

Křížem lepené dřevo (CLT panely): stavební metoda budoucnosti?

Křížem lepené dřevo (CLT panely) jsou výrobky z plochého masivního dřeva, které lze použít jako konstrukční prvky. Díky svým příznivým ekologickým, estetickým a energetickým vlastnostem je někdy označováno za materiál budoucnosti.

Tyto inovativní panely s vrstvenou strukturou a zajímavými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi se skládají z nejméně 3 vrstev lamel lepených střídavě pod úhlem 90 stupňů vůči sobě. Jednotlivé lamely jsou v tloušťce široké 40 až 300 mm a silné 6 až 45 mm.

CLT panely nejsou sice úplnou novinkou, vyrábějí se již od roku 1995, ale doposud nebyly zahrnuty do žádných norem. Jejich používání ve stavebnictví bylo upraveno technickými pokyny na evropské úrovni (ETA: European Technical Assessment). S druhou generací Eurokódu 5 se však CLT stane součástí normy, takže statici budou mít konečně možnost navrhovat a posuzovat tyto konstrukce v souladu s Eurokódem. V návrhu nového Eurokódu 5, který je otevírána kolem roku 2025, je křížem lepené dřevo zakomponováno do všech aplikovatelných posudků.

Možnosti použití CLT panelů jsou poměrně široké. Jejich vlastnosti lze využít u:

- podlahových prvků,
- stěsných prvků,
- stěn nových panelů,
- žeber stropů,
- ...

CLT panely jsou ortotropní prvek, protože jejich nosné vlastnosti se v podélném a příčném směru (0° a 90°) liší. To je příčinou sledků po tloušťce lamel v příslušném směru. Na obrázku je ortotropie znázorněna pomocí ohybových napětí v obou směrech (0° = hlavní nosný směr, 90° vedlejší nosný směr):

Pro ohybová napětí se berou v úvahu pouze vrstvy orientované v příslušném směru. Vrstvy orientované v opačném směru fungují jako distanční a jsou zatíženy pouze smykem v hlavním nosném směru.

CLT panely ve SCIA Engineer

Ve SCIA Engineer doposud pro CLT panely neexistuje žádný posudek, protože v současném Eurokódu 5 pro to chybí pokyny. Panely je modelovat jako ortotropní desky a tím ve výpočtu zohlednit jejich skutečnou tuhost. Poté je lze posoudit (například pomocí tabulek Excelu) na základě spojitých vnitřních sil získaných výpočtem.

Výpočet ortotropních parametrů lze provést následujícím způsobem na základě Mindlinovy teorie desek, která zohledňuje deformaci od smykových sil prostřednictvím členů D44 a D55:

Parametry tuhosti desky (ohyb a smyk)

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

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

Ohybový moment od příčného přetožení: $D_{22} = E_{0,mean} * I_{90,net}$; v praxi (bez Poissonova účinku): $D_{12} = D_{21} = 0$

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

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

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

kde:

$E_{0,mean}$: střední hodnota modulu E v hlavním nosném směru (0°).

$G_{0,mean}$: střední hodnota modulu G v hlavním nosném směru (0°).

$\nu_{x,y}$ & $\nu_{y,y}$: Poissonovy součinitele

V praxi se Poissonův úinek zanedbává, jako by prkna byla naskládána „neslepená“ vedle sebe ve stejné rovině $\rightarrow \nu_{x,y} = \nu_{y,y} = 0$.

$I_{0,net}$: čistý moment setrvačnosti v hlavním nosném směru (0°), tj. zohlední se pouze vrstvy v hlavním nosném směru pomocí níže uvedeného vzorce:

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

kde:

E_i : modul pružnosti E dané vrstvy

E_c : referenční modul E (pokud mají všechny vrstvy stejný modul $E \rightarrow \frac{E_i}{E_c} = 1$).

b : šířka, lze použít jednotkovou šířku 1 m.

d_i : tloušťka dané vrstvy

a_i : vzdálenost mezi těžišti CLT panelu jako celku a těžištěm dané vrstvy.

$I_{90,net}$: čistý moment setrvačnosti v sekundárním nosném směru (90°), tj. zohlední se pouze vrstvy v sekundárním nosném směru pomocí níže uvedeného vzorce:

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

k_{twist} : redukční součinitel na torzní tuhost

$k_{twist} \approx 0.65$

d : tloušťka CLT panelu (celková tloušťka)

$\kappa_{0,z}$: opravný součinitel pro smyk (z roviny) pro hlavní nosný směr (0°)

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

Smrnné hodnoty pro CLT panely se standardními lamelami různých tloušťek (20, 30, 40 mm) pro $\kappa_0=1/\kappa_{(0,z)}$:

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: $0,26 \leq \kappa_0 \leq 0,29$

Smrnné hodnoty pro CLT panely se standardními lamelami stejné tloušťky a pevnosti a poměrem modulů G : $G_{90}/G_0=1/10$:

jedna vrstva: $\kappa_0=0,83$

tři vrstvy: $\kappa_0=0,21$

pět vrstev: $\kappa_0=0,24$

sedm vrstev: $\kappa_0=0,26$

devět vrstev: $\kappa_0=0,27$

$\kappa_{90,z}$: opravný souinitel pro smyk (z roviny) pro sekundární nosný směr (90°)

$$\kappa_{90,z} = \frac{\sum G * A}{(E \cdot I_{90,net})^2} * \int_h \frac{[E_{(z)} * S_{(z)}]^2}{G_{(z)} * b} dz$$

I zde platí stejné směrné hodnoty jako výše, ale pro $\kappa_{90} = \frac{1}{\kappa_{90,z}}$

$A_{0,net}$: čistá plocha v hlavním nosném směru

$A_{90,net}$: čistá plocha v sekundárním nosném směru

Parametry tuhosti stěny (normálová síla)

Normálová tuhost ve směru x: $d_{11} = E_{0,mean} * A_{0,net}$

Vliv podélné deformace na příčnou deformaci (Poissonův efekt)

$$d_{12} = \nu * d_{11}; \text{ v praxi: } d_{12} = 0$$

Normálová tuhost ve směru y: $d_{22} = E_{0,mean} * A_{90,net}$

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

Zadání do SCIA Engineer

Jakmile vypočítáme parametry tuhosti, lze je zadat do programu SCIA Engineer prostřednictvím ortotropie. To se provede tak, že se v programu SCIA Engineer vybere příslušný deskový prvek a následně se ve vlastnostech FEM modelu změní na ortotropní.

Pak můžete zadat parametry tuhosti přímo, jakmile zvolíte typ ortotropie „standardní“. Viz souhrnný obrázek níže:

Při výpočtu tak správně zohledníte tuhosti CLT panelů. Dalším krokem je vyhodnocení výsledných vnitřních sil pomocí vlastních posudků (nejsou zabudované ve SCIA Engineer). Zde vám doporučujeme publikaci proHolz Austria (2014): Cross-Laminated Timber Structural Design, kde najdete metody posudků panelů z křížem lepeného dřeva.

Zdroje:

proHolz Austria (2014): Navrhování konstrukcí z křížem lepeného dřeva

By Hamza Bachiri