det finns ett antal olika metoder att använda sig av vid lyft och hantering av KL-träskivor. Vilket system som bör användas är vanligtvis upp till KL-trätillverkaren, men bör även ske i samråd med byggentreprenören. Ofta används olika typer av sling eller stroppar av textil, stålvarer eller stålkatting och vid användning ska alltid bärformåga kontrolleras.

Bjälklags- och väggelement lyfts normalt med hjälp av speciella öglor och lyftok. Lyftredskapet ska vara utformat så att alla laster blir statiskt bestämda. Detta för att säkerställa en jämn fördelning av lasten i samtliga infästningspunkter.

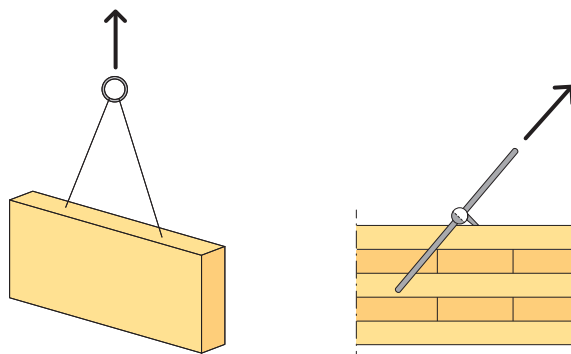
Lika väl som att det för KL-trä finns olika tillverkare, finns det ett antal olika leverantörer av infästningsmaterial för lyft och transport av prefabricerade element. Leverantörerna av KL-träelement har ofta en standardmetod som används, vilken kan ge information om antal infästningspunkter med mera.

Att använda sig av genomgående skruv och lastfördelnde brickor betraktas som den säkraste metoden att göra infästningspunkten i en bjälklagsplatta. Genomgående skruvar medför dock att ytan påverkas och om den ska vara synlig kommer det att krävas lagningar. Hålen måste också tätas för att försäkra sig om att krav på ljud, täthet och brand uppfylls. En annan vanlig metod är att använda sig av kulankare, som är en infästningsanordning som fästs med träskruvar. För väggelement används ofta enkla stroppar som träs genom hål gjorda i KL-träskivan. Stropparna kan efter montage enkelt tas bort.

Generellt gäller att väggelement oftast är försedda med två eller fyra lyftpunkter beroende på elementvikt och form. Väggelement med två lyftpunkter ska lyftas med tvåparts lyftkatting med säkerhetskrokar. Väggelement med fyra lyftpunkter ska lyftas med fyra säkerhetskrokar och självlänkande linor.



Figur 10.1 Exempel på statiskt bestämda system för hantering av bjälklagsplattor och väggskivor.



Figur 10.2 Principskiss kulankare med snedställd lyftskruv.



Kulankare för infästning med träskruvar.



Lyft av prefabricerat väggelement.

Lyftanvisningar för väggelement

Innan arbetet med väggelementen påbörjas bör följande utrustning finnas på byggarbetsplatsen:

- 4-parts kätting inklusive upphängningskrokar.
- Lyftblock anslutna till en lyftstropp för justering.
- Tyngdpunktsanvisning från KL-träelementtillverkare.

Gör daglig egenkontroll av kättingar, krokar och lyftblock. Montage sker om möjligt direkt från lastbil. Montage av väggar påbörjas genom att två parter på kättingen hängs upp samt att en part kortas cirka 1,5 m, i vilken lyftblocket kopplas. Väggarna kopplas en och en med kätting i ena lyftstroppen och lyftblockets krok i den andra lyftstroppen. Väggen justeras till vågrät position för att fördela vikten samt underlätta montaget.

10.2.3 Egenvikt element och dynamiska effekter

Bjälklag- och väggelements egenvikt beror av prefabriceringsgrad, ingående material och storlek. Vanligtvis utgör inte egenvikten ett problem då även beklädda KL-träskivor har relativt låg egenvikt i relation till andra likartade produkter. Vid montage av stora element bör vindförhållanden beaktas och stora väggskivor upplevs ofta som slanka och instabila om längderna överstiger 8 till 10 m.

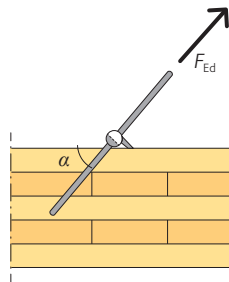
Krantyp och -storlek bedöms utifrån KL-träelementens utformning och vikt. Dynamiska effekter kan uppstå vid lyft av element. Hänsyn till detta görs genom extra bidrag till den vertikala egenvikten. Bidragets storlek bestäms bland annat av krantyp och lyfthastighet och återges i SS-EN 1990 och SS-EN 1991-3. För vanligt förekommande byggkranar är tillägget cirka 10 – 20 procent.

Tabell 10.2 Riktvärden för egenvikt för några olika väggelement.

Typ	Egenvikt, medelvärde
KL-trä generellt	500 kg/m ³
KL-träskiva, 70 mm	35 kg/m ²
KL-träskiva, 180 mm	90 kg/m ²
KL-träskiva, komplett yttervägg	110-150 kg/m ²



Moduler av KL-trä.



Figur 10.3 Princip för infästning med kulankare.

10.2.4 Exempel: Dimensionering av infästning av förankringsskruv vid lyft

Beräkningar baseras på Eurokod 5. Sambandet mellan last och bärförmåga ska uppfylla kravet enligt *ekvation 10.1*:

$$10.1 \quad \frac{F_{Ed}}{F_{ax,Rd}} \leq 1$$

Karakteristisk utdragsbärförmåga för en snedställd träskruv med vinkeln α bestäms enligt *ekvation 10.2* och *ekvation 10.3*:

$$10.2 \quad F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}$$

$$10.3 \quad f_{ax,k} = 0,52 d^{-0,5} l_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8}$$

där:

n_{ef} är effektivt antal träskruvar.

$f_{ax,k}$ är karakteristisk utdragshållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen, i N/mm².

d är yttre gängdiameter i millimeter.

l_{ef} är träskruvens effektiva förankringslängd i träet för den gängade delen i millimeter.

k_d är minimum av $d/8$ eller 1.

α är vinkeln mellan träskruvens axel och fiberriktningen, med $\alpha \geq 30^\circ$.

ρ_k är karakteristisk densitet för KL-träet, i kg/m³.

Dimensionerande utdragsbärförmåga bestäms enligt *ekvation 10.4*:

$$10.4 \quad F_{ax,Rd} = k_{mod} \frac{F_{ax,k,Rk}}{\gamma_M}$$

där:

k_{mod} är en modifieringsfaktor, här för lastvaraktighetsklass korttid (S).

γ_M är partialkoefficienten för materialet, här 1,3.

Dimensionerande last, F_{Ed} bestäms utifrån elementets egentygnd samt tillkommande dynamiskt bidrag. Dimensionerande egentygnd G_d kan skrivas enligt *ekvation 10.5*:

$$10.5 \quad G_d = \gamma_{sd} (\gamma_{G,j} \cdot G + \gamma_{Q,1} \cdot G \varphi_2)$$

där:

γ_{sd} är partialkoefficienten för osäkerhet i beräkningsmodell.

$\gamma_{G,j}$ är partialkoefficienten för permanent last.

$\gamma_{Q,1}$ är partialkoefficienten för variabel last.

φ_2 är en dynamikfaktor.

$$10.6 \quad \varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 v_h$$

där:

$\varphi_{2,min}$ är en faktor som bestäms av krantyp.

β_2 är en faktor som bestäms av krantyp.

v_h är lyfthastigheten för kranen.

Vertikal komponent vid 45° lutning fås enligt:

$$F_{ax,Ed} = \frac{G_d}{n} \quad 10.7$$

där:

n är antal lyftpunkter.

Kraftkomponent i lyftriktningen blir då enligt *ekvation 10.8*:

$$F_{Ed} = \frac{F_{ax,Ed} \sin 90^\circ}{\sin(90 - \beta)} \quad 10.8$$

Kontroll bör även göras av dragbrott i träskruven och kan kontrolleras enligt *ekvation 10.9 – 10.11*:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{ax,Rd}} \leq 1 \quad 10.9$$

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_M} \quad 10.10$$

$$F_{t,Rk} = n_{ef} \cdot f_{tens,k} \quad 10.11$$

där:

$f_{tens,k}$ är karakteristisk hållfasthet för träskruven vid dragbelastning, uppgift som tillhandahålls av skruvtillverkaren.

n_{ef} är effektivt antal träskruvar n enligt $n_{ef} = n^{0,9}$.

10.2.5 Stomstabilisering under byggtiden

Om stomelementen lyfts in i konstruktionen direkt vid leveransen kan man säga att första steget i montaget redan är utfört. Eftersom montage av KL-träelement är en relativt ny process för de flesta byggentreprenörer, är det bra om KL-trätillverkaren har representanter på plats när montaget av KL-träelementen påbörjas. Denna hjälp gör att starten på montagearbetet blir så effektiv som möjligt, då de frågor som framkommer under startskedet kan lösas direkt utan att montagearbetet bromsas upp i onödan.

En tydlig montageplan ska finnas upprättad. Det är vanligt att en sådan upprättas i samråd mellan projektets konstruktör och KL-trätillverkaren. Av planen ska elementens montageordning och vikt framgå. En numrering ska lätt gå att jämföra med elementens märkning. Vid montage av väggelement ska anvisning för tillfällig stagning finnas.

Vid byggnader högre än två våningar är stomstabiliseringen extra viktig. Normalt utnyttjas väggarna och bjälklagen för att stabilisera stommen. Dessa kopplas samman till ett stabiliserande system genom olika typer av infästningar och förankringar. Förbanden ska inte bara hålla byggdelarna på plats utan också kunna överföra stora horisontella och vertikala laster. Det är därför viktigt att man följer bygghandlingarnas instruktioner noggrant om vilka infästningsdetaljer och förankringar som ska användas och hur dessa ska monteras.

Förankringarna bör normalt utföras med viss förspänning för att kompensera för de långtidsdeformationer som uppstår under byggtiden. Förankringarna monteras oftast våningsvis i samband med



Stabilisering med hjälp av stag under byggtiden.

uppbyggnaden av stommen. Efterhand som byggnaden växer på höjden och allt mer material byggs in, kan förankringarna tappa sin förspänning på grund av vertikala sättningar. När samtliga våningar är på plats måste man därför kontrollera att förankringarna är spända och inte sitter löst. I det fall förankringarna glappar måste dessa efterdras.

Brand- och ljudfrågorna ställer vissa krav i montageskedet, speciellt i flervåningshus där kraven på ljudkomfort och brandskydd är höga. Även vad gäller detta är det viktigt att bygghandlingarna följs med omsorg.

10.3 Skydd av konstruktionen under byggtiden

10.3.1 Väderskydd under byggtiden

Fördelen med att arbeta under heltäckande väderskydd är stor oavsett byggmaterial, men beroende på objekt och byggmetod finns det fall där det är av större vikt att använda än i andra. En fuktsäker byggprocess som tar hänsyn till både beställarens och regelverkets krav på kvalitet och på kostnadseffektivaste sätt, visar på olika sätt att agera och uppnå en fuktsäker byggproduktion, beroende av produktionsmetod och prefabriceringsgrad. I ett objekt med hög prefabriceringsgrad och med känsliga detaljer är ett heltäckande väderskydd det bästa alternativet totalt sett. I ett annat objekt med låg prefabriceringsgrad är ett enklare väderskydd eller enbart täckning med presenningar att föredra av ekonomiska skäl. Även montagetiden är en faktor vid val av omfattning på väderskyddet.

Byggande utan väderskydd

Uppförs KL-trästommen utan väderskydd krävs att konstruktionen skyddas temporärt med presenningar eller annat temporärt regnskydd. Metoden lämpar sig bäst för KL-trä som uppförs utan någon form av beklädnad och som medger att uttorkning lätt kan ske. Den kräver också god planering med avseende på avvattning, skydd av ändträ, metoder för uttorkning av uppfuktade ytor och uppföljning i form av kontrollplaner och annan dokumentation.

Byggnaden bör uppföras på sådant sätt att väggar följs av bjälklag snabbt monteras till begränsade volymer med rena bjälklagsytor som medger effektiv täckning med dukar eller presenningar. Vid montage eftersträvas att alltid få på bjälklag innan arbetsdagens slut så att enkelt täckbara ytor erhålls inför kvällar, nätter och helger, som utgör en huvuddel av tiden som byggarbetsplatsen oftast är obemannad. KL-träskivornas kanter måste skyddas extra noga eftersom ändträ i annat fall exponeras för fukt. I vissa fall kan det färdiga taket användas som temporärt skydd och lyftas av och på. Detta gäller i första hand om byggnaden inte har alltför stor area eller är alltför hög. Detta kräver normalt att det finns en stationär byggkran på plats för att det ska vara en kostnadseffektiv metod. Undantaget är enfamiljshus där det ofta bara krävs ett lyft. Tänk på att taket måste förses med temporära förankringar så det inte riskerar att blåsa av.

Byggande med väderskydd

Arbetsmiljöverkets definition av ett väderskydd är "en temporär konstruktion som används när man vill täcka över eller kapsla in en yta



Prefabricerade väggelement på väg att avtäckas i samband med montage.

där man arbetar med en byggnad eller en anläggning, för att skydda arbetstagare och byggnadsverk från klimatisk påverkan. I ett väderskydd ingår alltid ett tak, men även väggar kan ingå. En inklädd fasadställning är däremot inte ett väderskydd, även om inklädnaden är invikt ovanför det översta arbetsplanet.” Väderskydd måste dimensioneras för varje enskilt objekt. Laster som normalt uppträder är vind, snö och personlaster.

Det finns olika typer av system för väderskydd för fasad- och tak-täckningar som är anpassade för olika behov.

- **Väderskydd på fasadställning**

Väderskyddet fås genom att fästa en plastduk på utsidan av en fasadställning som är förankrad i byggnadens stomme. Lösningen lämpar sig väl för såväl stommar med låg prefabriceringsgrad som för stommar med högre prefabriceringsgrad, då skyddet följer med bygget uppåt och kan kombineras med takväderskydd eller enbart enklare temporära bjälklagsskydd.

Väderskyddet faller utanför Arbetsmiljöverkets definition, men är vanligt förekommande. Duken utgör ett stort vindfång och det är ett kritiskt moment att förankringen av ställningen utförs korrekt och är utprovad. Vid dimensioneringen av infästningspunkter måste hänsyn tas till hur duken fästs vid ställningen. En vanlig metod är att fästa duken med infästningar som är dimensionerade för att ge vika vid en viss belastning.

- **Fasta eller rullbara takväderskydd**

Ett fast takväderskydd är ett väderskydd som ofta består av fackverksbalkar i aluminium som stabiliseras med mellanliggande stag. Fackverkets dimensioner och bärighet är avgörande för hur lösningen kommer att fungera vid vind- och snölaster. Fackverken täcks med PVC-duk, alternativt med skivor eller kassetter av plast eller plåt.

Det rullbara takväderskyddet är likartat med det fasta, men är rullbart med hjälp av hjul som löper på skenor eller räls. Väderskyddet kan delas upp i sektioner som helt eller delvis är rullbara och löper på samma räls, alternativt ligger på parallella rälsar och där sektionerna överlappar varandra. Eftersom väderskyddet är öppningsbart är det enkelt och smidigt att lyfta in material med denna lösning.

- **Klättrande väderskydd**

Klättrande väderskydd baseras på mastkonstruktioner som följer bygget uppåt våning för våning. Klättrande väderskydd kan kompletteras med hängande arbetsplattformar och även med en invändig travers för transport av material från gaveln, vilket ersätter en extern lyftkran. Denna typ av väderskydd har använts vid flera trähusprojekt i Sverige.

10.3.2 Kontroll och uppföljning

Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, lukt eller mikrobiell påväxt som kan påverka hygien eller hälsa. Det är ett ansvar som byggherren och fastighetsägaren har enligt Boverkets byggregler, BBR, för dem som vistas i byggnaden. För att uppfylla detta krav bör det utföras regelbundna fuktkontroller av levererade samt monterade byggprodukter. Det görs oftast av byggentreprenören i form av egenkontroller.



Exempel på byggande utan väderskydd, Moholt 50|50, Trondheim.



Tält med lyfthjälpmiddel.



Exempel på klättrande väderskydd för torrt byggande vid hög prefabriceringsgrad, Älvsbacka Strand, Skellefteå.



Hisschakt av KL-trä.

Underlaget till egenkontrollerna bör föregås av fuktsäkerhetsprojektering, där det bör framgå vad som bör kontrolleras och vilka fuktnivåer som kan anses vara acceptabla. Projektören redovisar sitt förslag för kontrollansvarig, KA, och för byggtreprenören, som underlag för dennes egenkontrollplan. Förslaget omfattar då kontrollpunkter för fuktmätning innan inbyggnad. Punkter som bör omfattas är:

- Vilka byggnadsdelar som bör kontrolleras.
- Värderna för
 - kontrollerade fukttillstånd i projekteringen.
 - högsta tillåtna fukttillstånd.
 - kritiska fukttillstånd.
- Okulär besiktning innan inbyggnad av fuktkänsliga material och produkter. Fukttillstånden kontrolleras genom mätning och de ska inte överskrida de högsta tillåtna fukttillstånden. Om fortsatt uttorkning erfordras, ska det kunna ske efter inbyggnaden.

Bedömningen kan göras utifrån följande kriterier:

- Om kontrollerade fukttillstånd är mindre eller lika med högsta tillåtna fukttillstånd uppfyller mätresultatet kravet. Även en okulär kontroll bör utföras innan kontrollpunkten godkänns.
- Om kontrollmätningen visar att högsta tillåtna fukttillstånd överskrids men inte de kritiska fukttillstånden, bör en uttorkning och en ny fuktkontroll göras före inbyggnaden.
- Om kontrollmätningen visar att de kritiska fukttillstånden överskrids, görs en skadekontroll och eventuella fuktskador åtgärdas och en ny fuktkontroll utförs före inbyggnaden.

Fuktmätning

Lagring och hantering av KL-trä kräver i likhet med andra material omsorg och kan på ett avgörande sätt påverka inte bara konstruktionens utformning utan även projektets ekonomi och planering. Till skydd mot nederbörd, solstrålning, smuts och markfukt under transport samt lagring och montage, levereras KL-trä vanligtvis emballerat.

Vid mottagning är det av stor vikt att materialets fuktkvot kontrolleras och detta gäller även under byggtiden om det trängt in fukt i konstruktionen. Fuktmätning kan göras med olika mätmetoder beroende på behov och omständigheter. I *tabell 10.3, sidan 173* framgår vilka metoder som är lämpliga vid olika tillfällen. Varje metod har sina för- och nackdelar men den vanligaste och den metod som passar bäst på en byggarbetsplats är resistansfuktkvotmätning med elektrisk resistansfuktkvotmätare med isolerade hammarelektroder eller kvarsittande givare.



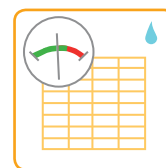
Kontrollera och använd checklistor



Kontrollera KL-trä



Fuktkvotmätare



Kontrollera fuktkvoten

Figur 10.4 Några viktiga principer för att skydda KL-träprodukter.

Tabell 10.3 Sammanställning av mätmetoder för fuktmetning i trä och KL-trä.

Mätmetod	Mätvärde redovisas som ¹⁾	Lämplig för fältmätning	Loggningsbar	Mäter i olika djup	Mäter fuktkvot över 25 %	Mäter fuktkvot under 5 %	Snabb
Kapacitiv fuktkvotsmätning	% FK		x				x
Kvarsittande givare	% FK	x	x	x			x
Resistansfuktkvotsmätning	% FK	x	x	x			x
Torrviktsmetod	% FK			x	x	x	
Relativ fuktighetsmätning i trä	% FK		x	x		x	

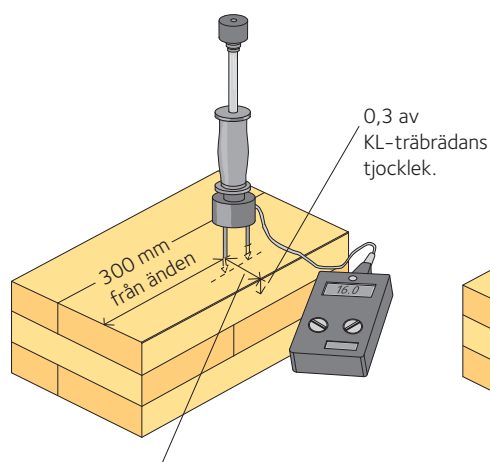
¹⁾ FK = fuktkvot

Källa: Fukt i trä för byggindustrin.

Mätning med elektrisk resistansfuktkvotsmätare med isolerade hammarelektroder, kan lämpligen utföras enligt följande:

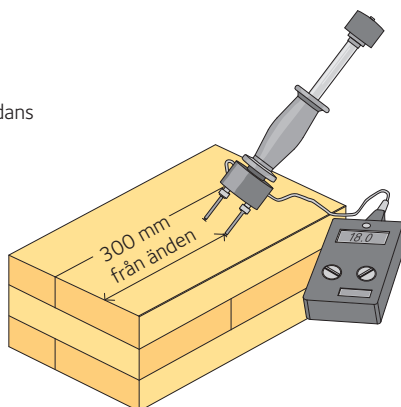
- Kontrollera att mätaren är kalibrerad mot kalibreringsblock.
- Mät temperaturen i virket med tillhörande temperaturgivare eller uppskatta temperaturen med lös termometer.
- Mätarens temperaturinställning ställs in efter virkets temperatur. Om instrumentet inte har temperaturkompensering måste mätvärdet justeras i efterhand.
- Välj träslag.
- Kontrollera fuktkvoten genom att slå in stiften till önskat mätdjup. Undvik att mäta i närheten av limskikt. Mätningen görs med fördel cirka 20 mm upp på väggelementet eftersom man då mäter i ändträet. Mätningen görs i den omfattning som bestäms i projekteringsunderlaget och resultatet noteras i kontrollplanen. Om fuktkvoten är högre än önskad fuktkvot, utförs regelbundna kontroller efter det att uttorkning skett tills att den önskade fuktkvoten erhållits.
- Vid mätning av grova dimensioner kan det vara svårt att slå in långa stift. Därför kan det vara lämpligt att förborra hålen och enbart slå in stiften den sista centimetern.

Mätning av medelfuktkvoten på KL-trä – resistansmetoden.

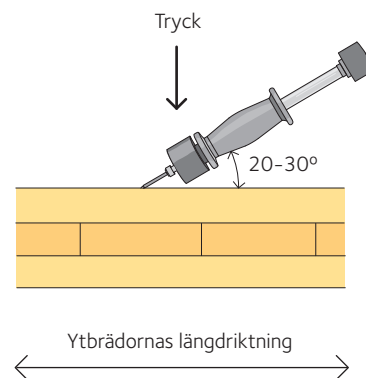


0,3 av KL-träbrädans bredd från kanten.

Mätning av ytfuktkvot på KL-trä – stiften läggs mot träytan och parallellt mot änden.



Elektrodspetsarnas mantelyta trycks ned i värveden (ljusare).



Nedre delen av hammarelektroden kan slipas ner så att rätt vinkel uppnås.

Figur 10.5 Mätning av medelfuktkvot och ytfuktkvot.



Montage av takkonstruktion, Sundbyberg.

10.4 Kom ihåg

KL-trä är liksom trä en organisk produkt som, rätt använd, har god motståndskraft samtidigt som den ingår i det naturliga kretsloppet. Under en byggnads avsedda livslängd måste man skydda konstruktionen men det är även viktigt att allt byggmaterial skyddas under byggtiden. För att underlätta kontrollen av byggmaterial är det bra med kom ihåg-listor. Nedan anges ett antal punkter som kan gälla för KL-trä.

Allmänt

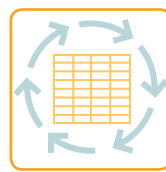
- Fukt i trä redovisas mest praktiskt som fuktkvot.
- Uppfuktning och uttorkning via luftfuktighet tar ungefär lika lång tid.
- Uppfuktning med fritt vatten går mycket fortare än uttorkning som bara kan ske via luftfuktighet.
- Uppfuktning med fritt vatten via ändträ är mångdubbelt snabbare än genom övriga trätytor.
- Fuktrelaterade rörelser kan ge stora kvalitetsproblem. Dessa problem kan även inträffa på grund av mycket torra miljöer.
- En bra tumregel är att ett virkestyckes bredd och tjocklek krymper eller sväller 0,25 % per fuktkvotprocent. Ett KL-trästycke uppvisar emellertid mindre fuktrörelser, se figur 1.7, sidan 20.
- Risken för mögelpåväxt kan börja vid cirka 75 % relativ luftfuktighet, RF, om det är mycket varmt. Vid låga temperaturer kan den relativa luftfuktigheten vara mycket högre. Mögel växer på ytan av virket och påverkar inte hållfastheten.
- Nedsmutsat virke får lättare påväxt genom att sporer ofta förekommer i smuts och smutsen brukar innehålla näring.
- Mögelpåväxt påverkas inte bara av fuktnivå. Näring i ytan, temperatur, pH, UV-ljus, tid och mängd sporer spelar också in.
- Mögelpåväxt banar väg för fler och svårare angrepp.
- Röta kan börja utvecklas när fuktkvoten i virket är högre än fiber-mättnadspunkten (30 %). Röttsvampar bryter ned virkets hållfasthet.
- En målad virkesyta förlänger uttorkningen av fukt. Finns sprickor i färgskiktet tar virket lätt upp vatten vid regn medan uttorkningen tar mycket lång tid.



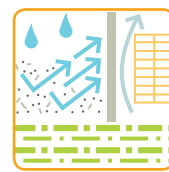
Skydda mot nederbörd



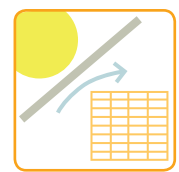
Använd underslag och se till att marken är dränerad



Placera KL-trä för utomhusbruk ventilerat och skyddat



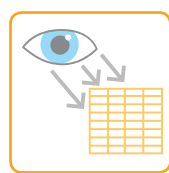
Skydda mot nedsmutsning



Skydda mot solstrålning



Se till att emballaget är helt



Kontrollera kvaliteten



Ventilation under presenning



Strörlägg KL-träet om det blivit fuktigt



KL-trä för inomhusbruk ska lagras inomhus

Figur 10.6 Några viktiga principer för att skydda KL-träprodukter.

Hantering av KL-trä

- Vid beställning av KL-trä ska fuktkvotskrav anges.
- KL-trä med felaktigheter ska inte användas.
- För hög fuktkvot i KL-träet kan medföra mikrobiell påväxt och att krympningssprickor och formfel kan uppkomma.
- Förutom på byggarbetsplatsen kan KL-trä fuktas upp vid transporter och lagring. Gör därför alltid en mottagningskontroll.
- Ha alltid en elektrisk resistansfuktkvotmätare med isolerade hammarelektroder på byggarbetsplatsen och gör mottagningskontroll och löpande kontroller under byggprocessen.
- KL-trä som levereras med lägre fuktkvot än vad som motsvarar utomhusklimatets jämviktsfuktkvot ska vara heleballerat, eller lagras i speciellt utrymme som kan behålla virkets låga fuktkvot – till exempel ett uppvärmt lagringsutrymme eller ett med avfuktare konditionerat utrymme.
- Om en yta ska vara synlig efter montage ska den hanteras varsamt. Undvik att gå på ytan och använd rena handskar och lyftsling.

Mätning av fukt

- Torr viktsmetoden är referensmetoden för fuktkvotmätning.
- Vid fuktkvotkontroll på byggarbetsplatsen ska en elektrisk resistansfuktkvotmätare med isolerade hammarelektroder användas.
- Ingen elektrisk resistansfuktkvotmätare med isolerade hammarelektroder kan mäta fuktkvoter högre än fibermättnadspunkten (30 %).
- Låga fuktkvoter som 6 – 8 % kan vara svåra att mäta.
- Mätfelet i fält med en elektrisk resistansfuktkvotmätare med isolerade hammarelektroder är ungefär $\pm 2,6$ % över hela fuktkvotsspannet.
- Elektrisk resistansfuktkvotmätare med isolerade hammarelektroder ska kontrolleras mot ett kalibreringsblock.
- Mottagningskontroll görs lämpligen i två steg:
 - 1) en enklare, och om man genom denna mätning misstänker att fuktkvoten är avvikande görs
 - 2) en mer omfattande mätning.
- Mät djupet varierar och för det mesta mäter man på flera djup i en mätpunkt. Det går inte att känna på virket om det är torrt. Virke som är fuktigt kan kännas torrt – men kan då vara torrt bara på ytan.

Upprättande av kontrollplan och val av mätpunkt

- Upprätta alltid en kontrollplan.
- Gå igenom frågeställningen varför, vad, hur.
- Gör alltid en förbedömning av konstruktionen innan mätning.
- Anpassa redovisningen till den som ska läsa den.
- Val av mätpunkter bestäms slutligen alltid av förhållandena på byggarbetsplatsen.
- Leta alltid efter svagaste punkten. Varje konstruktion har sina egna svagheter som inte behöver finnas i en annan liknande konstruktion.



Montage av sommarhus, Skellefteå.

Symboler

Symbol	Förklaring
Latinska versaler	
A	Tvärsnittsytta
A_{ef}	Effektiv area för kontaktytan mellan en spikplåt och det underliggande träet; effektiv kontaktyta vid tryck vinkelrätt mot fiberriktningen
A_f	Flänsens tvärsnittsarea
$A_{net,t}$	Nettotvärsnittsarea vinkelrätt mot fiberriktningen
$A_{net,v}$	Nettoskjuvarea parallellt med fiberriktningen
C	Fjäderkonstant
$E_{0,05}$	Elasticitetsmodulens 5-procentsfraktil
E_d	Elasticitetsmodulens dimensioneringsvärde
E_{mean}	Elasticitetsmodulens medelvärde
$E_{mean,fin}$	Slutligt medelvärde på elasticitetsmodulen
F	Kraft
$F_{A,Ed}$	Dimensionerande kraft på en spikplåt verkande i den effektiva areans tyngdpunkt
$F_{A,min,d}$	Minsta dimensionerande kraft på en spikplåt verkande i den effektiva areans tyngdpunkt
$F_{ax,Ed}$	Dimensionerande axialkraft på ett fästdon
$F_{ax,Rd}$	Dimensionerande värde för axiell utdragsbärförmåga för ett fästdon
$F_{ax,Rk}$	Karakteristiskt värde för axiell utdragsbärförmåga för ett fästdon
F_c	Tryckkraft
F_d	Dimensionerande kraft
$F_{d,ser}$	Dimensionerande kraft i bruksgränstillståndet
$F_{f,Rd}$	Dimensionerande bärförmåga per fästdon i ett väggelement
$F_{i,c,Ed}$	Dimensionerande reaktionskraft (tryck) i änden av en väggskiva
$F_{i,t,Ed}$	Dimensionerande reaktionskraft (dragning) i änden av en väggskiva
$F_{i,vert,Ed}$	Vertikal last på en vägg
$F_{i,v,Rd}$	Dimensionerande bärförmåga vid skivverkan för delelement i eller vägg i
F_{la}	Tvärgående last
$F_{M,Ed}$	Dimensionerande kraft från ett dimensionerande moment
F_t	Dragkraft
$F_{t,Rk}$	Karakteristiskt värde för dragbärförmågan hos ett förband
$F_{v,0,Rk}$	Karakteristisk bärförmåga för en skruv med mellanlägsbricka längs fiberriktningen
$F_{v,Ed}$	Dimensionerande tvärkraft per skjuvningsplan för ett fästdon; horisontell dimensionerande kraft på en väggskiva

$F_{v,Rd}$	Dimensionerande tvärkraftsbärförmåga per skjuvningsplan för ett fästdon; dimensionerande tvärkraftsbärförmåga
$F_{v,Rk}$	Karakteristisk tvärkraftsbärförmåga per skjuvningsplan för ett fästdon
$F_{v,w,Ed}$	Dimensionerande tvärkraft i balkliv
$F_{x,Ed}$	Dimensioneringsvärde för en kraft i x -riktningen
$F_{y,Ed}$	Dimensioneringsvärde för en kraft i y -riktningen
$F_{x,Rd}$	Dimensioneringsvärde för en plåts bärförmåga i x -riktningen
$F_{y,Rd}$	Dimensioneringsvärde för en plåts bärförmåga i y -riktningen
$F_{x,Rk}$	Plåtens karakteristiska bärförmåga i x -riktningen
$F_{y,Rk}$	Plåtens karakteristiska bärförmåga i y -riktningen
$G_{0,05}$	Skjuvmodulens 5-procentsfraktil
G_d	Skjuvmodulens dimensioneringsvärde
G_{mean}	Skjuvmodulens medelvärde
H	En takstols totala höjd
I_f	Flänsens tröghetsmoment
I_{tor}	Vridtröghetsmoment
I_z	Tröghetsmoment kring den vekare axeln
K_{ser}	Förskjutningsmodul
$K_{ser,fin}$	Slutlig förskjutningsmodul
K_u	Momentan förskjutningsmodul vid brottgränstillstånd
$L_{net,t}$	Tvärsnittsareans nettobredd vinkelrätt mot fiberriktningen
$L_{net,v}$	Nettolängd av brottyta vid skjuvning
$M_{A,Ed}$	Dimensionerande moment på en spikplåt
$M_{ap,d}$	Dimensionerande moment i hjässzonen
M_d	Dimensionerande moment
$M_{y,Rk}$	Karakteristiskt flytmoment för ett fästdon
N	Axialkraft
$R_{90,d}$	Dimensionerande fläkbärförmåga
$R_{90,k}$	Karakteristisk fläkbärförmåga
$R_{ax,d}$	Dimensionerande bärförmåga för ett axiellt belastat förband
$R_{ax,k}$	Karakteristisk bärförmåga för ett axiellt belastat förband
$R_{ax,\alpha,k}$	Karakteristisk bärförmåga i en vinkel α mot fiberriktningen
R_d	Dimensionerande värde på bärförmåga
$R_{ef,k}$	Effektiv karakteristisk bärförmåga för ett förband
$R_{iv,d}$	Dimensionerande tvärkraftsbärförmåga för en vägg
R_k	Karakteristisk bärförmåga
$R_{sp,k}$	Karakteristisk fläkbärförmåga

$R_{to,k}$	Karakteristisk bärförmåga för en tandbricka
$R_{v,d}$	Dimensionerande tvärkraftsbärförmåga för en vägg
V	Tvärkraft; volym
V_u, V_l	Tvärkrafterna i övre respektive nedre delen av en balk med ett hål
W_y	Böjmotstånd kring y -axeln
X_d	Dimensionerande värde för en hållfasthetsegenskap
X_k	Karakteristiskt värde för en hållfasthetsegenskap
Latinska gemena	
a	Avstånd
a_1	Avstånd, parallellt med fiberriktningen, mellan fästdon inom en rad
$a_{1,CG}$	Minsta ändavstånd till tyngdpunkten för träskruven i respektive virkesdel
a_2	Avstånd, vinkelrätt mot fiberriktningen, mellan rader av fästdon
$a_{2,CG}$	Minsta kantavstånd till tyngdpunkten för träskruven i respektive virkesdel
$a_{3,c}$	Avstånd mellan fästdon och obelastad ände
$a_{3,t}$	Avstånd mellan fästdon och belastad ände
$a_{4,c}$	Avstånd mellan fästdon och obelastad kant
$a_{4,t}$	Avstånd mellan fästdon och belastad kant
a_{bow}	Största initialkrokighet i en virkesdel i ett fackverk
$a_{bow,perm}$	Största tillåtna initialkrokighet i en virkesdel i ett fackverk
a_{dev}	Största placeringsavvikelse för ett fackverk
$a_{dev,perm}$	Största tillåtna placeringsavvikelse för ett fackverk
b	Bredd
b_i	Bredd hos skiva i eller vägg i
b_{net}	Fritt avstånd mellan väggreglar
b_w	Livets bredd
d	Diameter; gångans ytterdiameter
d_1	Diameter för centrumhålet hos en mellanlägsbricka; gångans innerdiameter
d_c	Mellanlägsbrickans diameter
d_{ef}	Effektiv diameter
d_h	Fästdonets huvuddiameter
$f_{h,i,k}$	Karakteristisk hållkanthållfasthet för trädel i
$f_{a,0,0}$	Karakteristisk förankringshållfasthet per ytenhet för $\alpha = 0^\circ$ och $\beta = 0^\circ$
$f_{a,90,90}$	Karakteristisk förankringshållfasthet per ytenhet för $\alpha = 90^\circ$ och $\beta = 90^\circ$
$f_{a,\alpha,\beta,k}$	Karakteristisk förankringshållfasthet
$f_{ax,k}$	Karakteristisk utdragshållfasthet för spetsändan för en spik; karakteristisk utdragshållfasthet
$f_{c,0,d}$	Dimensionerande tryckhållfasthet längs fiberriktningen
$f_{c,w,d}$	Dimensionerande tryckhållfasthet hos balkliv
$f_{f,c,d}$	Dimensionerande tryckhållfasthet hos balkfläns
$f_{c,90,k}$	Karakteristisk tryckhållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen

$f_{f,t,d}$	Dimensionerande draghållfasthet hos balkfläns
$f_{h,k}$	Karakteristisk hållkanthållfasthet
$f_{head,k}$	Karakteristisk genomdragshållfasthet för fästdon
f_1	Lägsta egenfrekvens
$f_{m,k}$	Karakteristisk böjhållfasthet
$f_{m,y,d}$	Dimensionerande böjhållfasthet kring y -axeln (huvudaxel)
$f_{m,z,d}$	Dimensionerande böjhållfasthet kring z -axeln (huvudaxel)
$f_{m,\alpha,d}$	Dimensionerande böjhållfasthet i vinkeln α mot fiberriktningen
$f_{t,0,d}$	Dimensionerande draghållfasthet längs fiberriktningen
$f_{t,0,k}$	Karakteristisk draghållfasthet längs fiberriktningen
$f_{t,90,d}$	Dimensionerande draghållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen
$f_{t,w,d}$	Dimensionerande draghållfasthet hos balkliv
$f_{u,k}$	Karakteristisk draghållfasthet för skruv
$f_{v,0,d}$	Dimensionerande panelskjuvhållfasthet
$f_{v,\alpha,\alpha,k}$	Karakteristisk utdragshållfasthet i vinkel α mot fiberriktningen
$f_{v,\alpha,90,k}$	Karakteristisk utdragshållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen
$f_{v,d}$	Dimensionerande skjuvhållfasthet
h	Höjd; vägghöjd
h_{ap}	Hjässzonens höjd
h_d	Håldjup
h_e	Inträngningsdjup; avstånd till belastad kant
h_{ef}	Effektiv höjd
$h_{f,c}$	Höjd hos tryckt fläns
$h_{f,t}$	Höjd hos dragen fläns
h_{rl}	Avstånd från hålets undre kant till elementets underkant
h_{ru}	Avstånd från hålets övre kant till elementets överkant
h_w	Livhöjd
i	Vinkel på urtag
$k_{c,y}, k_{c,z}$	Instabilitetsfaktor
k_{cr}	Sprickfaktor för tvärkraftsbärförmåga
k_{crit}	Faktor som används vid beräkning av vippning
k_d	Dimensionsfaktor för skiva
k_{def}	Deformationsfaktor
k_{dis}	Korrektionsfaktor som tar hänsyn till spänningsfördelningen i hjässzonen
$k_{f,1}, k_{f,2}, k_{f,3}$	Korrektionsfaktorer för bärförmåga hos stagningar
k_h	Höjdfaktor
$k_{l,q}$	Faktor för utbredd last
k_m	Faktor som tar hänsyn till omfördelning av böjspänningar i ett tvärsnitt
k_{mod}	Lastvaraktighets- och fuktfaktor
k_n	Faktor för väggs beklädnad

k_r	Reduktionsfaktor
$k_{R,red}$	Reduktionsfaktor för bärförmåga
k_s	Faktor för avstånd mellan fästdon; korrektionsfaktor för fjäderkonstant
$k_{s,red}$	Reduktionsfaktor för inbördes avstånd
k_{shape}	Faktor beroende på tvärsnittets form
k_{sys}	Faktor för bärförmåga hos ett system
k_v	Reduktionsfaktor för balkar med urtag
k_{vol}	Volymfaktor
k_y eller k_z	Instabilitetsfaktor
$l_{a,min}$	Minsta förankringslängd för en inlimmad skruv
l, L	Spännvidd; kontaktlängd
l_A	Avstånd från ett hål till elementupplagets centrumlinje
l_{ef}	Effektiv längd; effektiv fördelningslängd
l_V	Avstånd från ett hål till elementets ände
l_z	Centrumavstånd mellan hål
m	Massa per ytenhet
n_{40}	Antal frekvenser under 40 Hz
n_{ef}	Effektivt antal fästdon
p_d	Utbredd last
q_i	Ekvivalent jämnt utbredd last
r	Krökningsradie
s	Avstånd/delning
s_0	Basavstånd mellan fästdon
r_{in}	Innerradie
t	Tjocklek
t_{pen}	Inträngning
u_{creep}	Krypdeformation
u_{fin}	Slutlig deformation
$u_{fin,G}$	Slutlig deformation för permanent last G
$u_{fin,Q,1}$	Slutlig deformation för den variabla huvudlasten Q_1
$u_{fin,Q,i}$	Slutlig deformation för samverkande variabla laster Q_i
u_{inst}	Momentan deformation
$u_{inst,G}$	Momentan deformation för permanent last G
$u_{inst,Q,1}$	Momentan deformation för den variabla huvudlasten Q_1
$u_{inst,Q,i}$	Momentan deformation för samverkande variabla laster Q_i
w_c	Överhöjning
w_{creep}	Krypnedböjning
w_{fin}	Slutlig nedböjning
w_{inst}	Momentan nedböjning
$w_{net,fin}$	Slutlig nettonedböjning
v	Impulshastighetsrespons

Grekiska gemena	
α	Vinkeln mellan x-riktningen och kraften i en spikplåt; vinkeln mellan kraft och fiberriktning; vinkeln mellan lastens angrepp och den belastade kanten (eller änden)
β	Vinkeln mellan fiberriktningen och kraften för en spikplåt
β_c	Rakhetsfaktor
γ	Vinkel mellan x-riktningen för en spikplåt och tråelementets huvudriktning
γ_M	Partialkoefficient för materialegenskaper, tar också hänsyn till osäkerheter i beräkningsmodell och måttavvikelser
λ_y	Slankhetstal svarande mot böjning kring y-axeln
λ_z	Slankhetstal svarande mot böjning kring z-axeln
$\lambda_{rel,y}$	Relativt slankhetstal svarande mot böjning kring y-axeln
$\lambda_{rel,z}$	Relativt slankhetstal svarande mot böjning kring z-axeln
ρ_k	Karakteristisk densitet
ρ_m	Medeldensitet
$\sigma_{c,0,d}$	Dimensionerande tryckspänning längs fiberriktningen
$\sigma_{c,\alpha,d}$	Dimensionerande tryckspänning i vinkeln α mot fiberriktningen
$\sigma_{f,c,d}$	Medelvärde för dimensionerande tryckspänning i fläns
$\sigma_{f,c,max,d}$	Dimensionerande tryckspänning i flänsens yttersta fiber
$\sigma_{f,t,d}$	Medelvärde för dimensionerande dragspänning i fläns
$\sigma_{f,t,max,d}$	Dimensionerande dragspänning i flänsens yttersta fiber
$\sigma_{m,crit}$	Kritisk böjspänning
$\sigma_{m,y,d}$	Dimensionerande böjspänning kring y-axeln (huvudaxel)
$\sigma_{m,z,d}$	Dimensionerande böjspänning kring z-axeln (huvudaxel)
$\sigma_{m,\alpha,d}$	Dimensionerande böjspänning i vinkeln α mot fiberriktningen
σ_N	Normalspänning
$\sigma_{t,0,d}$	Dimensionerande dragspänning längs fiberriktningen
$\sigma_{t,90,d}$	Dimensionerande dragspänning vinkelrätt mot fiberriktningen
$\sigma_{w,c,d}$	Dimensionerande tryckspänning i balkliv
$\sigma_{w,t,d}$	Dimensionerande dragspänning i balkliv
τ_d	Dimensionerande skjuvspänning
$\tau_{F,d}$	Dimensionerande förankringsspänning av axiell kraft
$\tau_{M,d}$	Dimensionerande förankringsspänning av moment
$\tau_{tor,d}$	Dimensionerande skjuvspänning av vridning
ψ_0	Faktor för kombinationsvärde av variabla laster
ψ_1	Faktor för frekvent värde på variabel last
ψ_2	Faktor för kvasipermanent värde på variabel last
ζ	Relativ dämpning

KL-träspecifika	
$A_{x,net}$	Nettotvärsnittsarea normal till x-led
$A_{y,net}$	Nettotvärsnittsarea normal till y-led
$f_{c,0,x,k}$	Karakteristisk tryckhållfasthet för KL-träskiva längs med x-riktningen.
$f_{c,0,y,k}$	Karakteristisk tryckhållfasthet för KL-träskiva med y-riktningen
$f_{c,90,xy,k}$	Karakteristisk tryckhållfasthet vinkelrätt mot KL-träskivans plan
$G_{R,mean}$	Rullskjuvmodulens medelvärde
$f_{m,x,k}$	Karakteristisk böjhållfasthet för KL-träskiva i globala x-riktningen.
$f_{m,y,k}$	Karakteristisk böjhållfasthet för KL-träskiva i globala y-riktningen.
$f_{t,0,x,k}$	Karakteristisk draghållfasthet för KL-träskiva i globala x-riktningen.
$f_{t,0,y,k}$	Karakteristisk draghållfasthet för KL-träskiva i globala y-riktningen
$f_{t,90,x,k}$ $f_{t,90,y,k}$	Karakteristisk draghållfasthet vinkelrätt KL-träskivans plan
$f_{c,0,xlay,k}$	Karakteristisk tryckhållfasthet längs fiberriktningen för brädor i globala x-riktningen.
$f_{c,0,ylay,k}$	Karakteristisk tryckhållfasthet längs fiberriktningen för brädor i globala y-riktningen.
$f_{c,90,xlay,k}$	Karakteristisk tryckhållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen för brädor i globala x-riktningen.
$f_{c,90,ylay,k}$	Karakteristisk tryckhållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen för brädor i globala y-riktningen.
$f_{m,xlay,k}$	Karakteristisk böjhållfasthet för brädor i globala x-riktningen.
$f_{m,ylay,k}$	Karakteristisk böjhållfasthet för brädor i globala y-riktningen.
$f_{t,0,xlay,k}$	Karakteristisk draghållfasthet för brädor i globala x-riktningen.
$f_{t,0,ylay,k}$	Karakteristisk draghållfasthet för brädor i globala y-riktningen.
$f_{v,090,xlay,k}$	Karakteristisk skjuvhållfasthet för längsgående brädor i x-riktningen
$f_{v,090,ylay,k}$	Karakteristisk skjuvhållfasthet för längsgående brädor i y-riktningen
$f_{v,9090,xlay,k}$	Karakteristisk skjuvhållfasthet för tvärgående brädor i x-riktningen
$f_{v,9090,ylay,k}$	Karakteristisk skjuvhållfasthet för tvärgående brädor i y-riktningen
$E_{0,x,mean}$	Elasticitetsmodulens medelvärde för KL-träskiva i globala x-riktningen
$E_{90,x,mean}$	Elasticitetsmodulens medelvärde för KL-träskiva vinkelrätt mot globala x-riktningen
$E_{0,y,mean}$	Elasticitetsmodulens medelvärde för KL-träskiva i globala y-riktningen

$E_{90,y,mean}$	Elasticitetsmodulens medelvärde för KL-träskiva vinkelrätt mot globala y-riktningen
$E_{0,x,0,05}$	Elasticitetsmodulens 5-procentsfraktil för KL-träskiva i globala x-riktningen
$E_{0,y,0,05}$	Elasticitetsmodulens 5-procentsfraktil för KL-träskiva i globala y-riktningen
$G_{090,xlay,mean}$	Skjuvmodulens medelvärde längs brädor i globala x-riktningen
$G_{090,ylay,mean}$	Skjuvmodulens medelvärde längs brädor i globala y-riktningen
$G_{9090,xlay,mean}$	Skjuvmodulens medelvärde längs brädor i globala x-riktningen (rullskjuvmodul)
$G_{9090,ylay,mean}$	Skjuvmodulens medelvärde längs brädor i globala y-riktningen (rullskjuvmodul)
$I_{t,0,KLT}$	Vridtröghetsmoment kring x-axeln
$I_{t,90,KLT}$	Vridtröghetsmoment kring y-axeln
$I_{x,net}$	Nettotröghetsmoment vid deformation kring y-axeln
$I_{y,net}$	Nettotröghetsmoment vid deformation kring x-axeln
$I_{x,ef}$	Effektivt tröghetsmoment vid deformation kring y-axeln
$I_{y,ef}$	Effektivt tröghetsmoment vid deformation kring x-axeln
$i_{x,ef}$	Effektiv tröghetsradie vid deformation kring y-axeln
$i_{y,ef}$	Effektiv tröghetsradie vid deformation kring x-axeln
κ_x	Skjuvkorrektionsfaktor svarande mot deformation kring y-axeln
κ_y	Skjuvkorrektionsfaktor svarande mot deformation kring x-axeln
$S_{x,net}$	Nettostatiskt moment eller skjuvkapacitetsnetto
$S_{y,net}$	Nettostatiskt moment eller skjuvkapacitetsnetto



Takplattor av KL-trä på limträstomme.

Referenser

Generellt

Boverkets byggregler, BBR, BFS 2011:6 med ändringar t.o.m. BFS 2015:3.

Boverkets författningssamling, BFS 2015:6 – EKS 10.

BSPhandbuch, Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz, 2010.

CLT handbook, FP Innovation, Canada, 2011.

Focus Solid Timber Solutions – European Conference on Cross Laminated Timber, Graz, 2013.

Handbok – Bygge med Massivtreelement, Norsk Treteknisk Institutt, 2007.

Massivträ. Handboken, Industrikonsortiet Massivträ, 2002.

Wallner-Novak M., Koppelhuber J., Pock K.: Cross-Laminated Timber Structural Design, Basic design and engineering principles according to Eurocode, pro:Holz, 2014.

Kapitel 1 – KL-trä som konstruktionsmaterial

Eriksson P.: Comparative LCAs for wood and other construction methods, Proceeding of the 8th WCTE, Lahti, Finland, 2004.

Gustafsson A., Eriksson P-E., Engström S., Wik T., Serrano E.: Handbok för beställare och projektörer av flervånings bostadshus i trä. SP rapport 2012:70, SP Trä, 2013.

Peñaloza D., Norén J., Eriksson P.: Life Cycle Assessment of Different Building systems: The Wälluden Case Study, SP Report 2013:07, SP Trä, 2013.

Kapitel 2 – Konstruktionssystem för KL-trä

Betjka I., Lam F.: Cross laminated timber as innovative building material. Proceedings of the CSCE Annual Conference in Quebec, Canadian Society for Civil Engineering, 2008.

Schickhofer G.: Cross Laminated Timber (CLT) in Europe – from Conception to Implementation, presentation, University of British Columbia, Department of Wood, Science, Vancouver, Canada 2010.

Kapitel 3 – Dimensionering av konstruktioner i KL-trä

Fellmoser P., Blass H.J.: Influence of rolling shear modulus on strength and stiffness of structural bonded timber elements. In Proceeding of CIB-W18 Meeting, Edinburg, 2004.

Schickhofer G., Bogensperger T., Moosbrugger T.: BSPhandbuch – Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz, Nachweise auf Basis des neuen europäischen Normenkonzepts, 2. Auflage, Graz: Verlag der Technischen Universität Graz, 2010.

Kapitel 4 – Förband och anslutningsdetaljer

Uibel T., Blass H.J.: Load carrying capacity of joints with dowel type fasteners in solid wood panels, Paper presented at the 40th meeting of the Working Commission W18-Timber Structures, International Council for Research and Innovation in Building and Construction, Bled, Slovenia, 2007.

Uibel T., Blass H.J.: Edge joints with dowel type fasteners in solid wood panels, Paper presented at the 40th meeting of the Working Commission W18-Timber Structures, International Council for Research and Innovation in Building and Construction, Bled, Slovenia, 2007.

Wallner-Novak M., Koppelhuber J., Pock K.: Cross-Laminated Timber Structural Design, Basic design and engineering principles according to Eurocode, pro:Holz, 2014.

Kapitel 5 – Bjälklag

Blass H.J., Ehlebeck J., Kreuzinger H., Steck, G.: Erläuterungen zu DIN 1052:2004-08; Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken, 1. Auflage, Hrsg.: DGfH Innovations- und Service GmbH, München, 2004.

Östman et al: Brandsäkra trähus – Nordisk-baltisk kunskapsöversikt och vägledning, version 3, SP Rapport 2012:18, SP Trä, 2012.

Hamm P., Richter A.: Personeninduzierte Schwingungen bei Holzdecken – Neue Erkenntnisse führen zu neuen Bemessungsregeln, Ingenieurholzbau – Karlsruher Tage: Forschung für die Praxis, Universität Karlsruhe, 2009.

Ohlsson S.: Serviceability criteria – especially floor vibrations criteria. 1991 International timber engineering conference. TRADA vol.1 58 – 65, 1991.

Ohlsson S.: Svikt, svängningar och styvhet hos bjälklag – dimensioneringsmetoder, 1994.

Kapitel 6 – Väggar

Associerede Ingeniörer ApS: Massivtræ i byggeriet, Træbranchens Oplysningsråd, 2001.

Bergdahl U., Ottosson E., Stigson Malmborg B.: Plattgrundläggning, SGI, Svensk Byggtjänst, 1993.

Olsson C., Holm G.: Pålgrundläggning, SIG, AB Svensk Byggtjänst, 1993.

Kapitel 7 – KL-trä och brand

Boverkets allmänna råd om brandbelastning, BFS 2013:11 – BBRBE 1.

BrandEx Brandtätningar AB, Brandtätningar, <http://www.brandex.se/brandtatningar.asp> [2013-02-14], 2013.

Brandskydd, Passivt brandskydd ofta beroende av rätt byggmaterial, <http://brandskydd.tv/2012/08/10/passivt-brandskydd-ofta-beroende-av-ratt-byggmaterial>, [2013-05-08], 2012.

Eriksson P-E, Nord T och Östman, B: Kartläggning av brandincidenter i flervåningshus med trästomme – Erfarenheter från 20 års brukande, SP Rapport 2016:12, SP Trä, 2016.

Klippel M., Schmid J., Frangi A.: Fire Design of CLT, sid 101 – 122 i Proceedings of the Joint Conference of COST Actions FP1402 & 1404. Cross Laminated Timber – A competitive wood product for visionary and fire safe buildings. KTH Building Materials, Stockholm 10 March 2016.

Schaffer E.L.: Charring rate of selected woods – transverse to grain. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Research paper FPL 69, Madison, USA, 1967.

Stein R., Werther N., Winter S.: Konstruktionskatalog für Gebäude in Holzbauweise unter Berücksichtigung bauordnungsrechtlicher und versicherungstechnischer Aspekte. Technische Universität München, 2013.

Teibinger M., Matzinger I.: Fire-resistant sealing in timber construction. Planning brochure. Issue 38 of the HFA Schriftreihe, Holzforschung Austria, 2012.

Östman, Mikkola, Stein, Frangi, König, Dhima, Hakkarainen, Bregulla: Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe. SP Report 2010:19, SP Trä, 2010.

Östman et al: Brandsäkra trähus – Nordisk-baltisk kunskapsöversikt och vägledning, version 3, SP Rapport 2012:18, SP Trä, 2012.

Kapitel 8 – KL-trä och ljud

Bostäder och nya ljudkrav, Boverkets Byggekostnadsforum, 2007.

Hagberg K.: Tre exempel på akustiklösningar i träbyggande. En skrift för små och medelstora byggföretag som vill bygga med lätta stomsystem, SBUF, 2013.

Larsson K., Simmons C.: Vägledning för mätning av ljudnivå i rum med stöd av SS_EN ISO 10052/16032, SP rapport 2015:2, 2015.

Ljunggren F.: Arbetsrapport Nr 20, Ljud- och vibrationsmätningar i testhus, Luleå Tekniska Universitet, 2016.

Ljunggren S.: Ljudisolering i trähus – en handbok för konstruktörer. SP Rapport 2011:10, SP Trä, 2011.

Kapitel 9 – KL-trä och värme och fukt

- Construction with Cross-Laminated Timber in Multi-Storey Buildings, Guidelines, Holz Forschung Austria, 2013.
- Hagentoft C-E.: Introduction to Building Physics, 2001.
- Holzbausysteme, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. Duesseldorf, 2000.
- Ståhl F.: Thermal properties of building materials and their influence on the energy efficiency, 2009.
- Werner: Brettstapelbauweise. Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. Duesseldorf.

Kapitel 10 – Upphandling och montage

- Esping B., Salin J-G., Brander P.: Fukt i trä för byggindustrin, Fuktegenskaper, krav, hantering och mätning, SP Träteknik, 2005.
- Van Riemsdijk J.: Lyftredskap för KL-trä, hantering av horisontella och vertikala element i massivträ, 2014.
- Examensarbete Chalmers Tekniska Högskola, 2014:23

Referenser till standarder

- SS 25267:2015 Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Bostäder, SIS Förlag AB, 2015.
- SS 25268:2007 Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell, SIS Förlag AB, 2007.
- SS-EN 338:2016 Träkonstruktioner – Konstruktionsvirke – Hållfasthetsklasser, SIS Förlag AB, 2016.
- SS-EN 1990/A1:2005/AC:2010 Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk, SIS Förlag AB, 2010.
- SS-EN 1991-1-1/AC:2009, Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1-1: Allmänna laster – Tunghet, egentyngd, nyttig last för byggnader, SIS Förlag AB, 2009.
- SS-EN 1992-1-1:2005/A1:2014, Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader, SIS Förlag AB, 2014.
- SS-EN 1993-1-1:2005/AC:2009, Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader, SIS Förlag AB, 2009.
- SS-EN 1994-1-2:2005/AC:2008, Eurokod 4: Dimensionering av samverkanskonstruktioner i stål och betong – Del 1-2: Allmänna regler – Brandteknisk dimensionering, SIS Förlag AB, 2008.
- SS-EN 1995-1-1:2004/A2:2014 Dimensionering av träkonstruktioner – Del 1-1: Allmänt – Gemensamma regler och regler för byggande, SIS Förlag AB, 2014.
- SS-EN 1995-1-2:2004/AC:2010 Dimensionering av träkonstruktioner – Del 1-2: Allmänt – Brandteknisk dimensionering, SIS Förlag AB, 2010.
- SS-EN 13017-1:2001 Massivträskivor – Utseendesortering – Del 1: Barrträ, SIS Förlag AB, 2001.
- SS-EN 13501-1:2007+A1:2009 Brandteknisk klassificering av byggprodukter och byggnadselement – Del 1: Klassificering baserad på provningsdata från metoder som mäter reaktion vid brandpåverkan. SIS Förlag AB, 2009.
- SS-EN 13501-2: 2007+A1:2009 Brandteknisk klassificering av byggprodukter och byggnadselement – Del 2: Klassificering baserad på provningsdata från metoder som mäter brandmotstånd, utom för produkter för ventilationssystem. SIS Förlag AB, 2009.
- SS-EN 14080:2013 Träkonstruktioner – Limträ och limmat konstruktionsvirke – Krav, SIS Förlag AB, 2013.
- SS-EN 14081-1:2016 Träkonstruktioner – Sågat konstruktionsvirke – Del 1: Allmänna krav för visuell och maskinell hållfasthetssortering, SIS Förlag AB, 2016.
- SS-EN 15804:2012+A1:2013 Hållbarhet hos byggnadsverk – Miljödeklaration – Produktspecifika regler, SIS Förlag AB, 2013.
- SS-EN 15978:2011 Hållbarhet hos byggnadsverk – Värdering av byggnaders miljöprestanda – Beräkningsmetod, SIS Förlag AB, 2011.
- SS-EN 16351:2015 Träkonstruktioner – Massivträ för byggsystem – Krav, SIS Förlag AB, 2015.¹⁾

¹⁾ (Standarden är inte publicerad i EU:s tidning Official Journal och kan inte användas för till exempel CE-märkning. Dessutom är bland annat brandavsnitten fel. En korrekt version väntas bli klar tidigast 2018).

- SS-EN ISO 717-1:2013 Byggakustik – Värdering av ljudisolering i byggnader och hos byggdelar – Del 1: Ljudisolering, SIS Förlag AB, 2013.
- SS-EN ISO 717-2:2013 Byggakustik – Värdering av ljudisolering i byggnader och hos byggdelar – Del 2: Stegljudsisolering, SIS Förlag AB, 2013.
- SS-EN ISO 3382-2:2008/AC:2009 Byggakustik – Mätning av rumakustiska parametrar – Del 2: Efterklangstid i vanliga rum, SIS Förlag AB, 2009.
- SS-EN ISO 6946:2007 Byggkomponenter och byggnadsdelar – Värmemotstånd och värmegenomgångskoefficient – Beräkningsmetod, SIS Förlag AB, 2007.
- SS-EN ISO 9001:2008/AC:2009 Ledningssystem för kvalitet – Krav, SIS Förlag AB, 2009.
- SS-EN ISO 14001:2015 Miljöledningssystem – Krav och vägledning, SIS Förlag AB, 2015.
- SS-EN ISO 14040:2006 Miljöledning – Livscykelanalys – Principer och struktur, SIS Förlag AB, 2006.
- SS-EN ISO 14044:2006 Miljöledning – Livscykelanalys – Krav och vägledning, SIS Förlag AB, 2000.
- SS-EN ISO 14025:2010 Miljömärkning och miljödeklarationer – Typ III miljödeklarationer – Principer och procedurer, SIS Förlag AB, 2016.
- SS-EN ISO 16032:2004 Byggakustik – Mätning av buller från installationer i byggnader – Teknisk metod, SIS Förlag AB, 2004.
- SS-EN ISO 16283:2014 Byggakustik – Fältmätning av ljudisolering i byggnader och hos byggnadselement – Del 1: Luftljudsisolering (ISO 16283-1:2014), SIS Förlag AB, 2014.
- SS-EN ISO 16283-2:2015 Byggakustik – Fältmätning av ljudisolering i byggnader och hos byggnadselement – Del 2: Stegljudsisolering, SIS Förlag AB, 2015.

Friskrivningar

Genom att använda innehållet i *KL-trähandbok* godkänner du nedan angivna användarvillkor. All information i *KL-trähandbok* tillhandahålls endast i informationssyfte och ska inte anses vara en rådgivande eller professionell relation med läsaren.

All information tillhandahålls i befintligt skick och utan någon form av garanti, i den utsträckning som tillåts av gällande lag. Även om utgivaren i rimlig omfattning försöker tillhandahålla tillförlitlig information i *KL-trähandbok*, garanterar inte utgivaren att innehållet är fritt från felaktigheter, misstag och/eller avsaknad av information eller att innehållet är aktuellt och relevant för användarens behov.

Utgivaren, Föreningen Sveriges Skogsindustrier, lämnar ingen garanti för några resultat som härrör från nyttjandet av informationen som finns i *KL-trähandbok*. All användning av information i *KL-trähandbok* sker på eget ansvar och på egen risk.

Rättigheterna till innehållet i *KL-trähandbok* tillkommer Föreningen Sveriges Skogsindustrier. Innehållet skyddas enligt upphovsrättslagen. Missbruk beivras. Kopiering av innehållet är förbjuden.

Föreningen Sveriges Skogsindustrier tar inte något ansvar för skada som må orsakas på grund av innehållet i *KL-trähandbok*.



Interiör med KL-trä och limträ.

KL-trähandbok

© Föreningen Sveriges Skogsindustrier, 2017
Första utgåvan

Utgivare

Skogsindustrierna
Svenskt Trä
Box 55525
102 04 STOCKHOLM
Tel: 08-762 72 60
Fax: 08-762 79 90
E-post: info@svenskttra.se
www.svenskttra.se

Projektledare

Johan Fröbel – Svenskt Trä
Anders Gustafsson – RISE Research Institutes of Sweden AB

Redaktörer

Eric Borgström – Svenskt Trä
Johan Fröbel – Svenskt Trä

Huvudförfattare

Anders Gustafsson – RISE Research Institutes of Sweden AB

Medförfattare

Roberto Crocetti – Lunds Tekniska Högskola
Alar Just – RISE Research Institutes of Sweden AB
Pierre Landel – RISE Research Institutes of Sweden AB
Jörgen Olsson – RISE Research Institutes of Sweden AB
Anna Pousette – RISE Research Institutes of Sweden AB
Magnus Silfverhielm – AIX Arkitekter/Linnéuniversitetet
Birgit Östman – Linnéuniversitetet

Referensgrupp och faktagranskare

Eric Borgström – Svenskt Trä
Henrik Danielsson – Limträteknik i Falun AB/
Lunds Tekniska Högskola
Mattias Brännström – Renewinn AB
Mats Ekevad – Luleå Tekniska Universitet
Johan Fröbel – Svenskt Trä
Melker Johansson – Tyréns AB
Thomas Johansson – Moelven Töreboda AB
Rune Karlsson – Rune Karlsson Byggprojektering i Hedemora
Greger Lindgren – Martinson Group AB
Daniel Wilded – Martinson Group AB

Medarbetare

Bengt Friberg – ProService Kommunikation AB
Lotta Olsson – ProService Kommunikation AB
Marie Åsell – Svenskt Trä

Illustrationer

Vendela Martinac – Thelander Arkitektur & Design AB
Cornelia Thelander – Thelander Arkitektur & Design AB

Foto

Johan Ardefors, sidan 42
baraBild, sidan 61, 95, 140, 157
Per Bergkvist, sidan 32, 35, 106, 120, 129, 144, 156, 174
Eric Borgström, sidan 19, 31
Mattias Brännström, sidan 41, 62, 80 nedre, 87
Patrick Degerman, sidan 7, 15, 21 tabell, 71, 96, 100,
114, 172
Tommy Durath, sidan 66
Åke E:son Lindman, sidan 9, 34, 45, 51 nedre, 86, 90, 108,
109, 112, 142
Mats Ekevad sidan 23 nedre höger, 25 nedre
Andreas Falk, sidan 24
Johan Fröbel, sidan 165 nedre
Anders Gustafsson, sidan 16, 17, 22 övre, 25 övre, 37, 85,
93, 111, 141, 143, 146, 170, 171 mitten
Kennet Gustafsson, sidan 165 övre
Tomas Gustafsson, sidan 161, 167 höger
Thomas Harrysson sidan 23 nedre vänster, 67
Svanthe Harström, sidan 11
Bertil Hertzberg, sidan 21 övre
Holzbau Unterrainer, sidan 160
Sören Håkanlind, sidan 60
Peter Jacobsson, sidan 152
Joakim Kröger sidan 23 övre
Per Kårehed, sidan 135
Pierre Landel, sidan 21 nedre, 26 nedre
LEVA Husfabrik, sidan 22 nedre vänster
Bengt Lind, sidan 8
Peder Lindbom, sidan 39, 180
Jonas Lundqvist, sidan 83, 175
Martinsons, sidan 4, 63, 166, 167 vänster
Murman Arkitekter AB, sidan 48
Per Myrehed, sidan 22 nedre höger
Hideyuki Nasu, sidan 171 nedre
Rasmus Norlander, sidan 1
Jimmy Ruljeff, sidan 150
Dagfinn Sagen, sidan 171 övre
Magnus Silfverhielm, sidan 10
Skanska, sidan 169
Skogsindustrierna, sidan 13, 14
Stora Enso, sidan 18, 27, 51 övre, 65, 74, 80 övre, 82, 97,
113, 132, 136, 163, 168, 185
Synlig.no, sidan 134
David Valldeby, sidan 98
Birgit Östman, sidan 26 övre

Grafisk form och produktion

ProService Kommunikation AB

ISBN 978-91-981922-5-4

Publikationer och hemsidor från Svenskt Trä

Publikationer om trä

Beställ via www.svenskttra.se/publikationer.



Att välja trä

Samlad information om materialet trä. 120 sidor. Format A4.



Dimensionering av träkonstruktioner i tre delar

1. Projektering av träkonstruktioner. 316 sidor.
2. Regler och formler enligt Eurokod 5. 64 sidor.
3. Exempel. 64 sidor. Format A4.



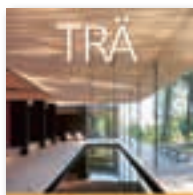
Lathunden

En hjälprea vid dimensionering och virkesåtgång. 76 sidor. Format A6. Finns även som app. Sök efter Lathunden i App Store eller Google Play och ladda ner.



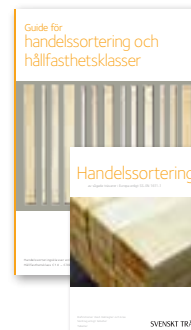
Hantera virket rätt

Folder och etikett i färg som beskriver hur man lagrar trä på byggarbetsplatsen. 6 sidor och etikett. Format A4.



Trä – ett medvetet val

Om träs miljöfördelar och argument. 12 sidor. Format 210 x 210 mm.



Guide för handelsortering och hållfasthetsklasser

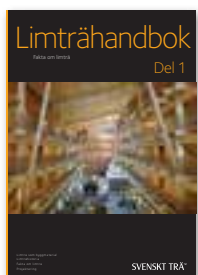
12 sidor. Format A4.

Handelssortering

En hjälprea om sågade trävaror i Europa enligt SS-EN 1611-1. 60 sidor. Format A5.

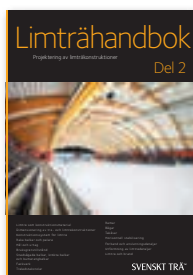
Publikationer om limträ

Beställ via www.svenskttra.se/publikationer.



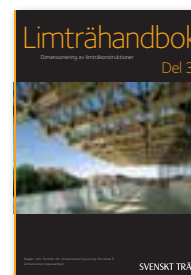
Limträhandbok Del 1

Fakta om limträ och vägledning vid projektering. 88 sidor. Format A4.



Limträhandbok Del 2

Konstruktionsberäkningar för statisk dimensionering av limträ. 268 sidor. Format A4.



Limträhandbok Del 3

Beräkningsexempel för de vanligaste limträkonstruktionerna. 224 sidor. Format A4.



Limträ PocketGuide

Samlad information om limträ. 36 sidor. Format A6.



Hantera limträ rätt

Folder och snabbguide i färg som beskriver hur man lagrar limträ på byggarbetsplatsen. 6 sidor och etikett. Format A4.



Drift och underhåll av limträ

Folder som beskriver ytbehandling och underhåll av limträ. 6 sidor. Format A4.

Hemsidor



www.svenskttra.se



www.traguiden.se



www.traradhuset.se



För mer information om trä:
www.svenskttra.se

SVENSKT TRÄ™

Svenskt Trä verkar för kunskapsspridning, inspiration och utveckling som rör trä, träprodukter och träbyggande. Målsättningen är att genom information och inspiration öka träanvändningen i Sverige och på utvalda marknader utomlands. Svenskt Trä syftar också till att lyfta fram trä som ett konkurrenskraftigt, miljövänligt och hållbart material.

Svenskt Trä är en verksamhet inom branschorganisationen Skogsindustrierna. Bakom Svenskt Trä står svensk sågverks- och limträindustri.

© Föreningen Sveriges Skogsindustrier, 2017.

Box 55525
102 04 Stockholm
Tel: 08-762 72 60
Fax: 08-762 79 90
info@svenskttra.se
svenskttra.se



ISBN 978-91-981922-5-4