

11. Dřevo, materiálové vlastnosti.

Dřevo a materiály na bázi dřeva, vlastnosti, třídy trvání zatížení, třídy provozu, charakteristické hodnoty pro výpočty, MSÚ, MSP.

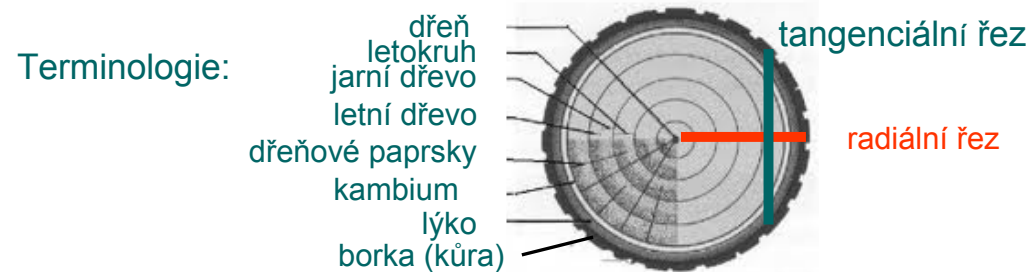
Dřevo představuje obnovitelný zdroj energie, je to druh biomasy.

Druhy dřevin pro dřevěné konstrukce:

- jehličnaté: smrk, jedle, borovice, modřín .. (další výjimečně: douglaska, jalovec ...)
- listnaté: dub, buk ... (další výjimečně: akát, jilm, kaštanovník, ovocné stromy ...)

Struktura dřeva:

Dřevo je organický, nehomogenní, anizotropní a hygroskopický materiál. Tvoří jej buňky: u jehličňanů zejména vodivé cévy ve směru kmene („vlákna“) zvané tracheidy, u listnáčů tracheje a další buňky, např. s vyztužovací funkcí apod.



Vlastnosti dřeva

Jsou různé pro směr:

- rovnoběžně s vlákny,
- kolmo k vláknům (navíc různé v radiálním a tangenciálním směru).

Fyzikální vlastnosti:

Objemová hmotnost (hustota) – záleží na vlhkosti.

např. [kg/m ³]	čerstvý	vlhkost 15%	vlhkost 0%
dub	až 1300	690	650
smrk	850	470	430

Vlhkost:

Ovlivňuje změnu rozměrů, únosnost i další vlastnosti dřeva. Při nasycení činí cca 25÷35 %, před použitím se dřevo vysouší, jinak vznikají trhliny, popř. napětí.

Tepelná vodivost, roztažnost (záleží na orientaci k vláknům: || , ⊥):

Dřevo má malou vodivost (izoluje), např. $\lambda_{\perp} \approx 0,15 \text{ W/mK}$ (ocel má $\lambda \approx 50$).
Roztažnost $\alpha_{||} \approx 0,000 \text{ 005}$; $\alpha_{\perp} \approx 0,000 \text{ 034}$.

Mechanické vlastnosti dřeva (pevnost, modul pružnosti):

Obecně jsou ovlivněny druhem dřeva, rozměry, vadami, zatížením, vlhkostí.
Charakteristické hodnoty jsou stanoveny podle tříd pevnosti v normách (viz dále).

Dřevo a materiály na bázi dřeva pro stavební konstrukce

Rostlé dřevo:

deskové řezivo (prkna, fošny),
hraněné řezivo (latě, hranoly),
polohraněné řezivo,
kulatina.

Pro stavební účely musí být vysušeno (pro lepené prvky s vlhkostí do 15 %, pro kryté konstrukce do 20 %).

Překližované desky:

Překližky (z lichého počtu dýh lepených vzájemně kolmo), laťovky a sendviče.



překližky



laťovky

Dřevovláknité desky

Výroba z dřevních vláken s přidavkem lepidla a aditiv zlepšující vlastnosti desky.

Vyrábí se mokrou (výroba a lisování ve vodě) nebo suchou cestou.

Je mnoho typů, např.:

měkké dřevovláknité desky (hobra),
DVD (dřevovláknité desky Sololit, Sololak),
MDF (Medium Density Fiberboard),
HDF (High Density Fibreboard) – spíše pro nábytek.

hobra



sololit

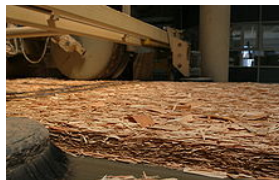


Dřevotřískové desky

Výroba z třísek dřeva, slepením a slisováním. Mnoho typů podle výrobců.

OSB desky (Oriented Strand Board)

Vyrábí se lisováním velkých (2–7cm) dřevních štepků ve 3÷4 vrstvách, vrchní vrstvy s třískami směřují vesměs v podélném směru, lepí se pryskyřicí a lisují.



po lisování
→



NNK – ocelové konstrukce (11)

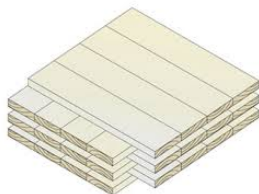
Lepené lamelové dřevo

Výroba z řeziva na automatických linkách (max. rozměr prvku 0,24 x 2 x 35 [m]).
Používají se obvykle melaminová lepidla, nastavení délky lamel zubovitým stykem.



Vrstvené dřevo (LVL Laminated Veneer Lumber, ob. zn. Kerto, Micro-Lam, Parallam, Intrallam).
Výroba z dých tl. 3,2 mm lepených souběžně (max. rozměr prvků 75x180x2600 cm).

Křížem vrstvené dřevo (CLT cross laminated timber)



Deskový systém obdobný formě překližky, avšak z prken ($\approx 12\div 45$ mm) spojovaných na linkách lepením a zalisováním, popř. mechanicky.

Navrhování podle ČSN EN 1995-1-1 (Navrhování dřevěných konstrukcí,
Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby)

Rozlišuje se doba trvání zatížení a vlhkost provozu při 20 °C:

Třídy trvání zatížení:

stálé	trvá déle než 10 let
dlouhodobé	6 měsíců až 10 let
střednědobé	1 týden až 6 měsíců
krátkodobé	méně než 1 týden
okamžikové	

Třídy provozu (podle vlhkosti provozu):

třída provozu 1	≤ 65 %	(vlhkost > 65 % pouze několik týdnů v roce)
třída provozu 2	≤ 85 %	(vlhkost > 85 % pouze několik týdnů v roce)
třída provozu 3	> 85 %	(vyšší vlhkost než u třídy 2)

Charakteristické hodnoty pevnostních vlastností

Pro konstrukční dřevo jsou uvedeny podle tříd v ČSN EN 338.

Pro lepené lamelové dřevo jsou uvedeny podle tříd v ČSN EN 1194.

Hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Konstrukční dřevo: Charakteristické hodnoty v MPa

Hodnoty odpovídají dřevu při teplotě vzduchu 20 °C a relativní vlhkosti 65 %.

Jehličnaté dřeviny

(coniferous)

třídy pevnosti:		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
ohyb	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
tah s vlákny	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
tah \perp k vláknům	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
tlak s vlákny	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
tlak \perp k vláknům	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
smyk	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
modul pružnosti s vlákny [GPa]	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6	6,4	6,7	7,4	7,7	8	8,7	9,4	10	10,7
průměr modulu pružnosti \perp [GPa]	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
průměr modulu ve smyku [GPa]	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
průměrná hustota [kg/m ³]	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

NNK – ocelové konstrukce (11)

7

Konstrukční dřevo: Charakteristické hodnoty v MPa

Hodnoty odpovídají dřevu při teplotě vzduchu 20 °C a relativní vlhkosti 65 %.

Listnaté dřeviny

(deciduous)

třídy pevnosti:		D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
ohyb	$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
tah s vlákny	$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42
tah \perp k vláknům	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
tlak s vlákny	$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34
tlak \perp k vláknům	$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
smyk	$f_{v,k}$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
modul pružnosti s vlákny [GPa]	$E_{0,mean}$	9,5	10	11	12	13	14	17	20
	$E_{0,05}$	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
průměr modulu pružnosti \perp [GPa]	$E_{90,mean}$	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
průměr modulu ve smyku [GPa]	G_{mean}	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
průměrná hustota [kg/m ³]	ρ_{mean}	570	580	640	650	660	750	840	1080

NNK – ocelové konstrukce (11)

8

Lepené kombinované lamelové dřevo: Charakteristické hodnoty v MPa

Hodnoty lze aplikovat, pokud zkoušky podle EN 408 a EN1193 nedávají hodnoty menší.

Pozn.: pro homogenní lamelové dřevo (kde jsou všechny lamely ze stejné jakosti) jsou pevnosti označené písmenem h (např. GL 24h) a pevnosti mohou být vyšší (viz norma).

třídy pevnosti:		GL 24c	GL 28c	GL 32c	GL 36c
ohyb	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
pevnost v tahu	$f_{t,0,g,k}$	14	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,40	0,45	0,50
pevnost v tlaku	$f_{c,0,g,k}$	21	24	26,5	29
	$f_{c,90,g,k}$	2,4	2,7	3,0	3,3
pevnost ve smyku	$f_{v,g,k}$	2,2	2,7	3,2	3,8
modul pružnosti II	$E_{0,g,mean}$	11600	12600	13700	14700
	$E_{0,g,0,05}$	9400	10200	11100	11900
modul pružnosti \perp	$E_{90,g,mean}$	320	390	420	460
modul ve smyku	$G_{g,mean}$	590	720	780	850
průměrná hustota [kg/m ³]	$\rho_{g,k}$	350	380	410	430

NNK – ocelové konstrukce (11)

9

Globální analýza dřevěných konstrukcí

Výpočet vnitřních sil podle teorie 1. řádu se provádí pružnostní analýzou (LA) s průměrnými hodnotami modulů pružnosti E_{mean} , G_{mean} (viz předchozí tabulky).

Pozn: Pokud je průběh sil ovlivněn rozdělením tuhosti v konstrukci (např. kompozitní prvky s rozdílnými vlastnostmi podle závislosti na čase), použijí se konečné průměrné hodnoty:

$$E_{\text{mean, fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad G_{\text{mean, fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})}$$

kde součinitel dotvarování k_{def} podle třídy provozu:

třída provozu	1	2	3
rostlé dřevo	0,60	0,80	2,00
lepené lamelové dřevo	0,60	0,80	2,00

a ψ_2 je součinitel pro kvazistálou hodnotu rozhodujícího zatížení (je-li to stálé, uvažuje se $\psi_2 = 1$).

Výpočet vnitřních sil podle teorie 2. řádu se provádí pružnostní analýzou (GNA) s návrhovými hodnotami bez zohlednění délky trvání zatížení, tj.:

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad \text{kde } \gamma_M \text{ je uvedeno pro různé materiály}$$

dále (např. pro rostlé dřevo $\gamma_M = 1,3$,
pro lepené lamelové dřevo $\gamma_M = 1,25$).

Mezní stavy únosnosti (MSÚ)

Návrhová hodnota únosnosti (viz předešlé tabulky) obecně:

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

k_{mod} je modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti:
(má hodnoty 0,5 ÷ 1,1):

materiál	třída provozu	třída trvání zatížení				
		stálé	dlouhodobé	střednědobé	krátkodobé	okamžikové
rostlé dřevo	1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
	2	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
	3	0.5	0.55	0.65	0.7	0.9
lepené lamelové dřevo	1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
	2	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
	3	0.5	0.55	0.65	0.7	0.9

Pozn.:

Pro průřezy malých rozměrů (pro rostlé dřevo < 150 mm, pro lamelové dřevo < 600 mm) lze charakteristické hodnoty $f_{m,k}$ a $f_{t,0,k}$ zvětšit součinitelem k_h (viz ČSN EN 1995-1-1).

Základní případy namáhání

Dílčí součinitele materiálu a únosnosti γ_M :

rostlé dřevo	$\gamma_M = 1,3$
lepené lamelové dřevo	$\gamma_M = 1,25$
LVL, OSB	$\gamma_M = 1,2$
spoje	$\gamma_M = 1,3$
kovové desky s prolisovanými trny	$\gamma_M = 1,3$

Tah II s vlákny:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad \text{kde } \sigma_{t,0,d} \text{ je návrhové napětí v tahu II s vlákny.}$$

Pozn.: Pro tah \perp k vláknům musí být uvážen vliv velikosti prvku.

Tlak II s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad \text{kde } \sigma_{c,0,d} \text{ je návrhové napětí v tlaku II s vlákny.}$$

Tlak \perp k vláknům:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad \text{kde } \sigma_{c,90,d} \leq \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \text{ je návrhové napětí v tlaku}$$

\perp k vláknům v dotykové ploše,
 $k_{c,90}$ součinitel pro soustředěný tlak (1,0÷4,0).

Prostý šikmý ohyb (momentové namáhání):

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{a současně} \quad k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde $\sigma_{m,y,d}$ a $\sigma_{m,z,d}$ jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám,
 $k_m = 0,7$ pro obdélníkové průřezy, pro ostatní $k_m = 1,0$.

Smyk:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad \text{kde } \tau_d \text{ je návrhové napětí ve smyku.}$$

Pozn.: Síly působící do vzdálenosti výšky nosníku od podpory se do posouvající síly neuvažují.

Vzpěrný tlak:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c f_{c,0,d}$$

kde součinitel (vzpěrnosti) k_c je menší z hodnot pro vybočení $\perp y$ nebo $\perp z$:

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

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

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

kde pro rostlé dřevo $\beta_c = 0,2$; pro lepené lamelové dřevo $\beta_c = 0,1$.

Štíhlosti:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$$

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

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

Příčná a torzní stabilita při ohybu (klopení):

$$\sigma_{m,d} \leq k_{\text{crit}} f_{m,d}$$

kde součinitel (klopení) k_{crit} se určí podle poměrné štíhlosti:

$$k_{\text{crit}} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{\text{rel},m} \leq 0,75$$

$$k_{\text{crit}} = 1,56 - 0,75 \lambda_{\text{rel},m} \quad \text{pro } 0,75 < \lambda_{\text{rel},m} \leq 1,4$$

$$k_{\text{crit}} = \frac{1}{\lambda_{\text{rel},m}^2} \quad \text{pro } 1,4 < \lambda_{\text{rel},m}$$

a poměrná štíhlost

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} \quad \sigma_{m,\text{crit}} = \frac{M_{y,\text{crit}}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_t}}{l_{\text{ef}} W_y}$$

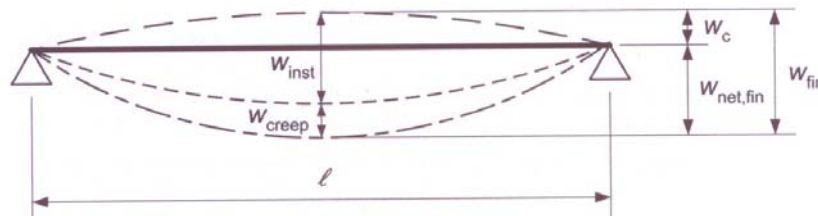
Pozn.: Pro obdélníkový průřez (bxh) z jehličnatého dřeva lze uvažovat $\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{0,78 b^2}{h l_{\text{ef}}} E_{0,05}$

Efektivní délka: pro prostý nosník konzervativně $l_{\text{ef}} = L$.
(podrobně viz Eurokód)

Mezní stavy použitelnosti (MSP)

Průhyby:

Omezuje se okamžitý průhyb: $w_{inst} \leq \ell/300 \div \ell/500$
 a konečný průhyb: $w_{fin} \leq \ell/150 \div \ell/300$



w_c ... možné nadvýšení
 w_{inst} ... okamžitý průhyb
 w_{creep} ... od dotvarování
 w_{fin} ... konečný průhyb

Okamžitý průhyb se vypočte pro charakteristickou kombinaci zatížení a průměrné hodnoty modulů pružnosti.

(obvykle = 0,3; pro sněh a vítr = 0)

Konečný průhyb se vypočte pro kvazistálou kombinaci zatížení (viz souč. ψ_2) s ohledem na dotvarování v čase. Pro prvky se stejným dotvarováním:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + \sum u_{fin,Q_i}$$

kde pro stálé zatížení G: $u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def})$ (k_{def} viz str. 10)

pro hlavní proměnné Q_1 : $u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def})$

ostatní proměnná Q_i : $u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def})$

Pozn.:

Pro průhyby prvků s průřezy se spoji ve stříhu se musí uvážit jejich prokluz. Do výpočtů potom vstupuje modul prokluzu K_{ser} [N/mm] jednoho stříhu daného spojovacího prostředku, jehož hodnotu uvádí pro různé spojovací prostředky Eurokód v čl. 7.1. Např. pro hřebíky (bez předvrtání) průměru d [mm] a dřevo hmotnosti ρ_m [kg/m³] platí:

$$K_{\text{ser}} = \frac{\rho_m^{1,5} d^{0,8}}{30}$$

např. pro: $\rho_m = 500$ [kg/m³]
 $d = 4$ mm
 $K_{\text{ser}} = 1129,6$ N/mm

Tato hodnota potom vstupuje do vztahu pro účinnou ohybovou tuhost dřevěného nosníku EI_{ef} , jehož průřez je sestaven z několika částí (Eurokód příloha B) →



Kmitání:

U stropů obytných budov se má provést posouzení pokud první vlastní frekvence $f_1 \leq 8$ Hz, limit však Eurokód neuvádí.

Pro vyšší frekvenci f_1 je naznačeno komplikované posouzení, i když vysoká frekvence evidentně není na závadu.