



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA

SPOLOČNE BEZ HRANÍC

DŘEVĚNÉ MOSTY

Základy navrhování dřevěných konstrukcí

NÁZOV PROJEKTU:

**Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov
v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne
(Kód projektu v ITMS2014+: 304011U647)**



VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

EDUMOS

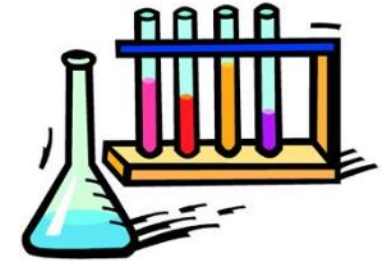
Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Chemické složení dřeva:

uhlík	49,5%	vodík	6,1%
kyslík	44,2%	dusík	0,2%

Tyto prvky vytvářejí organické látky:

celulóza	40 – 50%
hemicelulóza	20 – 30%
lignin	20 – 30%



Celulóza – makromolekulární látka, vznikající z produktu listů – glukózy. Celulóza má zásluhou znásobené řetězovité struktury vláknitou podobu. To je příčinou, že celulóza, a tím i dřevo, jsou ve směru vláken velmi pevné.

Hemicelulóza - Hemicelulózy jsou také makromolekulární látky, vznikají z různých cukrů a podobně jako celulóza jsou vláknité.

Lignin – amorfnní látka plnící hydrofobní funkci. Lignin prolíná celulózu a hemicelulózy, vyplňuje mezery. Chová se jako termoplast a plní ve dřevě funkci tmele látek vláknité struktury. Více ligninu obsahují listnáče, proto jsou tyto dřeviny těžší, ale také jsou po ohřátí tvárnější, plastičtější.

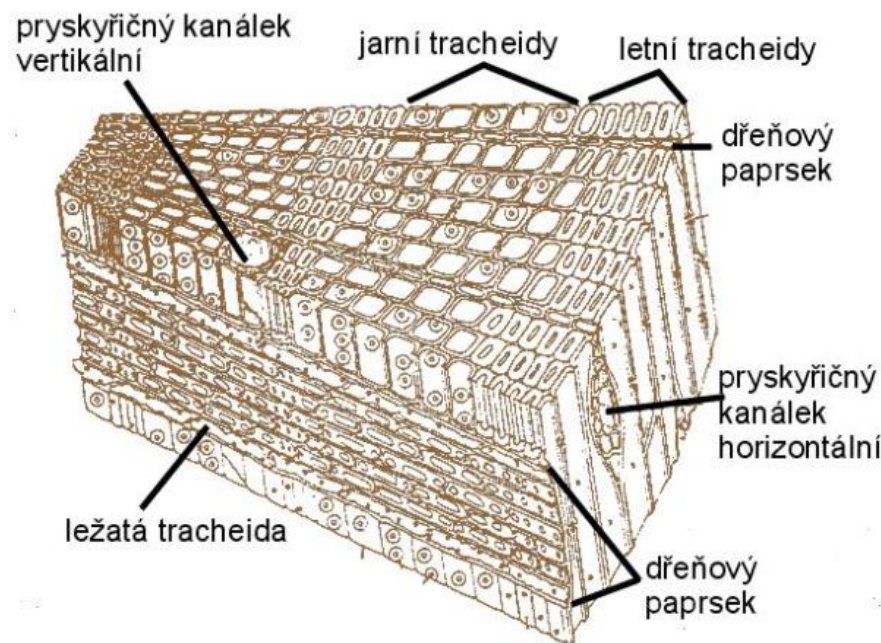
Dřevo jehličnanů – mikroskopická struktura

Jehličnaté dřeviny se vyznačují jednodušší anatomickou stavbou dřeva. Převládajícím buněčným elementem jehličnanů jsou tracheidy, které představují 90-94 % jehličnatého dřeva. Zbývající část dřeva tvoří parenchymatické buňky.

Jarní tracheidy – tenkostěnné buňky s četnými dvojtečkami plní vodící funkci.

Letní tracheidy - jsou tlustostěnné buňky vřetenovitého tvaru s ostrým zakončením a úzkými lumeny, které plní mechanickou (vyztužovací) funkci.

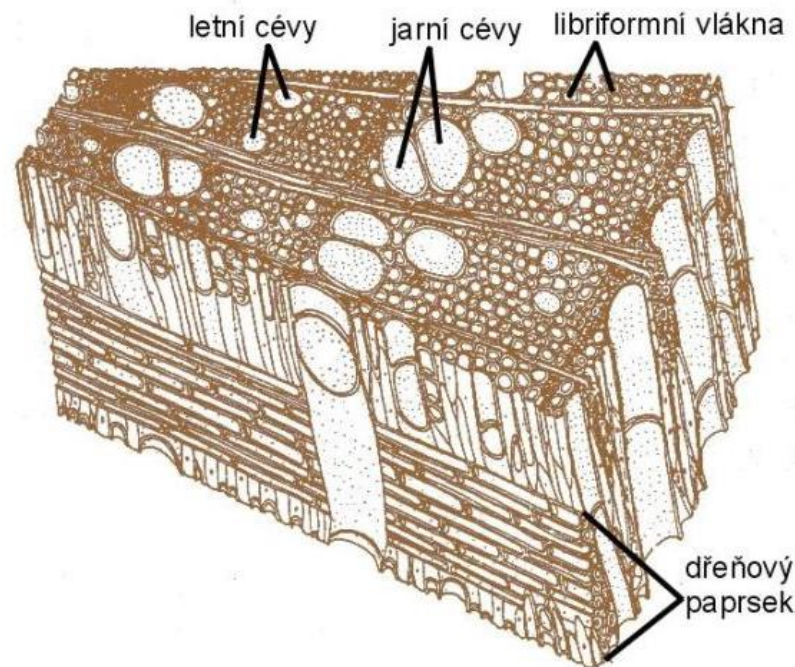
Parenchymatické buňky jehličnanů mají obdélníkový tvar. Slouží k vedení a ukládání zásobních látek (např. škrobu, tuků, bílkovin). Podílejí se na stavbě dřevných paprsků, pryskyřičných kanálků a podélného parenchymu.



Dřevo listnáčů – mikroskopická struktura

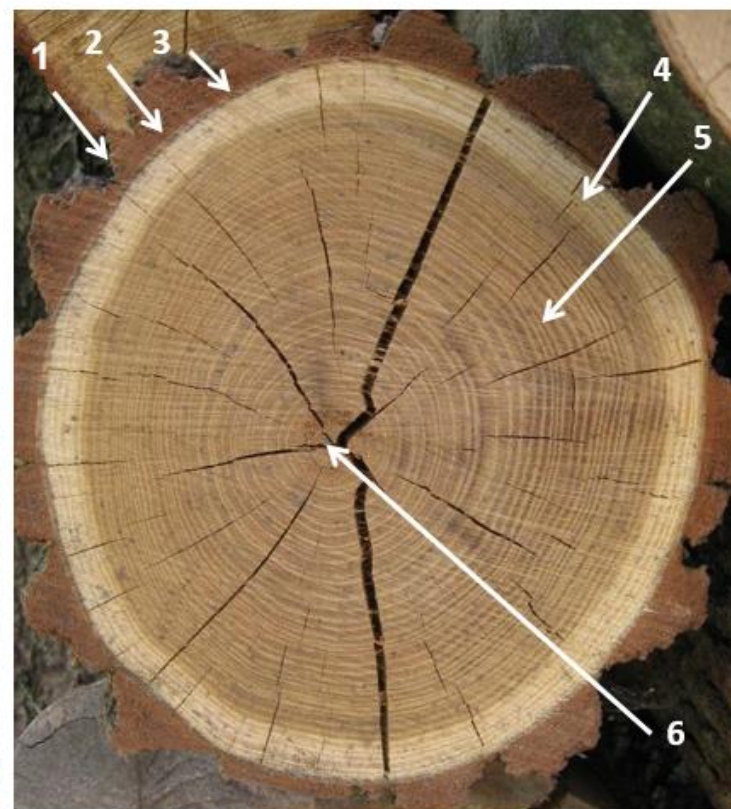
Dřevo listnatých dřevin je tvořeno větším počtem různých buněk, které jsou více specializovány a přizpůsobeny své funkci při porovnání s buňkami jehličnatých dřevin. Dřevo listnáčů obsahuje následující typy buněk:

- cévy (tracheje) – vodivá funkce,
- cévice (tracheidy) – vodivá a vyztužovací funkce,
- libriformní buňky (dřevní vlákna) – vyztužovací funkce,
- parenchymatické buňky – vodivá a zásobní funkce



Stavba dřeva – makroskopická struktura

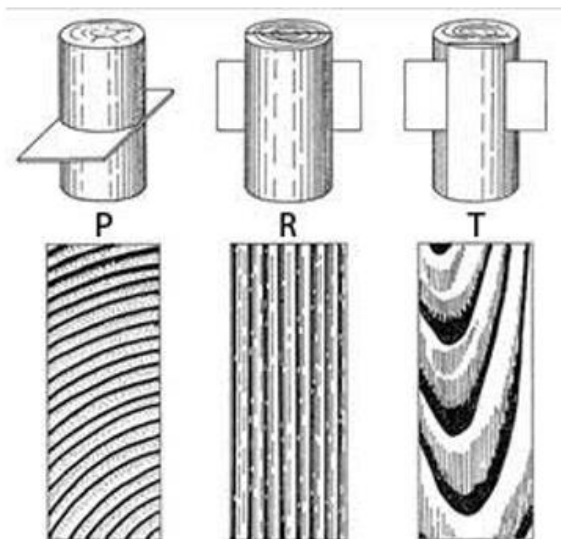
- 1) Kůra – nejsvrchnější část dřeva, chrání kmen před výkyvy teplot
- 2) Lýko – zásobuje strom živinami (produkty fotosyntézy)
- 3) Kambium – dělivé pletivo nacházející se mezi lýkem a dřevem (vznik nových dřevních buněk)
- 4) Běl – nevyzrálé dřevo, snadno podléhá hnilobě a škůdcům
- 5) Jádro – tmavší dřevo ve vnitřní části kmene (pevnější, tvrdší)
- 6) Dřeň – střed stromu
- 7) Letokruhy (jarní, letní)



Stavba dřeva

Dřevo je:

- Nehomogenní – v různých místech má různé vlastnosti.
- Anizotropní – má odlišné vlastnosti v různých směrech.
- Hygroskopické – má schopnost přijímat nebo odevzdávat vodu podle vlhkosti okolního prostředí.



Fyzikální vlastnosti

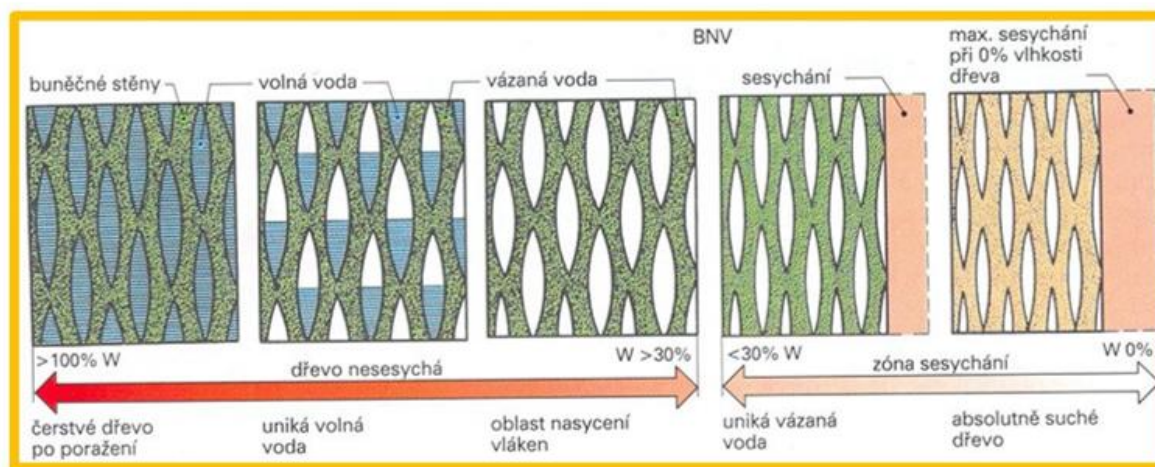
Vlhkost

- V dřevní hmotě se nachází 3 typy vod: voda volná, voda vázaná a voda chemicky vázaná.

Volná voda vyplňuje ve dřevě lumény buněk a mezibuněčné prostory. Ve dřevě je přítomna jen za předpokladu výskytu vázané vody – při vlhkosti nad 30% do maximální vlhkosti cca 150 – 200%.

Vázaná voda se nachází v buněčných stěnách. Ve dřevě se nachází při vlhkosti 0 – 30%.

Chemicky vázaná voda je součástí chemických sloučenin a ze dřeva se nedá odstranit sušením, ale jen spálením.

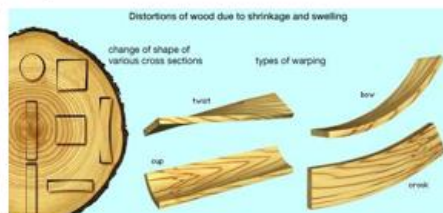
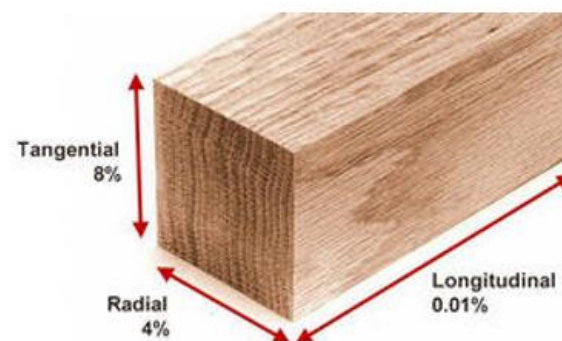


Fyzikální vlastnosti

Vlhkost (sesychání)

- Dřevo je hygroskopický materiál, tj. jeho obsah vlhkosti závisí na relativní vlhkosti vzduchu okolního prostředí.

Relativní vlhkost vzduchu	Obsah vlhkosti ve dřevě
0%	0%
25%	5%
50%	9%
75%	14%
99%	23-30%



Fyzikální vlastnosti dřeva

Objemová hmotnost

- Objemová hmotnost dřeva (hustota) je vlastnost plně závislá na jeho vlhkosti.
- Základní vlhkosti dřeva:
 - hustota dřeva v suchém stavu ($w = 0\%$)
 - hustota dřeva při 12% vlhkosti ($w = 12\%$)
 - hustota dřeva vlhkého ($w > 0\%$)
- Dle hustoty při 12% vlhkosti rozeznáváme dřevo s hustotou:
 - nízkou (do cca 540 kg.m^{-3}) – borovice, smrk, jedle, ...
 - střední (do cca 750 kg.m^{-3}) – buk, dub, modřín, ...
 - vysokou ($> 750 \text{ kg.m}^{-3}$) – habr, akát, ...



Mechanické vlastnosti dřeva

- Mechanické vlastnosti dřeva jsou vlastnosti pevnostního a pružnostního charakteru, které se liší v různých směrech k vláknům a udávají jeho schopnost odolávat účinkům vnějších sil. Tyto vlastnosti závisí na vlhkosti, délce trvání a charakteru zatížení dřeva a stanovují se především laboratorním destruktivním testováním dle platných normových postupů.

Pružnost dřeva

- Pružnost dřeva je vratná deformace způsobená působením vnějších sil. Modul pružnosti vyjadřuje napětí, při němž se v mezích pružnosti mění parametry dřeva (s rostoucím modulem pružnosti je potřebné větší napětí k vyvolání deformací).
- Dle způsobu namáhání rozlišujeme moduly pružnosti:
 - normálové – E (Youngův modul pružnosti) – tah, tlak, ohyb;
 - smykové – G – smyk, krut.

Mechanické vlastnosti dřeva

Pevnost dřeva

- Pevnost dřeva udává nevratnou deformaci prvku nebo jeho celkové porušení vlivem působení vnějších sil.

Základní pevnostní charakteristiky dřeva jsou:

- pevnost v tlaku (rovnoběžně a kolmo na vlákna)
- pevnost v tahu (rovnoběžně a kolmo na vlákna),
- pevnost v ohybu
- pevnost ve smyku.



Základy navrhování dřevěných konstrukcí

Normy

ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla -
Společná pravidla pro pozemní stavby, ČNI, 12/2006.

[ČSN EN 1995-1-1: ZMĚNA A1, ČNI, 05/2009.](#)

ČSN EN 1995-1-2: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla –
Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, 12/2006.

ČSN EN 1995-2: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 2: Mosty, ČNI, 12/2006.

ČSN EN 1990:2004 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

Základy navrhování dřevěných konstrukcí

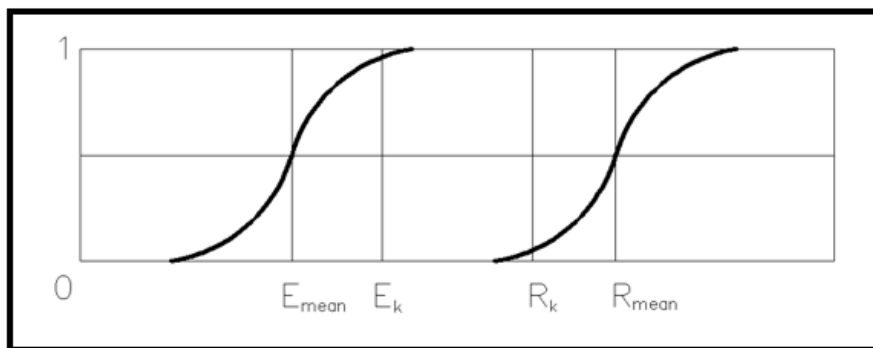
Navrhování a posuzování prvků a spojů metodou dílčích součinitelů:

$$E_d \leq R_d, \quad \text{kde (MSÚ)}$$

$$E_k \leq R_k, \quad \text{kde (MSP)}$$

E_d ... je návrhová hodnota kombinace účinků zatížení;

R_d ... návrhová hodnota odolnosti prvku/spoje.



Základy navrhování dřevěných konstrukcí

- Návrhová hodnota únosnosti se určí z následujícího vzorce:

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

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

- R_k, f_k ... je charakteristická hodnota únosnosti (pevnostní vlastnosti);
 k_{mod} ... modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti;
 γ_M ... dílčí součinitel vlastnosti materiálu.

Základní kombinace	
Rostlé dřevo	1,3
Lepené lamelové dřevo	1,25
LVL, překližka, OSB	1,2
Třískové desky	1,3
Vláknité desky, tvrdé	1,3
Vláknité desky, středně tvrdé	1,3
Vláknité desky, MDF	1,3
Vláknité desky, měkké	1,3
Spoje	1,3
Kovové desky s prolisovanými trny	1,25
Mimořádné kombinace	1,0

Základy navrhování dřevěných konstrukcí

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

Materiál	Třída provozu	Třída trvání zatížení				
		Stálé zatížení	Dlouhodobé zatížení	Střednědobé zatížení	Krátkodobé zatížení	Okamžikové zatížení
Rostlé dřevo	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Lepené lamelové dřevo	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Třída trvání zatížení	Řád souhrnného trvání charakteristického zatížení
Stálé	déle než 10 let
Dlouhodobé	6 měsíců – 10 let
Střednědobé	1 týden – 6 měsíců
Krátkodobé	méně než 1 týden
Okamžikové	

Třída provozu 1: vlhkost odpovídající teplotě 20°C a relativní vlhkosti okolního vzduchu přesahující 65% pouze několik týdnů v roce.

Třída provozu 2: vlhkost odpovídající teplotě 20°C a relativní vlhkosti okolního vzduchu přesahující 85% pouze několik týdnů v roce.

Třída provozu 3: Klimatické podmínky vedoucí k vyšší vlhkosti než třídě provozu 2.

Základy navrhování dřevěných konstrukcí

Tah rovnoběžně s vlákny

Musí být splněna tato podmínka:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$\sigma_{t,0,d}$... je návrhové napětí v tahu podél vláken;

Základy navrhování dřevěných konstrukcí

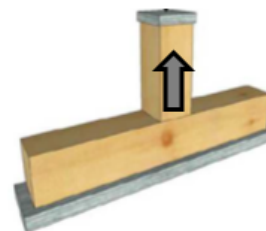
Tah kolmo k vláknům

Musí být splněna tato podmínka:

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d}$$

$\sigma_{t,90,d}$... je návrhové napětí v tahu kolmo k vláknům;

$f_{t,90,d}$... návrhová pevnost v tahu kolmo k vláknům.



Základy navrhování dřevěných konstrukcí

Tlak rovnoběžně s vlákny

- Musí být splněna tato podmínka:

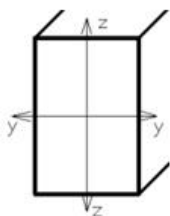
$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$\sigma_{c,0,d}$... je návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny;

$f_{c,0,d}$... návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny.

- Pozn.: je splněna podmínka, že obě:

- $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ a $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$.



Základy navrhování dřevěných konstrukcí

Ohyb

- Jednoosý – musí být splněna následující podmínka:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

Dvouosý – Musí být splněny následující podmínky:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

$\sigma_{m,y,d}$, $\sigma_{m,z,d}$... jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním os

Základy navrhování dřevěných konstrukcí

Ohyb – součinitel k_m

Součinitel k_m bere v úvahu redistribuci napětí a vliv nehomogenit materiálu v průřezu.

Pro rostlé dřevo, lepené lamelové dřevo a LVL se má hodnota k_m uvažovat následovně:

- pro obdélníkové průřezy $k_m = 0,7$
- pro ostatní průřezy $k_m = 1,0$

Základy navrhování dřevěných konstrukcí

Smyk

Pro smyk se složkou napětí rovnoběžně s vlákny právě tak jako pro smyk s oběma složkami napětí kolmo k vláknům musí být splněna následující podmínka:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

τ_d ... je návrhové napětí ve smyku;

$f_{v,d}$... návrhová pevnost ve smyku.

$$\tau_d = \frac{3}{2} \frac{V_{Ed}}{A}$$

$$A = b_{ef} \cdot h$$

Pro ověření smykové únosnosti prvků v ohybu se má uvážit vliv trhlin použitím účinné šířky prvku

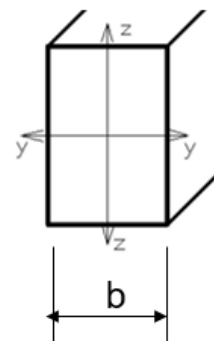
$$b_{ef} = k_{cr} b$$

b ... je šířka příslušného průřezu prvku;

k_{cr} ... součinitel trhlin pro únosnost ve smyku;

$k_{cr} = 0,67$ pro rostlé dřevo a lepené lamelové dřevo;

$k_{cr} = 1,0$ pro ostatní výrobky na bázi dřeva.



Stabilita prvků

Sloup

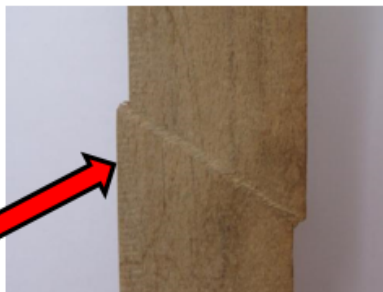
■ Jestliže oba $\lambda_{rel,z} > 0,3$ a $\lambda_{rel,y} > 0,3 \Rightarrow$ mají napětí splňovat podmínku tlaku nebo kombinaci tlaku a ohybu – vznik vzpěru (stabilita prvku):

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0$$

$f_{c,0,d}$... návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny;
 $f_{m,y,d}, f_{m,z,d}$... návrhová pevnost v ohybu k příslušným osám průřezu;
 $k_{c,y}, k_{c,z}$... součinitel vzpěru k příslušným osám průřezu;
 $\sigma_{c,0,d}$... návrhová hodnota napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny;
 $\sigma_{m,y,d}, \sigma_{m,z,d}$... návrhové hodnoty napětí v ohybu k příslušným osám průřezu.

porušení průřezu



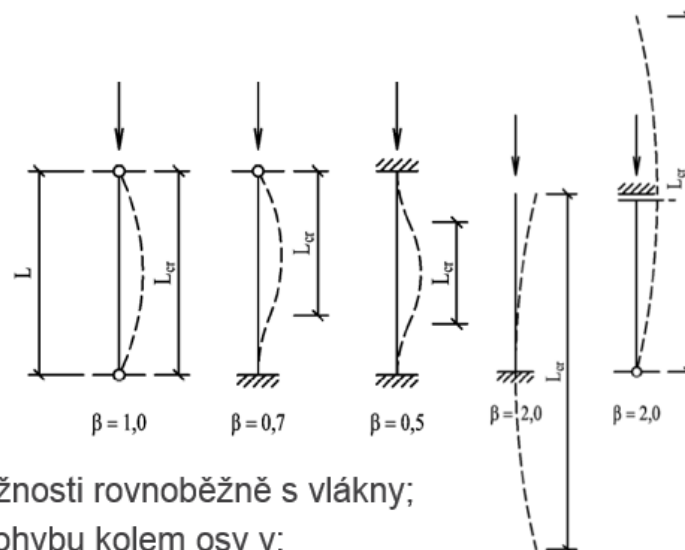
vybočení prvku



Stabilita prvků Sloup

Štíhlost ve vzpěru

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



$E_{0,05}$... je hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny;

λ_y a $\lambda_{rel,y}$... jsou štíhlostní poměry odpovídající ohybu kolem osy y;

λ_z a $\lambda_{rel,z}$... štíhlostní poměry odpovídající ohybu kolem osy z.

$$\lambda_y = \frac{L_{vzp,y}}{i_y} \quad \lambda_z = \frac{L_{vzp,z}}{i_z} \quad L_{vzp} = \beta \cdot L$$

$L_{vzp,y}$, $L_{vzp,z}$... vzpěrná délka k ose y a z;

i_y , i_z ... poloměr setrvačnosti k ose y a z.

Stabilita prvků

Sloup – součinitel vzpěru k_c

Jestliže oba $\lambda_{rel,z} > 0,3$ a $\lambda_{rel,y} > 0,3 \Rightarrow$ mají napětí splňovat podmínku tlaku nebo kombinaci tlaku a ohybu – vznik vzpěru (stabilita prvku):

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

$$k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2]$$

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

$$k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2]$$

Pozn.: Součinitel přímosti – $\beta_c = 0,2$ pro rostlé dřevo;
 $\beta_c = 0,1$ pro lepené lamelové dřevo a LVL.

Stabilita prvků

Nosník

Nosníky jsou prvky vystavené především **ohybu** a nebo **kombinaci ohybu a osového tlaku**. Napětí pak mají splňovat následující podmínky:

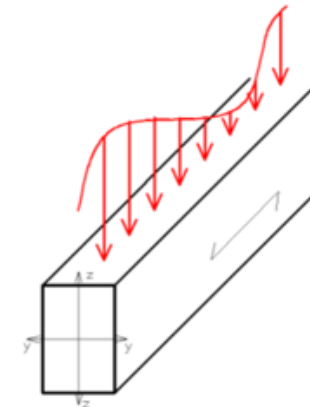
Působení pouze příčného zatížení:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \leq 1,0$$

$\sigma_{m,d}$... je návrhové napětí v ohybu;

$f_{m,d}$... návrhová pevnost v ohybu;

k_{crit} ... součinitel zohledňující redukovanou pevnost v ohybu v důsledku příčné a torzní nestability.



Stabilita prvků

Nosník

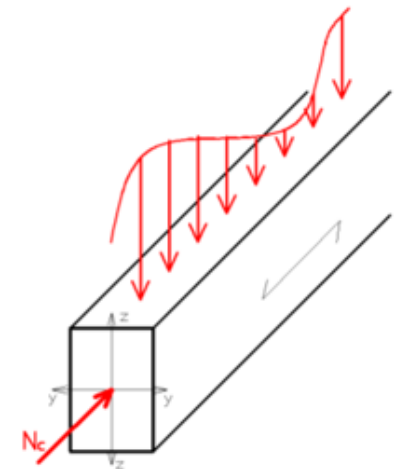
Při kombinaci momentu M_y k ose větší tuhosti a tlakové síly N_c mají napětí splňovat tuto podmínku:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1,0$$

$\sigma_{m,d}$... je návrhové napětí v ohybu;

$\sigma_{c,0,d}$... je návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny;

$f_{c,0,d}$... návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny.



Stabilita prvků

Nosník

Součinitel k_{crit} lze uvažovat 1,0 pro nosník, jehož tlačенý okraj je po celé délce zajištěn proti vybočení, a u kterého je zabráněno torznímu natočení v podpěrách;

Pro nosníky s počáteční příčnou amplitudou zakřivení nutno k_{crit} určit ze vztahu:

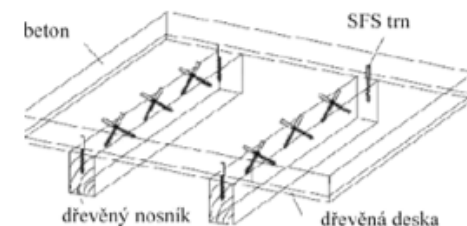
$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{pro } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1 / \lambda_{rel,m}^2 & \text{pro } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

- Poměrné štíhlosti v ohybu se mají uvažovat takto:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$\sigma_{m,crit}$... je kritické napětí v ohybu vypočtené dle klasické teorie stability s hodnotami 5% kvantilu tuhosti;

$f_{m,k}$... **charakteristická** hodnota pevnosti v ohybu.



Stabilita prvků

Nosník

Kritické napětí v ohybu pro obdélníkový průřez ze dřeva jehličnatých dřevin se má uvažovat takto:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78b^2E_{0,05}}{hl_{ef}}$$

$E_{0,05}$... je hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny;

ℓ_{ef} ... účinná délka nosníku závislá na podmínkách uložení a uspořádání zatížení;

b ... šířka nosníku;

h ... výška nosníku.

Typ nosníku	Typ zatížení	ℓ_{ef}/ℓ^a
Prostě podepřený	konstantní moment	1,0
	spojité zatížení	0,9
	soustředěná síla uprostřed rozpětí	0,8
Konzola	spojité zatížení	0,5
	soustředěná síla na volném konci	0,8

^a Poměr mezi účinnou délkou ℓ_{ef} a rozpětím ℓ platí pro nosník, který je zajištěn proti kroucení v podpěrách a zatěžován v těžišti. Jestliže zatížení působí na tlačném okraji nosníku, má se ℓ_{ef} zvýšit o $2h$ a může se snížit o $0,5h$ pro zatížení na taženém okraji nosníku.