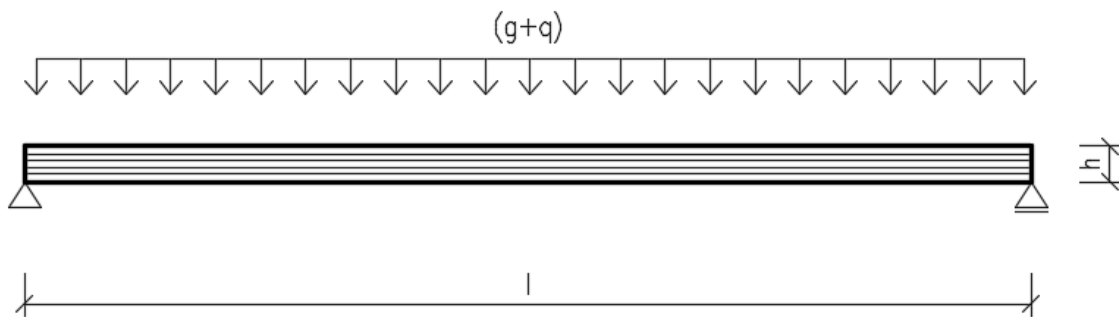


Stropní deska z křížem vrstveného dřeva

V současné době neexistuje certifikovaná metoda přímo určená pro výpočet únosnosti a tuhosti stropních desek z křížem vrstveného dřeva. Pro posouzení vrstvených prvků lze vycházet z modelu Kreuzingera uvedeném v Technické zprávě 019 (EOTA 2005) (1), který je primárně určen pro sendvičové panely. Tento model zohledňuje smykovou poddajnost panelu, která je u křížem vrstvených panelů nezanedbatelná.

Zadání příkladu:



Vypočítejte průhyb stropní desky z křížem vrstveného dřeva na průhyb. Použijte metodu smykové analogie. Jedná se o prostě uloženou rovnoměrně zatíženou stropní desku, s rozpětím $l = 5$ m. Výpočet provedte na šířku desky 1 m. Tloušťka desky je 180 mm.

Parametry křížem vrstveného dřeva:

- tloušťka desky $h = 180$ mm (celkem 5 vrstev; $40 + 30 + 40 + 30 + 40$ mm);
- stejný typ dřeva pro všechny vrstvy: C24
 - $E_0 = 11$ GPa (modul pružnosti dřeva rovnoběžně s vlákny)
 - $E_{90} = 0,37$ GPa (modul pružnosti dřeva kolmo k vláknům)
 - $G_0 = 0,69$ GPa (modul pružnosti dřeva ve smyku)
 - $f_{m,clt,k} = 26,1$ MPa (charakteristická pevnost CLT dřeva v ohybu, pro dřevo C24, dle (2))
- výpočet probíhá na šířku desky $b = 1000$ m

Stálé zatížení

	tloušťka	objemová hmotnost	g_k	γ_f	g_d
	[mm]	[kg/m ³]	[kN/m ²]	[-]	[kN/m ²]
Podlaha	-	-	1,16	1,35	1,57
CLT panel	180	500	0,90	1,35	1,22
Σ			2,06		2,78

Proměnné zatížení

	q_k	γ_f	q_d
	[kN/m ²]	[-]	[kN/m ²]
Užitné zatížení	3,00	1,50	4,50
Zatížení od přemístitelných příček	1,20	1,50	1,80
Σ	4,2		6,30

Výpočet pomocí metody smykové analogie (2) - teorie

Metoda smykové analogie uvažuje rozdílné moduly pružnosti v ohybu a ve smyku pro každou vrstvu. Panel je rozdělen do dvou virtuálních „nosníků“ A a B. Nosník obsahuje vlastní ohybovou pevnost jednotlivých vrstev podél jejich neutrálních os. Nosník B dodává „Steinerovy doplňky, smykovou pevnost panelu a pružnost spojení vrstev. Nosníky A a B jsou spojeny nekonečně tuhými stojinami tak, aby se oba dva nosníky se deformovali stejně. Překrytím ohybového momentu a smykové síly obou nosníků vzniká plnohodnotný průřez.

Efektivní ohybová tuhost se rovná součtu jednotlivých tuhostí:

$$(EI)_{ef} = (EI)_A + (EI)_B$$

Ohybová tuhost nosníku A se rovná součtu ohybových tuhostí všech vrstev:

$$(EI)_A = \sum_{i=1}^n E_i I_i = \sum_{i=1}^n E_i b_i \frac{h_i^3}{12}$$

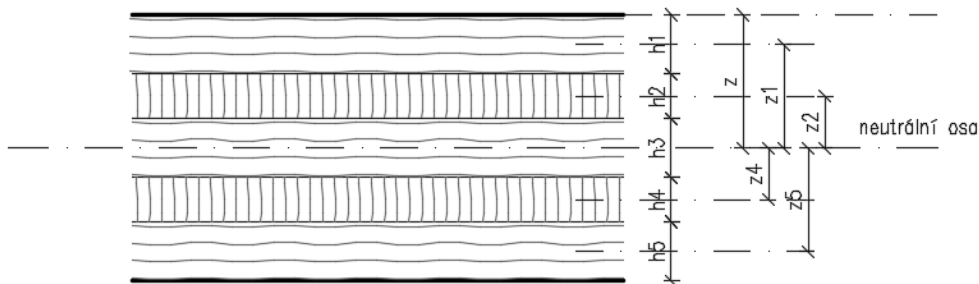
Ohybová tuhost nosníku B se rovná součtu Steinerových doplňků každé vrstvy:

$$(EI)_B = \sum_{i=1}^n E_i A_i z_i^2$$

Nosník B obsahuje také smykovou tuhost a tuhost spojení panelů:

$$\frac{1}{(GA)_B} = \frac{1}{a^2} \left[\frac{h_1}{2G_1b_1} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i b_i} + \frac{h_n}{2G_n b_n} \right]$$

U CLT stropních desek vždy rozhoduje mezní stav použitelnosti, přesně řečeno průhyb, proto není potřeba počítat momentovou únosnost.



Výpočet pomocí metody smykové analogie

Výpočet efektivní ohybové tuhosti (nosníky A + B)

Výpočet pro vrstvu 1 (vodorovná vrstva):

$$(EI)_{A,1} = E_0 b_1 \frac{h_1^3}{12} = 11000 * 1000 * \frac{40^3}{12} = 5,86 * 10^{10} \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{B,1} = E_0 A_1 z_1^2 = 11000 * 1000 * 40 * 70^2 = 2,153 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Výpočet pro vrstvu 2 (příčná vrstva):

$$(EI)_{A,1} = E_{90} b_1 \frac{h_1^3}{12} = 366,67 * 1000 * \frac{30^3}{12} = 8,25 * 10^8 \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{B,1} = E_1 A_1 z_1^2 = 366,67 * 1000 * 30 * 35^2 = 2,153 * 10^{10} \text{ Nmm}^2$$

Výpočty pro všechny vrstvy i s mezivýpočty jsou uvedeny v následující tabulce:

h_i	Tloušťka	E_0	E_{90}	$(EA)_i$	Z_i	$(EI)_{a,i}$	$(EI)_{b,i}$
	h [mm]	[MPa]	[MPa]	[N]	[mm]	[Nmm ²]	[Nmm ²]
i=1	40	11000	366,6667	4,4E+08	70	5,87E+10	2,156E+12
i=2	30	11000	366,6667	11000000	35	8,25E+08	1,348E+10
i=3	40	11000	366,6667	4,4E+08	0	5,87E+10	0
i=4	30	11000	366,6667	11000000	-35	8,25E+08	1,348E+10
i=5	40	11000	366,6667	4,4E+08	-70	5,87E+10	2,156E+12
Σ	180			1,34E+09		1,78E+11	4,339E+12

$$(EI)_{ef} = (EI)_A + (EI)_B = 1,78 * 10^{11} + 4,34 * 10^{12} = 4,52 * 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Výpočet smykové tuhosti

h_i	tloušťka	G_0	G_{90}
	[mm]	[MPa]	[MPa]
i=1	40	690	69
i=2	30	690	69
i=3	40	690	69
i=4	30	690	69
i=5	40	690	69

$$\frac{1}{(GA)_B} = \frac{1}{a^2} \left[\frac{h_1}{2G_1b_1} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i b_i} + \frac{h_n}{2G_n b_n} \right]$$

$$a = 180 - \frac{40}{2} - \frac{40}{2} = 140 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} (GA)_B &= \frac{a^2}{\left[\frac{h_1}{2G_0b_1} + \sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i b_i} + \frac{h_n}{2G_n b_n} \right]} \\ &= \frac{140^2}{\left[\frac{40}{2 * 690 * 1000} + \left(\frac{30}{69 * 1000} + \frac{40}{690 * 1000} + \frac{30}{69 * 1000} \right) + \frac{40}{2 * 690 * 1000} \right]} \\ &= 1,99 * 10^7 \text{ N} \end{aligned}$$

Výpočet průhybu:

Průhyb se počítá podle následujícího vzorce:

$$u_{max} = \frac{5}{384} \frac{(g + q)_k L^4}{(EI)_{ef}} + k \frac{1}{8} \frac{(g + q)_k L^2}{(GA)_{ef}}$$

Kde:

$k = 1,2$ (k je smykový korekční součinitel) (2)

$$\begin{aligned} u_{max} &= \frac{5}{384} \frac{(g + q)_k L^4}{(EI)_{ef}} + k \frac{1}{8} \frac{(g + q)_k L^2}{(GA)_{ef}} \\ &= \frac{5}{384} \frac{(2,06 + 4,2) * 5000^4}{4,52 * 10^{12}} + \frac{1}{8} \frac{(2,06 + 4,2) * 5000^2 * 1,2}{1,99 * 10^7} = 12,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

Výsledný průhyb je 12,45 mm.

Výpočet pomocí CLT Designer (2)

Software CLT Designer byl vyvinut na univerzitě v Grazu a je volně ke stažení.

Program obsahuje tři základní moduly výpočtu pro stropní desky a jeden modul pro výpočet stěn. Lze vypočítat jakýkoliv CLT panel, který si uživatel sám definuje, navíc program obsahuje CLT panely od některých výrobců. Program počítá CLT panely za běžné teploty i za požáru.

Do programu byl zadán stejný panel, který byl v předchozí části počítán pomocí smykové analogie.

Výsledný průhyb podle CLT Designeru je 11,79 mm.

Rozdíl oproti smykové analogie:

$$\Delta u = 12,45 - 11,79 = 0,66 \text{ mm} \quad (\text{rozdíl cca } 5\%)$$

Citovaná literatura

1. **TR019, EOTA.** Calculation models for prefabricated wood-based Loadbearing stressed skin panels for use in roofs . 2005.
2. **FPIinnovations.** *CLT Handbook*. Québec : FPIinnovations, 2011.