

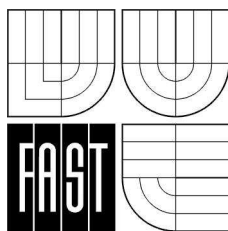
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA STAVEBNÍ

---

DOC. ING. BOHUMIL STRAKA, CSc.  
ING. KAREL SÝKORA

# DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE

MODUL BO03 – M02  
PRVKY DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



STUDIJNÍ OPORY  
PRO STUDIJNÍ PROGRAMY S KOMBINOVANOU FORMOU STUDIA

---

Jazyková korektura nebyla provedena, za jazykovou stránku odpovídá autor.

© Doc. Ing. Bohumil Straka, CSc, Ing. Karel Sýkora.

# OBSAH

<b>1 Úvod</b> .....	<b>4</b>
1.1 Cíle .....	4
1.2 Požadované znalosti .....	4
1.3 Doba potřebná ke studiu.....	4
1.4 Klíčová slova.....	4
<b>2 Zásady posuzování dřevěných prvků</b> .....	<b>5</b>
2.1 Mezní stavy použitelnosti .....	5
2.1.1 Prokluz spojů .....	7
2.1.2 Mezní hodnoty průhybu .....	8
2.2 Mezní stavy únosnosti.....	9
2.2.1 Prvky namáhané tahem .....	12
2.2.2 Prvky namáhané prostým tlakem.....	13
2.2.3 Pruty celistvého průřezu namáhané na vzpěr.....	14
2.2.4 Prvky namáhané ohybem .....	16
2.2.5 Prvky namáhané smykem .....	16
2.2.6 Prvky namáhané kroucením.....	18
2.2.7 Prvky namáhané osovým tahem a šikmým ohybem.....	18
2.2.8 Prvky namáhané osovým tlakem a šikmým ohybem.....	19
2.2.9 Klopení nosníků namáhaných ohybem.....	19
2.2.10 Nosníky proměnného průřezu a zakřivené nosníky.....	22
2.2.11 Dílce a prvky dřevěných konstrukcí .....	26
2.2.12 Ztužidla a výztužné prvky.....	30
<b>3 Příklady</b> .....	<b>33</b>
3.1 Centricky tažený celistvý prut - diagonála (tah    s vlákny) .....	33
3.2 Centricky tažený prut – dolní pás (tah    s vlákny).....	36
3.3 Kolmé opření sloupků, stojek, žeber stěnových panelů apod. na prahový trám, vazný trám, dolní či horní pás.....	38
3.4 Vzpěr celistvého prutu .....	40
3.5 Tlačný členěný prut s průběžnou vložkou.....	42
3.6 Tlačný členěný prut s průběžnými příložkami .....	48
3.7 Ohyb a smyk za ohybu.....	52
3.8 Lepený sedlový nosník (vazník) – rovinná úloha .....	53
<b>4 Kontrolní otázky</b> .....	<b>64</b>
<b>5 Literatura</b> .....	<b>65</b>

# 1 Úvod



Dřevo je jedním z prvních stavebních materiálů, které člověk používal už v nejstarších dobách. Dřevěné konstrukce se v současné době uplatňují zejména jako konstrukce zastřešení bytových, administrativních i výrobních budov, případně i církevních objektů. Oblast tradičního využití dřevěných konstrukcí představují halové objekty, zejména pro zemědělské účely, sportovní a rekreační objekty.

## 1.1 Cíle



Cílem tohoto modulu je :

- Popsat zásady posuzování dřevěných prvků
- Vysvětlit rozdíl mezi charakteristickými a návrhovými pevnostmi dřeva
- Naznačit postu při posuzování mezních stavů únosnosti a použitelnosti
- Uvést podklady pro výpočet dřevěných prvků
- Na číselných příkladech dokumentovat postup při posuzování dřevěných prvků

## 1.2 Požadované znalosti



Ke zvládnutí a pochopení následujícího učiva jsou *třeba znalosti stavební mechaniky a pružnosti a pevnosti*, mechanických vlastností materiálů, používaných na stavební konstrukce. Předpokládá se prostorová představivost.

## 1.3 Doba potřebná ke studiu



Celková optimální doba pro studium je velmi individuální a závisí zejména na intenzivnosti studia a soustředěnosti čtenáře na obsah textu.

Celková doba pro prostudování modulu tedy činí cca 9 až 12 hodin, pokud budete procházet i příklady, pak se doba prodlouží o tři až pět hodin.

## 1.4 Klíčová slova



Mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, charakteristické pevnosti, návrhové pevnosti, modifikační součinitel, okamžitá deformace, konečná deformace, dotvarování, prokluz spojů, prvky namáhané rovnoběžně s vlákny a kolmo na vlákna, prostý tlak, vzpěr prutů celistvých a členěných, štíhlost prutů, ohyb nosníků, smyk, kroucení, šikmý ohyb, klopení nosníků, zakřivené nosníky, tenkostěnné lepené nosníky, ztužidla.

## 2 Zásady posuzování dřevěných prvků

Dřevěné konstrukce i jednotlivé nosné prvky musí vyhovovat mezním stavům únosnosti i mezním stavům použitelnosti. Posouzení konstrukcí z hlediska mezních stavů se obvykle provádí teoretickým výpočtem ověřováním příslušných podmínek spolehlivosti (které se pak vztahují ke konkrétním mezním stavům - podmínky pro posouzení pevnosti, stability, deformace a pod.).



Při posuzování mezních stavů únosnosti se vždy porovnávají návrhové účinky zatížení, stanovené pro rozhodující kombinace zatížení s návrhovými hodnotami pevnosti materiálu nebo s hodnotami návrhové únosnosti prvků.

Návrhové účinky zatížení se vyjadřují v hodnotách návrhových napětí (např.  $\sigma_{t,0,d}$ ,  $\sigma_{c,0,d}$ ,  $\sigma_{m,d}$ ,  $\tau_d$ ,  $\tau_{tor,d}$  a pod.) nebo v hodnotách návrhových sil a momentů (v hodnotách příslušných návrhových únosností; např. při posuzování spojů;  $F_{t,d}$ ,  $F_{c,d}$ ,  $V_d$ ,  $M_{y,d}$  a pod.).

Návrhové hodnoty pevnosti (návrhové pevnosti) se stanovují z charakteristických hodnot pevnosti na základě obecného vztahu  $f_d = k_{mod} f_k / \gamma_M$  kde  $k_{mod}$  je modifikační součinitel zohledňující účinek délky trvání zatížení;  $f_k$  charakteristická hodnota pevnosti a  $\gamma_M$  je dílčí součinitel bezpečnosti pro vlastnosti materiálu podle NAD. Přiřazení návrhové pevnosti k vyšetřovanému způsobu namáhání je vystiženo znaky v indexu u základní značky (např.  $f_{t,0,d}$ ,  $f_{t,90,d}$ ,  $f_{c,0,d}$ ,  $f_{c,90,d}$ ,  $f_{m,d}$ ,  $f_{m,y,d}$ ,  $f_{m,z,d}$ ,  $f_{v,d}$  a pod.).

Návrhové únosnosti  $R_d$  spojovacích prostředků kolíkového typu se stanovují z odpovídajících návrhových hodnot pevnosti materiálu v otlacení  $f_{h,d}$  a návrhových hodnot momentů kluzu  $M_{y,d}$  na základě vztahů uvedených v ČSN EN.

### 2.1 Mezní stavy použitelnosti

Při posuzování mezních stavů použitelnosti se prokazuje, že deformace konstrukce způsobené účinky zatížení (účinky osových a smykových sil, ohybových momentů a prokluzu spojů) a účinky vlhkosti a dlouhodobosti zatížení nepřekročí příslušné meze.



Kombinace zatížení pro mezní stavy použitelnosti se uvažují podle vztahu

$$\sum G_{kj} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

význam označení je:

$G_{k,j}$	charakteristické hodnoty stálých zatížení
$Q_{k,1}$	charakteristická hodnota jednoho z nahodilých zatížení
$Q_{k,i}$	charakteristická hodnota ostatních nahodilých zatížení
$\psi_{1,i}$	odpovídající součinitelé

Okamžitá deformace  $u_{inst}$  od vlivu zatížení se stanovuje pro střední hodnotu příslušných modulů pružnosti ( $E_{mean}$ ,  $G_{mean}$ ) a okamžitý modul prokluzu pro mezní stav použitelnosti  $K_{ser}$  určený zkouškami podle metody pro určování  $K_{ser}$  uvedené v ČSN EN 26891.

Konečná deformace  $u_{fin}$  od vlivu zatížení se určuje ze vztahu

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}),$$

kde  $k_{def}$  je součinitel, který zohledňuje zvětšení deformace v čase následkem kombinovaného účinku dotvarování materiálu a vlhkosti podle tab.2.1.

Tab. 2.1: Hodnoty součinitele  $k_{def}$  pro dřevo, materiály na bázi dřeva a spoje

Materiál / třída trvání zatížení	Třída vlhkosti		
	1	2	3
Rostlé dřevo <sup>1)</sup> , lepené lamelové dřevo			
stálé	0,60	0,80	2,00
dlouhodobé	0,50	0,50	1,50
střednědobé	0,25	0,25	0,75
krátkodobé	0,00	0,00	0,30
Překližka			
stálé	0,80	1,00	2,50
dlouhodobé	0,50	0,60	1,80
střednědobé	0,25	0,30	0,90
krátkodobé	0,00	0,00	0,40
Třísková deska podle pr EN 312-6 <sup>2)</sup> a -7 OSB podle pr EN 300, jakost 3 a 4			
stálé	1,50	2,25	-
dlouhodobé	1,00	1,50	-
střednědobé	0,50	0,75	-
krátkodobé	0,00	0,30	-
Třísková deska podle pr EN 312-4 <sup>2)</sup> a -5 OSB podle pr EN 300, jakost 2 Vláknité desky podle pr EN 622-5			
stálé	2,25	3,00	-
dlouhodobé	1,50	2,00	-
střednědobé	0,75	1,00	-
krátkodobé	0,00	0,40	-
Vláknité desky podle pr EN 622-3			
stálé	3,00	-	-
dlouhodobé	2,00	-	-
střednědobé	1,00	-	-
krátkodobé	0,35	-	-
1) Pro rostlé dřevo zabudované mezi nebo blízko meze nasycení vláken, které pravděpodobně bude vysychat pod zatížením, se má hodnota $k_{def}$ zvýšit o 1,0. 2) Nemá se používat ve třídě vlhkosti 2.			

Jestliže se kombinace zatížení skládá ze zatížení patřících do různých tříd trvanlivých zatížení, má se příspěvek každého zatížení do celkového průhybu vypočítat odděleně při použití příslušných hodnot  $k_{def}$ .

Konečná deformace prvku složeného z materiálů, které mají odlišné vlastnosti dotvarování se má vypočítat užitím modifikovaných modulů pružnosti, které se určí tak, že hodnoty okamžitých modulů každého prvku podělíme příslušnou hodnotou  $(1 + k_{def})$ .

Pro dřevotřískové desky podle ČSN 49 2614 se doporučuje použít hodnoty  $k_{def}$  pro třískové desky podle prEN 312-4 a -5.

Pro vláknité desky podle ČSN 49 2612 se doporučuje použít hodnoty  $k_{def}$  pro vláknité desky podle prEN 622-3.

### 2.1.1 Prokluz spojů

Pro spoje provedené pomocí spojovacích prostředků kolíkového typu se určuje okamžitý modul prokluzu  $K_{ser}$  na rovinu stříhu spojovacího prostředku při provozním zatížení podle tab.15, kde charakteristická hodnota hustoty  $\rho_k$  je vyjádřena v  $[\text{kg/m}^3]$  a průměr  $d$  kolíkového prvku (hřebíku, svorníku, vruty) v  $[\text{mm}]$ .

Tab.2.2: Hodnoty modulu prokluzu  $K_{ser}$  pro spojovací prvky kolíkového typu  $[\text{N/mm}]$

Typ spojovacího prostředku	dřevo - dřevo deska - dřevo ocel - dřevo
Kolíky Vruty Hřebíky s předvrtáním	$\rho_k^{1,5} d/20$
Hřebíky bez předvrtání	$\rho_k^{1,5} d^{0,8}/25$
Sponky	$\rho_k^{1,5} d^{0,8}/60$

Jestliže jsou charakteristické hustoty dvou spojovaných prvků rozdílné ( $\rho_{k,1}$  a  $\rho_{k,2}$ ), potom se hustota  $\rho_k$  ve shora uvedených vzorcích uvažuje podle vztahu

$$\rho_k = \sqrt{\rho_{k,1} \rho_{k,2}} .$$

Konečný prokluz spoje  $u_{fin}$  je dán vztahem  $u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def})$ .

Konečná deformace spoje provedeného z prvků s různými vlastnostmi dotvarování ( $k_{def,1}$ ,  $k_{def,2}$ ) se má vypočítat podle vztahu

$$u_{fin} = u_{inst} \sqrt{(1 + k_{def,1}) (1 + k_{def,2})} .$$

Pro svorníkové spoje se okamžitý prokluz  $u_{inst}$  od provozního zatížení  $F$  uvažuje

$u_{inst} = 1 \text{ mm} + F / K_{ser}$ , modul prokluzu  $K_{ser}$  pro kolíky (tab.2.2).

Konečný prokluz svorníkového spoje  $u_{fin}$  je dán vztahem

$u_{fin} = 1 \text{ mm} + u_{inst} (1 + k_{def})$ , kde  $u_{inst}$  je okamžitý prokluz kolíku.

## 2.1.2 Mezní hodnoty průhybu

Průhyb nosníkového prvku vztažený k přímce spojující podpory  $u_{net}$  (obr.2.1) se určí ze vztahu

$$u_{net} = u_1 + u_2 - u_0 ,$$

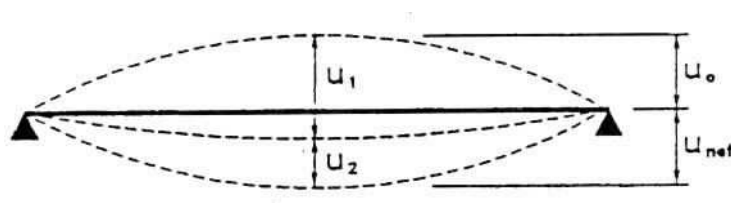
ve kterém značí

$u_0$  nadvýšení (pokud je prováděno),

$u_1$  průhyb od stálého zatížení,

$u_2$  průhyb od nahodilého zatížení

hodnoty průhybů se vypočítávají pro nejnepříznivější kombinaci zatížení.



Obr.2.1: Složky průhybu nosníku

Pokud zvláštní podmínky nestanoví jinak, doporučuje se posouzení průhybu:

- v případech, kdy je vhodné omezit okamžité průhyby  $u_{2,inst}$  od nahodilého zatížení

$$u_{2,inst} \leq l / 300 , \quad (\text{pro konzolu } u_{2,inst} \leq l / 150) ,$$

kde  $l$  je rozpětí nosníku nebo délka konzoly; hodnota okamžitého průhybu se určuje pro střední hodnotu modulů pružnosti  $E_{mean}$ , popřípadě i  $G_{mean}$ , pokud je nutno uvažovat také vliv smyku na velikost deformace;

- v případech, kdy je vhodné omezit konečný průhyb  $u_{fin}$ , doporučují se následující podmínky (pokud nejsou stanoveny jiné požadavky)

$$u_{2,fin} \leq l/200 \quad (\text{pro konzolu } u_{2,fin} \leq l/100),$$

$$u_{net,fin} \leq l/200 \quad (\text{pro konzolu } u_{net,fin} \leq l/100).$$

Příhradové nosníky:

Pro příhradové nosníky platí mezní hodnoty průhybu (viz výše uvedené podmínky) jak pro celé rozpětí příhradového nosníku, tak i pro průhyby jednotlivých prutů mezi styčníky.

## 2.2 Mezní stavy únosnosti

V tomto oddílu jsou uvedeny základní vztahy pro navrhování a posuzování prvků z rostlého dřeva nebo z lepeného lamelového dřeva.

Postupně jsou probrány základní způsoby namáhání, které se vyskytují při působení dřevěných prvků v konstrukcích.

V ČSN ENV 1995-1-1 jsou uvedeny příslušné podmínky pro ověření mezních stavů únosnosti. Návrhová napětí, která se v těchto podmínkách vyskytují (případně vnitřní síly a momenty), se stanovují na základě obvyklých metod stavební mechaniky a teorie pružnosti, obvykle na základě předpokladu o lineárním vztahu mezi napětím a poměrným přetvořením. Pro prvky namáhané současně tlakem a ohybem je možné použít nelineárního vztahu (pružně - plastického).

Tab. 2.3: Dílčí součinitelé zatížení podle NAD

Stálá zatížení	$\gamma_G$	1,2
Nahodilá zatížení		
- pro jedno nahodilé zatížení a jeho charakteristickou hodnotu	$\gamma_Q$	1,4
- pro ostatní nahodilá zatížení a jejich kombinační hodnoty	$\gamma_Q$	1,4

Tab. 2.4: Hodnoty součinitelů  $\psi_i$  pro pozemní stavby podle NAD

Zatížení	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Užitné zatížení staveb <sup>1)</sup>			
kategorie A: obytné	0,7	0,5	0,3
kategorie B: kanceláře	0,7	0,5	0,3
kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
kategorie D: obchody	0,7	0,7	0,6
kategorie E: sklady	1,0	0,9	0,8
Dopravní zatížení staveb			
kategorie F: váha vozidla $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
kategorie G: $30$ kN < váha vozidla $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
kategorie H: střechy	0,0	0,0	0,0
Zatížení sněhem	0,6 <sup>2)</sup>	0,2 <sup>2)</sup>	0,0 <sup>2)</sup>
Zatížení větrem	0,6 <sup>2)</sup>	0,5 <sup>2)</sup>	0,0 <sup>2)</sup>
Zatížení teplotou (kromě požáru) <sup>3)</sup>	0,6 <sup>2)</sup>	0,5 <sup>2)</sup>	0,0 <sup>2)</sup>
<sup>1)</sup> Pro kombinace užitných zatížení vícepodlažních staveb platí ENV 1991-2-1. <sup>2)</sup> Pro různé geografické oblasti se mohou žádat úpravy. <sup>3)</sup> Viz ENV 1991-2-5.			

Tab.2.5: Návrhové hodnoty zatížení pro použití v kombinacích zatížení

Návrhová situace	Stálá zatížení $G_d$	Nahodilá zatížení		Mimořádná zatížení $A_d$
		jedno $Q_d$	všechna ostatní	
Trvalá a dočasná	$\gamma_G G_k$	$\gamma_Q Q_k$	$\gamma_Q \psi_0 Q_k$	-
Mimořádná	$\gamma_{GA} G_k$	$\psi_1 Q_k$	$\psi_2 Q_k$	$\gamma_A A_k$

Návrhové hodnoty zatížení uvedené v tab. 2.5 se musí kombinovat podle následujících pravidel (v symbolickém vyjádření):

- Trvalé a dočasné návrhové situace (základní kombinace)

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

-Mimořádné návrhové situace

$$\sum \gamma_{G,A,j} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

kde značky jsou definovány následovně:

$G_{k,j}$  charakteristické hodnoty stálých zatížení

$Q_{k,i}$  charakteristická hodnota jednoho z nahodilých zatížení (dominantního)

$Q_{k,1}$  charakteristická hodnota ostatních nahodilých zatížení (nedominantních)

$A_d$  návrhová hodnota (předepsaná hodnota) mimořádného zatížení

$\gamma_{Gj}$  dílčí součinitel bezpečnosti stálých zatížení

$\gamma_{G,A,j}$  jako  $\gamma_{Gj}$ , ale pro mimořádné návrhové situace

$\gamma_{Q,i}$  dílčí součinitel bezpečnosti pro nahodilá zatížení

$\psi_0, \psi_1, \psi_2$  součinitel podle tab. 2.4

Zjednodušené kombinace pro konstrukce pozemních staveb:

- uvažuje-li se v kombinaci pouze jedno nejnepríznivější nahodilé zatížení (NAD)

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + 1,4 Q_{k,1}$$

- uvažují-li se v kombinaci všechna nepríznivá nahodilá zatížení (podle NAD)

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + 1,25 \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} ;$$

rozhoduje vztah, který dává větší hodnotu.

Do uvedených vztahů pro kombinace zatížení se musí zavádět ta stálá zatížení, která zvětšují účinek nahodilých zatížení (mají nepríznivé účinky) horními návrhovými hodnotami ( $\gamma_{G,\text{sup}} = \gamma_G = 1,2$ ), naopak stálá zatížení, která zmenšují účinek nahodilých zatížení (mají v kombinaci s nahodilými zatíženími příznivé účinky) dolními návrhovými hodnotami ( $\gamma_{G,\text{inf}} = 0,9$ ).

V rámci posouzení je nutno ověřit, že není překročen žádný z možných mezních stavů. Musí se uvažovat všechny reálné návrhové situace a zatěžovací stavy. Je nutno uvažovat všechny možné odchylky od předpokládaných směrů nebo umístění na konstrukci. Výpočty je nutno provádět s použitím vhodných a výstižných výpočtových modelů.

Při výpočtu podle mezního stavu celkových přemístění nebo přetvoření konstrukce se musí ověřit, že

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb} ,$$

kde  $E_{d,dst}$  a  $E_{d,stb}$  jsou návrhové účinky destabilizujících, resp. stabilizujících zatížení.

Při posuzování mezního stavu porušení nebo nadměrného přetvoření průřezu, prvku nebo spoje se musí ověřit, že

$$S_d \leq R_d$$

kde  $S_d$  je návrhová hodnota vnitřní síly nebo momentu

$R_d$  odpovídající návrhová odolnost průřezu, prvku nebo spoje.

## 2.2.1 Prvky namáhané tahem

Podle směru tahové osově síly (nebo tahového napětí) vzhledem ke směru vláken dřeva se rozlišují prvky namáhané tahem rovnoběžně s vlákny a prvky namáhané kolmo k vláknům (příčnými tahovými napětími). Dřívější označení směru vláken indexovými symboly  $\parallel$ , resp.  $\perp$  je nahrazeno přímo uvedením úhlu, pod kterým působí tahový účinek vzhledem k vláknům dřeva, tedy indexy  $\alpha_0$ , resp.  $\alpha_{90}$  nebo obecně indexem  $\alpha$ .

Nejmenší rozměr oslabeného průřezu dřevěných prvků má být alespoň 24 mm. U příhradových nosníků o rozpětí  $l \leq 10$  m s lepenými styčnickovými spoji může být nejmenší tloušťka prvků (po opracování) 22 mm.

Oslabená plocha průřezu nosných dřevěných prvků nemá být menší než 1800 mm<sup>2</sup>, případně než 1/2 původního neoslabeného průřezu.

Pro prvky namáhané tahem rovnoběžně s vlákny musí být splněna podmínka

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

kde  $\sigma_{t,0,d}$  je návrhové napětí v tahu;  $\sigma_{t,0,d} = N_{t,d} / A_{ef}$

$N_{t,d}$  návrhová osová síla, stanovená pro rozhodující kombinaci návrhových účinků zatížení,

$A_{ef}$  oslabená (účinná plocha) průřezu,

$f_{t,0,d}$  návrhová pevnost dřeva v tahu rovnoběžně s vlákny

$$f_{t,0,d} = k_{mod} f_{t,0,k} / \gamma_M$$

Prvky namáhané tahem kolmo k vláknům se posuzují podle podmínek

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \quad \text{pro rostlé dřevo,}$$

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} (V_0 / V)^{0,2} \quad \text{pro lepené lamelové dřevo,}$$

kde  $V$  je rovnoměrně namáhaný objem [m<sup>3</sup>] a  $V_0 = 0,01$  m<sup>3</sup> je srovnávací objem; uvedeným poměrem se bere v úvahu vliv velikosti namáhaného objemu.

Význam veličin ve vzorcích je analogický jako u tahu rovnoběžně s vlákny.

## 2.2.2 Prvky namáhané prostým tlakem

Jedná se o případy namáhání tlakem, při kterých nedochází ke ztrátě stability prvku. Výpočet prvků namáhaných na vzpěr je uveden dále v odst. 2.2.3. Posouzení dřevěných prvků na prostý tlak se obvykle provádí při výpočtu kontaktních napětí v místech otláčení, při přenosu tlakových sil tesařskými spoji a v podobných případech a také při posuzování příčných tlakových napětí u zakřivených prvků (v rámových rozích, u oblouků a pod.).

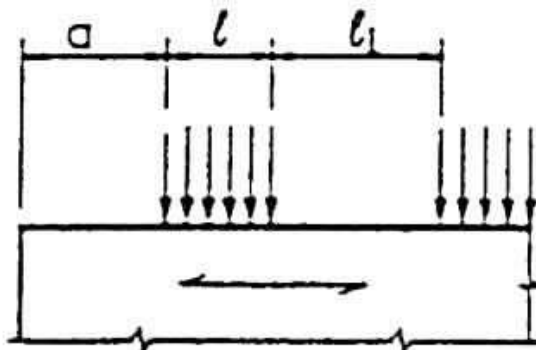
Pro prvky namáhané **tlakem rovnoběžně s vlákny** musí být splněna podmínka

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (\text{obecně musí být ověřena také podmínka stability}),$$

Pro prvky namáhané **tlakem kolmo k vláknům** musí být splněna podmínka

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} ,$$

kde se součinitelem  $k_{c,90}$  bere v úvahu, že zatížení je možné zvětšit, jestliže zatížená délka je krátká (obr.2.2, tab.2.6)



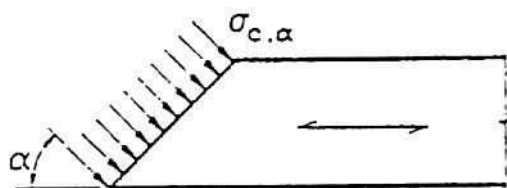
Obr.2.2: Tlak kolmo k vláknům

Tab.2.6: Hodnoty součinitele  $k_{c,90}$

	$l_1 \leq 150 \text{ mm}$	$l_1 > 150 \text{ mm}$ $a \geq 100 \text{ mm}$	$l_1 > 150 \text{ mm}$ $a < 100 \text{ mm}$
$l \geq 150 \text{ mm}$	1	1	1
$150 \text{ mm} > l \geq 15 \text{ mm}$	1	$1 + \frac{(150-l)}{170}$	$1 + \frac{a(150-l)}{17000}$
$15 \text{ mm} > l$	1	1,8	$1 + \frac{a}{125}$

Napětí v tlaku pod úhlem  $\alpha$  k vláknům (obr.2.3) má splňovat podmínku

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$



Obr.2.3: Napětí pod úhlem k vláknům

### 2.2.3 Pruty celistvého průřezu namáhané na vzpěr



V návrhu normy ČSN EN 1995-1-1 je problematika prutů celistvého průřezu namáhaných na vzpěr začleněna do oddílu, který pojednává o posuzování sloupů. Problematika výpočtu složených a členěných prutů namáhaných na vzpěr je zařazena až v příloze normy.

Poznámky z teorie prutů namáhaných na vzpěr:

Z hlediska praktického výpočtu prutů na vzpěr se rozlišují dva základní přístupy - výpočty vycházející z teorie stability ideálního prutu (stabilitní teorie) a výpočty založené na řešení prutu s předpokládanými počátečními imperfekcemi (pevnostní teorie). Stávající norma ČSN 73 1701 vychází ze stabilitní teorie - nepříznivý vliv vzpěru se ve výpočtu respektuje pomocí součinitele vzpěrnosti, který je dán poměrem kritického napětí a meze pevnosti dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny, což vede ke známým vztahům pro stanovení součinitele vzpěrnosti  $\varphi$  v závislosti na štíhlosti prutu  $\lambda$

$$\varphi = \frac{3100}{\lambda^2} \quad \text{pro štíhlosti } \lambda > 75 \text{ (lineární oblast),}$$

$$\varphi = 1 - 0,8 \left( \frac{\lambda}{100} \right)^2 \quad \text{pro štíhlosti } \lambda \leq 75 \text{ (nelineární oblast).}$$

Nová norma odvozuje výpočet z pevnostní teorie počátečně zakřiveného prutu (pomocí normou stanoveného počátečního zakřivení se vystihuje vliv imper-

fekcí skutečných prutů v konstrukcích). Vliv vzpěru, v podstatě vliv ohybového vybočování tlačného počátečně zakřiveného prutu, se ve výpočtu opět vystihuje součinitelem vzpěrnosti, který se označuje jako  $k_c$  (podle toho, ve kterém směru prut vybočuje je označení v indexu  $k_{c,y}$  - vybočení kolmo na hlavní osu  $y$ , resp. ve směru osy  $z$  jak je uvedeno v normě;  $k_{c,z}$  - vybočení kolmo na hlavní osu  $z$ , resp. ve směru osy  $y$ ).

Jak vyplývá z teorie řešení počátečně zakřiveného prutu, výsledkem výpočtu jsou vztahy, ve kterých se vyskytují veličiny odvozené na ideálním prutu (kritické napětí, štíhlost). Metodika výpočtu podle nové normy je tedy odlišná, ale v praktických výpočtech je opět nutno stanovit obvyklé veličiny:

- vzpěrnou délku prutu pro oba možné způsoby vybočení  $L_{cr,y}$ ,  $L_{cr,z}$  v závislosti na typu uložení konců prutu,

- příslušné štíhlosti 
$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}, \quad \lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z},$$

- kritická napětí 
$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2}, \quad \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2},$$

- relativní štíhlostní poměry ve stávající normě se součinitel vzpěrnosti určoval přímo pro štíhlostní poměr  $\lambda_y$ , resp.  $\lambda_z$ )

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}}, \quad \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}},$$

- součinitel vzpěrnosti

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

kde

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

$\beta_c$  je součinitel pro prvky splňující meze zakřivení stanovené normou (míra imperfekce); amplitudy zakřivení, měřené uprostřed mezi podporami musí být u prvků nosných konstrukcí omezeny na 1/500 délky pro lepené lamelové prvky a na 1/300 délky pro dřevo na stavební konstrukce

$$\beta_c = 0,2 \quad \text{pro rostlé dřevo,}$$

$$\beta_c = 0,1 \quad \text{pro lepené lamelové dřevo.}$$

## 2.2.4 Prvky namáhané ohybem

Při posuzování prvků namáhaných šikmým ohybem v obou hlavních rovinách musí být splněny následující podmínky (v případě namáhání jednoduchým ohybem pouze v jedné hlavní rovině je jedna ze složek normálového napětí nulová a vztahy se zjednoduší)

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

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

kde  $\sigma_{m,y,d}$  ,  $\sigma_{m,z,d}$  jsou návrhová napětí za ohybu k hlavním osám průřezu,

$f_{m,y,d}$  ,  $f_{m,z,d}$  odpovídající návrhové pevnosti za ohybu,

$k_m$  součinitel tvaru;

$k_m = 0,7$  pro obdélníkové průřezy,

$k_m = 1,0$  pro jiné průřezy.

Je rovněž nutné ověřit podmínku stability (vliv klopení nosníku).

## 2.2.5 Prvky namáhané smykem

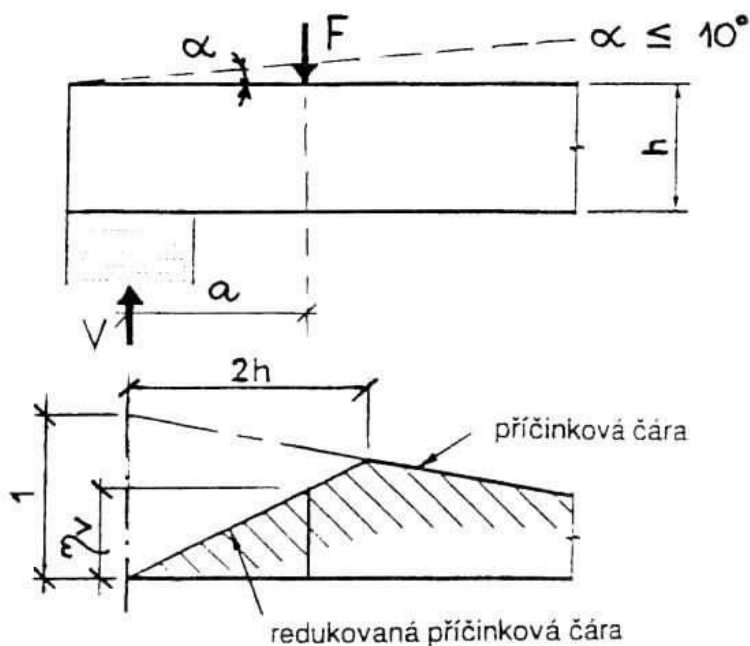
Obecně musí být splněna podmínka  $\tau_d \leq f_{v,d}$  ,

Kde  $\tau_d$  je návrhové smykové napětí,

$f_{v,d}$  návrhová pevnost ve smyku.

Na koncích nosníku může být redukován příčinek břemene  $F$  k celkové smykové síle do vzdálenosti menší než  $2h$  od podpory podle příčinkové čáry znázorněné na obr.2.4.

Tímto způsobem se respektuje zvýšená pevnost dřeva ve smyku při současném příčném tlakovém namáhání.



Obr. 2.4: Redukovaná příčinková čára pro zatížení osamělými břemeny

Pro nosníky se zářezem na koncích (obr.2.5) se má vypočítat smykové napětí pro účinnou (redukovanou) výšku  $h_e$ . Pro nosníky se zářezem na zatížené straně se má uvážit nepříznivý vliv koncentrace napětí v místě náběhu součinitelem  $k_v$ .

Podmínka pro posouzení nosníků se zářezem

$$\tau_d = 1,5 V / b h_e \leq k_v f_{v,d} ,$$

kde  $\tau_d$  je návrhové smykové napětí (vypočtené ze vztahu pro smyk za ohybu),

$V$  příčná smyková síla (posouvající síla),

$b, h$  šířka obdélníkového průřezu, redukováná výška (obr.2.6),

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

$k_v$  součinitel vlivu koncentrace napětí v oblasti zářezu

$k_v = 1$  pro nosníky se zářezem na nezatížené straně, pro nosníky se zářezem na zatížené straně jsou příslušné vztahy pro  $k_v$  v normě ČSN P ENV1995-1-1.



a) zářez na zatížené straně

b) zářez na nezatížené straně

Obr.2.5: Nosníky se zářezem na koncích

## 2.2.6 Prvky namáhané kroucením

Smykové napětí od kroucení musí splňovat podmínku  $\tau_{tor,d} \leq f_{v,d}$ ,

kde  $\tau_{tor,d}$  je návrhové smykové napětí od kroucení,

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

## 2.2.7 Prvky namáhané osovým tahem a šikmým ohybem

Při posouzení prvků musí být splněny podmínky:

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

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

hodnoty tvarového součinitele  $k_m$  podle odst. 2.2.4.

Při namáhání tahem a jednoduchým ohybem je jedna ze složek ohybového napětí nulová a vzorec se zjednoduší.

## 2.2.8 Prvky namáhané osovým tlakem a šikmým ohybem

Uvedeny jsou interakční vztahy pro posouzení prvků namáhaných na vzpěr a současně na ohyb v obou hlavních rovinách. V normě ČSN EN jsou navíc uvedeny podmínky pro posouzení šikmého ohybu a osového tlaku (bez vlivu vzpěru), které mají být rovněž splněny jak pro relativní štíhlost  $\lambda_{rel,y} \leq 0,5$ , tak pro  $\lambda_{rel,z} \leq 0,5$ ; s použitím vztahů pro relativní štíhlost  $\lambda_{rel}$  a kritické napětí  $\sigma_{c,crit}$ , které jsou uvedeny v odst. 2.2.3 lze odvodit, že se jedná o pruty malých štíhlostí  $\lambda = 29$  pro rostlé dřevo i lepené lamelové dřevo

$$\sigma_{c,crit} = \frac{f_{c,0,k}}{\lambda_{rel}^2} = \frac{20}{0,5^2} = 80 \text{ MPa} ; \quad \lambda = \pi \sqrt{\frac{E_{0,05}}{\sigma_{c,crit}}} = \pi \sqrt{\frac{6700}{80}} = 29;$$

$$\sigma_{c,crit} = \frac{f_{c,0,g,k}}{\lambda_{rel}^2} = \frac{24}{0,5^2} = 96 \text{ MPa} ; \quad \lambda = \pi \sqrt{\frac{E_{0,05,g}}{\sigma_{c,crit}}} = \pi \sqrt{\frac{8800}{96}} = 30;$$

ve značkách pro materiálové charakteristiky lepeného lamelového dřeva se používá doplňující index  $_g$  (gluelam).

Způsob namáhání prutů kombinací tlaku a ohybu se vyskytuje ve dřevěných konstrukcích velmi často (ohýbané nosníky přenášející současně účinek tlakové síly, sloupy, příčle a stojky rámtů, oblouky a další konstrukční prvky nebo části).

Návrhová napětí od tlaku (s uvážením vlivu vzpěru) a od ohybu musí splňovat následující podmínky :

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

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

kde význam jednotlivých veličin je shodný se vztahy uvedenými v odst.2.2.3 a v 2.2.4.

## 2.2.9 Klopení nosníků namáhaných ohybem

Norma ČSN P ENV 1995-1-1 obsahuje ustanovení, podle něhož se má při výpočtu napětí vyvolaných účinky příčných zatížení uvažovat také napětí za ohybu od vlivu počátečního zakřivení prvků, excentricit zatěžovacích účinků a vyvolaného vychýlení (vybočení). Jev, který nastává při vybočování nosníků z

roviny primárního ohybu a při němž vznikají sekundární ohybová napětí (popř. i napětí od kroucení při prostorové ztrátě stability nosníku současně ohybem a kroucením) je obvykle označován jako klopení (ve stávající normě ČSN 73 1701, čl.95).

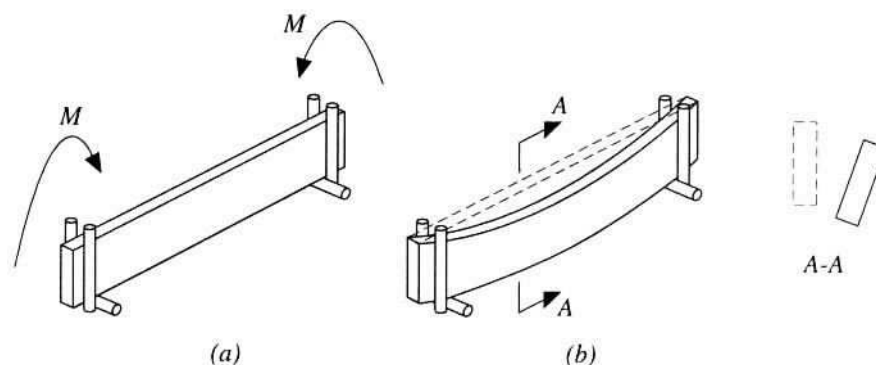
Dosavadní norma ČSN 73 1701 udává podmínky, při jejichž dodržení není potřeba posouzení nosníků na klopení provádět a v jiných případech odkazuje na teoretickou literaturu.

Postup pro výpočet nosníků na klopení podle nové normy ČSN P ENV 1995-1-1 je analogický jako podle normy DIN 1052. Vliv klopení se uvažuje pomocí součinitele  $k_{crit}$  (v normě DIN 1052  $k_B$ ), kterým se snižuje návrhová hodnota pevnosti dřeva v ohybu  $f_{m,d}$ . Součinitel  $k_{crit}$  (může být chápán v tradičním smyslu posuzování ocelových a dřevěných konstrukcí jako součinitel klopení) se stanovuje v závislosti na relativní štíhlosti  $\lambda_{rel,m}$  (podobně jako u vzpěru tlačných prutů v odst.2.2.3).

Návrhová napětí od ohybu při uvážení vlivu klopení musí splňovat podmínku

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

kde  $k_{crit}$  je součinitel, kterým se snižuje návrhová pevnost dřeva v ohybu s ohledem na příčnou stabilitu (součinitel vyjadřující nepříznivý vliv klopení); pro nosníky splňující meze počáteční příčné amplitudy zakřivení stanovené normou ČSN P ENV 1995-1-1 (amplitudy zakřivení prvků se uvažují uprostřed mezi podporami a nesmí překračovat v nosných konstrukcích hodnotu  $1/500$  délky prvku pro lepené lamelové prvky a  $1/300$  délky pro rostlé dřevo)



Obr.2.6: Klopení prostého nosníku při namáhání konstantním ohybovým momentem. (a) prostý nosník, (b) sklopený nosník.

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

kde

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

součinitel  $k_{crit}$  může být uvažován hodnotou 1 pro nosník (uvažovaný úsek), jehož tlačný okraj je po celé délce zajištěn proti vybočení a u kterého je zamezeno příčnému natočení v podporách (na koncích uvažovaného úseku).

$\sigma_{m,crit}$  je kritické napětí za ohybu vypočtené podle klasické teorie stability s 5 - percentilovými hodnotami tuhosti;

u nosníků obdélníkového průřezu lze kritické napětí za ohybu  $\sigma_{m,crit}$  přibližně určit ze vztahu

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi b^2 E_{0,05}}{l_{ef} h} \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{0,mean}}},$$

ve kterém jsou jednotlivé značky definovány následovně

$b$  šířka průřezu nosníku v mm,

$h$  výška průřezu nosníku v mm,

$l_{ef}$  vzpěrná délka nosníku (vzpěrná délka v klopení) v mm,

$E_{0,05}$  5- percentilní hodnota modulu pružnosti v Mpa,

$E_{0,05} = 6\,700$  Mpa pro rostlé dřevo třídy pevnosti SI,

$E_{0,05,g} = 8\,400$  Mpa pro lepené lamelové dřevo třídy GL24,

$E_{0,mean}$  střední průměrná hodnota modulu pružnosti v Mpa,

$E_{0,mean} = 10\,000$  MPa pro rostlé dřevo třídy pevnosti SI,

$E_{0,mean,g} = 10\,500$  Mpa pro lepené lamelové dřevo třídy GL24,


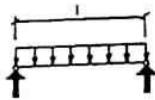
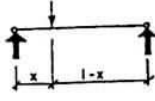

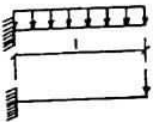
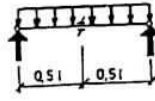
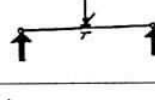
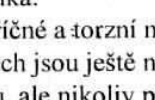
$G_{mean}$  střední průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku v Mpa;

$G_{mean} = 630$  Mpa pro rostlé dřevo třídy pevnosti SI,

$G_{mean,g} = 650$  Mpa pro lepené lamelové dřevo třídy GL24.

Vzpěrné délky nosníků v závislosti na způsobu uložení konců nosníků v místech podpor se doporučuje určit podle tab.2.7 (tabulka je převzata z NAD).

Tab.2.7: Poměr vzpěrné délky k délce nosníku  $l_{ef}/l$ 

Typ nosníku a zatížení	Zatížení působí na nosník vzhledem k výšce nosníku		
	nahoře	ve středu	dole
		1	
	0,95	0,9	0,85
	$0,8 / \alpha$	$0,75 / \alpha$ $\left( \alpha = 1,35 - 1,4 \frac{x}{l} \frac{l-x}{l} \right)$	$0,7 / \alpha$
		2	
		1,2	
		1,7	
	0,4	0,4	0,35
		0,25	

Poznámka:  
Proti příčné a torzní nestabilitě (klopení) jsou nosníky zajištěny v podpěrách. V posledních dvou případech jsou ještě nosníky uprostřed rozpětí zajištěny proti příčnému posunutí horního okraje nosníku, ale nikoliv proti svislému posunutí a zkroucení nosníku.

### 2.2.10 Nosníky proměnného průřezu a zakřivené nosníky

Nová norma ČSN P ENV 1995-1-1 podstatně rozšiřuje problematiku výpočtu napětí vyplývajících z tvarových změn lepených nosníků ve srovnání s přímými nosníky konstantního průřezu. Stanovuje způsob určování napětí vlivem náběhu u pultových nosníků, dále napětí u sedlových, zakřivených a vyklenuých nosníků (analogická ustanovení a obdobné vztahy pro výpočet těchto napětí obsahuje také norma DIN 1052).

V dosavadní normě ČSN 73 1701 je v tomto smyslu uveden výpočet radiálních napětí v zakřivených prvcích (čl. 108) a přibližný výpočet průhybu nosníků sedlového tvaru včetně vlivu příčných smykových sil (čl.160, 161).

Při výpočtu nosníků pultového tvaru s jednostranným náběhem a obdélníkovým průřezem se uvažuje vliv náběhu (pro úhel náběhu  $\alpha \leq 10^\circ$ ) na hodnoty

napětí rovnoběžných s povrchem (obr.2.7) podle následujících vztahů - hodnoty návrhových normálových napětí potřebné pro posouzení se určí z výrazů

$$\sigma_{m,0,d} = (1 + 4 \operatorname{tg}^2 \alpha) \frac{6M_d}{b h^2} \quad \text{pro napětí normálová na dolním okraji,}$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} = (1 - 4 \operatorname{tg}^2 \alpha) \frac{6M_d}{b h^2} \quad \text{pro napětí normálová na horním okraji.}$$

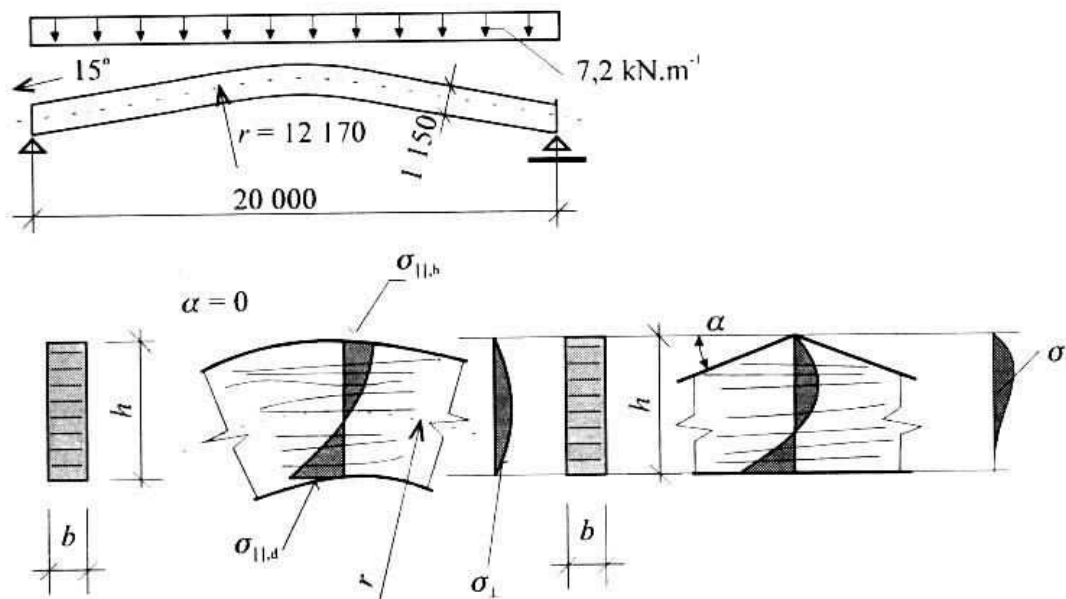
V krajních vláknech na straně náběhu má být splněna podmínka:

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

kde návrhová pevnost dřeva na šikmém okraji  $f_{h,\alpha,d}$

$$f_{m,\alpha,d} = \frac{f_{m,d}}{\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \text{pro případ, že napětí v tahu jsou rovnoběžná s okrajem náběhu,}$$

$$f_{m,\alpha,d} = \frac{f_{m,d}}{\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \text{pro případ, že napětí v tlaku jsou rovnoběžná s okrajem náběhu.}$$

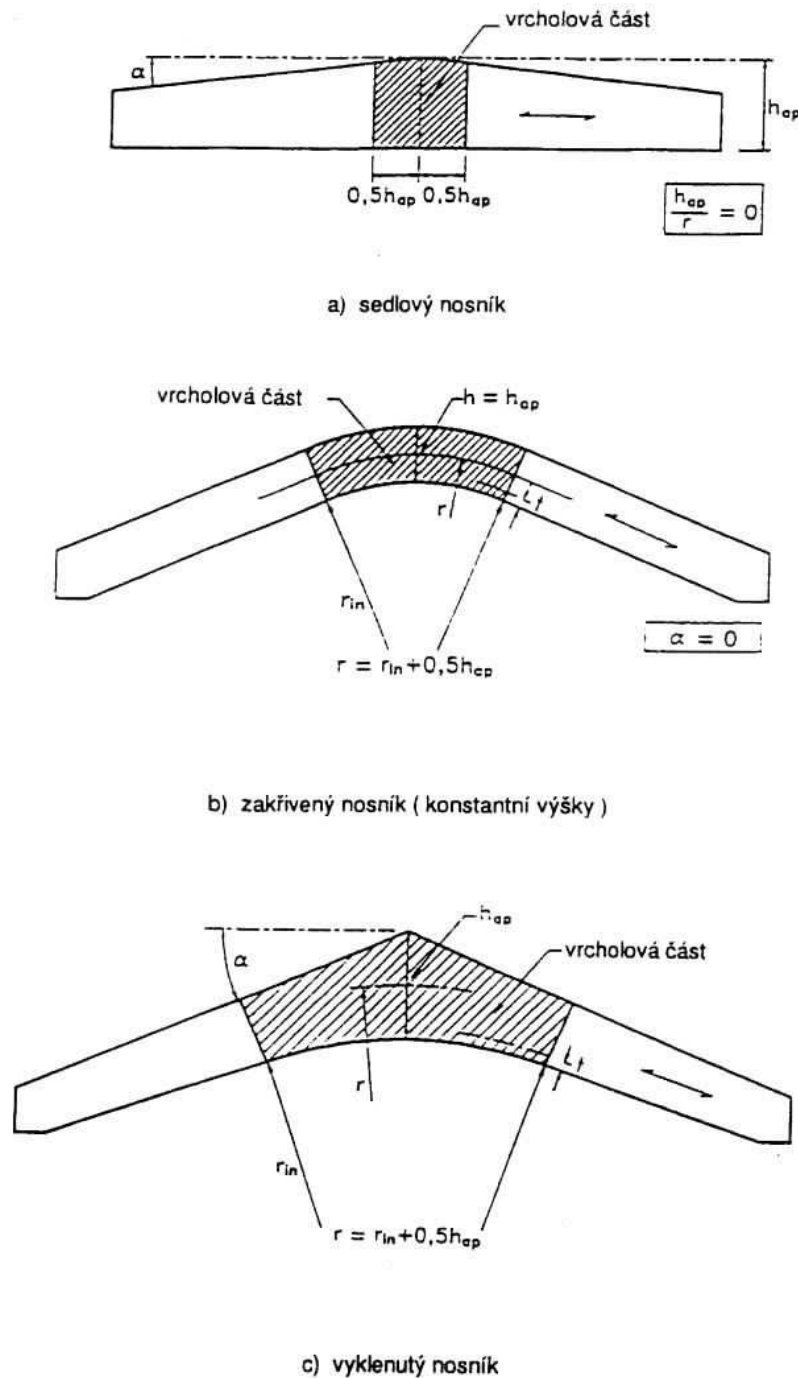


Obr.2.7: Napětí v krajních vláknech zakřiveného nosníku

Ve vrcholové části sedlových, zakřivených a vyklenutých nosníků (obr.2.7, 2.8) musí návrhové napětí za ohybu splňovat podmínku

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

kde  $k_r$  je součinitel, kterým se snižuje pevnost dřeva s ohledem na ohyb lamel při výrobě; pro sedlové nosníky  $k_r = 1$ , pro zakřivené a vyklenuté nosníky  $k_r = 1$  pro  $r_{in}/t \geq 240$ ,  
 $k_r = 0,76 + 0,001 r_{in}/t$  pro  $r_{in}/t < 240$ ,  
kde  $r_{in}$  je poloměr vnitřního povrchu nosníku,  $t$  je tloušťka lamely.



Obr.2.8: K výpočtu napětí sedlových, zakřivených a vyklenutých nosníků

Normálové napětí ve vrcholu nosníků (obr. 2.8) se vypočte ze vztahu

$$\sigma_{m,d} = k_l \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2},$$

kde  $h_{ap}$ ,  $r$  jsou geometrické hodnoty definované na obr. 2.8,

$k_l$  součinitel, který závisí na hodnotách  $h_{ap}$ ,  $r$  a úhlu sklonu  $\alpha$  (vztah pro výpočet tohoto součinitele je uveden v normě).

Důležité je posouzení příčných normálových napětí, která vznikají působením ohybových momentů v oblastech zakřivení nebo zalomení nosníků. Tato napětí působí ve směru kolmo k vláknům a mohou být podle účinku ohybových momentů tahová (spáry mezi lamelami se od sebe odtahují) nebo tlaková (spáry mezi lamelami se k sobě přitlačují). Pro lepené lamelové nosníky jsou nebezpečná zejména tahová příčná napětí, která jsou při větších intenzitách jednou z častých příčin delaminace spár lepených nosníků.

Maximální napětí v tahu kolmo k vláknům ve vrcholové části nosníků má splňovat podmínku

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \left( \frac{V_0}{V} \right)^{0,2} f_{t,90,d},$$

kde  $k_{dis}$  součinitel, který zohledňuje účinek rozdělení napětí ve vrcholové části;

$k_{dis} = 1,4$  pro sedlové a zakřivené nosníky,

$k_{dis} = 1,7$  pro vyklenuté nosníky,

$V_0$  srovnávací objem rovnající se  $0,01 \text{ m}^3$ ,

$V$  objem vrcholové části nosníku v  $\text{m}^3$  (viz obr.2.8);  $V$  se uvažuje maximálně hodnotou  $2 V_b / 3$ , kde  $V_b$  je celkový objem nosníku.

$\sigma_{t,90,d}$  návrhové napětí v tahu kolmo k vláknům vyvolané ohybovým momentem, které se určí ze vztahu

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2},$$

kde  $k_p = k_5 + k_6 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2$ ,

příčemž

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha + 2,6 \tan^2 \alpha$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha - 4 \tan^2 \alpha .$$

$h_{ap}$ ,  $r$  geometrické hodnoty definované na obr. 2.8,

$b$  šířka průřezu nosníku,

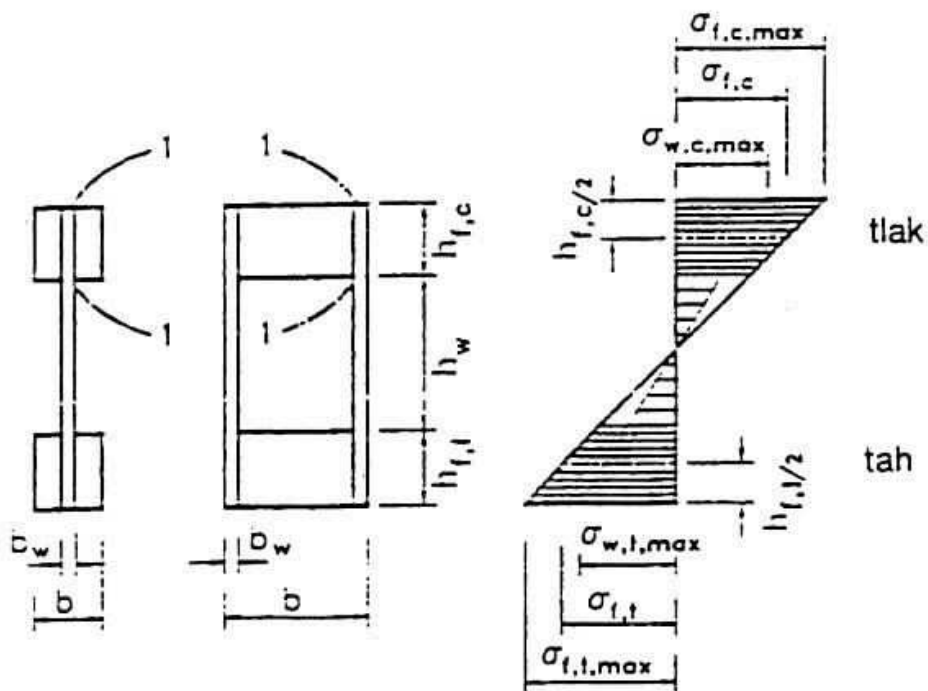
$M_{ap,d}$  návrhová hodnota ohybového momentu ve vrcholovém průřezu vypočtená pro nejnepříznivější kombinaci návrhových zatížení podle kombinačních vzorců uvedených v odst. 2.2.

### 2.2.11 Dílce a prvky dřevěných konstrukcí

V normě ČSN P ENV 1995-1-1 jsou dále uvedeny obecné zásady a podmínky pro posuzování dřevěných dílců a prvků. Vzhledem k omezenému rozsahu tohoto textu je uvedena zásadní problematika o kterou se v normě jedná a stručná charakteristika.

#### Tenkostěnné lepené nosníky

Předpoklady výpočtu návrhových napětí se neliší od předpokladů výpočtu těchto nosníků podle stávající normy ČSN 73 1701. Rovněž se předpokládá lineární průběh poměrného přetvoření po výšce nosníku (obr. 2.9).



Obr.2.9: Tenkostěnné nosníky

V rámci výpočtu se posuzují (v principu obdobně jako podle dosavadní normy):

- Normálová napětí v pásech nosníku vzhledem k příslušným návrhovým pevnostem dřeva v ohybu, v tlaku s uvážením vlivu vzpěru, v tahu podle podmínek

$\sigma_{f,c,max,d} \leq f_{m,d}$  extrémní návrhové napětí v tlaku ve vlákněch pásu,

$\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{m,d}$  extrémní návrhové napětí v tahu ve vlákněch pásu,

$\sigma_{f,c,d} \leq k_c f_{c,0,d}$  průměrné návrhové napětí v tlaku v pásu,

$\sigma_{f,t,d} \leq f_{t,0,d}$  průměrné návrhové napětí v tahu v pásu,

$k_c$  součinitel zohledňující příčnou nestabilitu nosníku může být přibližně určen podle vztahů uvedených u vzpěru prutů (odst. 2.2.3), přičemž se uvažuje štíhlost

$$\lambda_y = \frac{l_c}{b} \sqrt{12},$$

kde  $l_c$  je vzdálenost mezi body, ve kterých je zamezeno vybočení tlačенého pásu,  $b$  je šířka průřezu pásu (obr. 2.9).

- Normálová napětí ve stěnách musí splňovat podmínky:

$\sigma_{w,c,d} \leq f_{c,w,d}$  posouzení návrhového napětí v tlaku vzhledem k návrhové pevnosti materiálu stěny v tlaku za ohybu v rovině stěny,

$\sigma_{w,t,d} \leq f_{t,w,d}$  posouzení návrhového napětí v tahu vzhledem k návrhové pevnosti materiálu stěny v tahu za ohybu v rovině stěny.

Dále je nutno u tenkostěnných nosníků posoudit :

- Pevnost podélných styků
- Stabilitu štíhlých stěn (boulení stěn); vztahy pro přibližné posouzení jsou uvedeny v normě ČSN P ENV 1995-1-1
- Extrémní hodnotu návrhového smykového napětí
- Návrhové smykové napětí v lepené spáře (označené na obr. 2.9 jako 1 - 1), podle vztahů uvedených v normě.

### Lepené žebrové panely

Předpokládá se opět lineární průběh poměrného přetvoření po výšce panelu. Je nutno uvažovat nerovnoměrné rozdělení napětí v pláštích s ohledem na boulení a ochabnutí smykem.

V normě jsou uvedeny vztahy pro určení účinných šířek vnějších vrstev opláštění panelů (spolupůsobící šířky)  $b_{ef}$  a maximální účinné šířky plášťů s ohledem na smykové ochabnutí a boulení pláště (tabulka v normě pro deskové materiály na bázi dřeva).

### Nosníky s mechanickými spoji

Jestliže je průřez nosníku nebo konstrukčního prvku složen z několika částí spojených mechanickými spojovacími prostředky, musí se uvažovat vliv prokluzu ve spojih.

Okamžitý modul prokluzu  $K_u$  jednoho stříhu spojovacích prostředků kolíkového typu se má pro výpočet mezního stavu únosnosti uvažovat podle vztahu

$$K_u = 2 K_{ser} / 3 ,$$

kde hodnoty  $K_{ser}$  jsou uvedeny v tab. 2.2.

Metoda pro výpočet únosnosti mechanicky spojovaných nosníků je uvedena v příloze normy ČSN P ENV 1995-1-1 (Příloha B).

Norma dále obsahuje obecné zásady a ustanovení, která je nutno dodržet při navrhování a posuzování příhradových nosníků, střešních a stropních deskových konstrukcí, stěnových konstrukcí (stěnových panelů).

### Rámové a obloukové konstrukce

Zásadním ustanovením nové normy ve srovnání s dosavadní normou je, že při výpočtu rovinných nosných konstrukcí (rámů a oblouků) se musí vzít v úvahu napětí způsobená geometrickými a konstrukčními imperfekcemi (odchylkami mezi ideální výpočtovou geometrickou osou a proměnným těžištěm průřezu, např. vlivem materiálových nestejnorodostí a jimi vyvolané výchylky).

Může se tak učinit tím, že se provede lineární výpočet druhého řádu s následujícími předpoklady:

- má se předpokládat, že imperfektní tvar konstrukce odpovídá počáteční deformaci, která je v přibližné afinitě k rozhodujícímu tvaru deformace; imperfektní tvar se zavede na základě úhlu zkosení  $\phi$  na konstrukci nebo její rozhodující části spolu s počátečním zakřivením ve tvaru sinusoidy mezi styčníky konstrukce, které odpovídá maximální výstřednost  $e$  (obr. 2.10);

- hodnota  $\phi$  v radiánech se má jako minimální uvažovat

$$\phi = 0,005 \quad \text{pro } h \leq 5 \text{ m},$$

$$\phi = 0,005 \sqrt{\frac{5}{h}} \quad \text{pro } h > 5 \text{ m},$$

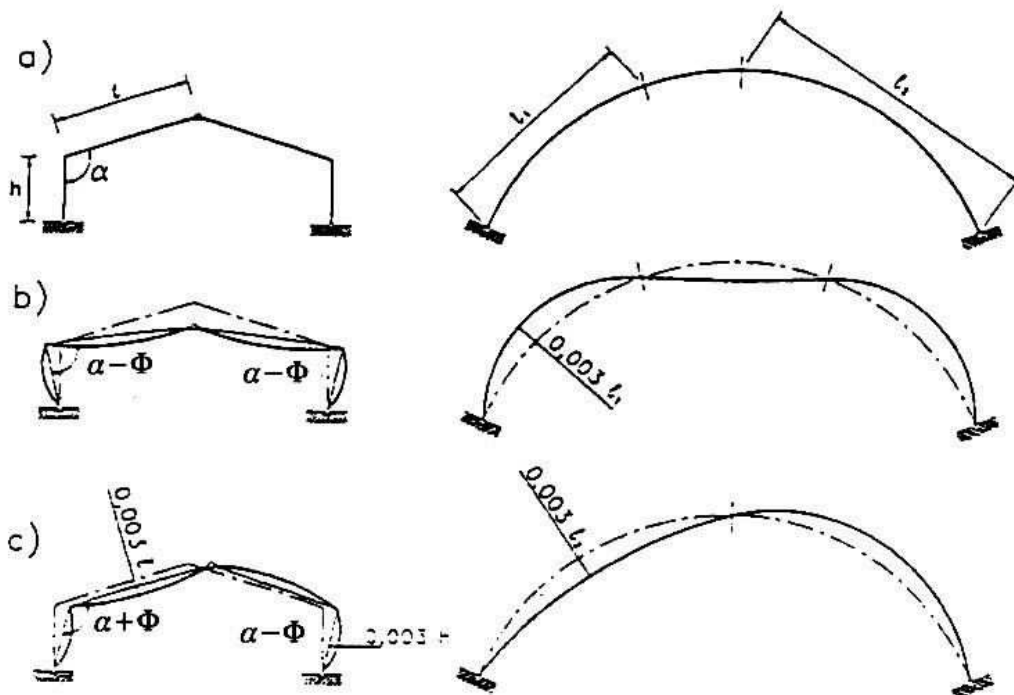
kde  $h$  je výška konstrukce nebo délka prvku v m;

- hodnota výstřednosti  $e$  se má jako minimální uvažovat  $e = 0,003 l$ ,  
kde  $l$  je délka rozhodujících úseků (obr. 2.10).

Výchylka se má vypočítat užitím hodnoty modulu pružnosti

$$E = E_{0,05} \frac{f_{m,d}}{f_{m,k}}$$

Příklady předpokládaných počátečních výchylek rámců a oblouků jsou znázorněny na obr. 2.10.



Obr. 2.10: Příklady předpokládaných počátečních výchylek pro nosné konstrukce: a) rámcové a obloukové konstrukce, b) pro symetrická zatížení c) pro nesymetrická zatížení

## 2.2.12 Ztužidla a výztužné prvky

Dřevěné konstrukce musí být navrženy tak, aby splňovaly požadavky prostorové tuhosti. Konstrukce jako celek musí být schopna přenášet všechny účinky zatížení působícího obecně v prostoru až do podpor (přitom musí vyhovovat všem podmínkám mezních stavů).

Z hlediska prostorové skladby rozlišujeme tradičně v oboru dřevěných konstrukcí dva základní typy konstrukcí:

- Konstrukce sestavené z rovinných dílců (příčných vazeb), jejichž prostorová tuhost je zabezpečena ztužidly
- Konstrukce prostorové, jejichž prostorová tuhost vyplývá přímo z celkové skladby konstrukce jako prostorového útvaru (např. prostorové prutové konstrukce, kopule, skořepiny, klenby, lomenice a další typy).

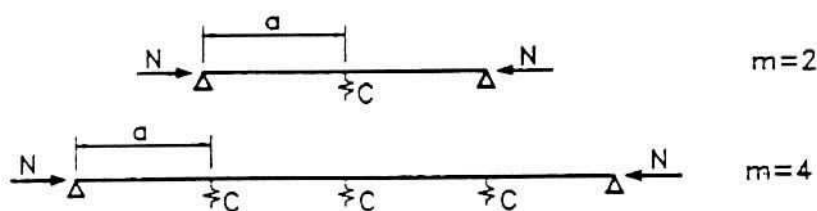
Konstrukce, jejichž tuhost nevyplývá přímo z prostorové skladby musí být vyztuženy tak, aby se zabránilo jejich nestabilitě nebo nadměrnému vychýlení.

Musí se vzít v úvahu napětí způsobená geometrickými a konstrukčními imperfekcemi a vyvolanými vychýlky (včetně vlivu prokluzu ve spojích).

Ztužidla a výztužné prvky musí být navrženy na nejnepříznivější kombinace konstrukčních imperfekcí a vyvolaných vychýlek.

### Přímé tlačené prvky:

U přímých tlačných prvků, vyžadujících příčné podpory v intervalech (viz obr.2.11) mají být počáteční amplitudy zakřivení menší než  $a/500$  pro lepené lamelové prvky a  $a/300$  pro jiné prvky.



Obr. 2.11: Přímé tlačené prvky vyztužené příčnými podporami - příčnými výztužnými prvky

Každá vnitřní podpora má mít minimální pružnou tuhost, která je vyjádřena vztahem

$$C = \frac{k_s \pi^2 EI}{a^3},$$

$$\text{kde} \quad E = E_{0,05} \frac{f_{m,d}}{f_{m,k}}; \quad k_s = 2 \left( 1 + \cos \frac{\pi}{m} \right);$$

$m$  je počet polí, z nichž každé má délku  $a$ .

Návrhová stabilizující síla  $F_d$  v každé podpoře se má jako minimální uvažovat

$F_d = N_d / 50$  pro rostlé dřevo (v podstatě stejné ustanovení jako ve stávající normě ČSN 73 1701 a v normě DIN 1052),

$F_d = N_d / 80$  pro lepené lamelové dřevo,

$N_d$  je průměrná návrhová hodnota tlakové síly působící v zabezpečeném prvku.

Návrhovou stabilizující sílu  $F_d$  pro tlačný pás nosníku obdélníkového průřezu lze určit z výše uvedených vztahů pro hodnotu tlakové síly

$$N_d = \frac{(1 - k_{crit}) M_d}{h}$$

součinitel  $k_{crit}$  se uvažuje podle vztahů uvedených v odst. 2.2.9 pro nevyztužený nosník;  $M_d$  je maximální návrhový moment na nosníku o výšce  $h$ .

### Ztužidla soustav plnostěnných nebo příhradových nosníků:

Obvykle se tuhost soustavy tvořené plnostěnnými nebo příhradovými nosníky (vazníky) zabezpečuje ztužidly uspořádanými mezi dvěma sousedními vazbami v jednom nebo i ve více polích. Provedením ztužidel se též vymezují předpokládané vzpěrné délky tlačných pásů pro vybočení z roviny nosníku.

Systém ztužidel (obr. 2.12) zabezpečujících tuhost konstrukce musí být posouzen na účinek vodorovných zatížení (zpravidla se jedná o účinek zatížení větrem ve směru kolmém na rovinu nosníků - tlak, resp. sání větru na čelní plochy, na světlíky a nástavby, účinek větru na profilovanou krytinu) a na účinek ekvivalentního stabilizujícího zatížení  $q_d$ , které je vztaženo na jednotku délky. Ustanovení normy ČSN P ENV 1995-1-1 je v podstatě obdobné jako v dosavadní normě ČSN 73 1701 nebo v normě DIN 1052.

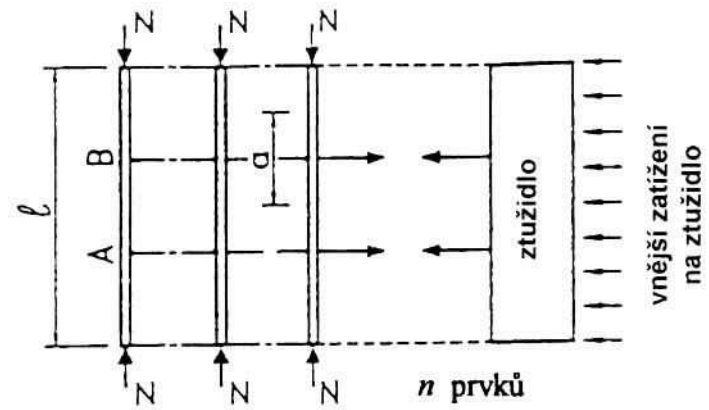
Ekvivalentní vodorovné zatížení se určí ze vztahu

$$q_d = k_1 \frac{nN_d}{30l}, \quad \text{kde } k_1 = 1, \quad \text{resp. } k_1 = \sqrt{\frac{15}{l}}$$

rozhoduje menší hodnota;  $N_d$  je průměrná návrhová osová tlaková síla v prvku o celkové délce  $l$  v m.

Vodorovný průhyb uprostřed rozpětí od zatížení  $q_d$  působícího samostatně nemá překročit hodnotu  $l/700$ .

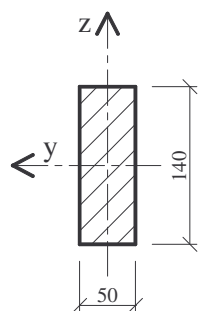
Vodorovný průhyb od zatížení  $q_d$  a jakéhokoliv jiného zatížení nemá překročit hodnotu  $l/500$ .



Obr. 2.12: Systém plnostěnných nebo příhradových nosníků zabezpečených ztužidlem

### 3 Příklady

#### 3.1 Centricky tažený celistvý prut - diagonála (tah || s vlákny)



##### Geometrické schéma:

Typ průřezu - Prut složený z jedné příp. více základních částí.

$A$  – plocha základních částí prutu

$A_{ef}$  – efektivní plocha

Návrhová síla  $N_{t,d} = 47,99$  kN

Návrh a posouzení průřezu:

Oslabení spojovacími prostředky:

$$A_{ef} = 50 \cdot 140 - 50 \cdot 17 = 6\,150 \text{ mm}^2$$

Uvažováno oslabení svorníky M16, otvor  $\phi 17$  mm.

Návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny:

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{13,0}{1,45} = 8,0 \text{ MPa}$$

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení  $k_{mod} = 0,9$

Charakteristická pevnost dřeva v tahu  $f_{t,0,k} = 13,0 \text{ MPa}$

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu  $\gamma_M = 1,45$

Návrhové napětí v tahu:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{ef}} = \frac{47,99 \cdot 10^3}{6\,150} = 7,80 \text{ MPa}$$

Podmínka pro mezní stav únosnosti:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{7,80}{8,0} = 0,98 < 1,0$$

Posudek připojení diagonály mezi základní profily horního a dolního pásu:

Připojení diagonály mezi základní profily horního a dolního pásu pomocí konstrukčního svorníku M16 a nosnými dvoustřížnými hřeby  $\phi 4,5 - 140$ .

Stanovení nutného počtu hřebíků (hladké hřebíky bez předvrtání).

Kontrola hloubky zaražení:

Pro hladké hřebíky má být délka zaražení konce hřebíku nejméně 8d.

$$8 \cdot d = 8 \cdot 4,5 = 36 \text{ mm} < t_1 = 40 \text{ mm} \quad \textbf{Podmínka splněna}$$

Pozn. 1) :

$t_1 = 40 \text{ mm}$  - menší z krajních tloušťek dřeva a délka zaražení konce hřebíku.

**Kontrola minimální tloušťky  $t$  dřevěných prvků v případě nepředvrtání otvorů:**

$$t = 7 \cdot d = 7 \cdot 4,5 = 31,5 \text{ mm} < 50 \text{ mm} \quad \textbf{Podmínka splněna}$$

$$t = \frac{(13 \cdot d - 30) \cdot \rho_k}{400} = \frac{(13 \cdot 4,5 - 30) \cdot 370}{400} = 26,3 \text{ mm} < 50 \text{ mm} \quad \textbf{Podmínka splněna}$$

$\rho_k$  [kg/m<sup>3</sup>] charakteristická hodnota hustoty

$d$  [mm] průměr hřebíku

Pozn. 2) :

$t_1 = t_2 = 50 \text{ mm}$  je to tloušťka b prutů

Hřebíkový spoj dřevo – dřevo:

Stanovení návrhové únosnosti spojovacích prostředků (hřebíků)  $\Rightarrow$  pro dvojitý spoj jednoho spojovacího prostředku.

$$t_1 = 40 \text{ mm} \quad t_2 = 50 \text{ mm} \quad d = 4,5 \text{ mm} - \phi \text{ hřebíku}$$

**Charakteristická pevnost v otláčení (bez předvrtání otvorů):**

$$\rho_k = 370 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{dřevo SI})$$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 370 \cdot 4,5^{-0,3} = 19,3 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = f_{h,k} = 19,3 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

Návrhová pevnost v otláčení:

$$f_{h,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{h,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{19,3}{1,45} = 11,98 \text{ MPa} \cong f_{h,1,d} \quad ( f_{h,1,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{h,1,k}}{\gamma_M} )$$

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení....  $k_{\text{mod}} = 0,9$

Charakteristická pevnost dřeva za ohybu.....  $f_{m,k} = 22,0 \text{ MPa}$

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu.....  $\gamma_M = 1,45$

Charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti:

Hladký ocelový drát (min. meze pevnosti v tahu  $f_{u,k} = 600 \text{ MPa}$ )

Pro kruhové hřebíky :

$$M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 4,52,6 = 8\,987,2 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Návrhová hodnota plastického momentu únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{8\,987,2}{1,25} = 7\,189 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu.....  $\gamma_M = 1,25$

(pro ocel používanou ve spojích)

**Součinitel  $\beta$ :**

$$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k} = 1 \quad \text{bez vyčíslení, protože } f_{h,1,k} = f_{h,2,k}$$

**Vyhodnocení vzorců pro návrhovou únosnost  $R_d$  pro spojovací prostředky ve dvoustřížných spojích:**

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \\ 0,5 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta \\ 1,1 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,1 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot \beta}}{\sqrt{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} \end{array} \right\}$$

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 11,98 \cdot 40 \cdot 4,5 = 2\,156 \text{ N} = 2,16 \text{ kN} \\ 0,5 \cdot 11,98 \cdot 50 \cdot 4,5 \cdot 1,0 = 1\,348 \text{ N} = 1,35 \text{ kN} \\ 1,1 \cdot \frac{11,96 \cdot 40 \cdot 4,5}{2+1} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot 1 \cdot (1+1) + \frac{4 \cdot 1 \cdot (2+1) \cdot 7\,189}{11,98 \cdot 4,5 \cdot 40^2}} - 1 \right] = 977 \text{ N} = 0,98 \text{ kN} \\ 1,1 \cdot \sqrt{2 \cdot 7\,189 \cdot 11,98 \cdot 4,5} = 968 \text{ N} = 0,97 \text{ kN} \end{array} \right.$$

**Pozn. 3) :**

Z hodnot  $R_d$  vybereme tu nejmenší  $R_d = 0,97 \text{ kN}$

Nutný počet hřebíků:

$$n = \frac{N_{t,d}}{p \cdot R_d} = \frac{47,99}{2 \cdot 0,97} = 24,74 \Rightarrow 25 \text{ ks} \quad \phi 4,5 / 140 \text{ mm}$$

Počet stříhů  $p = 2$

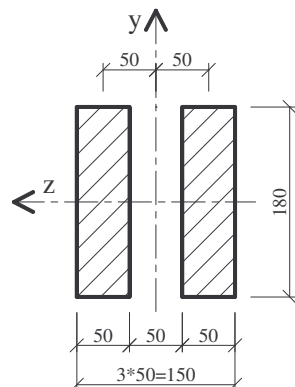
Do statického výpočtu je možno vypracovat detail styčnicku s uvážením vlivu roztečí pro hřebíky a případná úprava profilu tažené diagonály tak, aby mohl být ve styčnicku použit příslušný počet hřebů.



### 3.2 Centricky tažený prut – dolní pás (tah || s vlákny)

**Geometrické schéma:**

Typ průřezu - Dvě základní části spojené pouze ve styčnicku konstrukčními svorníky a hřebíky s mezipásovými pruty.



$A$  – plocha základních částí prutu

$A_{ef}$  – efektivní plocha

Návrhová síla  $N_{t,d} = 74,18 \text{ kN}$

### Návrh a posouzení průřezu:

Oslabení spojovacími prostředky:

$$A_{ef} = 2 \cdot 50 \cdot 180 - 2 \cdot 50 \cdot 17 = 18\,000 - 1\,700 = 16\,300 \text{ mm}^2$$

*Uvažováno oslabení svorníky M16, otvor  $\phi 17 \text{ mm}$ .*

Návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny:

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{13,0}{1,45} = 8,0 \text{ MPa}$$

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení  $k_{\text{mod}} = 0,9$

Charakteristická pevnost dřeva v tahu  $f_{t,0,k} = 13,0 \text{ MPa}$

Dílní součinitel vlastnosti materiálu  $\gamma_M = 1,45$

Návrhové napětí v tahu:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{ef}} = \frac{74,18 \cdot 10^3}{16\,300} = 4,55 \text{ MPa}$$

Podmínka pro mezní stav únosnosti:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{4,55}{8,0} = 0,57 < 1,0$$

### **Pozn. 1) :**

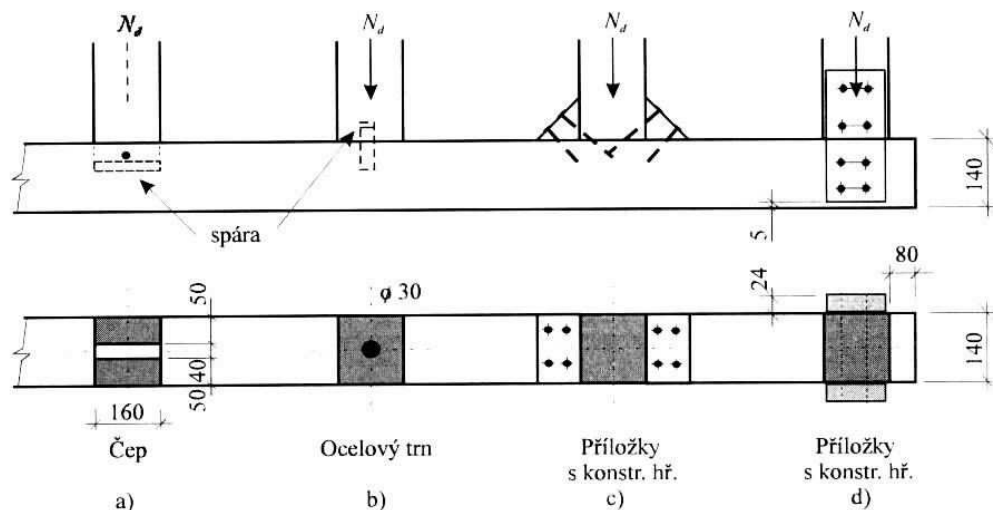
*Rezerva pro ohybové napětí  $\sigma_{m,d}$  vlivem excentricity ve styčnicku.*



### 3.3 Kolmé opření sloupků, stojek, žeber stěnových panelů apod. na prahový trám, vazný trám, dolní či horní pás.

V příkladu je uvažováno kolmé opření sloupků na prahový trám.

Na následujícím obrázku je znázorněno kolmé opření sloupků, stojek, žeber stěnových panelů apod. na prahový trám, vazný trám, dolní či horní pás.



Vzhledem k relativně nízké pevnosti dřeva v tlaku kolmo na vlákna, rozhoduje v řadě případů o dimenzích dřevěných prvků právě tento způsob namáhání.

Začepování znamená velké a navíc nesymetrické oslabení průřezu – vhodnější je navrhovat tyto přípoje bez začepování.

Sloupky 140 x 160 mm; trám 140 x 140 mm

Dřevo SI  $f_{c,90,k} = 5,1 \text{ MPa}$ ,  $k_{\text{mod}} = 0,9$ ,  $k_{\text{mod}} = 0,9$

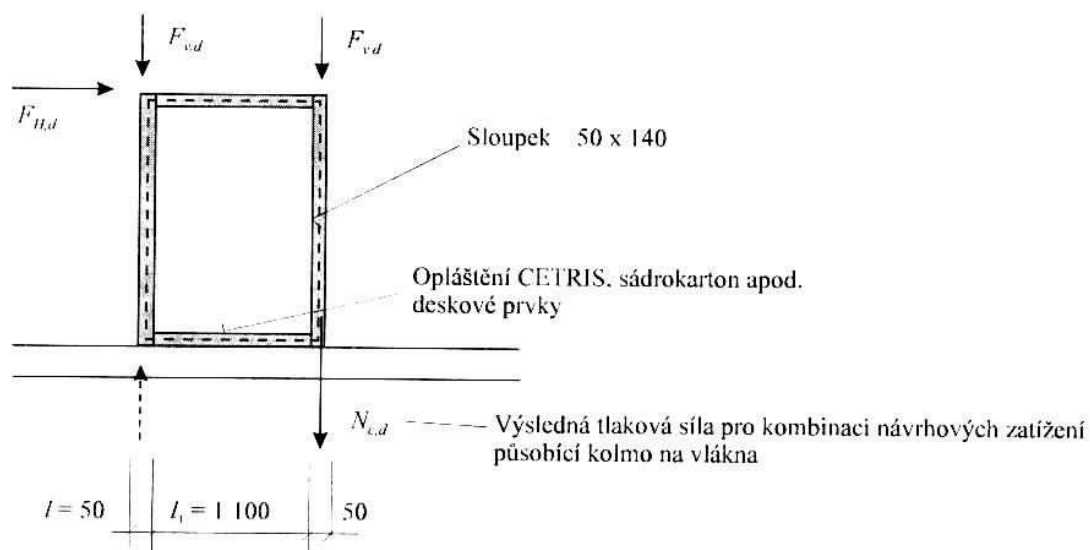
Návrhová pevnost dřeva  $f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{5,1}{1,45} = 3,1 \text{ MPa}$

Podmínka  $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d}$ ,

Kde  $\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{A_{ef}}$ ;

$k_{c,90}$  - součinitel délky roznesení zatížení, uplatní se pro délky kontaktní plochy menší než 150 mm. (tab. 2.6) V řešených případech je délka  $l = 160 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \rightarrow k_{c,90} = 1,0$ .

## Uložení stěnových panelů na práh



Spolupůsobení opláštění panelu není uvažováno, tj. celou akci od tlakové normálové síly přenáší pouze sloupek – krajní žebro panelu.

Podle tab. 2.6 platí  $150\text{mm} > l = 50\text{mm} > 15\text{mm}$

$$l_1 = 1100\text{mm} > 150\text{mm}$$

$a > 100\text{mm}$  - vzdálenost od okraje trámu – zhlaví – pro panely vzdálené od rohu objektu.

$$k_{c,90} = 1 + \frac{150 - l}{170} = 1 + \frac{150 - 50}{170} = 1,59$$

Pro rohové panely ( sloupky ) je nutno uvažovat zhlaví  $a < 100\text{mm}$  – např.  $a = 50\text{mm}$

$$k_{c,90} = 1 + \frac{a(150 - l)}{17000} = 1 + \frac{50 \cdot (150 - 50)}{17000} = 1,29$$

Pro  $a = 0$  ( sloupek lícuje – nulové zhlaví )  $k_{c,90} = 1,0$ .

Návrhová únosnost pro případy uvedené na obrázku a pro součinitel  $k_{c,90} = 1,0$

$$\sigma_{c,90,d} = k_{c,90} f_{c,90,d} = \frac{N_d}{A_{ef}}$$

$$N_d = k_{c,90} f_{c,90,d} A_{ef} = 1,0 \cdot 3,1 \cdot A_{ef} [N]$$

$$\text{a) } A_{ef} = 2.50.160 = 16000 \text{ mm}^2$$

$$N_d = 3,1.16000 = 49600 \text{ N} = 49,6 \text{ kN}$$

$$\text{b) } A_{ef} = 140.160. \frac{\pi.30^2}{4} = 21693 \text{ mm}^2$$

$$N_d = 3,1.21693 = 67249 \text{ N} = 67,2 \text{ kN}$$

$$\text{c) } A_{ef} = 140.160 = 22400 \text{ mm}^2$$

$$N_d = 22400.3,1 = 69440 \text{ N} = 69,4 \text{ kN}$$

d) Návrhová únosnost je stejná jako v případě c)

**Poznámka:** ČSN 731701, DIN 1052 zavádějí v případech, že délka zhlaví je menší než 100 mm sníženou pevnost dřeva v tlaku kolmo na vlákna o 20 %.



### 3.4 Vzpěr celistvého prutu

Stanovte optimální průřez centricky tlačенého dřevěného prutu zatíženého návrhovou silou 112 kN o vzpěrných délkách k ose Y 3,0 m a k ose Z 1,5 m.

Návrh rozměrů:

$$\lambda_y = \lambda_z \Rightarrow \frac{3}{\lambda_y} = \frac{1,5}{\lambda_z} \Rightarrow 3\lambda_z = 1,5\lambda_y \Rightarrow 2\lambda_z = \lambda_y$$

$$2 * \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \Rightarrow 4I_z = I_y \Rightarrow 4h^2 = h^2 \Rightarrow 2b = h$$

Návrh:

Rozměr 90 \* 180 mm, dřevo třídy SI

$$\begin{aligned} K_{\text{mod}} &= 0,7 \\ f_{\text{c,o,k}} &= 20 \text{ Mpa} \\ E_{0,05} &= 6700 \text{ Mpa} \\ \gamma_M &= 1,45 \end{aligned}$$

Poloměry setrvačnosti k ose Y a Z

$$i_y = \sqrt{\frac{1}{12} * 90 * 180^3} = 51,96 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{1}{12} * 180 * 90^3} = 25,98 \text{ mm}$$

Štíhlosti prutu k ose Y a Z

$$\lambda_y = \frac{L_{c,y}}{i_y} = \frac{3000}{51,96} = 57,74$$

$$\lambda_z = \frac{L_{c,z}}{i_z} = \frac{1500}{25,98} = 57,74$$

Kritická napětí

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 * E_{0,05}}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 * 6700}{(57,74)^2} = 19,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 * E_{0,05}}{\lambda_z^2} = \frac{\pi^2 * 6700}{(57,74)^2} = 19,83 \text{ MPa}$$

Relativní štíhlosti

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{20}{19,83}} = 1$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \sqrt{\frac{20}{19,83}} = 1$$

Míra imperfekce – amplituda maximálně:  $\frac{1}{300} L_z = \frac{1500}{300} = 5 \text{ mm}$

Součinitel  $k$ ,  $\beta_c = 0,2$

$$k_y = 0,5 * \{1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2\} = 0,5 * \{1 + 0,2 * (1 - 0,5) + 1^2\} = 1,05$$

$$k_z = 0,5 * \{1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2\} = 0,5 * \{1 + 0,2 * (1 - 0,5) + 1^2\} = 1,05$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,05 + \sqrt{1,05^2 - 1^2}} = 0,73 \square k_{c,y} = k_{c,z}$$

**Posouzení k ose Y**

Návrhová pevnost:

$$f_{c,o,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,7 * \frac{20}{1,45} = 9,66 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{112 * 10^3}{90 * 180} = 6,91 \text{ MPa}$$

Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cy} * f_{c,0,d}} = \frac{6,91}{0,73 * 9,66} = 0,98 \leq 1 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Posouzení k ose Z**

Návrhová pevnost:

$$f_{c,0,d} = 9,66 \text{ MPa}$$

Návrhové napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = 6,91 \text{ MPa}$$

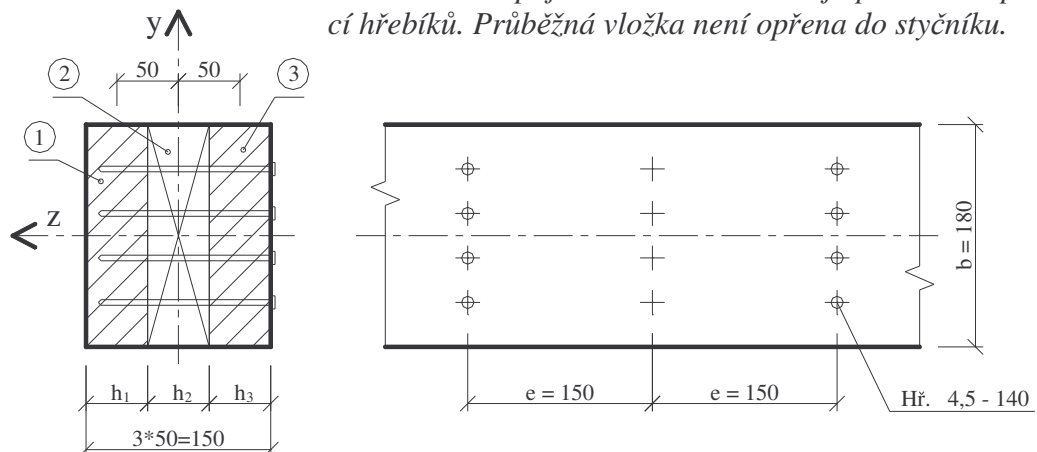
Podmínka:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} = \frac{6,91}{0,73 * 9,66} = 0,98 \leq 1 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

**3.5 Tlačený členěný prut s průběžnou vložkou****Geometrické schéma:**

Typ průřezu -

Členěný prut ze dvou základních částí spojených průběžnou vložkou. Spojení základních částí je provedeno pomocí hřebíků. Průběžná vložka není opřena do styčnicku.



$$l_1 = e = 150 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 1125 \text{ mm} \quad L_{cr,y} = 2250 \text{ mm}$$

Hřebíky  $\varnothing 4,5/140\text{mm}$  – přes 2 spáry

Dřevo třídy: SI

$$E_1 = E_2 = E_3 = E_{0,05} = 6700 \text{ MPa}$$

Návrhová síla  $N_{c,d} = 73,17 \text{ kN}$ ... osová tlaková síla

### Návrh a posouzení průřezu:

Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy Y (kolmo na hmotnou osu Z):

*Únosnost prutu je rovna součtu únosností jednotlivých základních částí (prut působí jako celistvý).*

Kritická vzpěrná délka:

$$L_{cr,z} = 1125 \text{ mm}$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i_z = 0,2887 \cdot b = 0,2887 \cdot 180 = 51,97 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot h_1 \cdot b^3 + \frac{1}{12} \cdot h_2 \cdot b^3 + \frac{1}{12} \cdot h_3 \cdot b^3}{h_1 \cdot b + h_2 \cdot b + h_3 \cdot b}} =$$

$$= \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot (h_1 + h_2 + h_3) \cdot b^3}{(h_1 + h_2 + h_3) \cdot b}} = \sqrt{\frac{1}{12}} \cdot \sqrt{b^2} = 0,2887 \cdot b$$

Štíhlost:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1125}{51,97} = 21,6$$

Kritické napětí:

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_z^2} = \frac{\pi^2 \cdot 6700}{21,6^2} = 141,7 \text{ MPa}$$

Relativní štíhlost:

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \sqrt{\frac{20,0}{141,7}} = 0,376$$

Charakteristická pevnost dřeva v tlaku rov. s vlákny... $f_{c,0,k} = 20,0$  MPa

**Pozn. 1) :**

Pro  $\lambda_{rel} \leq 0,5$  se jedná o osový tlak bez vlivu vzpěru.  $\Rightarrow k_{c,z} = 1,0$

Součinitel vzpěrnosti :

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,558 + \sqrt{0,558^2 - 0,376^2}} = 1,03 \Rightarrow k_{c,z} = 1$$

Součinitel  $k_z$ :

$$\begin{aligned} k_z &= 0,5 \cdot \left\{ 1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2 \right\} = \\ &= 0,5 \cdot \left\{ 1 + 0,2 \cdot (0,376 - 0,5) + 0,376^2 \right\} = 0,558 \end{aligned}$$

Návrhová pevnost:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{20,0}{1,45} = 12,4 \text{ MPa}$$

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení  $k_{mod} = 0,9$

Charakteristická pevnost dřeva v tlaku  $f_{c,0,k} = 20,0$  MPa

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu  $\gamma_M = 1,45$

**Návrhové napětí v tlaku (osové napětí):**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{73,17 \cdot 10^3}{2 \cdot 50 \cdot 180} = \frac{73,17 \cdot 10^3}{18\,000} = 4,07 \text{ MPa}$$

Podmínka posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{4,07}{1,0 \cdot 12,4} = 0,328 < 1,0$$

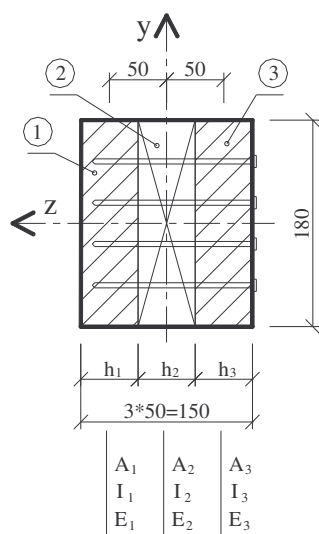
## Posouzení prutu pro vybočení ve směru osy Z (kolmo na nehmotnou osu Y):

Na vybočení kolmo na nehmotnou osu Y má vliv poddajnost spojení.

$L_{cr,y} = 2\,250\text{ mm}$  (vzdálenost bodů tlačného pásu zajištěného proti vybočení)

Předpoklady:

1,3 - základní části průřezu 2 - průběžná vložka



$$E_1 = E_2 = E_3 = E = 10\,000\text{ MPa}$$

$$b_1 = b_2 = b_3 = 180\text{ mm}$$

$$h_1 = h_2 = h_3 = 50\text{ mm}$$

$$A_i = b_i \cdot h_i \quad A = \sum_{i=1}^3 A_i$$

$$I_i = \frac{1}{12} b_i^3 \cdot h_i$$

$$I_{ef,y} = \sum_{i=1}^3 I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2$$

$$i_{ef,y} = \sqrt{\frac{I_{ef,y}}{A}} \quad \lambda_{ef,y} = \frac{L_{cr,y}}{i_{ef,y}}$$

kde  $A$  je celá plocha včetně plochy průběžné vložky.

a je vzdálenost těžiště průřezu k těžišti základních částí

Výpočet modulu prokluzu:

### Okamžitý modul prokluzu:

Pro hřebíky bez předvrtání lze uvažovat

$$K_{ser} = \rho_K^{1,5} \cdot d^{0,8} / 25 = 370^{1,5} \cdot 4,5^{0,8} / 25 = 948,27\text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$$

Charakteristická hodnota hustoty

$$\rho_k = 370\text{ kg/m}^3$$

Průměr kolíkového prvku (hřebíku, svorníku)

$$d = 4,5\text{ mm}$$

### Okamžitý modul prokluzu pro mezní stav únosnosti:

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} = \frac{2}{3} \cdot 948,27 = 632\text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$$

**Součinitel:**

$$\text{tedy } K_1 = K_u = 632 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$A_1 = b_1 \cdot h_1 = 50 \cdot 180 = 9000 \text{ mm}^2,$$

$$s_1 = e' = \frac{e}{m} = \frac{150}{4} = 37,5 \text{ mm} - \text{rozteč hřebíků při 4 řadách hřebíků}$$

Redukční koeficient poddajnosti:

$$\begin{aligned} \gamma_1 = \gamma_3 &= \frac{k_1 \cdot l^2}{k_1 \cdot l^2 + \pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot A_1 \cdot s_1} = \\ &= \frac{632 \cdot 2\,250^2}{632 \cdot 2\,250^2 + \pi^2 \cdot 6\,700 \cdot 9\,000 \cdot 37,5} = 0,1254 \end{aligned}$$

$$\gamma_2 = 1 \quad \text{ale } a_2 = 0 \Rightarrow \gamma_2 \cdot A_2 \cdot a_2^2 = 0$$

$$k_1 = 632 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad E = E_{0,05} = 6\,700 \text{ MPa}$$

$$l = L_{cr,y} = 2\,250 \text{ mm} \quad A_1 = 9\,000 \text{ mm}^2 \quad s_1 = 37,5 \text{ mm}$$

$$\gamma_2 = 1$$

Moment setrvačnosti:

$$\begin{aligned} I_{ef,y} &= \sum_{i=1}^3 I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2 = \\ &= 3 \cdot \frac{1}{12} \cdot 180 \cdot 50^3 + 0,1254 \cdot 9\,000 \cdot 50^2 + 0,1254 \cdot 9\,000 \cdot 50^2 = \\ &= 5,625 \cdot 10^6 + 2 \cdot 0,1254 \cdot 9\,000 \cdot 50^2 = \\ &= 5,625 \cdot 10^6 + 5,643 \cdot 10^6 = 11,268 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$a_1 = 50 \text{ mm}; \quad a_2 = 0; \quad a_3 = 50 \text{ mm}$$

Poloměr setrvačnosti:

$$i_{ef,y} = \sqrt{\frac{I_{ef,y}}{A}} = \sqrt{\frac{11,268 \cdot 10^6}{27 \cdot 10^3}} = 20,43 \text{ mm}$$

Štíhlost:

$$\lambda_{ef,y} = \frac{L_{cr,y}}{i_{ef}} = \frac{2\,520}{20,43} = 110,1 \quad k_c \cong 0,248$$

Přesnější dle metodiky ČSN P ENV 1995-1-1

Návrhová pevnost:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{20}{1,45} = 12,4 \text{ MPa}$$

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení  $k_{mod} = 0,9$

Charakteristická pevnost dřeva v tlaku  $f_{c,0,k} = 20,0 \text{ MPa}$

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu  $\gamma_M = 1,45$

Návrhové napětí:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{73,17 \cdot 10^3}{27\,000} = 2,71 \text{ MPa}$$

Podmínka posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{2,71}{0,248 \cdot 12,4} = 0,881 < 1,0$$

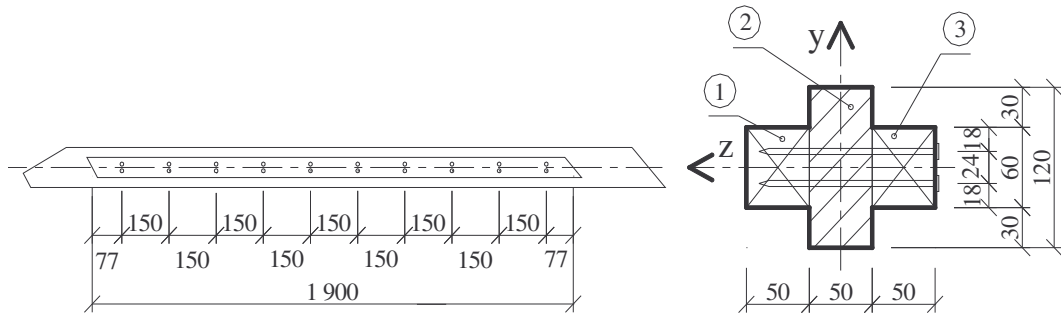
Závěr: Štíhlost  $\lambda_{ef}$  vychází vyšší než dle ČSN 731701, ale při stanovení návrhových  $\sigma_{c,0,d}$  napětí se dosazuje celá plocha A včetně plochy vložky, případně příložek.

Rozhoduje vybočení kolmo k nehmotné ose y.



### 3.6 Tlačený členěný prut s průběžnými příložkami

Geometrické schéma:



Typ průřezu - členěný prut z jedné základní části zesílený průběžnými příložkami

$$l_1 = e = 150 \text{ mm},$$

$$A = 120 \cdot 50 + 2 \cdot 60 \cdot 50 = 12 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$L = L_{cr,y} = L_{cr,z} = 1900 \text{ mm}$$

Hřebíky  $\varnothing 4,5/140\text{mm}$  – přes 2 spáry

Dřevo třídy: SI

$$E_1 = E_2 = E_3 = E_{0,05} = 6700 \text{ MPa}$$

**Zatížení :**

Návrhová tlaková síla  $N_{c,d} = 7,76 \text{ kN}$

**Posouzení průřezu :**

Vybočení prutu ve směru osy Y (kolmo na osu Z):

Posudek analogicky proveden v příkladu posudku horního pásu vazníku.

Vybočení prutu ve směru osy Z (kolmo na osu Y): (Rozhoduje)

Efektivní moment setrvačnosti:

$$I_{ef,y} = \sum_{i=1}^3 (I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$

$$\text{kde } A_i = b_i \cdot h_i$$

$$I_i = \frac{1}{12} \cdot b_i \cdot h_i^3$$

Součinitel:

$$\gamma_1 = \gamma_3 = \frac{K_1 \cdot L^2}{K_1 \cdot L^2 + \pi^2 \cdot E \cdot A_1 \cdot s_1}, \quad \gamma_2 = 1$$

kde  $s_1 = e' = \frac{e}{m} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm}$

m ... počet řad hřebíků

Prokluz spojů se uváží prostřednictvím okamžitého modulu prokluzu  $K_u$ .

Lineární závislost mezi silou a prokluzem  $K_{\text{ser}} = \frac{F}{u} = \text{konst.}$ , pro  $u = 1$  je  $K_{\text{ser}} = F$ , je to tedy významem síla, která vyvolá jednotkové posunutí ( $u = 1$ ).

Pro výpočet mezních stavů únosnosti se uvažuje hodnota  $K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{\text{ser}}$

### Okamžitý modul prokluzu:

Pro hřebíky bez předvrtání lze uvažovat

$$K_{\text{ser}} = \rho_k^{1,5} \cdot d^{0,8} / 25 = 370^{1,5} \cdot 4,5^{0,8} / 25 = 948,27 \text{ N.mm}^{-1}$$

Charakteristická hodnota hustoty  $\rho_k = 370 \text{ kg/m}^3$

Průměr kolíkového prvku (hřebíku, svorníku)  $d = 4,5 \text{ mm}$

### Okamžitý modul prokluzu pro mezní stav únosnosti:

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{\text{ser}} = \frac{2}{3} \cdot 948,27 = 632 \text{ N.mm}^{-1}$$

Součinitel:

tedy  $K_1 = K_u = 632 \text{ N.mm}^{-1}$  a dále

$$A_1 = b_1 \cdot h_1 = 60 \cdot 50 = 3000 \text{ mm}^2,$$

$$s_1 = e' = \frac{e}{m} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm} - \text{rozteč hřebíků při 2 řadách hřebíků}$$

$$\gamma_1 = \frac{K_1 \cdot L^2}{K_1 \cdot L^2 + \pi^2 \cdot E \cdot A_1 \cdot s_1} = \frac{632 \cdot 1900^2}{632 \cdot 1900^2 + \pi^2 \cdot 6700 \cdot 3000 \cdot 75} = 0,133$$

### Efektivní moment setrvačnosti:

$$I_{\text{ef},y} = \sum_{i=1}^3 (I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$

$$I_{ef,y} = \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 50^3 + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 60 \cdot 50^3 + 0,133 \cdot 2 \cdot 3000 \cdot 50^2 = 4,495 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Celá plocha včetně příložek ... } A = 2 \cdot 60 \cdot 50 + 120 \cdot 50 = 12000 \text{ mm}^2$$

**Poloměr setrvačnosti:**

$$i_{ef,y} = \sqrt{\frac{I_{ef,y}}{A}} = \sqrt{\frac{4,495 \cdot 10^6}{12000}} = 19,35 \text{ mm ... pro srovnání - poloměr setrvačnosti jenom střední připojení části je } i_y = 0,289 \cdot 50 = 14,45 \text{ mm - jistý nárůst zde je.}$$

**Efektivní štíhlost:**

$$\lambda_{ef,y} = \frac{L_{cr,y}}{i_{ef,y}} = \frac{1900}{19,35} = 98,19 \text{ ... štíhlost vychází vyšší, ovšem v podmínce spolehlivosti se pak uvažuje plná plocha A!}$$

**Kritické napětí:**

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_{ef,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 6700}{98,19^2} = 6,85 \text{ MPa}$$

**Relativní štíhlost:**

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{20,0}{6,85}} = 1,62$$

**Součinitel vzpěrnosti:**

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,92 + \sqrt{1,92^2 - 1,62^2}} = 0,338$$

pro rostlé dřevo ...  $\beta_c = 0,2$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,62 - 0,5) + 1,62^2) = 1,92$$

**Návrhové napětí v tlaku:**

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{7,26 \cdot 10^3}{12000} = 0,65 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny:**

$$f_{c,o,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,o,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{20}{1,45} = 12,4 \text{ MPa}$$

Modifikační součinitel pro třídu vlhkosti a trvání zatížení  $k_{mod} = 0,9$

Charakteristická pevnost dřeva v tlaku  $f_{c,o,k} = 20,0 \text{ MPa}$

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu  $\gamma_M = 1,45$

**Podmínka spolehlivosti:**

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_c \cdot f_{c,o,d}} = \frac{0,65}{0,338 \cdot 12,4} = 0,155 < 1,0$$

**Připojení přílozek**

Hřebíky 4,5/140 ... návrhová únosnost  $R_d = 0,7 \text{ kN}$

$$\lambda_{ef} = 98,19 > 60 \dots V_d = \frac{F_{c,d}}{60 \cdot k_c} = \frac{N_d}{60 \cdot k_c} = \frac{7,76}{60 \cdot 0,338} = 0,383 \text{ kN}$$

Příčná smyková síla  $V_d$  činí asi 5% z působící síly.

**Zatížení spojovacího prostředku:**

$$F_1 = \gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_1 \cdot V / (EI)_{ef}$$

kde  $S_1 = A_1 \cdot a_1$  je statický moment připojené části

**Na jeden spoj. prostředek připadá síla:**

$$F_1 = \bar{V} \cdot s_1 = \gamma_1 \cdot \frac{V \cdot A_1 \cdot a_1}{I_{ef}} \cdot S_1 = 0,133 \cdot \frac{0,383 \cdot 3000 \cdot 50}{4,495 \cdot 10^6} \cdot 75 = 0,13 \text{ kN} < R_d$$

**... VYHOVÍ**

$$\text{kde } a_1 = 50 \text{ mm}, \quad s_1 = \frac{e}{m} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm}$$



### 3.7 Ohyb a smyk za ohybu

Návrh nosníku na ohyb a smyk za ohybu. Prostě podepřený nosník obdélníkového průřezu o rozpětí 2,4 m je zatížen návrhovým rovnoměrným zatížením  $g_d = 2,0 \text{ kNm}^{-1}$  (stálým) a pohyblivým osamělým břemenem  $F_d = 32 \text{ kN}$  (krátkodobým). Nosník je z rostlého dubového dřeva a je zabudován ve třídě vlhkosti 2. Příčná a torzní stabilita nosníku je zajištěna bedněním. Parametry pevnosti dřeva jsou  $f_{m,k} = 30 \text{ Mpa}$ ,  $f_{v,k} = 3,0 \text{ Mpa}$ .

Návrhová pevnost za ohybu

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,6 * \frac{30}{1,45} = 12,4 \text{ Mpa}$$

Návrhová pevnost ve smyku

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,6 * \frac{3,0}{1,45} = 1,24 \text{ Mpa}$$

Maximální ohybový moment

$$M_d = \frac{1}{8} g_d l^2 + \frac{1}{4} F_d l = \frac{1}{8} 2 * 2,4^2 + \frac{1}{4} 32 * 2,4 = 20,64 \text{ Mpa}$$

Návrh průřezu nosníku:

$$W \geq \frac{M_d}{f_{m,d}} = \frac{20,64 * 10^6}{12,4} = 1,66 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Průřez 180/250 .....  $W = 1,88 * 10^6 \text{ mm}^3$ ,  $A = 45 * 10^3 \text{ mm}^2$

Normálové napětí za ohybu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{20,64 * 10^6}{1,88 * 10^6} = 10,98 < 12,4 \text{ Mpa}$$

**Nosník na ohyb vyhovuje.**

**Smyk za ohybu**

Podíl osamělého břemene  $F_d$  na celkové posouvající síle určíme pomocí redukované příčinkové čáry.

$$V_d = \frac{F_d(l-2h)}{l} + \frac{g_d l}{2} = \frac{32 * (2,4 - 0,5)}{2,4} + \frac{2 * 2,4}{2} = 25,33 + 2,4 = 27,73 \text{ kN}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3V_d}{2A} = \frac{3 \cdot 27,73 \cdot 10^3}{2 \cdot 45 \cdot 10^3} = 0,92 \text{ MPa} < 1,24 \text{ MPa}$$

**Nosník na smyk za ohybu vyhovuje.**

*Poznámka:*

V případě, že se nepoužije redukovaná příčinková čára platí:

$$V_d = F_d + \frac{g_d l}{2} = 32 + \frac{2 \cdot 2,4}{2} = 32 + 2,4 = 34,4 \text{ kN}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3V_d}{2A} = \frac{3 \cdot 34,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 45 \cdot 10^3} = 1,14 \text{ MPa} < 1,24 \text{ MPa}$$

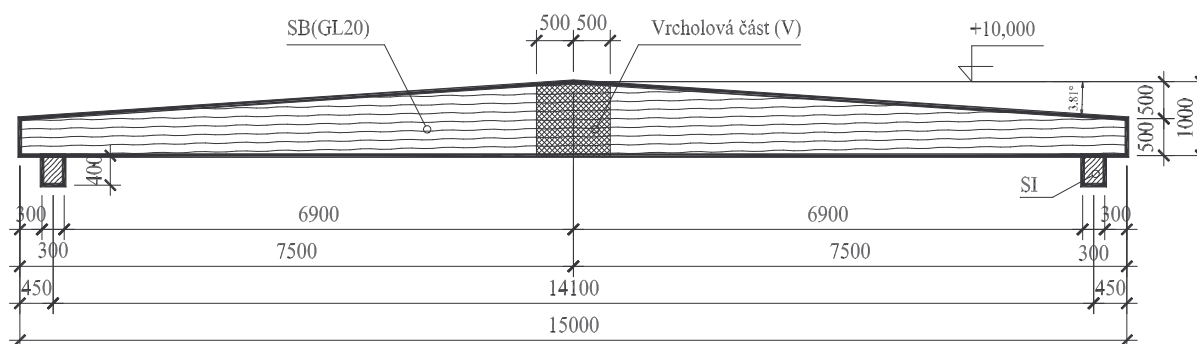
**nosník na smyk za ohybu vyhovuje.**

### 3.8 Lepený sedlový nosník (vazník) – rovinná úloha



Navrhněte a posuďte lepený lamelový sedlový vazník sedlové střechy nad obytnou budovou na rozpětí 14,1 m.

Geometrické schéma tvaru a uložení vazníku



#### Zatížení

Charakteristické hodnoty zatížení jsou stanoveny pro zatěžovací šířku 3000 mm (tzn. osová vzdálenost vazníků je 3000 mm).. Přestože je zatížení přenášeno přes vaznice (jejichž půdorysná vzdálenost je 1000 mm), nebude uvažován přenos zatížení na vazník jako soustava osamělých břemen (reakcí vaznic), ale bude uvažován spojitě (rovnoměrně) zatížený horní okraj vazníku.

## Stálé zatížení

ZS	Popis	$G_k$ [kN/m]	$\gamma_G$	$G_d$ [kN/m]
1	- <u>vlastní tíha</u> – nepříznivý účinek	0,60	1,20	0,72
2	- <u>vlastní tíha</u> – příznivý účinek	0,60	1,00	0,60
3	- <u>střešní plášť</u> – nepříznivý účinek plechová krytina z měděného plechu 0,6 mm, na dvojitou drážku i s bedněním 25 mm a vaznicemi po 1000 mm $0,55 \cdot 1 \cdot 3 = 1,65$	1,65	1,20	1,98
4	- <u>střešní plášť</u> – příznivý účinek	1,65	1,00	1,65
5	- <u>podhled se zateplením</u> – nepříznivý účinek $0,5 \cdot 1 \cdot 3 = 1,5$	1,50	1,20	1,80
6	- <u>podhled se zateplením</u> – příznivý účinek	1,50	1,00	1,50
	-	3,75		4,50

## Nahodilé (proměnné) zatížení

ZS	Popis	$G_k$ [kN/m]	$\gamma_Q$	$G_d$ [kN/m]
4	- <u>vítr + x</u> (sklon střechy $3,81^\circ$ ), $w_n = w_o \cdot \chi_w \cdot C_w \cdot 3,0 = 0,55 \cdot 1,0 \cdot (-0,8) \cdot 3,0 = 1,32$ ; $w_o = 0,55 \text{ kN/m}^2$ $\chi_w = 1,0$ (terén typu A, výška hřebene nad terénem 10 m) $C_w = -0,8$ (sání na návětrnou stranu) $C_w = -0,5$ (sání na závětrnou stranu)	- 1,32	1,4	1,85
5	- <u>sníh plný</u> (sklon střechy $3,81^\circ$ ), $s_n = s_o \cdot \chi_s \cdot \mu_s = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 3,0 = 1,80$ $s_o = 0,5 \text{ kN/m}^2$ (sněhová oblast I) $\chi_s = 1,2$ (tíha zastřešení je $0,55 \text{ kN/m}^2$ ) $\mu_s = 1,0$ (tvarový součinitel)	1,80	1,4	2,52
6	- <u>osamělé břemeno (OB)</u> , bude uvažováno: a) uprostřed vazníku pro extrém ohybového momentu (návrh průřezu vazníku, b) na konci vazníku pro extrém posouvající síly (návrh přípoje)	$F_k = 1,0$ [kN]	1,4	$F_d = 1,40$ [kN]

### Obecný předpis pro kombinace zatížení a zjištění extrémních účinků pro mezní stav únosnosti:

$$\sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

po dosažení bude pro **návrhovou situaci**:

- **trvalou** (užívání) a **při příznivém působení složek stálého zatížení** platit vztah

$$1,0 \cdot G_k + 1,4 \cdot Q_{k,1} + 1,4 \cdot 0,6 \cdot Q_{k,2} + 1,4 \cdot 0,7 \cdot Q_{k,3},$$

- **trvalou** (užívání) a **při nepříznivém působení složek stálého zatížení** platit vztah

$$1,2 \cdot G_k + 1,4 \cdot Q_{k,1} + 1,4 \cdot 0,6 \cdot Q_{k,2} + 1,4 \cdot 0,7 \cdot Q_{k,3},$$

kde  $G_k$  je součet stálých zatížení;

$Q_{k,1}$  je charakteristická hodnota jednoho z nahodilých zatížení (*např. sněh*);

$Q_{k,i}$  je charakteristická hodnota ostatních nahodilých zatížení (*v našem případě tedy vítr a osamělé břemeno*);

$\gamma_G$  je dílčí souč. bezpečnosti stálých zatížení

$\gamma_{Q,i}$  je dílčí souč. bezpečnosti nahodilých zatížení

$\psi_{0,i}$  je odpovídající součinitel

*Ve výpočtu musí být vyhodnoceny i dočasné návrhové situace, ve kterých je zohledněn např. postup montáže, u demontovatelných konstrukcí pak i postup demontáže. Protože se jedná pouze o rozšíření výčtu kombinací, není tato skutečnost v dalším postupu rozvedena.*

Při stanovení zatěžovacích stavů, které budou uvažovány v kombinacích pro extrémní účinky, budou brána vždy všechna stálá zatížení a ta nahodilá, která přispívají k vytvoření extrémního účinku. Účinky budou sestaveny do tabulky pro jednotlivé řezy na prutech tak, že bude stanoven extrém pro:

- $N_{\max}$  a V, M
- $N_{\min}$  a V, M
- $V_{\max}$  a N, M
- $V_{\min}$  a N, M
- $M_{\max}$  a V, N
- $M_{\min}$  a V, N

### Obecný předpis pro kombinace zatížení a zjištění extrémních účinků pro mezní stav použitelnosti:

$$\sum_j G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

kde  $G_{k,j}$  je součet stálých zatížení;

$Q_{k,1}$  je charakteristická hodnota jednoho z nahodilých zatížení (*např. sněž*);

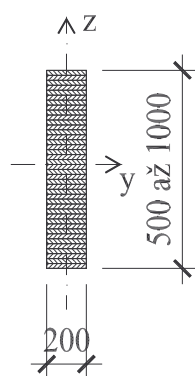
$Q_{k,i}$  je charakteristická hodnota ostatních nahodilých zatížení (*v našem případě tedy vítr, osamělé břemeno uprostřed vazníku*);

$\psi_{1,i}$  je odpovídající součinitel.

Při stanovení zatěžovacích stavů, které budou uvažovány v kombinacích pro extrémní účinky, budou brána vždy všechna stálá zatížení a ta nahodilá, která vyvolání extrémní účinek. Hodnoty budou sestaveny do tabulky účinků pro jednotlivé řezy na prutech tak, že bude stanovena hodnota:

- $N_{\max}$  a  $V, M$
- $N_{\min}$  a  $V, M$
- $V_{\max}$  a  $N, M$
- $V_{\min}$  a  $N, M$
- $M_{\max}$  a  $V, N$
- $M_{\min}$  a  $V, N$

### Návrh a posouzení



Profil vazníku pro výpočet vnitřních sil a ohybových momentů byly zvoleny lepený obdélníkový profil o konstantní šířce 200 mm a proměnné výšce (500 mm na okraji, 1000 mm uprostřed).

Materiál je lepené lamelové dřevo, třída pevnosti dle pr EN 1194 – GL 20.

Vazník bude posouzen na kombinaci vnitřních sil a ohybových momentů jako celistvý prut.

Níže uvedené vzpěrné délky vychází z předpokladu, že vazník je uložen na zdivu o tl. 300 mm a prutová ztužidla střechy budou mít uzly v průřezu os vaznic s vazníkem.

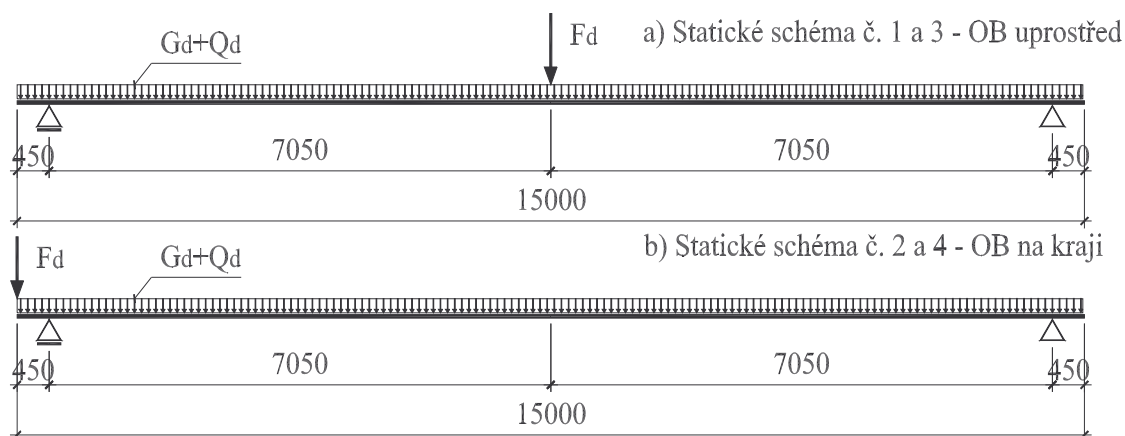
Vzpěrné délky budou uvažovány:

- pro vybočení z roviny konstrukce:  $l_{ef,z} = l_z$
- pro vybočení v rovině konstrukce:
- $l_{ef,y} = 0,95 \cdot l_y = 0,95 \cdot (15000 - 0,45 - 0,45) = 13395 \text{ mm}$

### Statická schémata

Vnitřní síly a ohybové momenty budou určeny dle zásad stavební mechaniky pro jednotlivé kombinace zatěžovacích stavů a pro geometrii dle následujících schémat. Po vyhodnocení zatížení je zřejmé, že jakákoliv kombinace s větrem nebude pro trvalou návrhovou situaci vyvozovat extrémní účinek.

Proto jsou vyhodnoceny jen kombinace pro zatížení stálé, sníh a OB:



Statická schémata č. 1 až 4

### Výpis nebezpečných kombinací na únosnost

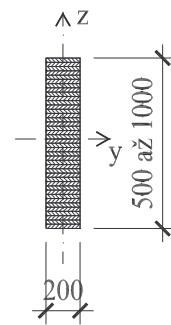
Č.K.	Zatěžovací stavy v kombinaci					Poznámky
	$G_{d,1}$	$G_{d,3}$	$G_{d,5}$	$Q_{d,8}$	$0,0 \cdot Q_{d,9}$	
1.	$G_{d,1}$	$G_{d,3}$	$G_{d,5}$	$Q_{d,8}$	$0,0 \cdot Q_{d,9}$	OB uprostřed
2.	$G_{d,1}$	$G_{d,3}$	$G_{d,5}$	$Q_{d,8}$	$0,0 \cdot Q_{d,9}$	OB na kraji
3.	$G_{d,1}$	$G_{d,3}$	$G_{d,5}$	$0,6 \cdot Q_{d,8}$	$Q_{d,9}$	OB uprostřed
4.	$G_{d,1}$	$G_{d,3}$	$G_{d,5}$	$0,6 \cdot Q_{d,8}$	$Q_{d,9}$	OB na kraji

## Výpis nebezpečných kombinací na použitelnost

Č.K.	Zatěžovací stavy v kombinaci					Poznámky
	$G_{k,1}$	$G_{k,3}$	$G_{k,5}$	$Q_{k,8}$		
1.	$G_{k,1}$	$G_{k,3}$	$G_{k,5}$	$Q_{k,8}$		OB pouze uprostřed
2.	$G_{k,1}$	$G_{k,3}$	$G_{k,5}$	$Q_{k,8}$	$0,5 \cdot Q_{k,9}$	
3.	$G_{k,1}$	$G_{k,3}$	$G_{k,5}$		$Q_{k,9}$	
4.	$G_{k,1}$	$G_{k,3}$	$G_{k,5}$	$0,2 \cdot Q_{k,8}$	$Q_{k,9}$	

Posudek na únosnost , Vnitřní síly na prutu, globální extrém  $M_y$ 

kombi únosnost	dx [mm]	N [kN]	$V_z$ [kN]	$M_y = M_{y,ap,d}$ [kNm]
1.	7500	0	0,0	<b>173,75</b>
2.	7500	0	0,0	173,75
3.	7500	0	0,7	153,68
4.	7500	0	0,0	153,68

Vnitřní síly na prutu, globální extrém  $V_z$ 

kombi únosnost	dx [mm]	N [kN]	$V_z$ [kN]	$M_y$ [kNm]
1.	450	0	<b>49,5</b>	-0,71
2.	450	0	<b>49,5</b>	-0,71
3.	450	0	43,1	-0,61
4.	450	0	43,1	-0,61

**Průřez** – obdélník o proměnné výšce, šířka 200, výška 500 až 1000 mm: **lepené lamelové dřevo**, třída pevnosti dle pr EN 1194 – GL 20

## Součinitele:

$\tan \alpha = 500/7500 = 0,067 \Rightarrow \sin \alpha = 0,0665; \cos \alpha = 0,9978 \dots$  sklon horního okraje vazníku

$$k_{dis} = 1,4$$

$$k_r = 1,0$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \tan \alpha + 5,4 \tan^2 \alpha = 1 + 1,4 \cdot 0,067 + 5,4 \cdot 0,067^2 = 1,12;$$

$$k_\ell = k_1 + k_2 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1,12 + 0 + 0 + 0 = 1,12;$$

$$k_5 = 0,2 \cdot \tan \alpha = 0,2 \cdot 0,067 = 0,013$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0,013 + 0 + 0 = 0,013$$

### Návrhové pevnosti:

$$f_{y,m,g,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{y,m,g,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 20}{1,45} = 12,41 \text{ MPa} \quad \text{za ohybu}$$

$$f_{t,90,g,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{t,90,g,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 0,35}{1,45} = 0,22 \text{ MPa} \quad \text{v tahu kolmo na vlákna}$$

$$f_{c,90,g,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 5,0}{1,45} = 3,10 \text{ MPa} \quad \text{v tlaku kolmo na vlákna}$$

$$f_{v,g,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,g,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 2,7}{1,45} = 1,67 \text{ MPa} \quad \text{ve smyku}$$

$$f_{m,\alpha,d} = \frac{f_{y,m,g,d}}{\frac{f_{y,m,g,d}}{f_{t,90,g,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{12,41}{\frac{12,41}{0,22} \cdot 0,0044 + 0,9956} = 9,98 \text{ MPa}$$

za ohybu rovnoběžně s okrajem náběhu, v případě, že rovnoběžně s okrajem náběhu působí napětí v tahu

$$f_{m,\alpha,d} = \frac{f_{y,m,g,d}}{\frac{f_{y,m,g,d}}{f_{c,90,g,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{12,41}{\frac{12,41}{3,10} \cdot 0,0044 + 0,9956} = 11,98 \text{ MPa}$$

za ohybu rovnoběžně s okrajem náběhu, v případě, že rovnoběžně s okrajem náběhu působí napětí v tlaku

### Vrchol vazníku

#### Návrhové napětí za ohybu ve vrcholu:

$$\sigma_{m,y,d} = k_\ell \cdot \frac{6 \cdot M_{y,ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,12 \cdot \frac{6 \cdot 173,75 \cdot 10^6}{200 \cdot 1000^2} = 5,84 \text{ MPa}$$

Vliv příčné stability:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{\ell_{ef} \cdot h} \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{mean}}} = \frac{\pi \cdot 200^2 \cdot 6700}{(0,95 \cdot 1000) \cdot 1000} \sqrt{\frac{630}{10000}} = 222,44 \text{ MPa}$$

Poznámka: vazník je zajištěn proti vybočení z roviny ohybu v místech uložení vaznic.

$$\lambda_{rel,y,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{20}{222,44}} = 0,30;$$

pro  $\lambda_{rel,y,m} = 0,30 < 0,75$  je  $k_{crit} = 1,0$

**Největší návrhové napětí v tahu kolmo na vlákna ve vrcholové části:**

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{y,ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,013 \cdot \frac{6 \cdot 173,75 \cdot 10^6}{200 \cdot 1000^2} = 0,07 \text{ MPa}$$

**Posouzení na ohyb:**

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} \cdot (k_r \cdot f_{y,m,g,d}) \dots 5,94 \text{ MPa} < 1,0 \cdot (1,0 \cdot 12,41) = 12,41 \text{ MPa}$$

Průřez na ohyb **vyhoví**.

**Posouzení v tahu kolmo na vlákna ve vrcholové části:**

*Objem vrcholové části*

$$V = 2 \cdot \frac{(1000 - 500 \cdot 0,067) + 1000}{2} \cdot 200 \cdot 500 = 0,197 \cdot 10^9 \text{ mm}^3 = 0,197 \text{ m}^3 < \frac{2(15 \cdot 0,75 \cdot 0,2)}{3} = 1,5 \text{ m}^3$$

$$k_{dis} \cdot (V_0/V)^{0,2} \cdot f_{t,90,g,d} = 1,4 \cdot (0,01/0,197)^{0,2} \cdot 0,22 = 0,17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,07 \text{ MPa} < k_{dis} \cdot (V_0/V)^{0,2} \cdot f_{t,90,g,d} = 0,17 \text{ MPa}$$

Průřez v tahu kolmo na vlákna ve vrcholové části **vyhoví**.

**Posouzení na smyk:**

$$\tau_d = \frac{3}{2} \frac{V}{bh} = \frac{3}{2} \cdot \frac{490}{200 \cdot 1000} = 0,004 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,49 \text{ MPa}$$

**Mezi podporou a vrcholem:**

Vzhledem k tvaru nosníku bude pro statické schéma č. 1 extrémní normálové napětí ve vzdálenosti 4200 mm od okraje nosníku. Výška nosníku je zde 780 mm. K tomuto výsledku vede obecné řešení ve tvaru  $\sigma_{y(x)} = \frac{M_{y(x)}}{W_{y(x)}}$  pro  $\sigma'_y(x) = 0$ . Prakticky lze postupovat tak, že v tabulkovém procesoru se sestaví tabulka podle následujícího vzoru:

**Stanovení polohy průřezů pro extrémní hodnoty  $M_y$ ,  $\sigma$ ,  $\tau$ ,  $V_z$** 

Vzdálenost $x$ [mm]	Výška průřezu $h(x)$ [mm]	Moment $M_{y(x)}$ [Nmm]	Napětí $\sigma(x)$ [MPa]	Napětí $\tau(x)$ [MPa]	Posouvající síla $V_{z(x)}$ [kN]
0	500	0,00	0,000000	0,000000	0,00
100	507	-35,10 E+3	0,004102	0,004618	0,70
200	513	-140,40 E+3	0,015984	0,009117	1,40
300	520	-315,90 E+3	0,035048	0,013500	2,11
400	527	-561,60 E+3	0,060740	0,017772	2,81
450	530	-710,78 E+3	0,075910	0,019868	3,16
450	530	-710,78 E+3	0,075910	<b>0,311264</b>	-49,49
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
4 200	780	135,52 E+6	<b>6,682500</b>	0,099000	-23,17
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
7 500	1 000	<b>173,75 E+6</b>	5,212350	0,000000	0,00

**Poznámky :**

Při stanovení předpisu pro moment  $M_y$  v řezu  $x$  a posouvající sílu  $V_z$  v řezu  $x$  je nutné vycházet ze zásad stavební mechaniky při řešení prostého nosníku s převislými konci, zatíženého spojitým rovnoměrným zatížením.

Předpis pro stanovení normálového napětí vychází ze zásad pružnosti a pevnosti a je použito vztahu pro normálové napětí v řezu  $x$   $\sigma_{y(x)} = \frac{M_{y(x)}}{W_{el,y(x)}}$ , kde při

stanovení modulu průřezu  $W_{el,y(x)}$  je použita příslušná výška průřezu ve vzdálenosti  $x$  od počátku.

Vnitřní síly na prutu:

Kombi únos- nost	$dx$ [mm]	$N$ [kN]	$V$ [kN]	$M_y = M_{y,d}$ [kNm]
<b>1.</b>	4200	0	23,17	<b>135,52</b>

**Návrhové napětí za ohybu :**

$$\sigma_{m,0,d} = (1 + 4 \sin^2 \alpha) \cdot \frac{6 \cdot M_{y,d}}{b \cdot h^2} = (1 + 4 \cdot 0,0044) \cdot \frac{6 \cdot 135,52 \cdot 10^6}{200 \cdot 781^2} = 6,69 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} = (1 - 4 \tan^2 \alpha) \cdot \frac{6 \cdot M_{y,d}}{b \cdot h^2} = (1 - 4 \cdot 0,0044) \cdot \frac{6 \cdot 135,52 \cdot 10^6}{200 \cdot 781^2} = 5,46 \text{ MPa}$$

**Posouzení krajních vláken na straně náběhu:**

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq f_{m,\alpha,d} \dots 6,65 \text{ MPa} < 9,87 \text{ MPa}$$

Průřez mezi podporou a vrcholem **vyhoví**.

**Posouzení na smyk:**

$$\tau_d = \frac{3 V}{2 bh} = \frac{3}{2} \cdot \frac{23520}{200 \cdot 781} = 0,23 \text{ MPa} < f_{v,g,d} = 1,67 \text{ MPa}$$

Průřez mezi podporou a vrcholem **vyhoví**.

**Nad podporou:**

Výška nosníku je zde 530 mm. Reakce  $R_{\max} = 53,6 \text{ kN}$ .

**Posouzení na ohyb:**

*Posudek bude sestaven obdobně jako posudek mezi podporou a vrcholem - průřez zřejmě vyhoví.*

**Posouzení na smyk:**

*Posudek bude sestaven obdobně jako posudek mezi podporou a vrcholem - průřez zřejmě vyhoví.*

**Posouzení na tlak rovnoběžně s vlákny:**

délka vazníku v uložení  $\ell = 300$  mm , převislý konec  $a=300$  mm  $k_{c,90} = 1,0$

$$\sigma_{c,90,g,d} = \frac{53140}{200 \cdot 300} = 0,89 \text{ MPa} < f_{c,90,g,d} = 3,10 \text{ MPa}$$

Průřez nad podporou **vyhoví**.

**Klopení:**

Vlivu klopení je účinně bráněno opřením tlačného horního pásu vazníku prostřednictvím dřevěných vaznic do střešního ztužidla.

## 4 Kontrolní otázky



1. *Objasněte zásady posuzování dřevěných prvků.*
2. *Definujte návrhovou pevnost dřeva.*
3. *Na čem závisí součinitelé  $k_{\text{mod}}$  a  $k_{\text{def}}$  ?*
4. *Jaké znáte třídy vlhkosti a jak se liší ?*
5. *Napište a vysvětlete vztah pro posouzení prvků namáhaných tahem.*
6. *Napište a vysvětlete vztah pro posouzení prvků namáhaných tlakem.*
7. *Napište a vysvětlete vztah pro posouzení prvků namáhaných smykem.*
8. *Napište a vysvětlete vztah pro posouzení prvků namáhaných ohybem.*
9. *Napište a vysvětlete vztah pro posouzení prvků namáhaných kroucením.*
10. *Napište a vysvětlete vztah pro konečnou deformaci ohýbaného nosníku a vysvětlete.*

## 5 Literatura

- [1] Dutko, P-Lederer,F. a kol.: Drevené konštrukcie, ALFA Bratislava, 1976
- [2] Kuklík, P.: Eurocode 5, ČVUT Praha, 1992
- [3] Straka, B.-Pechalová, J.: Dřevěné konstrukce,PC DIR, 1994
- [4] Straka, B.: Navrhování dřevěných konstrukcí, CERM Brno,1996
- [5] Blass, H.J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 1, KODR Zlín, (překlad Koželuh, B.), 1999
- [6] Kuklík, P. a kol.: Dřevěné konstrukce 10, ČVUT Praha 2005

