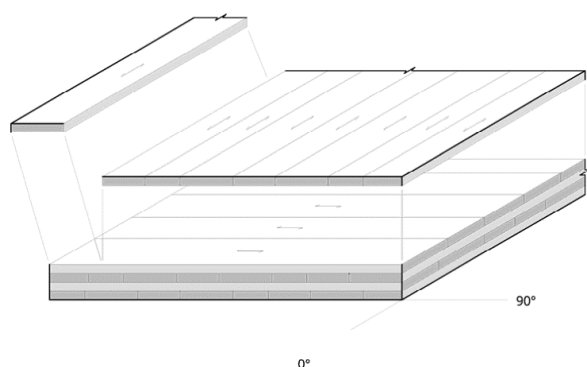


Krížom lepené drevo (CLT): stavebná metóda budúcnosti?

Krížom lepené drevo (CLT) sú ploché výrobky z masívneho dreva, ktoré možno použiť ako konštrukčné prvky. Vďaka svojim priaznivým ekologickým, estetickým a energetickým vlastnostiam sa niekedy nazýva materiálom budúcnosti.

Inovatívny výrobok v tvare dosky s vrstvenou štruktúrou a zaujímavými fyzikálno-mechanickými vlastnosťami pozostáva z najmenej 3 vrstiev dosky striedavo zlepených pod uhlom 90 stupňov. Jednotlivé dosky sú zväčša široké 40 mm až 300 mm a hrubé 6 mm až 45 mm.



Dosky CLT nie sú žiadnou novinkou, vyrábajú sa od roku 1995, ale doteraz neboli zahrnuté do noriem. Ich používanie v stavebníctve bolo regulované technickými smernicami na európskej úrovni (ETA: európske technické posúdenie). S druhou generáciou Eurokódu 5 sa CLT okamžite stane súčasťou tejto normy, takže stavební inžinieri budú mať konečne možnosť navrhovať a testovať takéto konštrukcie v súlade s normou. V návrhu novej verzie Eurokódu 5, ktorá sa očakáva okolo roku 2025, je CLT zakomponovaný do každej kontroly (ak je to vhodné) normy.

Možnosti použitia dosiek CLT sú pomerne široké. Nosné vlastnosti možno využiť ako:

Podlahový prvok

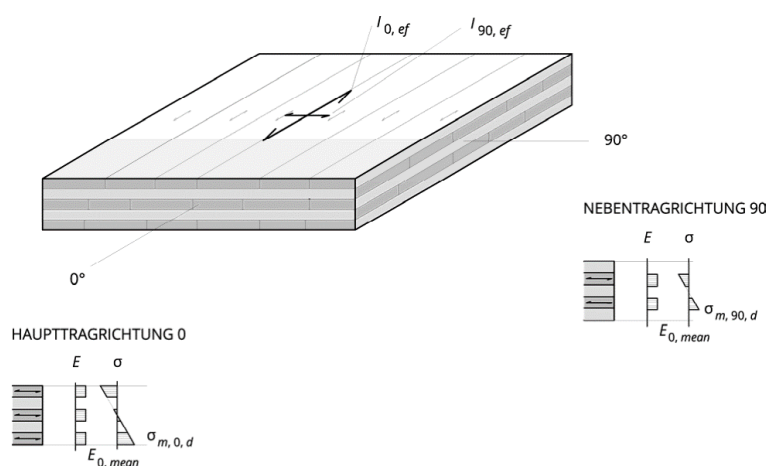
Prvok strešnej krytiny

Stenový prvok

Podlahový prvok

...

CLT panely sú ortotropné, pretože ich nosné vlastnosti sa líšia v dvoch smeroch (0° a 90°). Je to priamy dôsledok počtu dosiek a umiestnenia prvkov dosky v príslušnom smere. Nasledujúci obrázok znázorňuje ortotropiu pomocou ohybových napätí v oboch smeroch (0° = hlavný smer ložiska, 90° vedľajší smer ložiska):



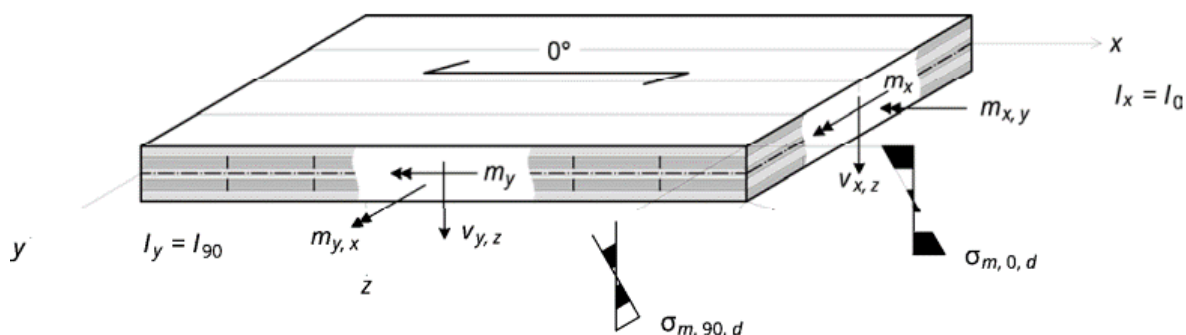
Pri ohybových napätiach sa berú do úvahy len vrstvy orientované v príslušnom smere. Vrstvy orientované v opačnom smere pôsobia ako dištančné a sú zaťažené iba šmykom v hlavnom nosnom smere.

CLT v SCIA Engineer

Doteraz neexistuje žiadna kontrola pre CLT panely v SCIA Engineer, pretože v súčasnom Eurokóde 5 chýbajú usmernenia. Potom ich možno skontrolovať (napr. pomocou hárkov programu Excel) s vnútornými silami, ktoré sú k dispozícii po analýze.

Výpočet ortotropných parametrov možno vykonať takto na základe Mindlinovej teórie dosiek, ktorá zohľadňuje deformáciu priečnou silou prostredníctvom D44 a D55:

Parametre tuhosti dosky (ohyb a šmyk)



Ohybová tuhosť v smere x: $D_{11} = \frac{E_{0,mean} * I_{0,net}}{(1 - \nu_{x,y} * \nu_{y,y})}$; v praxi: $D_{11} = E_{0,mean} * I_{0,net}$

Ohybová tuhosť v smere y: $D_{22} = \frac{E_{0,mean} * I_{90,net}}{(1 - \nu_{x,y} * \nu_{y,y})}$; v praxi: $D_{22} = E_{0,mean} * I_{90,net}$

Vplyv ohybového momentu na priečnu deformáciu: $D_{12} = D_{21} = \sqrt{\nu_{x,y} * \nu_{y,y} * D_{11} * D_{22}}$; v praxi (bez Poissonovho efektu): $D_{12} = D_{21} = 0$

Torzná tuhosť: $D_{33} = k_{twist} * G_{0,mean} * \frac{b * d^3}{12}$

Šmyková tuhosť: $D_{44} = \frac{1}{\kappa_{0,z}} * G_{0,mean} * A_{0,net}$

Šmyková tuhosť: $D_{55} = \frac{1}{\kappa_{90,z}} * G_{0,mean} * A_{90,net}$

S:

$E_{(0,mean)}$: stredný modul E v hlavnom smere zaťaženia (0°)

$G_{(0,mean)}$: priemerný modul G v hlavnom smere zaťaženia (0°)

$\nu_{x,y}$ & $\nu_{y,y}$: Poissonov pomer

V praxi sa Poissonove efekty ignorujú, pretože ak by dosky sedeli "nezlepené" vedľa seba v rovnakej rovine $\rightarrow \nu_{x,y} = \nu_{y,y} = 0$

$I_{0,net}$: Čistý moment zotrvačnosti v hlavnom smere zaťaženia (0°), t. j. zohľadňujú sa len vrstvy v hlavnom smere zaťaženia podľa nižšie uvedeného vzorca:

$$I_{0,net} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} \cdot \frac{b * d_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} \cdot b * d_i * a_i^2$$

V ňom:

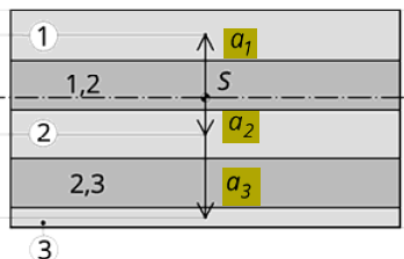
E_i : E-modulus príslušnej vrstvy

E_c : referenčný modul E (ak majú všetky vrstvy rovnaký modul $\rightarrow \frac{E_i}{E_c} = 1$)

b : Pre šírku sa môže použiť jednotková šírka 1 m

d_i : hrúbka príslušnej vrstvy

a_i : vzdialenosť medzi ťažiskom CLT dosky ako celku a ťažiskom príslušnej vrstvy



$I_{90,net}$: Čistý moment zotrvačnosti v sekundárnom smere ložiska (90°), t. j. zohľadňujú sa len vrstvy v sekundárnom smere ložiska podľa nižšie uvedeného vzorca:

$$I_{90,net} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} \cdot \frac{b \cdot d_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} \cdot b \cdot d_i \cdot a_i^2$$

k_{twist} : redukčný faktor torznej tuhosti

$$k_{twist} \approx 0,65$$

d : Hrúbka CLT panelu (celková hrúbka)

$\kappa_{(0,z)}$: Korekčný faktor pre šmyk (mimo roviny) pre hlavný smer zaťaženia (0°)

$$\kappa_{0,z} = \frac{\sum G \cdot A}{(E \cdot I_{0,net})^2} * \int_h \frac{[E_{(z)} * S_{(z)}]^2}{G_{(z)} * b} dz$$

Orientačné hodnoty pre CLT panely so štandardnými lamelami rôznych hrúbok (20, 30, 40 mm) pre

$$\kappa_0 = \frac{1}{\kappa_{0,z}}$$

Typ 3s: $0,15 \leq \kappa_0 \leq 0,18$

Typ 5s: $0,18 \leq \kappa_0 \leq 0,20$

Typ 7s: $0,25 \leq \kappa_0 \leq 0,29$

Typ 9s: $0,26 \leq \kappa_0 \leq 0,29$

Smerné hodnoty pre CLT panely so štandardnými lamelami rovnakej hrúbky a pevnosti a pomerom modulu $G_{90}/G_0 = 1/10$:

Jedna vrstva: $\kappa_0 = 0,83$

Tri vrstvy: $\kappa_0 = 0,21$

Päť vrstiev: $\kappa_0 = 0,24$

Sedem vrstiev: $\kappa_0 = 0,26$

Deväť vrstiev: $\kappa_0 = 0,27$

$\kappa_{90,z}$: Korekčný faktor pre šmyk (mimo roviny) pre sekundárny smer ložiska (90°)

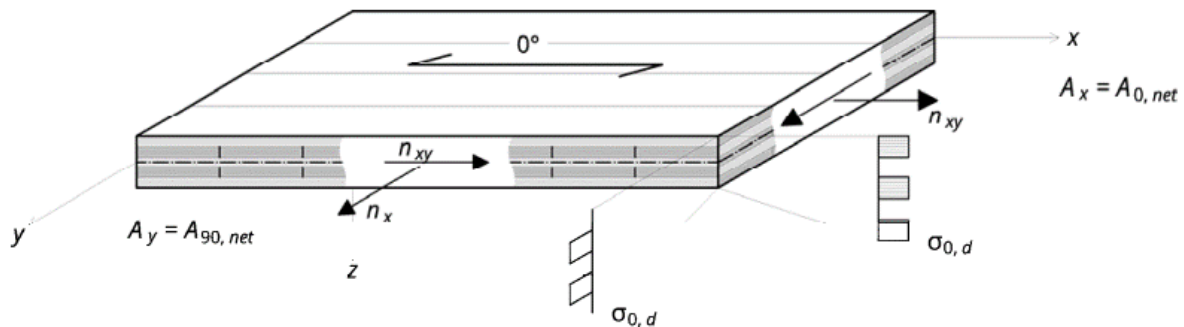
$$\kappa_{90,z} = \frac{\Sigma G * A}{(E * I_{90,net})^2} * \int_h \frac{[E(z) * S(z)]^2}{G(z) * b} dz$$

Aj tu platia rovnaké smerné hodnoty ako vyššie, ale pre $\kappa_{90} = \frac{1}{\kappa_{90,z}}$

$A_{0,net}$: Čistá plocha v hlavnom smere zaťaženia

$A_{90,net}$: Čistá plocha v sekundárnom smere ložiska

Parametre tuhosti steny (normálová sila)



Normálová tuhosť v smere x: $d_{11} = E_{0,mean} * A_{0,net}$

Vplyv pozdĺžnej deformácie na priečnu deformáciu (Poissonov efekt) $d_{12} = \nu * d_{11}$; v praxi: $d_{12} = 0$

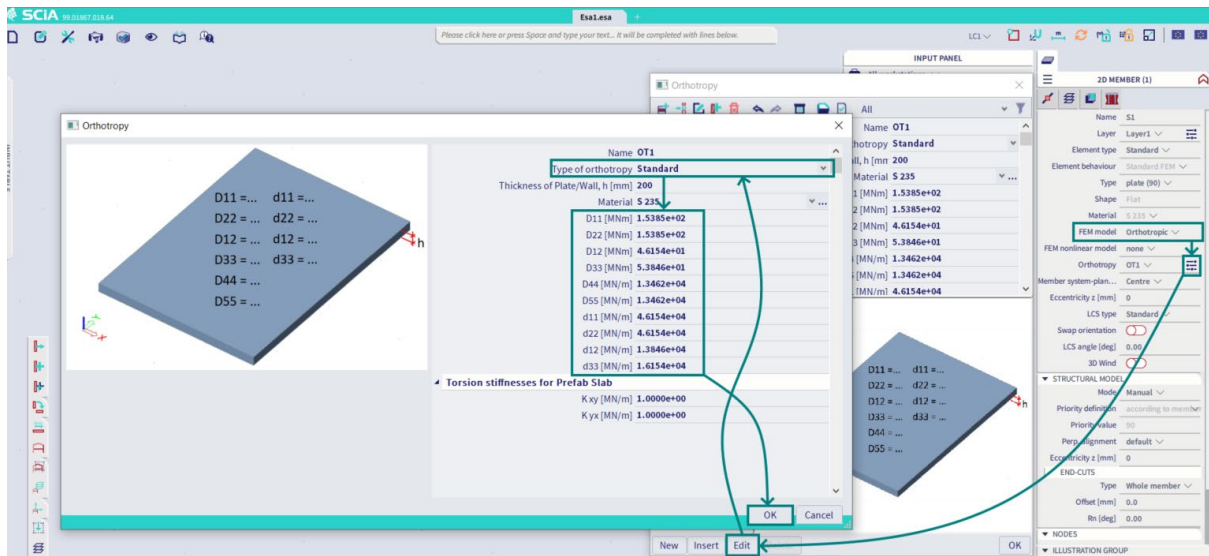
Normálová tuhosť v smere y: $d_{22} = E_{0,mean} * A_{90,net}$

Šmyková tuhosť: $d_{33} = G_{s,mean} * A_{brutto} \approx 0.75 * G_{0,mean} * A_{brutto}$

Vstup do SCIA Engineer

Hneď ako sú parametre tuhosti vypočítané a známe, je možné ich zadať do programu SCIA Engineer prostredníctvom ortotropie. To sa vykoná výberom príslušného prvku dosky v programe SCIA Engineer a následnou zmenou modelu MKP na ortotropný vo vlastnostiach.

Následne môžete priamo zadať parametre tuhosti, len čo vyberiete typ ortotropie "štandardný". Pozri súhrnný obrázok nižšie:



Pri pokračovaní výpočtu správne zahrniete do analýzy tuhosti panelov CLT. Ďalším krokom je potom vyhodnotenie výsledných vnútorných síl pomocou vlastných kontrol. V tejto súvislosti dôrazne odporúčame publikáciu proHolz (2014): Cross-Laminated Timber Structural Design), v ktorom nájdete metódy kontroly CLT panelu.

Zdroje:

proHolz Austria (2014): Návrh konštrukcií z krížom lepeného dreva

By Hamza Bachiri