

PŘÍRUČKA 2

Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5



Leonardo da Vinci Pilot Project
CZ/06/B/F/PP/168007
Educational Materials for Designing
and Testing of Timber Structures



Education and Culture

Leonardo da Vinci



TEMTIS



Leonardo da Vinci

Příručka 2



Leonardo da Vinci Pilot Projects

“Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures – TEMTIS”

„Vzdělávací materiály pro navrhování a zkoušení dřevěných konstrukcí“

CZ/06/B/F/PP-168007

Tento projekt byl realizován za finanční podpory Evropské unie.

Za obsah publikací (sdělení) odpovídá výlučně autor. Publikace (sdělení) nereprezentují názory Evropské komise a Evropská komise neodpovídá za použití informací, jež jsou jejich obsahem.

Příručka 2 – Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5

Editor: Kuklík Petr

© autoři, 2008

První vydání 2008



Předmluva

Tato příručka je zaměřena na navrhování dřevěných konstrukcí podle evropských norem při použití dřeva a výrobků na bázi dřeva dostupných v Evropě.

Příručka je úzce svázána s Eurokódem 5 (EC5), evropskou normou pro navrhování dřevěných konstrukcí.

Pro lepší pochopení návrhových pravidel Eurokódu 5 jsou v příručce uvedeny řešené příklady.

Cílem příručky je seznámit čtenáře se základními pravidly pro navrhování dřevěných konstrukcí podle Části 1-1 Eurokódu 5. Příručka je koncipována tak, aby sloužila buď jako textový materiál pro kurs dřevěných konstrukcí nebo jako podklad pro systematické samostudium této problematiky.

Kapitoly 1 až 11 zpracoval Petr Kuklík, který je též zpracovatelem české verze Eurokódu 5.

Na zpracování jednotlivých řešených příkladů v kapitole 12 se autoři podíleli takto:

Manfred Augustin - příklady 12.11 a 12.12;

Kolbein Bell - příklad 12.13;

Petr Kuklík- příklady 12.5, 12.6, 12.7, 12.8;

Anna Kuklíková- příklady 12.1, 12.2, 12.3, 12.4;

Antonín Lokaj- příklady 12.10 a 12.14;

Miroslav Premrov- příklad 12.9.

Při zpracování této příručky byly využity mimo jiné i výsledky výzkumu získané při práci na výzkumných záměrech MŠMT ČR VZ MSM 6840770001 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních konstrukcí“ a v rámci činnosti výzkumného centra „Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí“ CIDEAS 1M0579.

Říjen 2008

Petr Kuklík

vedoucí autorského kolektivu



Seznam autorů

Manfred AUGUSTIN
Graz University of Technology
Institute of Timber Engineering and Wood Technology
Inffeldgasse 24, A-8010 Graz
manfred.augustin@lignum.tugraz.at
<http://www.lignum.at>

Kolbein BELL
Norwegian University of Science and Technology
Department of Structural Engineering
Rich. Birkelands vei 1a, N0-7491 Trondheim
kolbein.bell@ntnu.no
<http://www.ntnu.no>

Petr KUKLÍK
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí
Thákurova 7, CZ-166 29 Prague 6
kuklik@fsv.cvut.cz
<http://www.ocel-drevo.fsv.cvut.cz>

Anna KUKLÍKOVÁ
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí
Thákurova 7, CZ-166 29 Prague 6
kuklikov@fsv.cvut.cz
<http://www.ocel-drevo.fsv.cvut.cz>

Antonín LOKAJ
Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí
L. Poděště 1875, CZ-708 33 Ostrava
antonin.lokaj@vsb.cz
<http://www.fast.vsb.cz>

Miroslav PREMROV
University of Maribor
Faculty of Civil Engineering
Smetanova ulica 17, SI-2000 Maribor
miroslav.premrov@uni-mb.si
<http://www.fg.uni-mb.si/>



| Obsah | strana |
|---|---------------|
| 1 Úvod..... | 6 |
| 2 Navrhování dřevěných konstrukcí | 8 |
| 3 Návrhové hodnoty materiálových vlastností | 18 |
| 4 Lepidla | 25 |
| 5 Trvanlivost..... | 26 |
| 6 Mezní stavy únosnosti | 28 |
| 7 Mezní stavy použitelnosti | 50 |
| 8 Spoje s kovovými spojovacími prostředky | 54 |
| 9 Dílce a stěnové deskové konstrukce | 79 |
| 10 Mechanicky spojované nosníky..... | 88 |
| 11 Složené a členěné tlačené pruty | 91 |
| 12 Řešené příklady | 97 |
| Literatura | 125 |
| Normativní odkazy..... | 125 |



1 ÚVOD

Pro navrhování dřevěných konstrukcí se v minulosti používaly různé výpočetní postupy, které byly dány většinou příslušnými národními (u nás českými) předpisy (normami), aby bylo možné na jejich základě srovnávat hospodárnost staveb, zajistit jednotnou hladinu spolehlivosti a rozhodovat právní spory.

Dřevěná konstrukce je spolehlivá, jestliže je dostatečně únosná, tuhá a polohově stabilní.

Konstrukce je dostatečně únosná, jestliže namáhání prvků a spojů nepřekročí přípustné hodnoty (návrhové pevnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva a návrhové únosnosti spojovacích prostředků).

Konstrukce je dostatečně tuhá, jestliže přetvoření konstrukce a jejích částí nepřekročí přípustné mezní hodnoty. U stropů je nutné zabránit jejich nadměrnému kmitání.

Konstrukce je dostatečně polohově stabilní, jestliže se prokáže její dostatečná bezpečnost proti překlopení, posunutí a nadzdvihnutí.

V zájmu zajištění odolnosti dřevěné konstrukce proti znehodnocení ohněm, hnilobou a dřevokazným hmyzem je nutno též při návrhu dřevěné konstrukce řešit otázku její vhodné ochrany proti těmto činitelům.

Spolehlivost dřevěných konstrukcí se prokazuje statickým výpočtem.

Při prokazování spolehlivosti dřevěných konstrukcí se nejprve používala metoda dovolených namáhání, která byla později nahrazena metodou mezních stavů.

Zásadní rozdíl mezi těmito dvěma metodami spočívá v tom, že metoda dovolených namáhání vycházela především z mnohaletých zkušeností při navrhování dřevěných konstrukcí, zatímco metoda mezních stavů je koncipována na principech matematické statistiky.

Pro navrhování dřevěných konstrukcí se v naší republice postupně používaly tyto národní normy:

- ČSN 1052-1929 Předpisy pro dřevěné konstrukce pozemního stavitelství;
- ČSN 1052-1941 Předpisy pro dřevěné konstrukce;
- ČSN 73 2050-1950 Projektování dřevěných konstrukcí;
- ČSN 73 1701-1969 Navrhování dřevěných stavebních konstrukcí;



- ČSN 73 1701-1983 Navrhování dřevěných stavebních konstrukcí (revize předcházející normy).

Normy ČSN 1052 a norma ČSN 73 2050 byly normami, které uváděly postupy pro navrhování dřevěných konstrukcí podle metody dovolených namáhání. Norma ČSN 73 1701 je potom již normou pro navrhování dřevěných konstrukcí podle mezních stavů.

Od roku 1980 se v rámci Evropské unie zpracovává jednotná soustava normativních dokumentů pro navrhování stavebních konstrukcí označovaná pracovním názvem Eurokódy, jejímž hlavním cílem je usnadnit volný obchod s dodávkami výrobků a stavebních prací v rámci EU.

Tvorba evropských norem v oboru dřevěných konstrukcí je v rámci Evropské normalizační organizace CEN zajišťována těmito komisemi:

- TC 38 Trvanlivost dřeva a výrobků na bázi dřeva;
- TC 112 Desky na bázi dřeva;
- TC 124 Dřevěné konstrukce;
- TC 175 Kulatina a řezivo;
- TC 193 Lepidla;
- TC 250/SC 5 Eurokódy pro stavební konstrukce/Dřevěné konstrukce.

Schválené předběžné evropské normy ENV a evropské normy EN byly průběžně zavedeny do soustavy českých norem ČSN pod označením ČSN P ENV, nebo ČSN EN.

Navrhováním dřevěných konstrukcí se zabývá Eurokód 5, který navazuje na příslušné evropské normy pro dřevo, materiály na bázi dřeva, spojovací prostředky atd.

Eurokód 5 Navrhování dřevěných konstrukcí má tyto tři části:

Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;

Část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru;

Část 2: Mosty.

S ohledem především na národní tradice při navrhování stavebních konstrukcí byl u všech Eurokódů zvolen následující postup jejich zavádění. Eurokódy byly nejprve organizací CEN vydány jako předběžné evropské normy ENV pro ověření a připomínkování s tím, že měly být v jednotlivých členských státech CEN vydány jako alternativní normy k národním normám.



Například v ČR byly v letech 1996 až 1998 zavedeny všechny tři části Eurokódu 5 na úrovni přednormy jako:

ČSN P ENV 1995-1-1, ČSN P ENV 1995-1-2 a ČSN P ENV 1995-2.

V roce 2003 byla u Eurokódu 5 dokončena další etapa. Na základě uplynulého ověřovacího a připomínkového řízení byl Eurokód 5 transformován do podoby evropské normy EN. V rámci této transformace byla původní přednorma ENV přepracována a zjednodušeně se dá říci, že zdokonalena. V roce 2006 byl Eurokód 5 v podobě evropské normy EN zaveden v ČR a ČSN 73 1701 byla v polovině roku 2008 zrušena.

V roce 2008 potom byla dokončena i první změna A1 EN 1995-1-1. Tato změna bude v ČR zavedena jako technická norma v prosinci 2008. Zásadní změny v návrhových postupech, které tato změna A1 přináší, jsou uvedeny v textu příručky formou poznámek.

Jiná pravidla však platí pro zavádění norem ČSN EN pro materiály, výrobky, zkušebnictví atd., neboť většina z nich okamžitě nahrazuje jim odpovídající normy ČSN. Jestliže norma ČSN EN nahrazuje normu ČSN, je tato skutečnost uvedena v záhlaví příslušné normy ČSN EN a norma ČSN je zrušena.

Ve svém důsledku to znamená, že přechod k evropské soustavě norem je nevyhnutelný, neboť výhledově budou všechny národní normy zrušeny a nahrazeny normami EN.

V současné době proto všechny země Evropské unie zapracovávají do svých soustav technických norem Eurokódy v podobě evropských norem, které by do března 2010 měly být jedinými pravidly pro navrhování stavebních konstrukcí v Evropě. Toto bylo potvrzeno i na celoevropském workshopu organizovaném Evropskou komisí ve dnech 18. - 20. února 2008 v Bruselu.

2 NAVRHOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

Před zahájením vlastních výpočtů je potřeba analyzovat konstrukci a zvolit vhodný návrhový model.

Model musí být dostatečně přesný, aby výstižně popsal chování konstrukce s přihlédnutím k předpokládané úrovni výroby a ke spolehlivosti informací, ze kterých návrh vychází.



Celkové chování konstrukce se má stanovit výpočtem účinků zatížení při použití lineárního modelu materiálu (pružné chování).

Pro konstrukce, u kterých může dojít k přerozdělení vnitřních sil prostřednictvím přiměřené poddajnosti spojů, se mohou použít pružně-plastické metody pro výpočet vnitřních sil v prvcích.

Model pro výpočet vnitřních sil v konstrukci nebo její části musí vzít v úvahu účinky deformací spojů.

Všeobecně platí, že vliv deformací ve spojích se má zohlednit prostřednictvím jejich tuhostí (např. rotační či translační) nebo prostřednictvím předepsaných hodnot prokluzu jako funkce úrovně zatížení spoje.

Analýza prvků konstrukce musí zohlednit následující:

- odchylky od přímosti;
- nehomogenity materiálu.

Odchylky od přímosti a nehomogenity jsou uváženy implicitně návrhovými metodami uvedenými v této příručce.

Oslabení plochy průřezu se musí uvážit při pevnostním posouzení prvku.

Oslabení plochy průřezu se může zanedbat v následujících případech:

- hřebíky a vruty o průměru 6 mm nebo méně, použité bez předvrtání;
- otvory v tlačené oblasti prvků, jestliže jsou otvory vyplněny materiálem o vyšší tuhosti než dřevo.

Když se stanovuje účinný průřez u spoje s několika spojovacími prostředky, mají se všechny otvory v rozmezí poloviční minimální rozteče spojovacích prostředků, měřeno rovnoběžně s vlákny od daného průřezu, považovat za otvory vyskytující se v tomto průřezu.

Únosnost spojovacích prostředků se musí posuzovat s uvážením sil a momentů mezi prvky, stanovených z celkové analýzy konstrukce.

Deformace spoje musí být slučitelná s deformací předpokládanou v celkové analýze.

Analýza spoje musí zohlednit chování všech prvků, které tvoří spoj.

2.1 Požadavky

Dřevěná konstrukce musí být navržena a provedena takovým způsobem,



- aby byla s přijatelnou pravděpodobností schopna užívání k požadovanému účelu, a to se zřetelem k předpokládané životnosti a pořizovacím nákladům;
- aby s odpovídajícími stupni spolehlivosti odolala všem zatížením a vlivům, jejichž výskyt lze během provádění a užívání očekávat, a měla přiměřenou trvanlivost ve vztahu k nákladům na udržování.

2.1.1 Základní normativní požadavky

Navrhování dřevěných konstrukcí musí být ve shodě s EN 1990:2002.

Musí se ale také použít doplňující ustanovení pro dřevěné konstrukce, uvedená v této kapitole.

Základní požadavky EN 1990:2002, kapitola 2, jsou považovány u dřevěných konstrukcí za splněné, pokud se použije navrhování podle mezních stavů ve spojení s metodou dílčích součinitelů, při využití EN 1990:2002 a EN 1991 pro zatížení a jejich kombinace a pravidla EN 1995 pro únosnost, použitelnost a trvanlivost.

2.1.2 Management spolehlivosti

Když jsou požadovány různé úrovně spolehlivosti, mají se tyto úrovně přednostně dosáhnout vhodnou volbou řízení jakosti při navrhování a provádění podle EN 1990:2002 přílohy C.

2.1.3 Návrhová životnost a trvanlivost

Pro návrhovou životnost a trvanlivost platí EN 1990:2002, články 2.3 a 2.4.

2.2 Zásady navrhování podle mezních stavů

Mezní stavy jsou stavy, po jejichž překročení již konstrukce nesplňuje návrhové podmínky spolehlivosti. Rozlišují se tyto mezní stavy:

- mezní stavy únosnosti (únosnost, překlopení, posunutí a nadzvihnutí konstrukce);
- mezní stavy použitelnosti (přetvoření a kmitání konstrukce).

2.2.1 Návrhové modely

Návrhové modely pro různé mezní stavy musí příslušně zohlednit následující:



- rozdílné vlastnosti materiálů (např. pevnost a tuhost);
- rozdílné na čase závislé chování materiálů (délka trvání zatížení, dotvarování);
- rozdílné klimatické podmínky (teplota, kolísání vlhkosti);
- rozdílné návrhové situace (stádium výstavby, změny podmínek uložení).

2.2.2 Mezní stavy únosnosti

Analýza konstrukcí se musí provést s použitím následujících hodnot tuhostních vlastností:

- pro první řád lineárně pružné analýzy konstrukce, kdy rozdělení vnitřních sil není ovlivněno rozdělením tuhosti po konstrukci (např. všechny prvky mají stejné na čase závislé vlastnosti), se musí použít průměrné hodnoty;
- pro první řád lineárně pružné analýzy konstrukce, kdy rozdělení vnitřních sil je ovlivněno rozdělením tuhosti po konstrukci (např. kompozitní prvky obsahují materiály, které mají rozdílné na čase závislé vlastnosti), se musí použít konečné průměrné hodnoty, přizpůsobené složce zatížení, způsobující největší napětí ve vztahu k pevnosti;
- pro druhý řád lineární pružné analýzy konstrukce se musí použít návrhové hodnoty, které nejsou upraveny s ohledem na délku trvání zatížení.

Pro konečné průměrné hodnoty upravené s ohledem na délku trvání zatížení platí 2.3.2.2.

Pro návrhové hodnoty tuhostních vlastností platí 2.4.1.

Modul prokluzu spojů pro mezní stav únosnosti K_u se má uvažovat takto:

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} \quad (2.1)$$

kde K_{ser} je modul prokluzu, viz 7.1.

2.2.3 Mezní stavy použitelnosti

Deformace konstrukce způsobená účinky zatížení (jako jsou osová a posouvající síly, ohybové momenty a prokluz spoje) a vlhkosti nesmí překročit příslušné meze. Pozornost je třeba věnovat možnosti poškození materiálů povrchových úprav, podhledů, stropů, příček a omítek a funkčním potřebám, stejně jako všem požadavkům na vnější vzhled.



Okamžitá deformace u_{inst} (viz obrázek 7.1) se má vypočítat pro charakteristickou kombinaci zatížení (viz EN 1990, článek 6.5.3) s použitím průměrných hodnot příslušných modulů pružnosti, modulů pružnosti ve smyku a modulů prokluzu.

Konečná deformace u_{fin} (viz obrázek 7.1) se má vypočítat pro kvazistálou kombinaci zatížení - viz EN 1990, článek 6.5.3.

Jestliže se konstrukce skládá z prvků nebo dílců s rozdílným dotvarováním, konečná deformace se má vypočítat s použitím konečných průměrných hodnot příslušných modulů pružnosti, modulů pružnosti ve smyku a modulů prokluzu, podle 2.3.2.2.

Pro konstrukce, které jsou složeny z prvků, dílců a spojů se stejným dotvarováním a za předpokladu lineární závislosti mezi zatížením a odpovídající deformací, se může konečná deformace u_{fin} , uvažovat takto:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + \sum u_{fin,Q_i} \quad (2.2)$$

$$\text{kde } u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad \text{pro stálé zatížení, } G \quad (2.3)$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad \text{pro hlavní proměnné zatížení, } Q_1 \quad (2.4)$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \quad \text{pro ostatní proměnná zatížení, } Q_i \text{ (} i > 1 \text{)} \quad (2.5)$$

$u_{inst,G}$, $u_{inst,Q,1}$, $u_{inst,Q,i}$ jsou okamžité deformace pro příslušné zatížení G , Q_1 , Q_i ; $\psi_{2,1}$, $\psi_{2,i}$ součinitele pro kvazistálou hodnotu proměnných zatížení; $\psi_{0,i}$ součinitele pro kombinační hodnotu proměnných zatížení; k_{def} je uveden v tabulce 3.2 pro dřevo a materiály na bázi dřeva a v 2.3.2.2 pro spoje.

Jestliže se použijí vztahy (2.3) až (2.5), součinitele ψ_2 ve vztazích (6.16a) a (6.16b) EN 1990:2002 se mají vynechat.

Ve většině případů je vhodné použít zjednodušenou metodu.

Pro mezní stavy použitelnosti týkající se kmitání, se mají použít průměrné hodnoty příslušných modulů tuhosti.

2.3 Základní proměnné

Základní proměnné jsou zatížení, vlastnosti materiálu a geometrické údaje.



2.3.1 Zatížení a vlivy prostředí

Pro dřevěné konstrukce je typické, že vedle zatížení je jejich únosnost významně ovlivněna i klimatickými vlivy okolního prostředí, které na ně působí.

2.3.1.1 Normy pro zatížení

Zatížení používaná při navrhování mohou být převzata z příslušných částí EN 1991.

Příslušné části EN 1991 zahrnují:

EN 1991-1-1 Objemové tíhy, vlastní tíhu a užitná zatížení

EN 1991-1-3 Zatížení sněhem

EN 1991-1-4 Zatížení větrem

EN 1991-1-5 Zatížení teplotou

EN 1991-1-6 Zatížení během provádění

EN 1991-1-7 Mimořádná zatížení

Trvání zatížení a vlhkost ovlivňují pevnostní a tuhostní vlastnosti prvků ze dřeva a materiálů na bázi dřeva a musí se uvážit při navrhování na mechanickou odolnost a použitelnost.

Musí se také uvážit zatížení způsobená účinky změn vlhkosti ve dřevu.

2.3.1.2 Třídy trvání zatížení

Třídy trvání zatížení jsou charakterizovány účinkem konstantního zatížení působícího po určitou dobu během doby životnosti konstrukce. Pro proměnné zatížení se musí určit příslušná třída na základě odhadu typického kolísání zatížení v čase.

Ve výpočtech pevností a tuhostí se musí zatížení zařadit do jedné ze tříd trvání zatížení uvedených v tabulce 2.1.

Tabulka 2.1 – Třídy trvání zatížení

| 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 | |



Příklady zařazení trvání zatížení jsou uvedeny v tabulce 2.2. Klimatická zatížení (sníh, vítr) se mezi zeměmi liší. V ČR se doporučuje sníh uvažovat jako krátkodobé zatížení, v oblastech s velkým zatížením sněhem po delší časové období se doporučuje část tohoto zatížení uvažovat jako střednědobé zatížení. Vítr se doporučuje uvažovat jako krátkodobé zatížení.

Tabulka 2.2 – Příklady zařazení trvání zatížení

| Třída trvání zatížení | Příklady zatížení |
|-----------------------|------------------------------|
| Stálé | vlastní tíha |
| Dlouhodobé | skladové zatížení |
| Střednědobé | užitné zatížení stropů, sníh |
| Krátkodobé | sníh, vítr |
| Okamžikové | vítr, mimořádné zatížení |

2.3.1.3 Třídy provozu

Konstrukce musí být zařazeny do jedné ze tříd provozu uvedených dále.

System tříd provozu je především zaměřen na určování hodnot pevností a na výpočet deformací při daných podmínkách prostředí.

Třída provozu 1 je charakterizována vlhkostí materiálů odpovídající teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu přesahující 65 % pouze po několik týdnů v roce.

Ve třídě provozu 1 nepřesahuje průměrná vlhkost u většiny dřeva jehličnatých dřevin 12 %.

Třída provozu 2 je charakterizována vlhkostí materiálů odpovídající teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu přesahující 85 % pouze po několik týdnů v roce.

Ve třídě provozu 2 nepřesahuje průměrná vlhkost u většiny dřeva jehličnatých dřevin 20 %.

Třída provozu 3 je charakterizována klimatickými podmínkami vedoucími k vyšší vlhkosti než ve třídě provozu 2.

2.3.2 Vlastnosti materiálů a výrobků

Vlastnosti materiálů a výrobků jsou ovlivněny relativní vlhkostí okolního vzduchu a délkou trvání zatížení.



2.3.2.1 Vliv trvání zatížení a vlhkosti na pevnost

Modifikační součinitele pro vliv trvání zatížení a vlhkosti na pevnost, viz 2.4.1, jsou uvedeny v 3.1.3.

U spoje složeného ze dvou dřevěných prvků majících rozdílné, na čase závislé chování, se má výpočet návrhové únosnosti provést s následujícím modifikačním součinitelem k_{mod} :

$$k_{\text{mod}} = \sqrt{k_{\text{mod},1} k_{\text{mod},2}} \quad (2.6)$$

kde $k_{\text{mod},1}$ a $k_{\text{mod},2}$ jsou modifikační součinitele dřevěných prvků.

2.3.2.2 Vliv trvání zatížení a vlhkosti na deformace

Jestliže se konstrukce skládá z prvků nebo dílců majících rozdílné, na čase závislé vlastnosti, potom se pro mezní stavy použitelnosti konečné průměrné hodnoty modulu pružnosti $E_{\text{mean,fin}}$, modulu pružnosti ve smyku $G_{\text{mean,fin}}$ a modulu prokluzu $K_{\text{ser,fin}}$, které se používají pro výpočet konečné deformace, mají určovat podle následujících vztahů:

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (2.7)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (2.8)$$

$$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (2.9)$$

Pro mezní stavy únosnosti, kdy je rozdělení sil a momentů v prvku ovlivněno rozdělením tuhosti v konstrukci, se konečné průměrné hodnoty modulu pružnosti $E_{\text{mean,fin}}$, modulu pružnosti ve smyku $G_{\text{mean,fin}}$ a modulu prokluzu $K_{\text{ser,fin}}$ mají vypočítat podle následujících vztahů:

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad (2.10)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad (2.11)$$

$$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad (2.12)$$

kde E_{mean} je průměrná hodnota modulu pružnosti, G_{mean} průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku, K_{ser} modul prokluzu, k_{def} součinitel pro zjišťování dotvarování s uvažáním



příslušné třídy provozu, ψ_2 součinitel pro kvazistálou hodnotu zatížení vyvolávajícího největší napětí ve vztahu k pevnosti (jestliže toto zatížení je stálé zatížení, ψ_2 se má nahradit 1).

Hodnoty k_{def} jsou uvedeny v 3.1.4.

Hodnoty ψ_2 jsou uvedeny v EN 1990:2002.

U spoje složeného z dřevěných prvků se stejným, na čase závislým chováním se má hodnota k_{def} zdvojnásobit.

U spoje složeného ze dvou prvků na bázi dřeva, majících rozdílné, na čase závislé chování, se má výpočet konečné deformace provést s následujícím deformačním součinitelem k_{def} :

$$k_{\text{def}} = 2 \sqrt{k_{\text{def},1} k_{\text{def},2}} \quad (2.13)$$

kde $k_{\text{def},1}$ a $k_{\text{def},2}$ jsou součinitele deformace pro dva dřevěné prvky.

2.4 Posouzení metodou dílčích součinitelů

Ověření spolehlivosti dřevěných konstrukcí je založeno na metodě dílčích součinitelů zatížení a materiálů.

2.4.1 Návrhová hodnota vlastnosti materiálu

Návrhová hodnota X_d pevnostní vlastnosti se musí vypočítat takto:

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (2.14)$$

kde X_k je charakteristická hodnota pevnostní vlastnosti, γ_M je dílčí součinitel vlastnosti materiálu, k_{mod} modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti.

Hodnoty k_{mod} jsou uvedeny v 3.1.3. Doporučené dílčí součinitele pro vlastnosti materiálu (γ_M) jsou uvedeny v tabulce 2.3.

**Tabulka 2.3 – Doporučené dílčí součinitele γ_M
pro vlastnosti materiálu a únosnosti**

| Základní kombinace: | γ_M |
|-----------------------------------|------------|
| Rostlé dřevo | 1,3 |
| Lepené lamelové dřevo | 1,25 |
| LVL, překližovaná deska, 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 |

Návrhová tuhostní vlastnost prvku se musí vypočítat takto:

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad (2.15)$$

$$G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad (2.16)$$

kde E_{mean} je průměrná hodnota modulu pružnosti, G_{mean} průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku.

2.4.2 Návrhová hodnota geometrických údajů

Geometrické údaje pro průřezy a soustavy se mohou brát jako nominální hodnoty z výrobních norem hEN nebo prováděcích výkresů.

Návrhové hodnoty geometrických imperfekcí uvedené v této normě zahrnují účinky:

- geometrických imperfekcí prvků;
- účinků konstrukčních imperfekcí z výroby a montáže;
- nehomogenity materiálů (např. v důsledku suků).



2.4.3 Návrhové odolnosti

Návrhová hodnota R_d odolnosti (únosnosti) se musí vypočítat takto:

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (2.17)$$

kde R_k je charakteristická hodnota únosnosti, γ_M dílčí součinitel vlastnosti materiálu, k_{mod} modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti.

Hodnoty k_{mod} jsou uvedeny v 3.1.3.

Dílčí součinitele, viz 2.4.1.

2.4.4 Ověření rovnováhy (EQU)

Použije se způsob ověření statické rovnováhy uvedený v tabulce A1.2 (A) v příloze A1 EN 1990:2002, pokud je to při navrhování dřevěných konstrukcí vhodné, např. při navrhování přídržovacích kotev nebo ověření ložisek vystavených nadzdvihnutí od spojitých nosníků.

3 NÁVRHOVÉ HODNOTY MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ

Eurokód 5 společně s ostatními eurokódy neuvádí žádné hodnoty pevnostních a tuhostních vlastností materiálů. Tyto hodnoty se určují podle příslušných zkušebních norem a některé hodnoty jsou uvedeny v souvisejících normách. V této příručce jsou uvedeny pouze hodnoty konstrukčního dřeva podle EN 338, viz tabulka 3.3.

3.1 Všeobecně

Vlastnosti dřeva a výrobků na bázi dřeva se zjišťují podle přesně definovaných postupů příslušných zkušebních norem, kde jsou přesně stanoveny rozměry zkušebních těles, požadavky na vlhkost a teplotu okolního prostředí a způsob zatěžování.

3.1.1 Parametry pevnosti a tuhosti

Parametry pevnosti a tuhosti se musí určovat na základě zkoušek pro druhy zatížení, kterým bude materiál v konstrukci vystaven, nebo na základě srovnání s podobnými druhy dřeva a tříd či materiálů na bázi dřeva nebo na základě prověřených vztahů mezi různými vlastnostmi.



3.1.2 Vztahy mezi napětím a poměrným přetvořením

Protože jsou charakteristické hodnoty určovány za předpokladu lineárního vztahu mezi napětím a poměrným přetvořením až do porušení, musí také posouzení pevnosti jednotlivých prvků vycházet z tohoto lineárního vztahu.

Pro prvky nebo části prvků namáhané tlakem se může použít nelineární vztah (pružně-plastický).

3.1.3 Modifikační součinitele pevnosti pro třídy provozu a třídy trvání zatížení

Mají se používat hodnoty modifikačního součinitele k_{mod} uvedené v tabulce 3.1.

Jestliže se kombinace zatížení skládá ze zatížení příslušejících k různým třídám trvání zatížení, má se zvolit hodnota k_{mod} , která odpovídá zatížení s nejkratší dobou trvání, např. pro kombinaci zatížení stálého a krátkodobého se má použít hodnota k_{mod} odpovídající krátkodobému zatížení.

3.1.4 Modifikační součinitele deformace pro třídy provozu

Mají se používat hodnoty součinitelů deformace k_{def} uvedené v tabulce 3.2.

3.2 Rostlé dřevo

Dřevěné prvky musí vyhovět EN 14081-1.

Třídy pevností pro dřevo jsou uvedeny v EN 338. Třídy pevnosti včetně příslušných charakteristických hodnot jsou též uvedeny v této příručce, viz tabulka 3.3.

Vliv rozměru prvku na pevnost se může vzít v úvahu.

Pro rostlé dřevo obdélníkového tvaru s charakteristickou hustotou dřeva $\rho_k \leq 700 \text{ kg/m}^3$ je srovnávací výška pro ohyb nebo šířka (maximální rozměr průřezu) pro tah 150 mm. Pro rostlé dřevo o výšce u ohybu a šířce u tahu menší než 150 mm se mohou charakteristické hodnoty $f_{\text{m,k}}$ a $f_{\text{t,0,k}}$ zvětšit součinitelem k_{h} daným vztahem:

$$k_{\text{h}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \\ 1,3 \end{array} \right. \quad (3.1)$$

kde h je výška pro ohýbané prvky nebo šířka pro tažené prvky v mm.

Tabulka 3.1 – Hodnoty k_{mod}

| Materiál | Norma | Třída provozu | Třída trvání zatížení | | | | |
|-------------------------------|------------------------|---------------|-----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | | | Stálé zatížení | Dlouhodobé zatížení | Střednědobé zatížení | Krátkodobé zatížení | Okamžikové zatížení |
| Rostlé dřevo | EN 14081-1 | 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 | EN 14080 | 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 |
| LVL | EN 14374, EN 14279 | 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 |
| Překližovaná deska | EN 636 | | | | | | |
| | Typ EN 636-1 | 1 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | Typ EN 636-2 | 2 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | Typ EN 636-3 | 3 | 0,50 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,90 |
| OSB | EN 300 | | | | | | |
| | OSB/2 | 1 | 0,30 | 0,45 | 0,65 | 0,85 | 1,10 |
| | OSB/3, OSB/4 | 1 | 0,40 | 0,50 | 0,70 | 0,90 | 1,10 |
| | OSB/3, OSB/4 | 2 | 0,30 | 0,40 | 0,55 | 0,70 | 0,90 |
| Třísková deska | EN 312 | | | | | | |
| | Typ P4, Typ P5 | 1 | 0,30 | 0,45 | 0,65 | 0,85 | 1,10 |
| | Typ P5 | 2 | 0,20 | 0,30 | 0,45 | 0,60 | 0,80 |
| | Typ P6, Typ P7 | 1 | 0,40 | 0,50 | 0,70 | 0,90 | 1,10 |
| | Typ P7 | 2 | 0,30 | 0,40 | 0,55 | 0,70 | 0,90 |
| Vláknitá deska, tvrdá | EN 622-2 | | | | | | |
| | HB.LA, HB.HLA 1 nebo 2 | 1 | 0,30 | 0,45 | 0,65 | 0,85 | 1,10 |
| | HB.HLA1 nebo 2 | 2 | 0,20 | 0,30 | 0,45 | 0,60 | 0,80 |
| Vláknitá deska, středně tvrdá | EN 622-3 | | | | | | |
| | MBH.LA1 nebo 2 | 1 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| | MBH.HLS1 nebo 2 | 1 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| | MBH.HLS1 nebo 2 | 2 | – | – | – | 0,45 | 0,80 |
| Vláknitá deska, MDF | EN 622-5 | | | | | | |
| | MDF.LA, MDF.HLS | 1 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| | MDF.HLS | 2 | – | – | – | 0,45 | 0,80 |

Poznámka: V tabulce 3.1 je již zapracována změna A1 EN 1995-1-1, která se týká specifikace typů překližovaných a třískových desek.



Pro dřevo zabudované na mezi nebo blízko meze nasycení vláken, a které pravděpodobně bude vysychat pod zatížením, se má hodnota k_{def} , uvedená v tabulce 3.2, zvýšit o 1,0.

Zubovité spoje musí vyhovět EN 385.

3.3 Lepené lamelové dřevo

Prvky z lepeného lamelového dřeva musí vyhovět EN 14080.

V EN 1194 jsou uvedeny hodnoty pevnosti a tuhosti pro lepené lamelové dřevo zatříděné do tříd pevností, viz příloha D (Informativní).

Vliv rozměru prvku na pevnost se může vzít v úvahu.

Pro lepené lamelové dřevo obdélníkového tvaru je srovnávací výška u ohybu nebo šířka u tahu 600 mm. Pro lepené lamelové dřevo o výšce u ohybu a šířce u tahu menší než 600 mm se mohou charakteristické hodnoty $f_{m,k}$ a $f_{t,0,k}$ zvětšit součinitelem k_h daným vztahem.

$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \\ 1,1 \end{array} \right. \quad (3.2)$$

kde h je výška pro ohýbané prvky nebo šířka pro tažené prvky v mm.

Velké zubovité spoje vyhovující požadavkům EN 387 se nesmí používat u výrobků zabudovaných ve třídě provozu 3, u kterých se mění směr vláken ve spoji.

Vliv rozměru prvku na pevnost v tahu kolmo k vláknům se musí vzít v úvahu.

Tabulka 3.2 – Hodnoty k_{def} pro dřevo a materiály na bázi dřeva

| Materiál | Norma | Třída provozu | | |
|-----------------------|--------------------|---------------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Rostlé dřevo | EN 14081-1 | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| Lepené lamelové dřevo | EN 14080 | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| LVL | EN 14374, EN 14279 | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| Překližovaná deska | EN 636 | | | |
| | Typ 636-1 | 0,80 | – | – |
| | Typ 636-2 | 0,80 | 1,00 | – |
| | Typ 636-3 | 0,80 | 1,00 | 2,50 |

pokračování tabulky



pokračování tabulky

| Materiál | Norma | Třída provozu | | |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------|------|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| OSB | EN 300 OSB/2 | 2,25 | – | – |
| | OSB/3, OSB/4 | 1,50 | 2,25 | – |
| Třísková deska | EN 312 Typ P4 | 2,25 | – | – |
| | Typ P5 | 2,25 | 3,00 | – |
| | Typ P6 | 1,50 | – | – |
| | Typ P7 | 1,50 | 2,25 | – |
| Vláknitá deska, tvrdá | EN 622-2 HB.LA | 2,25 | – | – |
| | HB.HLA1, HB.HLA2 | 2,25 | 3,00 | – |
| | EN 622-3 MBH.LA1, MBH.LA2 | 3,00 | – | – |
| Vláknitá deska, středně tvrdá | MBH.HLS1, MBH.HLS2 | 3,00 | 4,00 | – |
| | EN 622-5 MDF.LA | 2,25 | – | – |
| Vláknitá deska, MDF | MDF.HLS | 2,25 | 3,00 | – |

Poznámka: V tabulce 3.2 je již zapracována změna A1 EN 1995-1-1, která se týká specifikace typů překližovaných a třískových desek.

3.4 Vrstvené dřevo (LVL)

Konstrukční prvky z LVL musí vyhovět EN 14374.

Pro LVL obdélníkového tvaru mající podstatnou část vláken všech dých orientovanu v jednom směru, se musí vzít v úvahu vliv rozměru prvku na pevnost v ohybu a v tahu.

Srovnávací výška v ohybu je 300 mm. Pro výšky u ohybu, které se nerovnají 300 mm, se má charakteristická hodnota $f_{m,k}$ násobit součinitelem k_h daným vztahem:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{300}{h} \right)^s, 1,2 \right\} \quad (3.3)$$

kde h je výška prvku v mm, s exponent vlivu velikosti rozměru podle EN 14374.



Srovnávací délka v tahu je 3 000 mm. Pro délky v tahu, které se nerovnjí 3 000 mm se má charakteristická hodnota $f_{t,0,k}$ násobit součinitelem k_ℓ daným vztahem:

$$k_\ell = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{3000}{\ell} \right)^{s/2} \\ 1,1 \end{array} \right. \quad (3.4)$$

kde ℓ je délka v mm.

Velké zubovité spoje vyhovující požadavkům EN 387 se nesmí používat u výrobků zabudovaných ve třídě provozu 3, u kterých se mění směr vláken ve spoji.

Pro LVL, které má podstatnou část vláken všech dých orientovánu v jednom směru, se musí vzít v úvahu vliv velikosti rozměru prvku na pevnost v tahu kolmo k vláknům.

3.5 Desky na bázi dřeva

Desky na bázi dřeva musí vyhovět EN 13986 a LVL použité jako desky musí vyhovět EN 14279.

Desky ze dřeva jehličnatých dřevin podle EN 622-4 se mají používat omezeně na zavětrování a mají být navrhovány na základě zkoušek.

3.6 Lepidla

Lepidla pro konstrukční účely musí dávat spoje takové pevnosti a trvanlivosti, aby byla zachována celistvost lepení ve stanovené třídě provozu po celou předpokládanou dobu životnosti konstrukce.

Lepidla, která vyhovují specifikaci typu I, definované v EN 301, se mohou používat ve všech třídách provozu.

Lepidla, která vyhovují specifikaci Typu II, definované v EN 301, se mají používat pouze ve třídách provozu 1 nebo 2 a ne při dlouhodobém působení teplot nad 50 °C.

3.7 Kovové spojovací prostředky

Kovové spojovací prostředky musí vyhovět EN 14592 a kovové hmoždíky musí vyhovět EN 14545.



Tabulka 3.3 - Třídy pevnosti a charakteristické hodnoty pro konstrukční dřevo podle EN 338

| | | Topol a jehličnaté dřeviny | | | | | | | | | | | | Listnaté dřeviny | | | | | |
|--|---------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|------|------|------|------|------|
| | | C14 | C16 | C18 | C20 | C22 | C24 | C27 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | D30 | D35 | D40 | D50 | D60 | D70 |
| Pevnostní vlastnosti v N/mm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ohyb | $f_{m,k}$ | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 27 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Tah rovnoběžně s vlákny | $f_{t,0,k}$ | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 16 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 18 | 21 | 24 | 30 | 36 | 42 |
| Tah kolmo k vláknům | $f_{t,90,k}$ | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Tlak rovnoběžně s vlákny | $f_{c,0,k}$ | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 25 | 26 | 27 | 29 | 23 | 25 | 26 | 29 | 32 | 34 |
| Tlak kolmo k vláknům | $f_{c,90,k}$ | 2,0 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,1 | 3,2 | 8,0 | 8,4 | 8,8 | 9,7 | 10,5 | 13,5 |
| Smyk | $f_{v,k}$ | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,8 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 4,6 | 5,3 | 6,0 |
| Tuhostní vlastnosti v kN/mm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny | $E_{0,mean}$ | 7 | 8 | 9 | 9,5 | 10 | 11 | 11,5 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 10 | 10 | 11 | 14 | 17 | 20 |
| 5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny | $E_{0,05}$ | 4,7 | 5,4 | 6,0 | 6,4 | 6,7 | 7,4 | 7,7 | 8,0 | 8,7 | 9,4 | 10,0 | 10,7 | 8,0 | 8,7 | 9,4 | 11,8 | 14,3 | 16,8 |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům | $E_{90,mean}$ | 0,23 | 0,27 | 0,30 | 0,32 | 0,33 | 0,37 | 0,38 | 0,40 | 0,43 | 0,47 | 0,50 | 0,53 | 0,64 | 0,69 | 0,75 | 0,93 | 1,13 | 1,33 |
| Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku | G_{mean} | 0,44 | 0,5 | 0,56 | 0,59 | 0,63 | 0,69 | 0,72 | 0,75 | 0,81 | 0,88 | 0,94 | 1,00 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,88 | 1,06 | 1,25 |
| Hustota v kg/m ³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hustota | ρ_k | 290 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 370 | 380 | 400 | 420 | 440 | 460 | 530 | 560 | 590 | 650 | 700 | 900 |
| Průměrná hodnota hustoty | ρ_{mean} | 350 | 370 | 380 | 390 | 410 | 420 | 450 | 460 | 480 | 500 | 520 | 550 | 640 | 670 | 700 | 780 | 840 | 1080 |
| <p>POZNÁMKA a) Výše uvedené hodnoty pro pevnost v tahu, pevnost v tlaku, pevnost ve smyku, 5% kvantil modulu pružnosti, průměrný modul pružnosti kolmo k vláknům a průměrný modul pružnosti ve smyku byly vypočteny na základě vztahů uvedených v příloze A EN 338.</p> <p>b) Tabelované vlastnosti odpovídají dřevu s vlhkostí při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti 65 %.</p> <p>c) Dřevo vyhovující třídám C45 a C50 nemusí být snadno dostupné.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



4 LEPIDLA

V současné době existuje pouze jedna zavedená evropská norma pro klasifikaci lepidel pro dřevěné konstrukční prvky EN 301 „Fenolická a aminová lepidla pro nosné díly dřevěných konstrukcí - Klasifikace a technické požadavky“. Odpovídající zkušební norma je EN 302, část 1 až 4 „Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce - Zkušební metody“. Tyto normy se vztahují pouze na fenolická a aminová lepidla, která se rozdělují na:

- lepidla typu I, který jsou trvanlivá při neomezené venkovní expozici a teplotách nad 50 °C;
- lepidla typu II pro použití ve vytápěných a větraných budovách, venkovním prostředí chráněném proti povětrnosti, při krátkodobém působení povětrnosti a při teplotách nejvýše 50 °C.

Podle EC5 se smí používat pouze lepidla, která vyhovují podmínkám EN 301.

Rezorcínolformaldehydová (RF) a fenolrezorcínolformaldehydová (PRF) pryskyřičná lepidla

Používají se při výrobě lepeného lamelového dřeva, velkých zubovitých spojů, nosníků průřezu I a skříňového průřezu apod., a to jak pro konstrukční prvky na povětrnosti, tak i pro vnitřní použití.

Fenolformaldehydová (PF) pryskyřičná lepidla pro lepení za horka

PF lepidla pro lepení za horka nemohou být klasifikovány podle EN 301.

Fenolformaldehydová (PF) pryskyřičná lepidla pro lepení za studena

PF lepidla pro lepení za studena se klasifikují podle EN 301, avšak t.č. dostupná lepidla musí být na základě zkušebního postupu podle EN 302, část 3 pro stanovení vlivu poškození dřevěných vláken kyselinou, pravděpodobně vyloučena.

Melaminmočovinoformaldehydová (MUF) pryskyřičná lepidla

MUF lepidla pro lepení za studena mohou být klasifikována podle EN 301. Nejsou ovšem odolná jako rezorcínová lepidla. MUF lepidla se často přednostně používají z ekonomických důvodů a pro jejich světlou barvu.



Kaseinová lepidla

Kaseinová lepidla jsou pravděpodobně nejstarším průmyslově vyráběným lepidlem a používala se při výrobě lepeného lamelového dřeva již před rokem 1920. Kaseinová lepidla nespĺňují požadavky EN 301.

Epoxidová lepidla

Epoxidová lepidla mohou být přizpůsobena účelu použití a některá z nich jsou vhodná pro lepení dřeva. Mají velmi dobrou schopnost pro vyplnění spáry.

Pevnost a trvanlivost epoxidových lepidel jsou velmi dobré.

Dvousložková polyuretanová lepidla

Tato lepidla vykazují vysokou pevnost a dobrou trvanlivost, ale dosavadní zkušenosti poukazují na to, že ne všechna jsou odolná proti vodě.

5 TRVANLIVOST

Dřevo je náchylné k biologickému poškození, zatímco kovové části mohou korodovat. Za ideálních podmínek však dřevěné konstrukce mohou sloužit staletí bez významné biologické degradace.

5.1 Odolnost proti biologickým organismům a korozi

Dřevo a materiály na bázi dřeva musí mít buď přiměřenou vlastní trvanlivost podle EN 350-2 pro odpovídající třídu ohrožení (definovanou v EN 335-1, EN 335-2 a EN 335-3), nebo musí být chráněny ochrannými prostředky zvolenými podle EN 351-1 a EN 460.

Ochranné prostředky mohou ovlivnit pevnostní a tuhostní vlastnosti.

Pravidla pro specifikaci ochranných prostředků jsou uvedena v EN 350-2 a EN 335.

Kovové spojovací prostředky a ostatní konstrukční spoje musí, kde je to nutné, být buď samy o sobě odolné proti korozi, nebo musí být proti korozi chráněny.

Příklady minimální ochrany proti korozi nebo specifikace materiálů pro různé třídy provozu (viz 2.3.1.3) jsou uvedeny v tabulce 5.1.

Tabulka 5.1 – Příklady minimálních požadavků na ochranu materiálu proti korozi pro spojovací prostředky (podle ISO 2081)

| Spojovací prostředek | Třída provozu ^b | | |
|--|----------------------------|------------------------|------------------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Hřebíky a vruty s $d \leq 4$ mm | žádné | Fe/Zn 12c ^a | Fe/Zn 25c ^a |
| Svorníky, kolíky, hřebíky a vruty s $d > 4$ mm | žádné | žádné | Fe/Zn 25c ^a |
| Sponky | Fe/Zn 12c ^a | Fe/Zn 12c ^a | korozivzdorná ocel |
| Kovové desky s prolisovanými trny a ocelové desky do tloušťky 3 mm | Fe/Zn 12c ^a | Fe/Zn 12c ^a | korozivzdorná ocel |
| Ocelové desky tloušťky od 3 mm do 5 mm | žádné | Fe/Zn 12c ^a | Fe/Zn 25c ^a |
| Ocelové desky tloušťky nad 5 mm | žádné | žádné | Fe/Zn 25c ^a |

^a Jestliže se použije žárový zinkový povlak, potom se má Fe/Zn 12c nahradit Z275 a Fe/Zn 25c se má nahradit Z350 podle EN 10147

^b Pro obzvláště korozivní podmínky má být pozornost věnována těžším povlakům získaným máčením nebo korozivzdorné oceli.

5.2 Biologické napadení dřeva

Obecně lze říci, že k napadení dřeva biologickými škůdci jsou nutné čtyři hlavní podmínky: dostatečná vlhkost, kyslík, teplo a výživný substrát.

Je třeba poznamenat, že dřevo, jehož vlhkost je trvale nižší než 18 % nebývá napadeno dřevokaznými houbami. Dřevo, jehož vlhkost je trvale nižší než 10 % nebývá napadeno dřevokazným hmyzem.

5.3 Klasifikace tříd ohrožení

Třídy ohrožení dřeva biotickými škůdci jsou definovány v EN 335-1 a EN 335-2 takto:

Třída ohrožení 1 - dřevo v interiéru staveb plně chráněné před povětrností, bez rizika vyluhování vodou, mimo kontakt se zemí nebo neizolovaným zdivem. Vlhkost dřeva nikdy nepřevyšuje 20 %. Předpokládá se možné napadení dřevokazným hmyzem, napadení dřevokaznými houbami a plísněmi je zanedbatelné.

Třída ohrožení 2 - dřevo v interiéru staveb chráněné před účinky povětrnosti a vyluhování vodou, vlhkost prostředí může vést k občasnému zvýšení vlhkosti dřeva nad 20 %.



V tomto prostředí lze předpokládat možné napadení dřevokazným hmyzem, dřevokaznými houbami a plísněmi.

Třída ohrožení 3 - dřevo v exteriéru nebo v interiéru nechráněné před působením povětrnosti a vyluhování vodou. Není v trvalém kontaktu se zemí nebo sladkou vodou. Vlhkost dřeva je opakovaně a často vyšší než 20 %. Lze předpokládat možnost napadení dřevokaznými houbami, plísněmi a hmyzem.

Třída ohrožení 4 - dřevo v trvalém kontaktu s vodou nebo se zemí. Vlhkost trvale vyšší než 20 %. Lze předpokládat napadení houbami, hmyzem a plísněmi.

Třída ohrožení 5 - dřevo v trvalém a přímém kontaktu s mořskou vodou . V našich podmínkách nepřichází v úvahu.

5.4 Prevence proti napadení houbami

Riziko napadení dřeva dřevokaznými houbami lze omezit pečlivým návrhem konstrukčních detailů, zejména za účelem snížení vlhkosti dřeva.

5.5 Prevence proti napadení hmyzem

Volba druhu dřeviny by především měla vycházet z její přirozené trvanlivosti vůči určitému dřevokaznému hmyzu, kterým může být napadena. Je ale také třeba ověřit, zda-li se určitý hmyz v současnosti vyskytuje v oblasti, kde bude dřevo použito.

6 MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

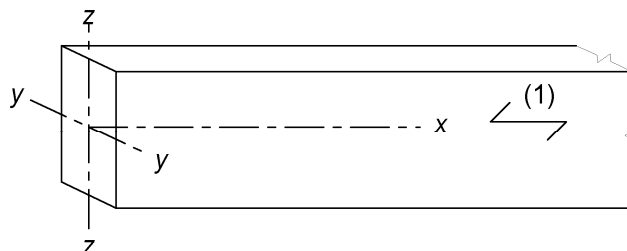
U dřevěných konstrukcí musíme ověřit jejich mezní stavy, které se vztahují ke zřícení nebo k jiným způsobům poškození konstrukce, při nichž může být ohrožena bezpečnost lidí.

6.1 Navrhování průřezů namáhaných v jednom hlavním směru

Tato část příručky se zabývá jednoduchými prvky prostě namáhanými (prostý tah a tlak apod.).

6.1.1 Předpoklady

Odstavec 6.1 platí pro rovné rostlé dřevo, lepené lamelové dřevo nebo konstrukční výrobky na bázi dřeva s konstantním průřezem, jejichž vlákna jsou orientována převážně rovnoběžně po délce prvku. Předpokládá se, že prvek je namáhán napětím pouze ve směru své jedné hlavní osy - viz obrázek 6.1.



Obrázek 6.1 – Osy prvku

(1) Směr vláken

6.1.2 Tah rovnoběžně s vlákny

Musí být splněna následující podmínka:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (6.1)$$

kde $\sigma_{t,0,d}$ je návrhové napětí v tahu podél vláken, $f_{t,0,d}$ návrhová pevnost v tahu podél vláken.

6.1.3 Tah kolmo k vláknům

Musí být uvážení vliv velikosti prvku.

6.1.4 Tlak rovnoběžně s vlákny

Musí být splněna následující podmínka:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (6.2)$$

kde $\sigma_{c,0,d}$ je návrhové napětí v tlaku podél vláken, $f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku podél vláken.

Pravidla pro stabilitu prvků jsou uvedena v 6.3.

6.1.5 Tlak kolmo k vláknům

Musí být splněna následující podmínka:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (6.3)$$

kde $\sigma_{c,90,d}$ je návrhové napětí v tlaku kolmo k vláknům v dotykové ploše, $f_{c,90,d}$ návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům, $k_{c,90}$ součinitel zohledňující uspořádání zatížení, možnost štěpení dřeva a stupeň jeho deformace v tlaku.

Hodnota $k_{c,90}$ se má uvažovat 1,0, pokud se pro prvek nepoužijí postupy podle následujících odstavců. V těchto případech může být použita vyšší předepsaná hodnota $k_{c,90}$ až do mezní hodnoty $k_{c,90} = 4,0$.

Jestliže se použije vyšší hodnota $k_{c,90}$ a dotyk překročí plnou šířku prvku b , pak vzniklá deformace v tlaku při mezním stavu bude přibližně 10 % výšky prvku.

Pro nosníkový prvek uložený na podpěrách (viz obrázek 6.2), se má součinitel $k_{c,90}$ vypočítat z následujících vztahů:

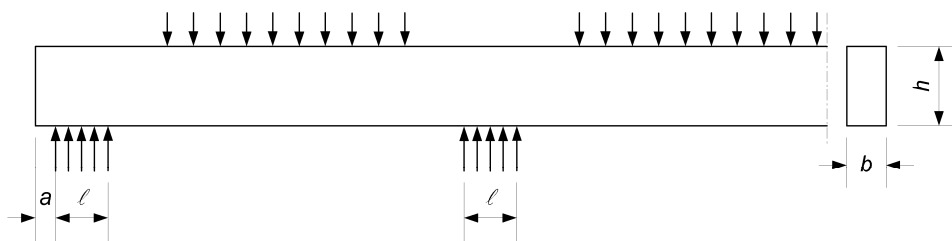
- Když vzdálenost od okraje podpěry ke konci nosníku $a \leq h/3$:

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{\ell}{250}\right) \left(1 + \frac{h}{12\ell}\right) \quad (6.4)$$

- U vnitřních podpěr:

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{\ell}{250}\right) \left(1 + \frac{h}{6\ell}\right) \quad (6.5)$$

kde ℓ je dotyková délka v mm, h výška prvku v mm.



Obrázek 6.2 – Nosník na podpěrách

Pro prvek s výškou $h \leq 2,5b$, kde soustředěná síla s dotykem přes plnou šířku prvku b působí na jednom lici přímo přes průběžnou nebo lokální podpěru na protilehlém lici (viz obrázek 6.3), pro součinitel $k_{c,90}$ platí:

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{\ell}{250}\right) \left(\frac{\ell_{ef}}{\ell}\right)^{0,5} \quad (6.6)$$

kde ℓ_{ef} je účinná délka roznesení v mm, viz dále, ℓ dotyková délka (viz obrázek 6.3) v mm.



Účinná délka roznesení ℓ_{ef} má být stanovena z přímky rozdělení napětí s odklonem od svislice 1:3 po výšce h , ale omezena vzdáleností $a/2$ od každého konce, nebo vzdáleností $\ell_1/4$ od každé přilehlé tlakové plochy - viz obrázek 6.3a a 6.3b.

Pro jednotlivé polohy sil níže, platí tyto účinné délky:

– pro břemena na straně konce prvku - viz obrázek 6.3a):

$$\ell_{ef} = \ell + \frac{h}{3} \quad (6.7)$$

– jestliže vzdálenost od okraje soustředěného břemene ke konci prvku $a \geq \frac{2}{3}h$ - viz obr.

6.3b):

$$\ell_{ef} = \ell + \frac{2h}{3} \quad (6.8)$$

kde h je výška prvku nebo 40 mm, podle toho co je větší.

Pro prvky na lokálních podpěrách, za předpokladu, že $a \geq h$ a $\ell_1 \geq 2h$ (viz obrázek 6.3c), se má účinná délka vypočítat takto:

$$\ell_{ef} = 0,5 \left(\ell + \ell_s + \frac{2h}{3} \right) \quad (6.9)$$

kde h je výška prvku nebo 40 mm, podle toho co je větší.

Pro prvek výšky $h \geq 2,5b$ zatížený soustředěnou tlakovou silou na dvou protilehlých stranách, jak je znázorněno na obr. 6.4b, nebo se soustředěnou tlakovou silou na jedné straně a průběžnou podpěrrou na straně druhé (viz obrázek 6.4a) se má součinitel $k_{c,90}$ vypočítat podle vztahu (6.10) za předpokladu, že jsou splněny následující podmínky:

- působící tlaková síla se vyskytuje přes celou šířku prvku b ;
- dotyková délka ℓ je menší než větší hodnota z h nebo 100 mm:

$$k_{c,90} = \frac{\ell_{ef}}{\ell} \quad (6.10)$$

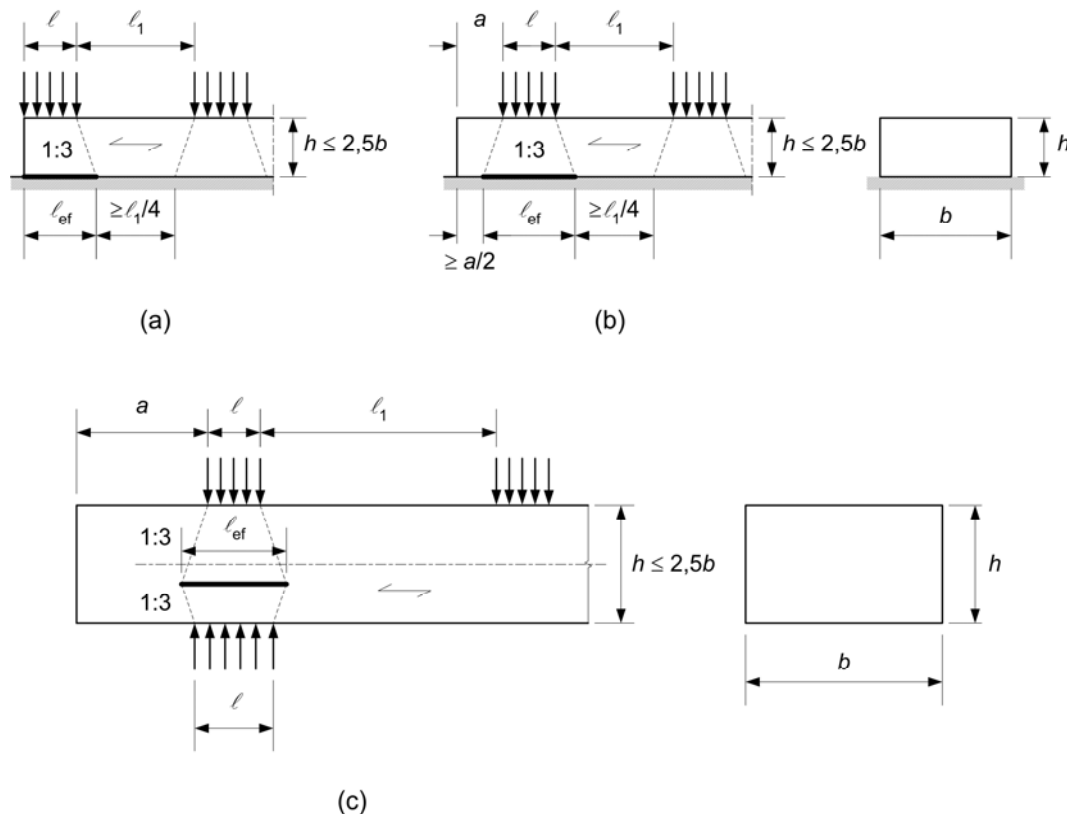
kde ℓ je dotyková délka podle obrázku 6.4, ℓ_{ef} účinná délka roznesení podle obrázku 6.4.

Účinná délka roznesení nemá být větší o více než ℓ za každý z obou okrajů dotykové délky.

Pro prvky, jejichž výška se mění lineárně nad podpěrrou (např. spodní pasy příhradových nosníků se seříznutým okrajem), se má výška h uvažovat jako výška prvku v ose podpěry a účinná délka ℓ_{ef} se má uvažovat rovna dotykové délce ℓ .

Poznámka:

Tlak kolmo k vláknům je ve změně A1 EN 1995-1-1 přepracován a je podstatně jednodušší, viz následující text (rovnice (6.5) až (6.10) a obrázky (6.3) a (6.4) změna ruší).



**Obrázek 6.3 – Stanovení účinných délek pro prvek s $h/b \leq 2,5$,
(a) a (b) průběžná podpěra, (c) lokální podpěry**

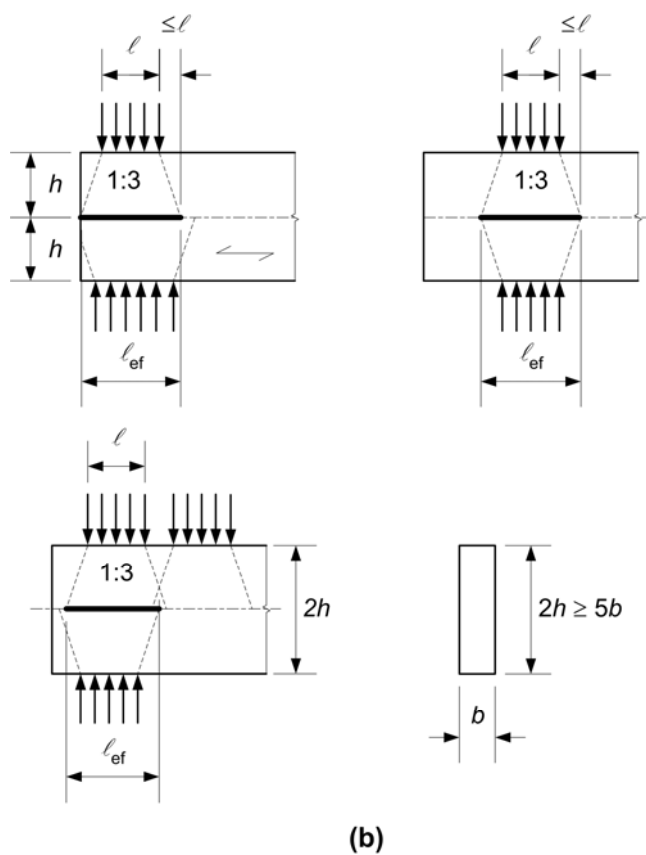
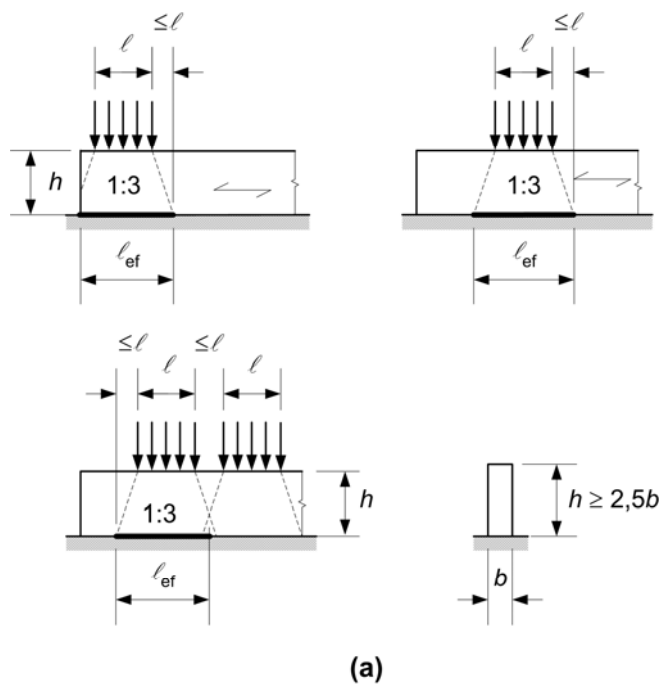
U tlaku kolmo k vláknům musí být splněna následující podmínka:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (6.3)$$

přičemž

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (6.4)$$

kde $\sigma_{c,90,d}$ je návrhové napětí v tlaku kolmo k vláknům v účinné dotykové ploše; $F_{c,90,d}$ návrhové zatížení v tlaku kolmo k vláknům; A_{ef} účinná dotyková plocha v tlaku kolmo k vláknům; $f_{c,90,d}$ návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům; $k_{c,90}$ součinitel zohledňující uspořádání zatížení, možnost rozštěpení dřeva a stupeň jeho deformace v tlaku.



Obrázek 6.4 – Stanovení účinných délek pro prvek s $h/b > 2,5$
na (a) průběžné podpěře, (b) lokálních podpěrách

Účinná dotyková plocha kolmo k vláknům A_{ef} se má určit při uvážení účinné dotykové délky rovnoběžně s vlákny, kde skutečná dotyková délka ℓ na každé straně je zvětšena o 30 mm, ale ne o více než a , ℓ nebo $\ell_1/2$, viz obrázek 6.2.

Hodnota $k_{c,90}$ se má uvažovat 1,0, pokud se pro prvek nepoužijí postupy podle následujících odstavců. V těchto případech může být použita vyšší $k_{c,90}$ až do mezní hodnoty $k_{c,90} = 1,75$.

Pro prvky na průběžných podpěrách, za předpokladu, že $\ell_1 \geq 2h$, viz obrázek 6.2a, se má hodnota $k_{c,90}$ uvažovat takto:

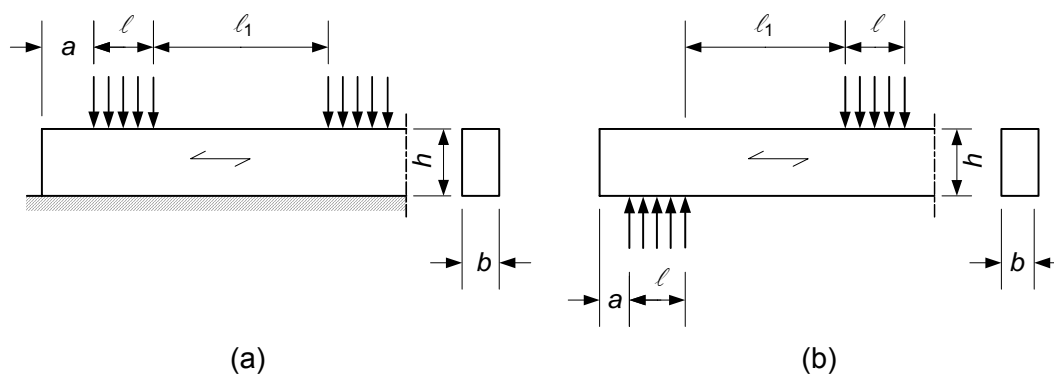
- $k_{c,90} = 1,25$ pro rostlé dřevo z jehličnatých dřevin;
- $k_{c,90} = 1,5$ pro lepené lamelové dřevo z jehličnatých dřevin;

kde h je výška prvku a ℓ je dotyková délka.

Pro prvky na lokálních podpěrách, za předpokladu, že $\ell_1 \geq 2h$, viz obrázek 6.2b, se má hodnota $k_{c,90}$ uvažovat takto:

- $k_{c,90} = 1,5$ pro rostlé dřevo z jehličnatých dřevin;
- $k_{c,90} = 1,75$ pro lepené lamelové dřevo z jehličnatých dřevin, za předpokladu, že $\ell \leq 400$ mm;

kde h je výška prvku a ℓ je dotyková délka.



Obr. 6.2 Prvek na (a) průběžných a (b) lokálních podpěrách



6.1.6 Ohyb

Musí být splněny následující podmínky:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.11)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.12)$$

kde $\sigma_{m,y,d}$ a $\sigma_{m,z,d}$ jsou návrhová napětí v ohybu k hlavním osám, vyznačeným na obrázku 6.1, $f_{m,y,d}$ a $f_{m,z,d}$ odpovídající návrhové pevnosti v ohybu.

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

Hodnota součinitele k_m se má uvažovat takto:

- pro rostlé dřevo, lepené lamelové dřevo a LVL:

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

- pro ostatní konstrukční výrobky na bázi dřeva, pro všechny průřezy $k_m = 1,0$.

Musí se rovněž ověřit podmínka stability, viz 6.3.

6.1.7 Smyk

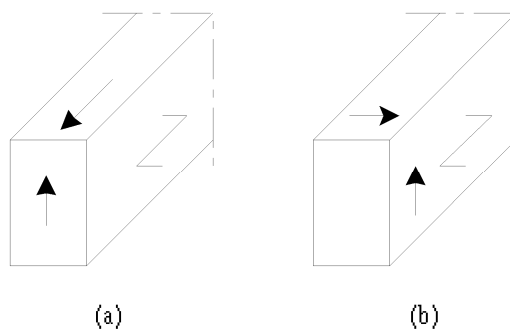
Pro smyk se složkou napětí rovnoběžně s vlákny (viz obrázek 6.5(a)) právě tak jako pro smyk s oběma složkami napětí kolmo k vláknům (viz obrázek 6.5(b)) musí být splněna následující podmínka:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (6.13)$$

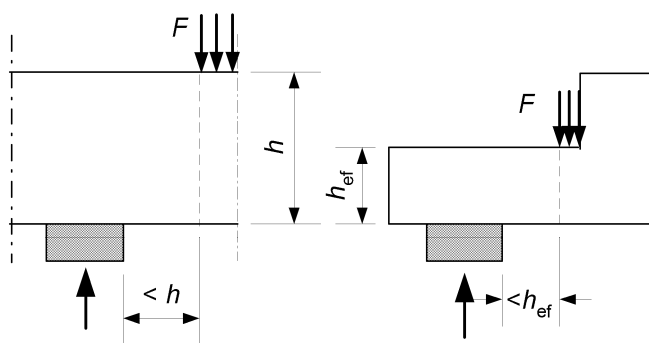
kde τ_d návrhové napětí ve smyku, $f_{v,d}$ je návrhová pevnost ve smyku pro příslušný případ.

Pevnost ve smyku pro valivý smyk se přibližně rovná dvojnásobku pevnosti v tahu kolmo k vláknům.

V podpěrách může být zanedbán příspěvek do celkové smykové síly od soustředěného zatížení F , působícího na horním okraji nosníku do vzdálenosti h nebo h_{ef} od okraje podpěry, viz obrázek 6.6. Pro nosníky se zářezem v místě podpěry se tato redukce smykové síly použije pouze tehdy, je-li zářez na opačné straně než podpěra.



**Obrázek 6.5 – (a) Prvek se složkou napětí ve smyku rovnoběžně s vlákny
(b) Prvek s oběma složkami napětí kolmo k vláknům dřeva (valivý smyk)**



Obrázek 6.6 – Podmínky v podpěře za kterých může být ve výpočtu smykové síly zanedbán vliv soustředěného zatížení F

Poznámka:

U posouzení na smyk změna A1 EN 1995-1-1 zavádí účinnou šířku průřezu:

$$b_{ef} = k_{cr} b \quad (6.13a)$$

kde b je šířka příslušné části prvku; k_{cr} součinitel trhlin pro únosnost ve smyku .

Doporučené hodnoty k_{cr} (vlivu výsušných trhlin) jsou tyto:

- $k_{cr} = 0,67$ pro rostlé dřevo;
- $k_{cr} = 0,67$ pro lepené lamelové dřevo;
- $k_{cr} = 1,0$ pro další výrobky na bázi dřeva podle EN 13986 a EN 14374.

6.1.8 Kroucení

Musí být splněna následující podmínka:

$$\tau_{\text{tor,d}} \leq k_{\text{shape}} f_{\text{v,d}} \quad (6.14)$$

$$s \quad k_{\text{shape}} = \begin{cases} 1,2 & \text{pro kruhový průřez} \\ \min \begin{cases} 1+0,15 \frac{h}{b} \\ 2,0 \end{cases} & \text{pro obdélníkový průřez} \end{cases} \quad (6.15)$$

kde $\tau_{\text{tor,d}}$ je návrhové napětí ve smyku od kroucení, $f_{\text{v,d}}$ návrhová pevnost ve smyku, k_{shape} součinitel závislý na tvaru průřezu, h větší rozměr průřezu, b menší rozměr průřezu.

6.2 Návrh průřezů vystavených kombinovaným napětím

Některé konstrukční prvky jsou namáhány napětím od kombinovaného zatížení nebo napětím působícím ve dvou či třech jeho hlavních osách.

6.2.1 Všeobecně

Odstavec 6.2 platí pro rovné rostlé dřevo, lepené lamelové dřevo nebo konstrukční výrobky na bázi dřeva s konstantním průřezem, jejichž vlákna jsou orientována převážně rovnoběžně po délce prvku.

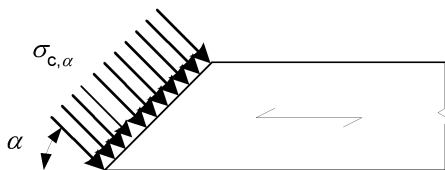
6.2.2 Napětí v tlaku šikmo k vláknům

Musí se uvážit interakce napětí v tlaku ve dvou či více směrech.

Pro napětí v tlaku pod úhlem α k vláknům (viz obrázek 6.7) má být splněna následující podmínka:

$$\sigma_{\text{c},\alpha} \leq \frac{f_{\text{c},0,\text{d}}}{\frac{f_{\text{c},0,\text{d}}}{k_{\text{c},90} f_{\text{c},90,\text{d}}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (6.16)$$

kde $\sigma_{\text{c},\alpha}$ je napětí v tlaku pod úhlem α k vláknům, $k_{\text{c},90}$ součinitel, uvedený v 6.1.5, který zohledňuje účinek jakýchkoliv napětí šikmo k vláknům.



Obrázek 6.7 – Napětí v tlaku šikmo k vláknům



6.2.3 Kombinace ohybu a osového tahu

Musí být splněny následující podmínky:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.17)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.18)$$

Platí hodnoty k_m uvedené v 6.1.6.

6.2.4 Kombinace ohybu a osového tlaku

Musí být splněny následující podmínky:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.19)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.20)$$

Platí hodnoty k_m uvedené v 6.1.6.

Metoda pro ověření podmínky stability je uvedena v 6.3.

6.3 Stabilita prvků

Při zatížení štíhlých konstrukčních prvků je nebezpečí, že se zbaví namáhání vybočením (sloupy), či vybočením a zkroucením (nosníky).

6.3.1 Všeobecně

Musí se uvážit napětí v ohybu způsobená počáteční křivostí, excentricitami a vynuceným průhybem, současně s napětími způsobenými příčným zatížením.

Stabilita sloupu a příčná a torzní stabilita nosníku se musí ověřit při použití charakteristických vlastností, např. $E_{0,05}$.

Stabilita sloupů vystavených buď tlaku nebo kombinaci tlaku a ohybu se má ověřit podle 6.3.2.



Příčná a torzní stabilita nosníků vystavených buď ohybu nebo kombinaci ohybu a tlaku se má ověřit podle 6.3.3.

6.3.2 Sloupy vystavené buď tlaku nebo kombinaci tlaku a ohybu

Poměrné štíhlostní poměry se mají uvažovat takto:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.21)$$

$$a \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.22)$$

kde λ_y a $\lambda_{rel,y}$ jsou štíhlostní poměry odpovídající ohybu kolem osy y (průhyb ve směru osy z), λ_z a $\lambda_{rel,z}$ štíhlostní poměry odpovídající ohybu kolem osy z (průhyb ve směru osy y), $E_{0,05}$ je hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny.

Jestliže oba $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ a $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$, mají napětí splňovat podmínky (6.19) a (6.20) v 6.2.4.

Ve všech ostatních případech mají napětí, která budou zvýšena v důsledku průhybu, splňovat následující podmínky:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.24)$$

kde značky jsou definovány následovně:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (6.26)$$

$$k_y = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) \quad (6.27)$$

$$k_z = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) \quad (6.28)$$



kde β_c je součinitel pro prvky, splňující amplitudy zakřivení měřené uprostřed mezi podpěrami – 1/500 délky prvku pro lepené lamelové dřevo nebo LVL a 1/300 délky prvku pro rostlé dřevo:

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{pro rostlé dřeva} \\ 0,1 & \text{pro lepené lamelové dřevo a LVL} \end{cases} \quad (6.29)$$

k_m je uveden v 6.1.6.

6.3.3 Nosníky vystavené buď ohybu nebo kombinaci ohybu a tlaku

Příčná a torzní stabilita se musí ověřit jak v případě existence pouze momentu M_y k ose větší tuhosti, tak v případě kombinace momentu M_y a tlakové síly N_c .

Poměrné štíhlosti v ohybu se mají uvažovat takto:

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} \quad (6.30)$$

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

Kritické napětí v ohybu se má uvažovat takto:

$$\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{M_{y,\text{crit}}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{\text{tor}}}}{\ell_{\text{ef}} W_y} \quad (6.31)$$

kde $E_{0,05}$ je hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny, $G_{0,05}$ je hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti ve smyku rovnoběžně s vlákny, I_z moment setrvačnosti k ose menší tuhosti z , I_{tot} moment setrvačnosti v kroucení; ℓ_{ef} účinná délka nosníku závislá na podmínkách uložení a uspořádání zatížení podle tabulky 6.1, W_y průřezový modul k ose větší tuhosti y .

Pro celistvý obdélníkový průřez ze dřeva jehličnatých dřevin se má $\sigma_{m,\text{crit}}$ uvažovat takto:

$$\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{0,78b^2}{h \ell_{\text{ef}}} E_{0,05} \quad (6.32)$$

kde b je šířka nosníku, h výška nosníku.

Tabulka 6.1 – Účinná délka jako poměr rozpětí

| 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.

V případě existence pouze momentu M_y k ose větší tuhosti y , mají napětí splňovat následující podmínku:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (6.33)$$

kde $\sigma_{m,d}$ je návrhové napětí v ohybu, $f_{m,d}$ návrhová pevnost v ohybu; k_{crit} součinitel, který bere v úvahu redukovanou pevnost v ohybu v důsledku příčné a torzní nestability.

Pro nosníky s počáteční příčnou amplitudou zakřivení splňující meze (viz 6.3.2) se může k_{crit} určit podle vztahu (6.34)

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{pro } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{pro } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (6.34)$$

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

V případě kdy nastane kombinace momentu M_y k ose větší tuhosti y a tlakové síly N , mají napětí splňovat následující podmínku:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.35)$$

kde $\sigma_{m,d}$ je návrhové napětí v ohybu, $\sigma_{c,0,d}$ návrhové napětí v tlaku, $f_{c,0,d}$ návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny, $k_{c,z}$ je uveden ve vztahu (6.26).

6.4 Návrh průřezů u prvků s proměnným průřezem nebo zakřiveným tvarem

Napjatost v průřezech prvků s proměnnou výškou a se zakřiveným tvarem je poměrně velmi komplikovaná. Rozdělení normálového napětí od ohybu je po výšce průřezu nelineární. Ohybové momenty navíc vyvolávají radiální napětí kolmo k vláknům. V oblastech zkoseného okraje působí kromě obou normálových napětí (rovnoběžně a kolmo k vláknům) i napětí smyková.

6.4.1 Všeobecně

Musí se uvážit účinky kombinace osové síly a ohybového momentu.

Prvky se mají posoudit i podle článků 6.2 a 6.3.

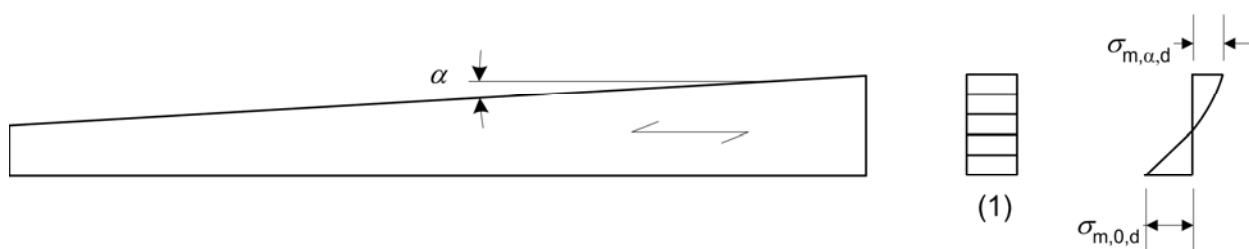
Napětí v průřezu od osové síly se může vypočítat ze vztahu:

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \quad (6.36)$$

kde σ_N je normálové napětí, N osová síla, A plocha průřezu.

6.4.2 Pultové nosníky

Musí se uvážit vliv náběhu na napětí v ohybu rovnoběžně s okrajem nosníku.



Obrázek 6.8 – Pultový nosník

(1) Průřez



Návrhová napětí v ohybu $\sigma_{m,\alpha,d}$ a $\sigma_{m,0,d}$ (viz obrázek 6.8) se mohou uvažovat takto:

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6M_d}{bh^2} \quad (6.37)$$

V krajních vláknech na straně náběhu mají napětí splňovat následující podmínku:

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} f_{m,d} \quad (6.38)$$

kde $\sigma_{m,\alpha,d}$ je návrhové napětí v ohybu šikmo k vláknům, $f_{m,d}$ návrhová pevnost v ohybu, $k_{m,\alpha}$ se má vypočítat takto:

pro napětí v tahu rovnoběžně s okrajem náběhu:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0,75 f_{v,d}} \operatorname{tg} \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \operatorname{tg}^2 \alpha \right)^2}} \quad (6.39)$$

pro napětí v tlaku rovnoběžně s okrajem náběhu:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 f_{v,d}} \operatorname{tg} \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \operatorname{tg}^2 \alpha \right)^2}} \quad (6.40)$$

6.4.3 Sedlové, zakřivené a vyklenuté nosníky

Tento odstavec platí pouze pro lepené lamelové dřevo a LVL.

Požadavky 6.4.2 platí pro části nosníku, které mají jednostranný náběh.

Ve vrcholové části (viz obrázek 6.1) mají napětí v ohybu splňovat následující podmínku:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d} \quad (6.41)$$

kde k_r zohledňuje snížení pevnosti způsobené ohybem lamel během výroby.

U zakřivených a vyklenutých nosníků se vrcholová oblast vyskytuje nad zakřivenou částí nosníku.

Napětí v ohybu ve vrcholu se má vypočítat následovně:



$$\sigma_{m,d} = k_{\ell} \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} \quad (6.42)$$

$$\text{kde } k_{\ell} = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 \quad (6.43)$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5,4 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} \quad (6.44)$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \operatorname{tg} \alpha_{ap} \quad (6.45)$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 7,8 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} \quad (6.46)$$

$$k_4 = 6 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} \quad (6.47)$$

$$r = r_{in} + 0,5 h_{ap} \quad (6.48)$$

kde $M_{ap,d}$ jenávrhový moment ve vrcholu, h_{ap} výška nosníku ve vrcholu - viz obrázek 6.9, b výška nosníku, r_{in} vnitřní poloměr - viz obrázek 6.9, α_{ap} úhel sklonu náběhu ve středu vrcholové oblasti - viz obrázek 6.9.

Pro sedlové nosníky $k_r = 1,0$. Pro zakřivené a vyklenuté nosníky se má k_r uvažovat takto:

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{pro } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \frac{r_{in}}{t} & \text{pro } \frac{r_{in}}{t} < 240 \end{cases} \quad (6.49)$$

kde r_{in} je vnitřní poloměr - viz obrázek 6.9, t tloušťka lamely.

Největší napětí v tahu kolmo k vláknům ve vrcholové oblasti $\sigma_{t,90,d}$ má splňovat následující podmínku:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d} \quad (6.50)$$

$$\text{s } k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{pro rostlé dřevo} \\ \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} & \text{pro lepené lamelové dřevo a LVL} \\ & \text{se všemi dýhami rovnoběžně s osou nosníku} \end{cases} \quad (6.51)$$

$$k_{dis} = \begin{cases} 1,4 & \text{pro sedlové a zakřivené nosníky} \\ 1,7 & \text{pro vyklenuté nosníky} \end{cases} \quad (6.52)$$



kde k_{dis} je součinitel, který zohledňuje účinek rozdělení napětí ve vrcholové oblasti, k_{vol} součinitel objemu, $f_{t,90,d}$ návrhová pevnost v tahu kolmo k vláknům, V_0 referenční objem rovnající se $0,01 \text{ m}^3$, V namáhaný objem vrcholové oblasti v m^3 (viz obrázek 6.9), který se nemá uvažovat větší než $2V_b/3$, kde V_b je celkový objem nosníku.

Pro kombinaci tahu kolmo k vláknům a smyku má být splněna následující podmínka:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{\text{dis}} k_{\text{vol}} f_{t,90,d}} \leq 1 \quad (6.53)$$

kde τ_d je návrhové napětí ve smyku, $f_{v,d}$ návrhová pevnost ve smyku, $\sigma_{t,90,d}$ návrhové napětí v tahu kolmo k vláknům, k_{dis} a k_{vol} jsou uvedeny v předcházejícím textu.

Největší napětí v tahu kolmo k vláknům způsobené ohybovým momentem se má vypočítat podle vztahu (6.54), který je u nás oproti vztahu (6.55) doporučený:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 M_{\text{ap},d}}{b h_{\text{ap}}^2} \quad (6.54)$$

nebo jako alternativa ke vztahu (6.54), takto:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 M_{\text{ap},d}}{b h_{\text{ap}}^2} - 0,6 \frac{p_d}{b} \quad (6.55)$$

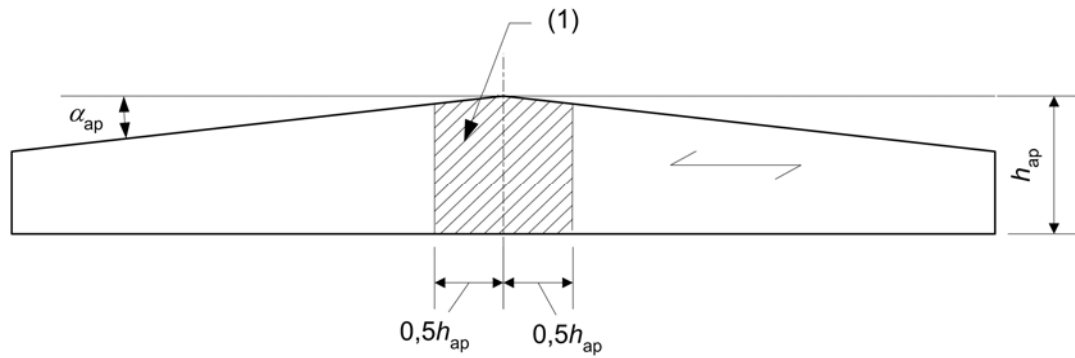
kde p_d je spojitě zatížení působící na horním okraji nosníku ve vrcholové oblasti, b šířka nosníku, $M_{\text{ap},d}$ návrhový moment ve vrcholu, jehož výsledkem jsou napětí v tahu rovnoběžně se spodním zakřiveným okrajem;

$$\text{kde } k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{\text{ap}}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{\text{ap}}}{r} \right)^2 \quad (6.56)$$

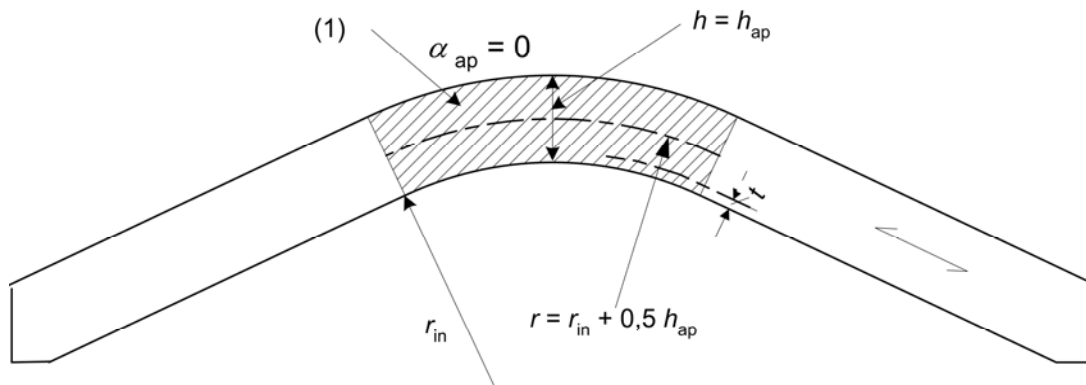
$$k_5 = 0,2 \text{ tg } \alpha_{\text{ap}} \quad (6.57)$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \text{ tg } \alpha_{\text{ap}} + 2,6 \text{ tg}^2 \alpha_{\text{ap}} \quad (6.58)$$

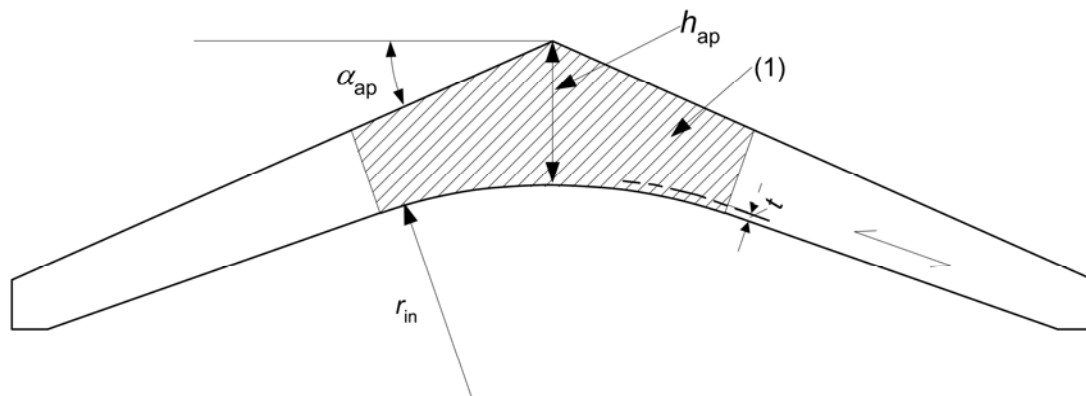
$$k_7 = 2,1 \text{ tg } \alpha_{\text{ap}} - 4 \text{ tg}^2 \alpha_{\text{ap}} \quad (6.59)$$



(a)



(b)



(c)

Obrázek 6.9 – Sedlový (a), zakřivený (b) a vyklenutý (c) nosník
s orientací vláken rovnoběžně se spodním okrajem nosníku

(1) Vrcholová oblast

U zakřivených a vyklenutých nosníků se vrcholová oblast vyskytuje nad zakřivenou částí nosníku.

6.5 Prvky se zářezy

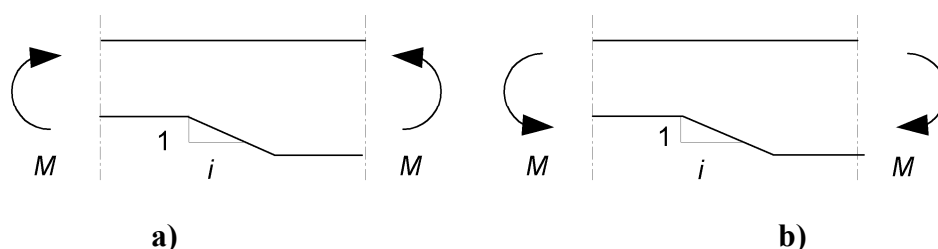
Zářezy mohou výrazně redukovat únosnost konstrukčních prvků, neboť v nich vyvolávají tah kolmo k vláknům, který je u dřeva velmi nepříznivým způsobem namáhání.

6.5.1 Všeobecně

Pro ověření únosnosti prvků se musí uvážit účinky koncentrací napětí v zářezu.

Účinek koncentrací napětí se může zanedbat v následujících případech:

- tahu nebo tlaku rovnoběžně s vlákny;
- ohybu s napětími v tahu v zářezu, jestliže náběh není strmější než $1:i = 1:10$, což je pro $i \geq 10$ - viz obr. 6.10 a;
- ohybu s napětími v tlaku v zářezu - viz obr. 6.10 b;



Obrázek 6.10 – Ohyb v zářezu:

a) s napětími v tahu v zářezu, b) s napětími v tlaku v zářezu

6.5.2 Nosníky se zářezem v podpěře

Pro nosníky s obdélníkovými průřezy, u kterých vlákna probíhají hlavně rovnoběžně po délce prvku, se mají napětí ve smyku v podpěře se zářezem vypočítat při použití účinné (redukované) výšky h_{ef} - viz obrázek 6.11.

Má se ověřit, že

$$\tau_d = \frac{1,5V}{b h_{ef}} \leq k_v f_{v,d} \quad (6.60)$$

kde k_v je redukční součinitel definovaný následovně:

- Pro nosníky se zářezem na opačné straně než je podpěra - viz obrázek 6.11 b

$$k_v = 1,0 \quad (6.61)$$

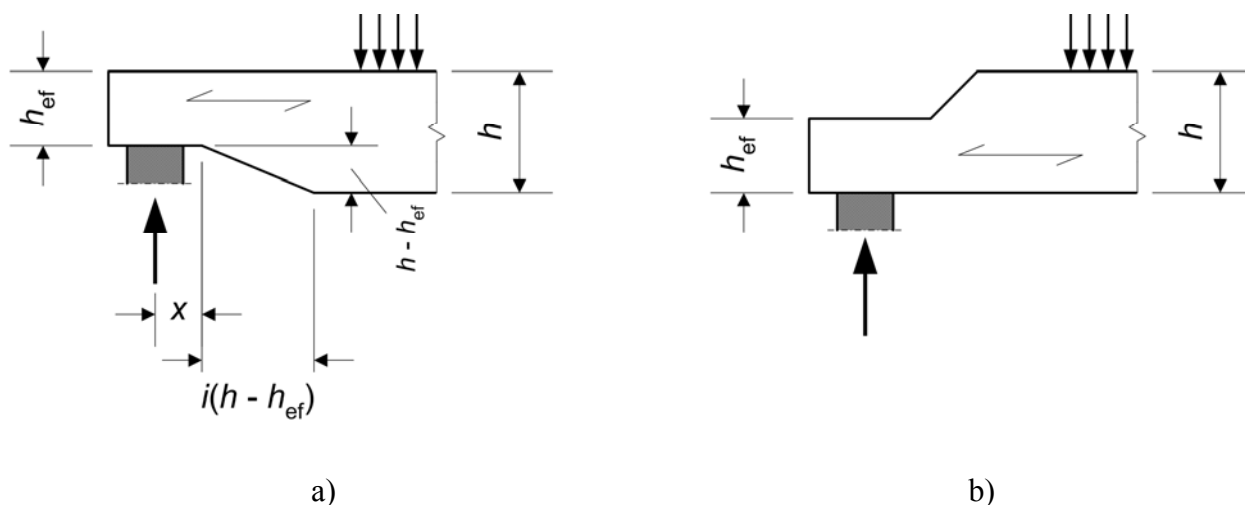
- Pro nosníky se zářezem na stejné straně jako je podpěra - viz obrázek 6.11 a)

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ k_n \left(1 + \frac{1,1 i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right) \\ \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1 i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right. \quad (6.62)$$

kde i je sklon náběhu - obrázek 6.11 a), h výška nosníku v mm; x vzdálenost od působiště reakce v podpěře k rohu zářezu v mm;

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h}$$

$$k_n = \begin{cases} 4,5 & \text{pro LVL} \\ 5 & \text{pro rostlé dřevo} \\ 6,5 & \text{pro lepené lamelové dřevo} \end{cases} \quad (6.63)$$



Obrázek 6.11 – Nosníky se zářezem na koncích

6.6 Pevnost soustavy

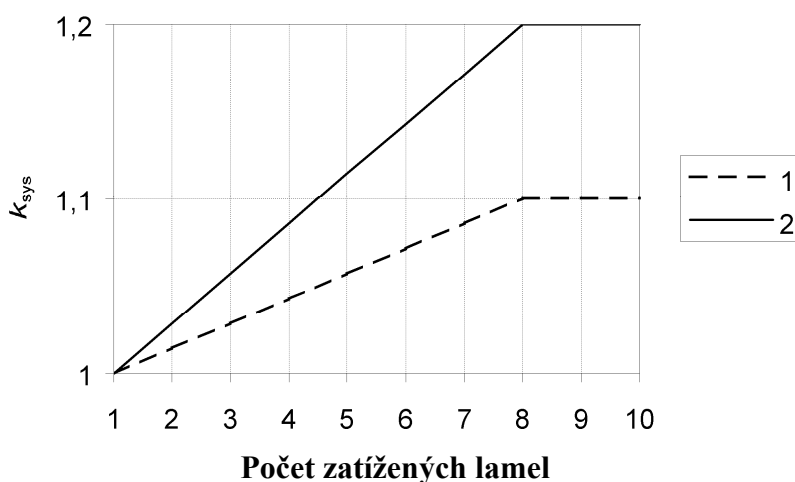
Jestliže několik podobných prvků, dílců nebo sestav se stejnou příčnou vzdáleností je příčně spojeno spojitým systémem schopným roznést zatížení, mohou být pevnostní vlastnosti prvku násobeny součinitelem pevnosti soustavy k_{sys} .

Za předpokladu, že spojitý systém roznesení zatížení je schopen přenášet zatížení z jednoho prvku na přilehlé prvky, má se součinitel k_{sys} uvažovat 1,1.

Ověření pevnosti systému roznesení zatížení se má provést za předpokladu, že zatížení jsou krátkodobá.

U střešních příhradových nosníků s maximální osovou vzdáleností 1,2 m lze předpokládat, že laťování, vaznice nebo panely jsou schopny přenést zatížení na přilehlé příhradové nosníky za předpokladu, že tyto prvky roznesení zatížení jsou spojitě alespoň přes dvě pole a jakékoliv spoje jsou rozmístěny střídavě.

Pro lamelové dřevěné desky nebo stropy se mají používat hodnoty k_{sys} uvedené na obrázku 6.12.



Obrázek 6.12 – Součinitel pevnosti soustavy pro lamelové plošinové desky z rostlého dřeva nebo lepených lamelových prvků

1 Sbíjené nebo sešroubované lamely 2 Předpjaté nebo slepené lamely



7 MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI

Celkové užité vlastnosti konstrukcí mají splňovat dva základní požadavky. Prvním požadavkem je bezpečnost, která je zpravidla vyjádřena únosností. Druhým požadavkem je použitelnost, která se vztahuje k způsobilosti konstrukce a jejích částí zajistit její uspokojivé chování při běžných podmínkách provozu.

7.1 Prokluz spoje

V ČSN EN je pro prokluz spoje někdy používán termín posunutí spoje a pro modul prokluzu termín modul posunutí.

Pro spoje provedené pomocí spojovacích prostředků kolíkového typu se musí určit modul prokluzu K_{ser} jednoho stříhu jednoho spojovacího prostředku při provozním zatížení podle tabulky 7.1, ρ_m se dosazuje v kg/m^3 a d nebo d_c v mm. Definice d_c , viz EN 13271.

V EN 26891 je místo K_{ser} použita značka k_s .

Tabulka 7.1 – Hodnoty K_{ser} pro spojovací prostředky a hmoždíky v N/mm ve spojích dřevo-dřevo a deska na bázi dřeva-dřevo

| Typ spojovacího prostředku | K_{ser} |
|--|-------------------------------------|
| Kolíky Svorníky s nebo bez vůle ^a Vrutý Hřebíky (s předvrtáním) | $\rho_m^{1,5} d/23$ |
| Hřebíky (bez předvrtání) | $\rho_m^{1,5} d^{0,8}/30$ |
| Sponky | $\rho_m^{1,5} d^{0,8}/80$ |
| Prstencový hmoždík typu A podle EN 912 Talířový hmoždík typu B podle EN 912 | $\rho_m d_c/2$ |
| Zazubené hmoždíky: - Hmoždíky typu C1 až C9 podle EN 912 - Hmoždíky typu C10 až C11 podle EN 912 | $1,5\rho_m d_c/4$ $\rho_m d_c/2$ |
| ^a Vůle se má přidat k přetvoření odděleně. | |

Jsou-li průměrné hustoty $\rho_{m,1}$ a $\rho_{m,2}$ dvou spojovaných prvků na bázi dřeva rozdílné, potom se má ρ_m ve shora uvedených vztazích uvažovat takto:

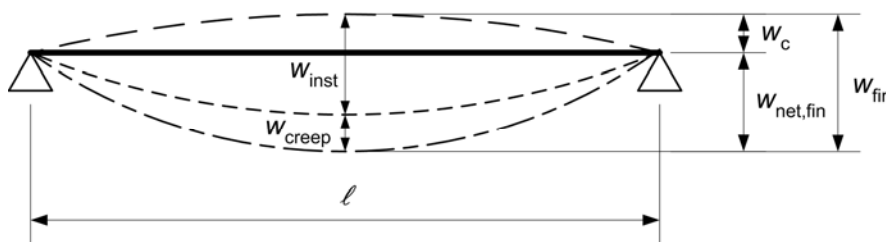
$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1}\rho_{m,2}} \quad (7.1)$$

Pro spoje ocel-dřevo nebo beton-dřevo, K_{ser} se má stanovit pomocí ρ_m pro dřevěný prvek a může se násobit 2,0.

7.2 Mezní hodnoty průhybů nosníků

Složky průhybu, které jsou výsledkem kombinace zatížení (viz 2.2.3) jsou znázorněny na obrázku 7.1, ve kterém jsou značky definovány následovně, viz 2.2.3:

w_c je nadvýšení (pokud se použije), w_{inst} okamžitý průhyb, w_{creep} průhyb od dotvarování, w_{fin} konečný průhyb, $w_{net,fin}$ čistý konečný průhyb.



Obrázek 7.1 – Složky průhybu

Čistý průhyb pod přímkou mezi podpěrami $w_{net,fin}$ se má uvažovat takto:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c \quad (7.2)$$

Doporučený rozsah mezních hodnot průhybů je pro nosníky o rozpětí ℓ uveden v tabulce 7.2 v závislosti na úrovni deformace považované za přijatelnou.

Table 7.2 – Příklady mezních hodnot průhybů nosníků

| | w_{inst} | $w_{net,fin}$ | w_{fin} |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Prostý nosník | $\ell/300$ až $\ell/500$ | $\ell/250$ až $\ell/350$ | $\ell/150$ až $\ell/300$ |
| Vykonzolané nosníky | $\ell/150$ až $\ell/250$ | $\ell/125$ až $\ell/175$ | $\ell/75$ až $\ell/150$ |



7.3 Kmitání

U dřevěných konstrukcí představují lidské aktivity a instalované stroje dvě hlavní příčiny výskytu kmitání. Jako dva kritické důsledky těchto příčin se rozlišují:

- nepohoda od kmitání, způsobeného kroky,
- nepohoda od kmitání, způsobeného stroji.

7.3.1 Předpoklady

Musí se zajistit, aby zatížení, u kterých lze předpokládat, že se mohou vyskytovat na prvku, dílci nebo konstrukci, nezpůsobovala kmitání, která by mohla zhoršit funkci konstrukce nebo působit uživatelům nepříjemné nepohodlí.

Úroveň kmitání se má odhadnout měřením nebo výpočtem s uvážením předpokládané tuhosti prvku, dílce nebo konstrukce a modálního poměrného tlumení.

Pro stropy, pokud není prokázáno, že jiné hodnoty jsou vhodnější, se má předpokládat modální poměrné tlumení $\zeta = 0,01$ (tj. 1 %).

7.3.2 Kmitání od strojního zařízení

Kmitání způsobené rotačními stroji a jiným provozním vybavením se musí omezit pro nepříznivé kombinace stálého zatížení a proměnných zatížení, které lze očekávat.

Příjemné úrovně pro nepřerušované kmitání stropů se mají určit podle ISO 2631-2, příloha A, obrázek 5a, s korekčním součinitelem 1,0.

7.3.3 Stropy obytných budov

U stropů obytných budov se základní frekvencí menší než 8 Hz ($f_1 \leq 8$ Hz), se má provést odborné vyšetření.

U stropů obytných budov se základní frekvencí větší než 8 Hz ($f_1 > 8$ Hz) mají být splněny následující požadavky:

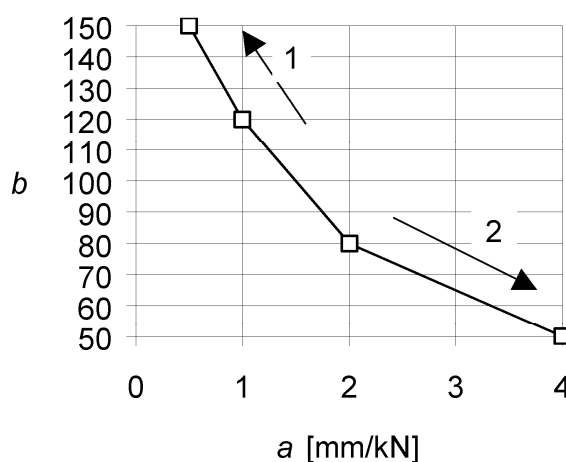
$$\frac{w}{F} \leq a \quad \text{mm/kN} \quad (7.3)$$

a

$$v \leq b^{(f_1^{\zeta-1})} \quad \text{m/(Ns}^2\text{)} \quad (7.4)$$

kde w je maximální okamžitý svislý průhyb způsobený svislou soustředěnou statickou silou F působící v libovolném místě stropu při uvážení rozložení zatížení, v rychlost odezvy na jednotkový impuls, tj. maximální počáteční hodnota rychlosti svislého kmitání stropu (v m/s), vyvolaná ideálním jednotkovým impulsem (1 Ns), působícím v místě stropu kde je maximální odezva. Složky nad 40 Hz se mohou zanedbat; ζ modální poměrné tlumení.

Doporučený rozsah mezních hodnot a a b a doporučený vztah mezi a a b je uveden na obrázku 7.2.



Obrázek 7.2 – Doporučený rozsah a vztah mezi a a b

1 Lepší užitné zatížení, 2 Horší užitné zatížení

Výpočet podle 7.3.3 se má provést za předpokladu, že strop není zatížen, tj. pouze s uvážením hmotnosti, odpovídající vlastní tíze stropu a jiným stálým zatížením.

Pro obdélníkový strop s celkovými rozměry $\ell \times b$, prostě podepřený podél všech čtyř okrajů a se dřevěnými nosíky o rozpětí ℓ , se může základní frekvence f_1 přibližně vypočítat takto:

$$f_1 = \frac{\pi}{2\ell^2} \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}} \quad (7.5)$$

kde m je hmotnost na jednotku plochy v kg/m^2 , ℓ rozpětí stropu v m, $(EI)_\ell$ náhradní ohybová tuhost desky stropu k ose kolmé na směr nosníků v Nm^2/m .

Pro obdélníkové stropy s celkovými rozměry $\ell \times b$, prostě podepřené podél všech čtyř okrajů se může hodnota v přibližně uvažovat takto:



$$v = \frac{4(0,4 + 0,6 n_{40})}{m b \ell + 200} \quad (7.6)$$

kde v je rychlost odezvy na jednotkový impuls v $m/(Ns^2)$, n_{40} počet tvarů se základní frekvencí nižší než 40 Hz, b šířka stropu v m, m hmotnost v kg/m^2 , ℓ rozpětí stropu v m.

Hodnotu n_{40} lze vypočítat ze vztahu:

$$n_{40} = \left\{ \left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{b}{\ell} \right)^4 \frac{(EI)_\ell}{(EI)_b} \right\}^{0,25} \quad (7.7)$$

kde $(EI)_\ell$ je náhradní ohybová tuhost desky stropu v Nm^2/m k ose rovnoběžné s nosníky, přičemž $(EI)_b < (EI)_\ell$.

8 SPOJE S KOVOVÝMI SPOJOVACÍMI PROSTŘEDKY

U dřevěných konstrukcí závisí jejich použitelnost a trvanlivost především na návrhu spojů mezi jednotlivými konstrukčními prvky. U běžně používaných spojů se rozlišují tesařské spoje a mechanické spoje, které mohou být provedeny pomocí různých typů spojovacích prostředků.

Pro danou konstrukci je výběr spojovacích prostředků určen nejen zatížením a únosností. Při výběru se uplatní také estetické hledisko, efektivita nákladů a výrobní proces. Rovněž je třeba uvážit způsob montáže a záměry projektanta a architekta. Proto není možné stanovit obecně platná pravidla, pomocí nichž by bylo možné navrhnout nejpříznivější spoj pro různé konstrukce. Hlavní zásadou by mělo být, že jednoduchý spoj a malý počet spojovacích prostředků je nejlepší konstrukční řešení.

Konstrukční prvky dřevěných konstrukcí spojujeme většinou pomocí různých mechanických spojovacích prostředků. Mechanické spojovací prostředky můžeme rozdělit podle přenosu sil ve spoji takto:

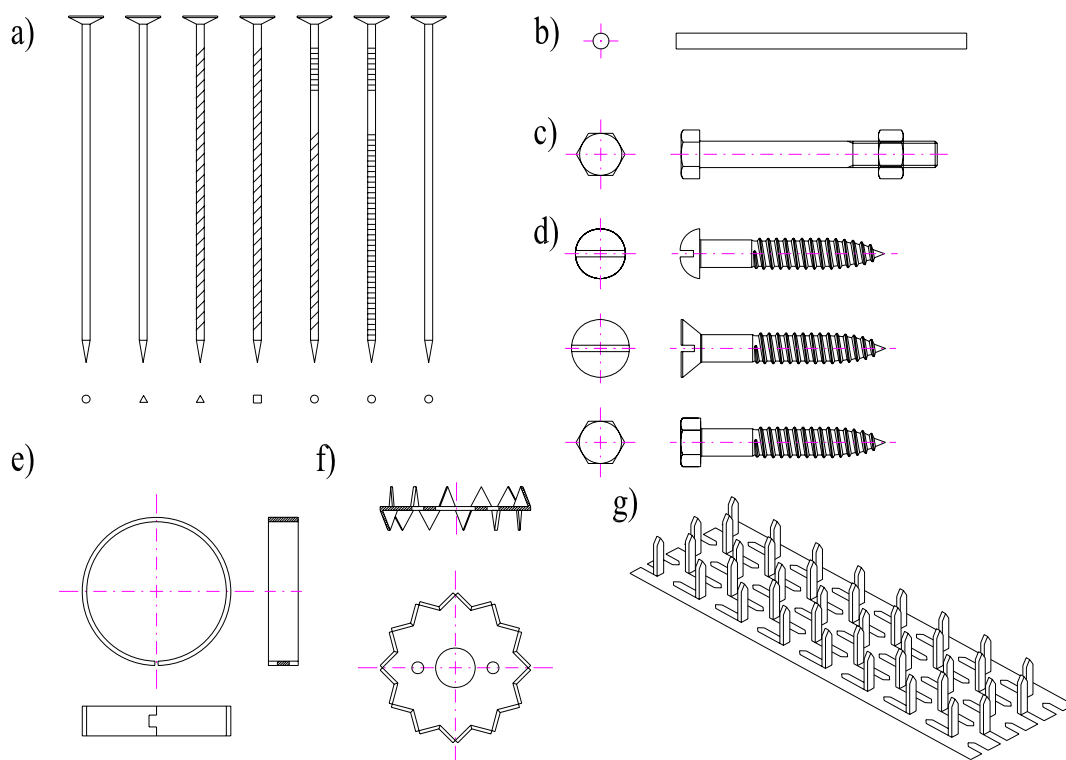
- spojovací prostředky kolíkového typu;
- spojovací prostředky povrchového typu.

Spojovací prostředky kolíkového typu (hřebíky, sponky, svorníky, kolíky a vruty) jsou při přenosu sil většinou ohýbány a zatlačovány do dřeva. Spojovací prostředky povrchového

typu (hmoždíky a desky s prolisovanými trny) jsou do dřevěných konstrukčních prvků vkládány či zalisovány a k přenosu sil tak v zásadě dochází na povrchu konstrukčních prvků.

Nejpoužívanější ocelové spojovací prostředky jsou znázorněny na obr. 8.1.

V této příručce jsou popsány pouze spojovací prostředky kolíkového typu.



Obr. 8.1 - Ocelové spojovací prostředky

a) hřebíky, b) kolík, c) svorník, d) vruty, e) prstencový hmoždík, f) ozubený hmoždík, g) deska s prolisovanými trny

8.1 Základní předpoklady

U spojů se setkáváme s různými způsoby jejich uspořádání a zatěžování, které musíme při navrhování spojů vzít v úvahu.

8.1.1 Požadavky na spojovací prostředky

Charakteristická únosnost a tuhost spojů se musí určovat na základě zkoušek podle EN 1075, EN 1380, EN 1381, EN 26891 a EN 28970, pokud pravidla nejsou uvedena v této



kapitole. Jestliže v příslušných normách jsou popsány jak zkoušky v tahu, tak v tlaku, musí se pro určení charakteristické únosnosti použít zkouška v tahu.

8.1.2 Spoje s několika spojovacími prostředky

Uspořádání a rozměry spojovacích prostředků ve spoji a rozteče spojovacích prostředků, vzdálenosti od okrajů a konců se musí zvolit tak, aby bylo dosaženo očekávané pevnosti a tuhosti.

Musí se uvážit, že únosnost spoje s několika spojovacími prostředky, který tvoří spojovací prostředky stejného typu a rozměru, může být nižší než součet únosností jednotlivých spojovacích prostředků.

Jestliže se spoj skládá z různých typů spojovacích prostředků, nebo když tuhost spojů v příslušných střížných plochách vícestřížných spojů je rozdílná, se má jejich kompatibilita ověřit.

Pro jednu řadu spojovacích prostředků rovnoběžnou se směrem vláken, se má účinná charakteristická únosnost, rovnoběžně s touto řadou $F_{v,ef,Rk}$ uvažovat takto:

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk} \quad (8.1)$$

kde $F_{v,ef,Rk}$ je účinná charakteristická únosnost jedné řady spojovacích prostředků rovnoběžně s vlákny, n_{ef} účinný počet spojovacích prostředků v přímce rovnoběžné s vlákny, $F_{v,Rk}$ charakteristická únosnost jednotlivého spojovacího prostředku rovno-běžně s vlákny.

Hodnoty n_{ef} pro řady rovnoběžně s vlákny jsou uvedeny v 8.3.1.1 a 8.5.1.1.

Pro sílu působící šikmo ke směru řady, se má ověřit, že složka této síly rovnoběžně s řadou je menší nebo rovna únosnosti vypočtené podle vztahu (8.1).

8.1.3 Vícestřížné spoje

U vícestřížných spojů se má únosnost každého stříhu určit za předpokladu, že každý stříh je součástí skupin tříprvkových spojů.

Aby bylo možné kombinovat únosnost jednotlivých stříhů ve vícestřížném spoji, určující způsob porušení spojovacích prostředků v příslušných střížích má být kompatibilní s ostatními a nemá se skládat z kombinace způsobů porušení (a), (b), (g) a (h) z obrázku 8.3 nebo způsobů (c), (f) a (j/l) z obrázku 8.4 s ostatními způsoby porušení.



8.1.4 Síly ve spoji šikmo k vláknům

Jestliže síla ve spoji působí šikmo k vláknům (viz obrázek 8.2), musí se uvážit možnost vzniku trhlin způsobených složkou tahové síly $F_{Ed} \sin \alpha$ kolmo k vláknům.

S ohledem na možnost vzniku trhlin způsobených složkou tahové síly $F_{Ed} \sin \alpha$, kolmo na vlákna, musí být splněna následující podmínka:

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd} \quad (8.2)$$

$$s \quad F_{v,Ed} = \max \begin{cases} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{cases} \quad (8.3)$$

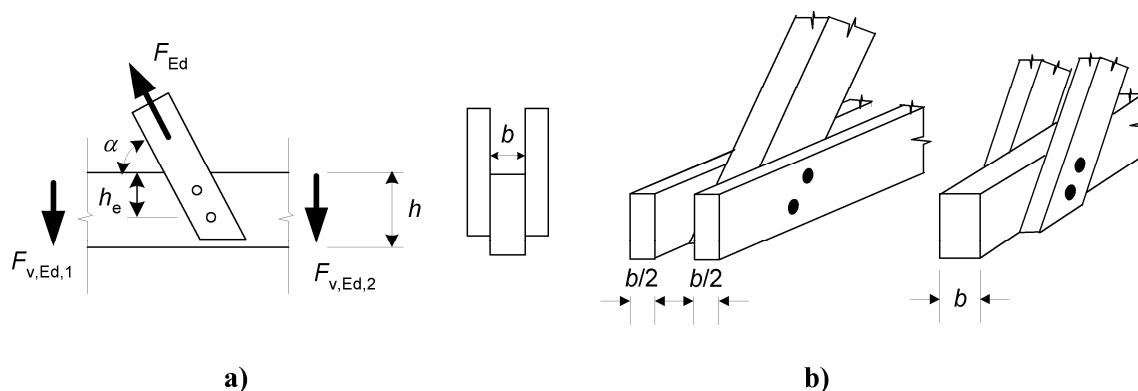
kde $F_{90,Rd}$ je návrhová únosnost na roztržení, vypočtená z charakteristické únosnosti na roztržení $F_{90,Rk}$ podle 2.4.3; $F_{v,Ed,1}$, $F_{v,Ed,2}$ návrhové smykové síly na příslušnou stranu spoje - viz obrázek 8.2.

$$F_{90,Rk} = 14bw \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (8.4)$$

kde:

$$w = \begin{cases} \max \left\{ \left(\frac{w_{pl}}{100} \right)^{0,35} \right. & \text{pro kovové desky s prolisovanými trny} \\ 1 & \text{pro všechny ostatní spojovací prostředky} \end{cases} \quad (8.5)$$

a $F_{90,Rk}$ je charakteristická únosnost na roztržení v N, w modifikační součinitel, h_e vzdálenost namáhaného okraje od středu nejvzdálenějšího spojovacího prostředku nebo okraje kovové desky s prolisovanými trny v mm, h výška dřevěného prvku v mm, b tloušťka prvku v mm, w_{pl} šířka kovové desky s prolisovanými trny rovnoběžně s vlákny v mm.

**Obrázek 8.2 – Šikmá síla přenášená spojem**

8.1.5 Střídavé síly ve spoji

Charakteristická únosnost spoje musí být snížena, bude-li spoj vystaven střídavým vnitřním silám od dlouhodobých a střednědobých zatížení.

Má se uvážit účinek dlouhodobých a střednědobých zatížení, střídavých mezi návrhovou tahovou silou $F_{t,Ed}$ a návrhovou tlakovou silou $F_{c,Ed}$, na pevnost spoje tím, že spoj navrhne na $(F_{t,Ed} + 0,5 F_{c,Ed})$ a $(F_{c,Ed} + 0,5 F_{t,Ed})$.

8.2 Únosnost kovových spojovacích prostředků kolíkového typu namáhaných příčně

Selhání příčně namáhaných spojovacích prostředků je doprovázeno nadměrným otláčováním dřeva a ohybem spojovacího prostředku.

8.2.1 Všeobecné požadavky

Při určování charakteristické únosnosti spojů s kovovými spojovacími prostředky kolíkového typu se musí uvážit mez kluzu, pevnost v otláčení a pevnost na vytažení spojovacího prostředku.

8.2.2 Spoje dřevo-dřevo a deska-dřevo

Charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku se má u hřebíků, sponek, svorníků, kolíků a vrutů uvažovat jako nejmenší hodnota stanovená podle následujících vztahů:

Pro spojovací prostředky jednotřížně namáhané:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(a)} \\ f_{h,2,k} t_2 d & \text{(b)} \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(c)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \text{ (8.6)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(e)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(f)} \end{cases}$$

Pro spojovací prostředky dvojstřížně namáhané:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(g)} \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(h)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(j)} \text{ (8.7)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases}$$

$$s \quad \beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad \text{(8.8)}$$

kde $F_{v,Rk}$ je charakteristická únosnost jednoho stříhu jednoho spojovacího prostředku, t_i tloušťka dřeva nebo desky nebo hloubka vniku s i buď 1 nebo 2, viz také 8.3 až 8.7, $f_{h,i}$ charakteristická pevnost v otláčení v dřevěném prvku i , d průměr spojovacího prostředku, $M_{y,Rk}$ charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku, β poměr mezi pevnostmi v otláčení prvků, $F_{ax,Rk}$ charakteristická osová únosnost na vytažení spojovacího prostředku.

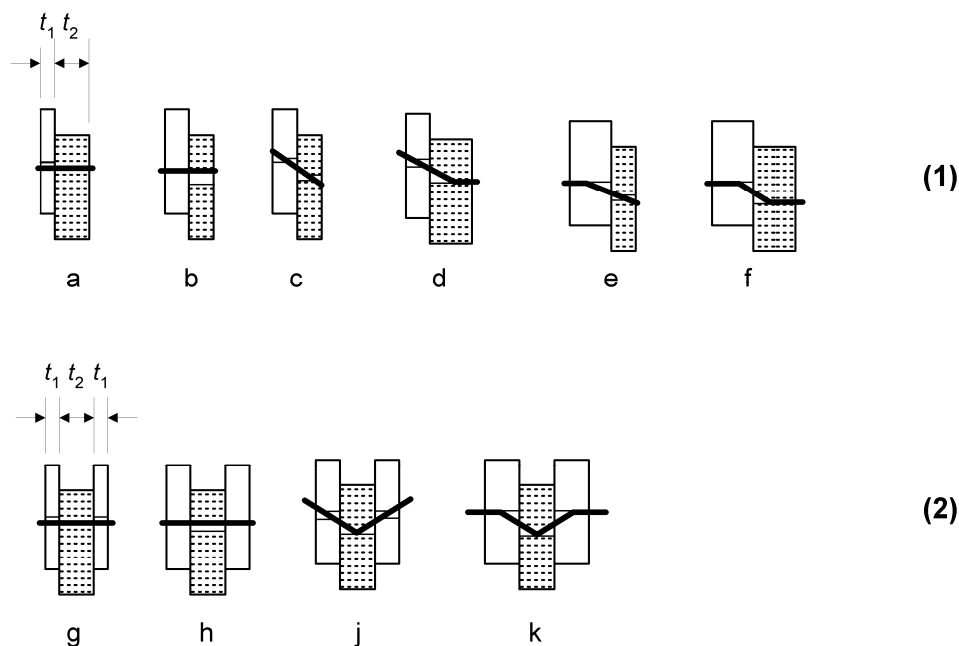
Plasticity spojů lze docílit použitím relativně štíhlých spojovacích prostředků. V tomto případě jsou určující způsoby porušení (f) a (k).

První člen na pravé straně ve vztazích (8.6) a (8.7) je únosnost podle Johansenovy teorie, zatímco druhý člen $F_{ax,Rk}/4$ je příspěvek od účinku sepnutí. Příspěvek k únosnosti od účinku sepnutí spoje se má omezit na následující procenta z Johansenovy části:

- Hřebíky kruhového průřezu 15 %
- Hřebíky čtvercového průřezu a drážkované 25 %
- Ostatní hřebíky 50 %
- Vruty 100 %
- Svorníky 25 %
- Kolíky 0 %

Jestliže $F_{ax,Rk}$ není známa, pak příspěvek od účinku sepnutí spoje se má uvažovat jako nula.

Pro jednostřížné spoje se charakteristická únosnost na vytažení $F_{ax,Rk}$ určuje jako nižší z únosností dvou prvků. Rozdílné způsoby porušení jsou zobrazeny na obrázku 8.3.



Obrázek 8.3 – Způsoby porušení pro spoje ze dřeva a desek

(1) Jednostřížný spoj, (2) Dvojitřížný spoj

Písmena odpovídají odkazům u rovnic (8.6) a (8.7).



U únosnosti na vytažení svorníků $F_{ax,Rk}$ se může uvážit odpor podložek, viz 8.5.2.

Charakteristická pevnost v otlacení $f_{h,k}$ se má určovat podle EN 383 a EN 14358, pokud není uvedena v následujících návrhových pravidlech.

Charakteristický plastický moment únosnosti $M_{y,Rk}$ se má určovat podle EN 409 a EN 14358, pokud není uveden v následujících návrhových pravidlech.

8.2.3 Spoje ocel-dřevo

Charakteristická únosnost spoje ocel-dřevo je závislá na tloušťce ocelových desek. Ocelové desky tloušťky menší nebo rovné $0,5d$ jsou klasifikovány jako tenké desky a ocelové desky tloušťky větší nebo rovné d s tolerancí rozměru díry menší než $0,1d$ jsou klasifikovány jako tlusté desky. Charakteristická únosnost spojů s tloušťkou ocelové desky mezi tenkou a tlustou deskou se má počítat pomocí lineární interpolace mezi limitními hodnotami pro tenkou a tlustou desku.

Musí se posoudit pevnost ocelové desky.

Charakteristická únosnost hřebíků, svorníků, kolíků a vrutů pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku se má uvažovat jako nejmenší hodnota stanovená z následujících vztahů:

– Pro tenkou ocelovou desku jednostřížně namáhanou:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 f_{h,k} t_1 d & \text{(a)} \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(b)} \end{cases} \quad (8.9)$$

– Pro tlustou ocelovou desku jednostřížně namáhanou:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(e)} \\ f_{h,k} t_1 d & \text{(c)} \end{cases} \quad (8.10)$$

- Pro ocelovou desku libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(f)} \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(g)} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(h)} \end{cases} \quad (8.11)$$

- Pro tenké ocelové desky jako vnější prvky dvojstřížných spojů:

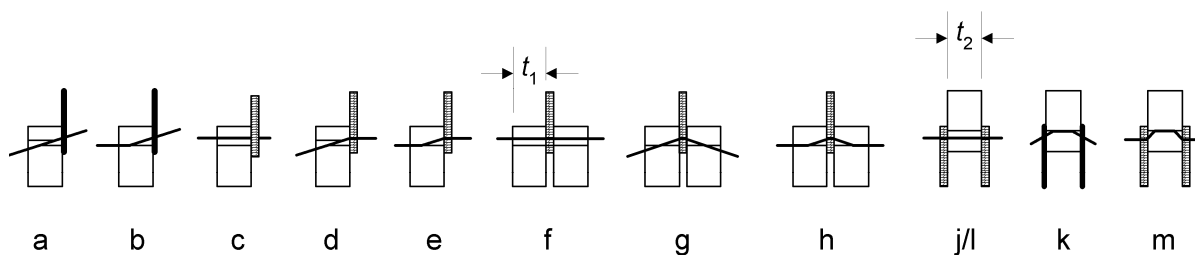
$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(j)} \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases} \quad (8.12)$$

- Pro tlusté ocelové desky jako vnější prvky dvojstřížných spojů:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(l)} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(m)} \end{cases} \quad (8.13)$$

kde $F_{v,Rk}$ je charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku, $f_{h,k}$ charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku, t_1 je menší tloušťka krajního dřevěného prvku nebo hloubka vniku, t_2 tloušťka středního dřevěného prvku, d průměr spojovacího prostředku, $M_{y,Rk}$ charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku, $F_{ax,Rk}$ charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku.

Různé způsoby porušení jsou uvedeny na obrázku 8.4.



Obrázek 8.4 – Způsoby porušení pro spoje ocel-dřevo



Pro omezení účinku sepnutí spoje $F_{ax,Rk}$ se použije 8.2.2.

Musí se uvážit, že únosnost spojů ocel-dřevo se zatíženým koncem může být snížena v důsledku trhliny po obvodě skupiny spojovacích prostředků.

8.3 Hřebíkové spoje

Hřebíky jsou nejpoužívanějším spojovacím prostředkem při spojování dřeva.

8.3.1 Příčně zatížené hřebíky

Selhání příčně namáhaných hřebíků je doprovázeno nadměrným otláčováním dřeva a ohybem hřebíku.

8.3.1.1 Předpoklady

Značky pro tloušťky v jednostřížných a dvojtřížných spojiích (viz obrázek 8.5) jsou definovány následovně:

t_1 je:

- tloušťka na straně hlavičky v jednostřížném spoji;
- menší z tlouštěk dřeva na straně hlavičky a vniku hrotu v dvojtřížném spoji;

t_2 je:

- vnik hrotu v jednostřížném spoji;
- tloušťka středního prvku v dvojtřížném spoji.

Dřevo se má předvrtat, když:

- charakteristická hustota dřeva je větší než 500 kg/m^3 ;
- průměr d hřebíku je větší než 8 mm.

Poznámka:

Změna A1 EN 1995-1-1 požaduje předvrtání pro průměr d hřebíku větší než 6 mm .

Pro hřebíky čtvercového průřezu a drážkované hřebíky se má za průměr d hřebíku uvažovat rozměr strany.

Pro hladké hřebíky, které jsou vyrobeny z drátu s minimální pevností v tahu 600 N/mm^2 , se mají používat následující hodnoty plastického momentu únosnosti:

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,3 f_u d^{2,6} & \text{pro hřebíky kruhového průřezu} \\ 0,45 f_u d^{2,6} & \text{pro hřebíky čtvercového průřezu a drážkované} \end{cases} \quad (8.14)$$

kde $M_{y,Rk}$ je charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti v N/mm, d průměr hřebíku jak je definovaný v EN 14592 v mm, f_u pevnost drátu v tahu v N/mm².

Pro hřebíky o průměrech do 8 mm platí následující charakteristické pevnosti v otláčení ve dřevu a LVL:

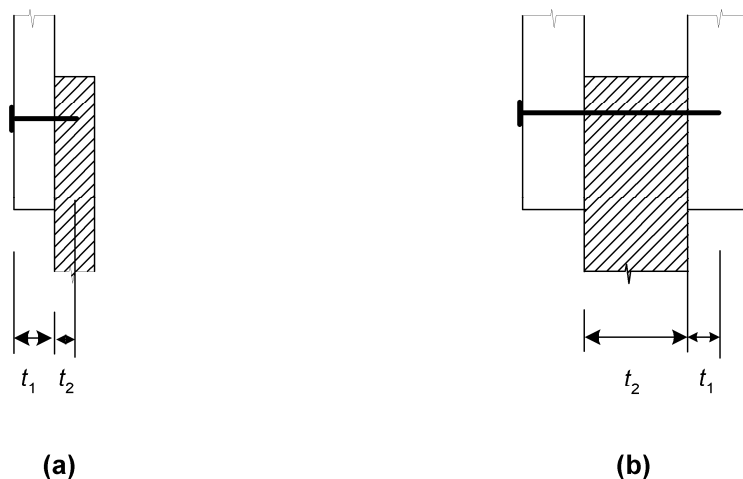
– bez předvrtaných otvorů:

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \quad \text{N/mm}^2 \quad (8.15)$$

– s předvrtanými otvory:

$$f_{h,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad \text{N/mm}^2 \quad (8.16)$$

kde ρ_k je charakteristická hustota dřeva v kg/m³, d průměr hřebíku v mm.

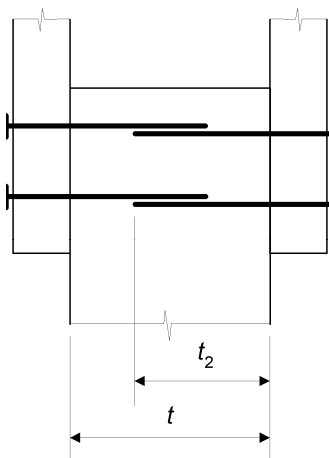


Obrázek 8.5 – Definice t_1 a t_2

(a) jednostřížný spoj, (b) dvojtřížný spoj

Pro hřebíky s průměry většími než 8 mm se použijí hodnoty charakteristických pevností v otláčení pro svorníky podle 8.5.1.

Ve spoji ze tří prvků se mohou hřebíky překrývat ve středním prvku za předpokladu, že $(t - t_2)$ je větší než $4d$ - viz obr. 8.6.



Obrázek 8.6 – Překrývající se hřebíky

Pro jednu řadu tvořenou n hřebíky rovnoběžně s vlákny, jestliže hřebíky této řady nejsou střídavě kolmo k vláknům o nejméně $1d$ (viz obrázek 8.7), se má únosnost rovnoběžně s vlákny (viz 8.1.2) vypočítat s použitím účinného počtu spojovacích prostředků n_{ef} , kde:

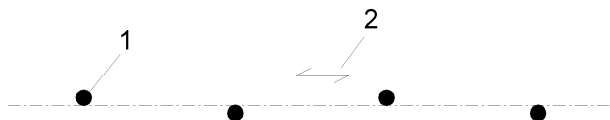
$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad (8.17)$$

kde n_{ef} je účinný počet hřebíků v řadě, n počet hřebíků v řadě, k_{ef} uveden v tabulce 8.1.

Tabulka 8.1 – Hodnoty k_{ef}

| Rozteče ^a | k_{ef} | |
|----------------------|--------------|------------|
| | Nepředvrtáno | Předvrtáno |
| $a_1 \geq 14d$ | 1,0 | 1,0 |
| $a_1 = 10d$ | 0,85 | 0,85 |
| $a_1 = 7d$ | 0,7 | 0,7 |
| $a_1 = 4d$ | - | 0,5 |

^a Pro mezilehlé rozteče je dovoleno pro k_{ef} použít lineární interpolaci.



Obrázek 8.7– Hřebíky v řadě rovnoběžně s vlákny střídavě kolmo k vláknům o d
1 hřebík, 2 směr vláken

Ve spoji mají být alespoň dva hřebíky.

Pokud není předepsáno jinak, mají se hřebíky zarážet v pravém úhlu k vláknům a do takové hloubky, aby okraje hlaviček hřebíků lícovaly s povrchem dřeva.

Pokud není stanoveno jinak, šikmé hřebíkování se má provádět podle obrázku 8.9(b).

Průměr předvrtaných otvorů nemá překročit $0,8d$, kde d je průměr hřebíku.

8.3.1.2 Hřebíkové spoje dřevo-dřevo

Pro hladké hřebíky má být délka vniku hrotu nejméně $8d$. Pro hřebíky jiné než hladké, určené v EN 14592, má být délka vniku hrotu nejméně $6d$. Hřebíky v koncových vláknech se nemají považovat za schopné přenášet příčné síly.

Jako alternativa k předcházejícímu doporučení se pro hřebíky v koncových vláknech použijí následující pravidla:

- U druhotných konstrukcí se mohou použít hladké hřebíky. Návrhové hodnoty únosnosti se mají uvažovat 1/3 hodnot pro hřebíky zaražené kolmo k vláknům.
- Hřebíky jiné než hladké, určené v EN 14592, se mohou použít v konstrukcích jiných než druhotných. Návrhové hodnoty únosnosti se mají uvažovat 1/3 hodnot pro hladké hřebíky odpovídajícího průměru zaražené kolmo k vláknům za předpokladu, že:
 - hřebíky jsou zatíženy pouze příčně;
 - ve spoji jsou nejméně tři hřebíky;
 - vnik hrotu je nejméně $10d$;
 - spoj není vystaven podmínkám třídy provozu 3;
 - jsou splněny předepsané rozteče a vzdálenosti od okrajů uvedené v tabulce 8.2.

Příkladem druhotné konstrukce je okapové prkno přibité ke krokším.

Doporučené pravidlo je nepovažovat hřebíky v koncových vláknech za schopné přenášet příčné síly.

Minimální rozteče a vzdálenosti od konců a okrajů jsou uvedeny v tabulce 8.2

Tabulka 8.2 – Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců pro hřebíky

| Rozteče nebo vzdálenosti (viz obrázek 8.7) | Úhel α | Minimální rozteče nebo vzdálenosti od konců/okrajů | | |
|--|--|---|---|---|
| | | bez předvrtaných otvorů | | s předvrtanými otvory |
| | | $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ | $420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$ | |
| Rozteče a_1 (rovnoběžně s vlákny) | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $d < 5 \text{ mm}$: $(5+5 \cos \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5+7 \cos \alpha) d$ | $(7+8 \cos \alpha) d$ | $(4+ \cos \alpha) d$ |
| Rozteče a_2 (kolmo k vláknům) | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $5d$ | $7d$ | $(3+ \sin \alpha) d$ |
| Rozteče $a_{3,t}$ (zatížený konec) | $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ | $(10+ 5 \cos \alpha) d$ | $(15 + 5 \cos \alpha) d$ | $(7+ 5 \cos \alpha) d$ |
| Rozteče $a_{3,c}$ (nezatížený konec) | $90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$ | $10d$ | $15d$ | $7d$ |
| Rozteče $a_{4,t}$ (zatížený okraj) | $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ | $d < 5 \text{ mm}$: $(5+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5 + 5 \sin \alpha) d$ | $d < 5 \text{ mm}$: $(7+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(7 + 5 \sin \alpha) d$ | $d < 5 \text{ mm}$: $(3 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(3 + 4 \sin \alpha) d$ |
| Rozteče $a_{4,c}$ (nezatížený okraj) | $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $5d$ | $7d$ | $3d$ |

kde - viz obrázek 8.8:

a_1 je rozteč hřebíků v jedné řadě rovnoběžně s vlákny;

a_2 rozteč řad hřebíků kolmo k vláknům;

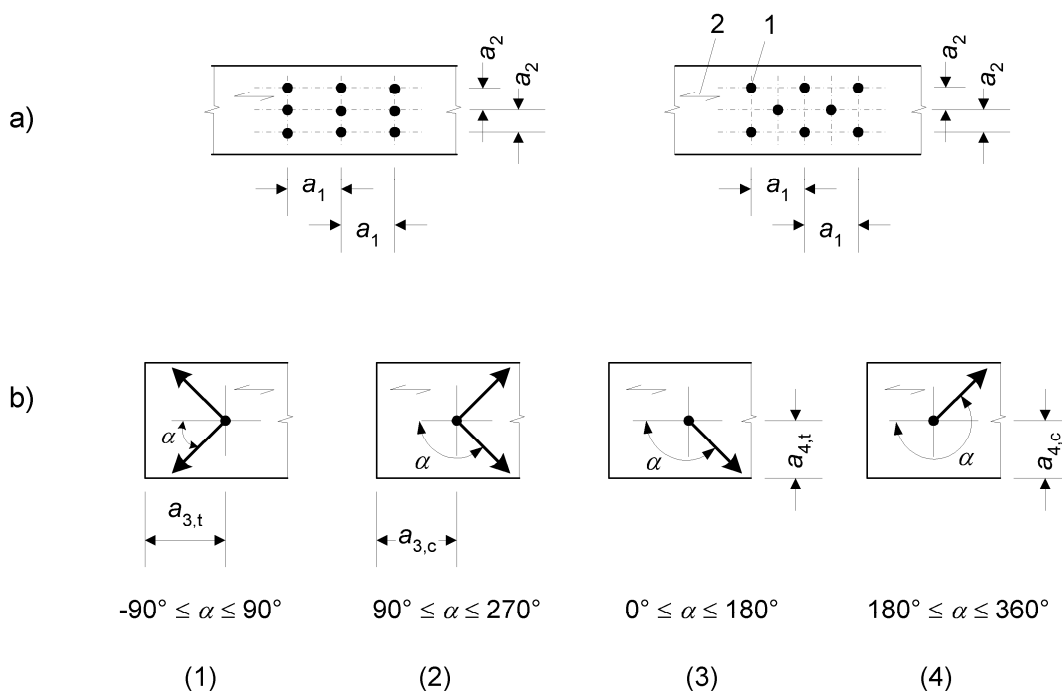
$a_{3,c}$ vzdálenost mezi hřebíkem a nezatíženým koncem;

$a_{3,t}$ vzdálenost mezi hřebíkem a zatíženým koncem;

$a_{4,c}$ vzdálenost mezi hřebíkem a nezatíženým okrajem;

$a_{4,t}$ vzdálenost mezi hřebíkem a zatíženým okrajem;

α úhel mezi silou a směrem vláken.



Obrázek 8.8 – Rozteče a vzdálenosti od konců a okrajů

(a) rozteče rovnoběžně s vlákny v řadě a kolmo k vláknům mezi řadami,

(b) vzdálenosti od okrajů a konců

(1) zatížený konec, (2) nezatížený konec, (3) zatížený okraj,

(4) nezatížený okraj, 1 spojovací prostředek, 2 směr vláken

Dřevo má být předvrtáno, pokud je tloušťka dřevěných prvků menší než:

$$t = \max \begin{cases} 7d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{400} \end{cases} \quad (8.18)$$

kde t je nejmenší tloušťka dřevěného prvku, aby se předešlo předvrtání v mm, ρ_k charakteristická hustota dřeva v kg/m^3 , d průměr hřebíku v mm.

Dřevo dřevin zvláště citlivých na štipání se má předvrtat, pokud je tloušťka dřevěných prvků menší než:



$$t = \max \begin{cases} 14d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{200} \end{cases} \quad (8.19)$$

Vztah (8.19) může být nahrazen vztahem (8.18) pro vzdálenosti od okrajů dané vztahem

$$\begin{aligned} a_4 &\geq 10d && \text{pro } \rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3 \\ a_4 &\geq 14d && \text{pro } 420 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3. \end{aligned}$$

Příkladem dřevin náchylných ke štípání jsou jedle (*abies alba*), jedle Douglaska (*pseudotsuga menziesii*) a smrk (*picea abies*). Doporučuje se použít vztah (8.19) pro dřeviny: jedli (*abies alba*) a jedli Douglasku (*pseudotsuga menziesii*).

8.3.1.3 Hřebíkové spoje deska-dřevo

Minimální rozteče hřebíků pro všechny hřebíkové spoje deska-dřevo jsou rozteče uvedené v tabulce 8.2, násobené součinitelem 0,85. Vzdálenosti od konců/okrajů pro hřebíky zůstávají nezměněny pokud dále není uvedeno jinak.

Minimální vzdálenosti od okrajů a konců v prvcích z překližky se mají uvažovat $3d$ pro nezatížený okraj (nebo konec) a $(3 + 4 \sin \alpha)d$ pro zatížený okraj (nebo konec), kde α je úhel mezi směrem zatížení a zatíženým okrajem (nebo koncem).

Pro hřebíky s průměrem hlavičky nejméně $2d$, platí následující charakteristické pevnosti v otláčení:

– pro překližku:

$$f_{h,k} = 0,11 \rho_k d^{-0,3} \quad (8.20)$$

kde $f_{h,k}$ je charakteristická pevnost v otláčení v N/mm^2 , ρ_k charakteristická hustota překližky v kg/m^3 , d průměr hřebíku v mm.

– pro tvrdou desku podle EN 622-2:

$$f_{h,k} = 30 d^{-0,3} t^{0,6} \quad (8.21)$$

kde $f_{h,k}$ je charakteristická pevnost v otláčení v N/mm^2 , d průměr hřebíku v mm, t tloušťka desky v mm.

– pro třískovou desku a OSB:



$$f_{h,k} = 65 d^{-0,7} t^{0,1} \quad (8.22)$$

kde $f_{h,k}$ je charakteristická pevnost v otláčení v N/mm^2 , d průměr hřebíku v mm, t tloušťka desky v mm.

8.3.1.4 Hřebíkové spoje ocel-dřevo

Pro hřebíky platí minimální vzdálenosti od okrajů a konců uvedené v tabulce 8.2. Minimální rozteče hřebíků jsou rozteče uvedené v tabulce 8.2, násobené součinitelem 0,7.

8.3.2 Osově zatížené hřebíky

Hladké hřebíky nesmí být vystaveny stálému a dlouhodobému zatížení.

U hřebíků se závitem se má předpokládat, že pouze závitová část je schopna přenášet osově zatížení.

Hřebíky v koncových vláknech se nemají považovat za způsobilé přenášet osově zatížení.

Charakteristická únosnost hřebíků na vytažení $F_{ax,Rk}$ pro hřebíkování kolmo k vláknům (obrázek 8.9.(b)), se má uvažovat jako menší z hodnot stanovených z následujících vztahů:

– pro hřebíky jiné než hladké, určené v EN 14592:

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} d t_{pen} & (a) \\ f_{head,k} d_h^2 & (b) \end{cases} \quad (8.23)$$

– pro hladké hřebíky:

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} d t_{pen} & (a) \\ f_{ax,k} d t + f_{head,k} d_h^2 & (b) \end{cases} \quad (8.24)$$

kde $f_{ax,k}$ je charakteristická pevnost na vytažení z prvku, do kterého vniká hrot, $f_{head,k}$ charakteristická pevnost na protažení hlavičky, d průměr hřebíku podle 8.3.1.1, t_{pen} délka vniku hrotu nebo délka závitové části v prvku, do kterého vniká hrot, t tloušťka prvku na straně hlavičky, d_h průměr hlavičky hřebíku.

Charakteristické únosnosti $f_{ax,k}$ a $f_{head,k}$ se mají určovat zkouškami podle EN 1382, EN 1383 a EN 14358 pokud není dále uvedeno jinak.

Pro hladké hřebíky s vnikem hrotu nejméně $12d$, se mají charakteristické hodnoty pevností na vytažení a protažení stanovit podle následujících vztahů:

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad (8.25)$$

$$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad (8.26)$$

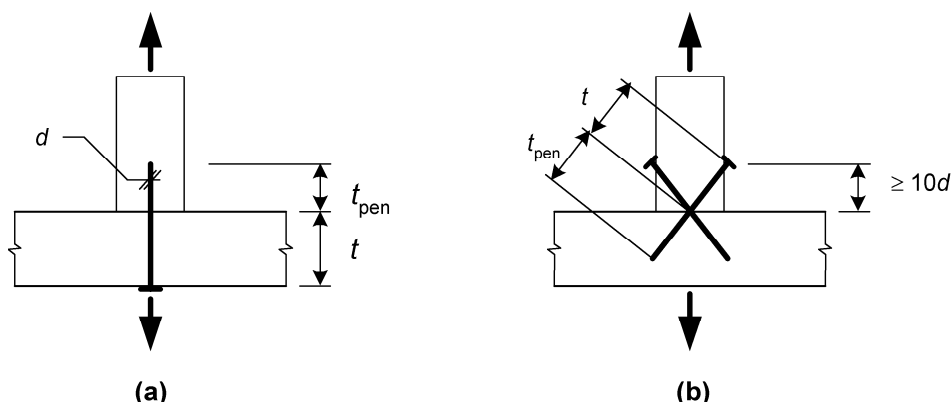
kde ρ_k je charakteristická hustota dřeva v kg/m^3 .

U hladkých hřebíků má být vnik hrotu t_{pen} nejméně $8d$. U hřebíků s vnikem hrotu menším než $12d$ se má únosnost na vytažení násobit $(t_{pen}/4d - 2)$. U závitových hřebíků má být vnik hrotu nejméně $6d$. U hřebíků s vnikem hrotu menším než $8d$ se má únosnost na vytažení násobit $(t_{pen}/2d - 3)$.

Pro konstrukční dřevo, které je zabudováno na mezi nasycení vláken nebo blízko ní, a které bude pravděpodobně vysychat při působení zatížení, se mají hodnoty $f_{ax,k}$ a $f_{head,k}$ násobit $2/3$.

Rozteče, vzdálenosti od konců a okrajů pro příčně namáhané hřebíky se použijí i pro osově namáhané hřebíky.

U šikmého hřebíkování má být vzdálenost od zatíženého okraje nejméně $10d$ - viz obrázek 8.9(b). Ve spoji mají být nejméně dva šikmé hřebíky.



Obrázek 8.9 – (a) Hřebíkování kolmo k vláknům a (b) šikmé hřebíkování

8.3.3 Hřebíky zatížené současně příčně a osově

Pro spoje vystavené kombinaci osového zatížení ($F_{ax,Ed}$) a příčného zatížení ($F_{v,Ed}$) mají být splněny následující podmínky:

– pro hladké hřebíky:

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad (8.27)$$

– pro hřebíky jiné než hladké, určené v EN 14592:

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (8.28)$$

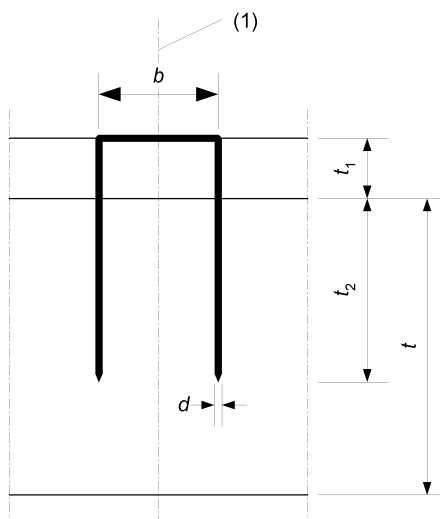
kde $F_{ax,Rd}$ a $F_{v,Rd}$ jsou návrhové únosnosti spoje zatíženého pouze osovým zatížením nebo pouze příčným zatížením.

8.4 Sponkové spoje

Pro kruhové nebo téměř kruhové nebo obdélníkové sponky se zkosenými nebo symetrickými hroty dřívků se použijí pravidla uvedená v 8.3, kromě vztahů (8.14) a (8.19) a pravidel, které se k nim vztahují.

Pro sponky s obdélníkovým průřezem se průměr d má brát jako druhá odmocnina součinu obou rozměrů.

Šířka b hlavy sponky má být nejméně $6d$, a hloubka vniku hrotu t_2 má být nejméně $14d$ - viz obrázek 8.10.



Obrázek 8.10 – Rozměry sponky

(1) Osa sponky

Ve spoji mají být nejméně dvě sponky.

Příčná návrhová únosnost pro jeden stříh jedné sponky se má považovat za ekvivalentní únosnosti dvou hřebíků s průměrem sponky za předpokladu, že úhel mezi hlavou a směrem vláken dřeva pod hlavou je větší než 30° - viz obrázek 8.11. Jestliže je úhel mezi hlavou a směrem vláken pod hlavou roven nebo menší 30° , potom se má příčná návrhová únosnost násobit součinitelem 0,7.

Pro sponky vyráběné z drátu s minimální pevností v tahu 800 N/mm^2 , se má používat následující charakteristický plastický moment únosnosti pro jeden dřík:

$$M_{y,Rk} = 240 d^{2,6} \quad (8.29)$$

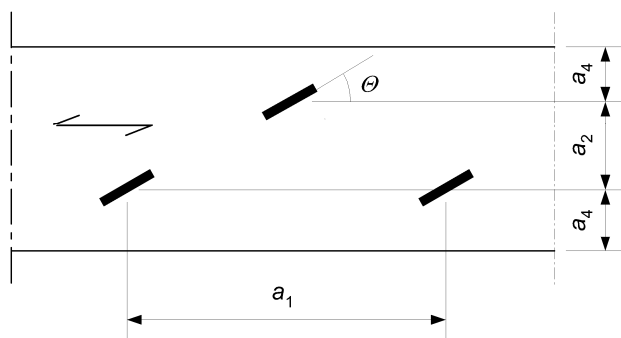
kde $M_{y,Rk}$ je charakteristický plastický moment únosnosti v Nmm, d průměr dříku sponky v mm.

Pro jednu řadu tvořenou n sponkami rovnoběžně s vlákny, se má únosnost v tomto směru vypočítat s použitím účinného počtu spojovacích prostředků n_{ef} podle vztahu (8.17).

Minimální rozteče sponek, vzdálenosti od okrajů a konců jsou uvedeny v tabulce 8.3 a znázorněny na obrázku 8.11, kde Θ je úhel mezi hlavou sponky a směrem vláken.

Tabulka 8.3 – Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců pro sponky

| Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců (viz obrázek 8.7) | Úhel | Minimální rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců |
|--|--|---|
| a_1 (rovnoběžně s vlákny) pro $\Theta \geq 30^\circ$ pro $\Theta < 30^\circ$ | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $(10 + 5 \cos \alpha) d$ $(15 + 5 \cos \alpha) d$ |
| a_2 (kolmo k vláknům) | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $15 d$ |
| $a_{3,t}$ (zatížený konec) | $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ | $(15 + 5 \cos \alpha) d$ |
| $a_{3,c}$ (nezatížený konec) | $90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$ | $15 d$ |
| $a_{4,t}$ (zatížený okraj) | $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ | $(15 + 5 \sin \alpha) d$ |
| $a_{4,c}$ (nezatížený okraj) | $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $10 d$ |



Obrázek 8.11 – Definice roztečí pro spojky

8.5 Svorníkové spoje

Svorníky se montují do předvrtaných otvorů ve dřevu.

8.5.1 Příčně zatížené svorníky

Selhání příčně namáhaných svorníků je doprovázeno nadměrným otláčováním dřeva a ohybem svorníku.

8.5.1.1 Všeobecně a svorníkové spoje dřevo-dřevo

Pro svorníky se mají používat následující charakteristické hodnoty plastického momentu únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (8.30)$$

kde $M_{y,Rk}$ je charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti v Nmm, $f_{u,k}$ charakteristická pevnost v tahu v N/mm², d je průměr svorníku v mm.

Pro svorníky do průměru 30 mm se mají používat následující hodnoty charakteristické pevnosti v otláčení ve dřevu a LVL pro úhel α k vláknům:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.31)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad (8.32)$$

$$\text{kde } k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 d & \text{pro dřevo jehličnatých dřevin} \\ 1,30 + 0,015 d & \text{pro LVL} \\ 0,90 + 0,015 d & \text{pro dřevo listnatých dřevin} \end{cases} \quad (8.33)$$

a $f_{h,0,k}$ je charakteristická pevnost v otlacení rovnoběžně s vlákny v N/mm^2 , ρ_k charakteristická hustota dřeva v kg/m^3 , α úhel zatížení vzhledem k vláknům, d průměr svorníku v mm.

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců se mají převzít z tabulky 8.4 se značkami znázorněnými na obrázku 8.8.

Pro jednu řadu tvořenou n svorníky rovnoběžně se směrem vláken, se má únosnost rovnoběžně s vlákny podle vztahu (8.1) vypočítat s použitím účinného počtu svorníků n_{ef} :

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right. \quad (8.34)$$

kde a_1 je rozteč mezi svorníky ve směru vláken, d průměr svorníku, n počet svorníků v řadě.

Pro zatížení kolmo k vláknům, se účinný počet spojovacích prostředků může uvažovat takto:

$$n_{ef} = n \quad (8.35)$$

Pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ mezi zatížením a směrem vláken, se může n_{ef} určit pomocí lineární interpolace mezi vztahy (8.34) a (8.35).

Tabulka 8.4 – Minimální hodnoty roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky

| Rozteče a vzdálenosti od konců/okrajů (viz obrázek 8.7) | Úhel | Minimální rozteče nebo vzdálenosti |
|---|--|------------------------------------|
| a_1 (rovnoběžně s vlákny) | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $(4 + \cos \alpha) d$ |
| a_2 (kolmo k vláknům) | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $4 d$ |
| $a_{3,t}$ (zatížený konec) | $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ | $\max(7 d; 80 \text{ mm})$ |
| $a_{3,c}$ (nezatížený konec) | $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ | $(1 + 6 \sin \alpha) d$ |
| | $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ | $4 d$ |
| | $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$ | $(1 + 6 \sin \alpha) d$ |
| $a_{4,t}$ (zatížený okraj) | $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ | $\max[(2 + 2 \sin \alpha) d; 3d]$ |
| $a_{4,c}$ (nezatížený okraj) | $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $3 d$ |



Otvory pro svorníky ve dřevu mají mít průměr maximálně o 1 mm větší než svorník. Otvory pro svorníky v ocelových deskách mají mít průměr maximálně o 2 mm nebo $0,1d$ větší než průměr svorníku d (podle toho, co je větší).

Pod hlavou a maticí se mají používat podložky o délce strany nebo průměru alespoň $3d$ a tloušťce alespoň $0,3d$. Podložky mají mít plnou styčnou plochu.

Svorníky a vruty do dřeva s čtyřhrannou hlavou se mají utahovat tak, aby plochy těsně lícovaly, a je-li to nezbytné pro zajištění únosnosti a tuhosti konstrukce mají být dotaženy až dřevo dosáhne rovnovážné vlhkosti.

8.5.1.2 Svorníkové spoje deska-dřevo

Pro překližky se má používat následující pevnost v otláčení v N/mm^2 , pro všechny úhly vůči povrchovým vláknům:

$$f_{h,k} = 0,11 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad (8.36)$$

kde ρ_k je charakteristická hustota překližky v kg/m^3 , d průměr svorníku v mm.

Pro třískové desky a OSB se má používat následující hodnota pevnosti v otláčení v N/mm^2 pro všechny úhly vůči povrchovým vláknům:

$$f_{h,k} = 50 d^{-0,6} t^{0,2} \quad (8.37)$$

kde d je průměr svorníku v mm, t tloušťka desky v mm.

8.5.1.3 Svorníkové spoje ocel-dřevo

Platí pravidla uvedená v 8.2.3.

8.5.2 Osově zatížené svorníky

Osová únosnost a únosnost na vytažení svorníku se má uvažovat jako nižší z hodnot:

- únosnosti svorníku v tahu;
- únosnosti buď podložky nebo (pro spoje ocel-dřevo) ocelové desky.

Únosnost podložky se má vypočítat za předpokladu, že charakteristická pevnost v tlaku na dotykové ploše je $3,0 f_{c,90,k}$.



Únosnost na svorník ocelové desky nemá překročit únosnost kruhové podložky s průměrem, který je menší z hodnot:

- $12t$, kde t je tloušťka desky;
- $4d$, kde d je průměr svorníku.

8.6 Kolíkové spoje

Platí pravidla uvedená v 8.5.1 kromě pravidel pro minimální rozteče a vzdálenosti, platných pro svorníky.

Průměr kolíku má být větší než 6 mm a menší než 30 mm. Tolerance, pokud jde o průměr kolíku, mají být $-0/+0,1$ mm.

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců jsou uvedeny v tabulce 8.5 se značkami znázorněnými na obrázku 8.8.

Tabulka 8.5 – Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců pro kolíky

| Rozteče a vzdálenosti od okrajů/konců (viz obrázek 8.7) | Úhel | Minimální rozteče nebo vzdálenosti od okrajů/konců |
|---|--|--|
| a_1 (rovnoběžně s vlákny) | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $(3 + 2 \cos \alpha) d$ |
| a_2 (kolmo na vlákna) | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $3 d$ |
| $a_{3,t}$ (zatížený konec) | $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ | $\max(7 d; 80 \text{ mm})$ |
| $a_{3,c}$ (nezatížený konec) | $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ | $\max(a_{3,t} \sin \alpha) d; 3d$ |
| | $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ | $3 d$ |
| | $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$ | $\max(a_{3,t} \sin \alpha) d; 3d$ |
| $a_{4,t}$ (zatížený okraj) | $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ | $\max(\lceil 2 + 2 \sin \alpha \rceil d; 3d)$ |
| $a_{4,c}$ (nezatížený okraj) | $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $3 d$ |

Předvrtané otvory v dřevěných prvcích nemají mít průměr větší než kolík.

8.7 Vrutové spoje

Vrutové spoje se používají především pro připojování ocelových prvků a desek na bázi dřeva ke dřevu. Spoje se provádí většinou jako jednostřížné.



U vrutů ve dřevě jehličnatých dřevin s průměrem hladkého dřívku $d \leq 6$ mm se předvrtání nepožaduje.

U všech vrutů ve dřevě listnatých dřevin a u vrutů ve dřevě jehličnatých dřevin s průměrem $d > 6$ mm je předvrtání požadováno podle následujících požadavků:

- Vodící otvor pro dřívík má mít stejný průměr jako dřívík a stejnou hloubku jako je délka dřívíku.
- Vodící otvor pro část opatřenou závitem má mít průměr cca 70 % průměru dřívíku.

Pro dřevo s hustotou větší než 500 kg/m^3 , se má průměr předvrtání určit pomocí zkoušek.

8.7.1 Příčně zatížené vruty

Při určování únosnosti se musí uvážit vliv závitové části vrutu a to použitím účinného průměru d_{ef} .

Pro vruty s hladkým dřívíkem, u kterých vnější průměr závitu je roven průměru dřívíku, platí pravidla uvedená v 8.2 za předpokladu, že:

- účinný průměr d_{ef} je uvažován jako průměr hladkého dřívíku;
- hladký dřívík vniká do prvku, ve kterém je hrot vrutu nejméně $4d$.

Jestliže nejsou splněny podmínky uvedené v předcházejícím textu, má se únosnost vrutu vypočítat s použitím účinného průměru d_{ef} uvažovaného jako 1,1násobek průměru jádra závitu.

Pro vruty s hladkým dřívíkem o průměru $d > 6$ mm, platí pravidla v 8.5.1.

Pro vruty s hladkým dřívíkem o průměru 6 mm nebo méně, platí pravidla v 8.3.1.

8.7.2 Osově zatížené vruty

Při ověření únosnosti osově zatížených vrutů, se mají ověřit následující způsoby porušení:

- porušení vytažením závitové části vrutu;
- porušení odtržením hlavičky vrutu u vrutů používaných v kombinaci s ocelovými deskami, odolnost proti odtržení hlavičky vrutu má být větší než pevnost vrutu v tahu;
- porušení protažením hlavičky vrutu;
- porušení vrutu v tahu;



- porušení vybočením vrutu při zatížení tlakem;
- porušení po obvodě skupiny vrutů, použitých v kombinaci s ocelovými deskami (blokový smyk nebo zátkový smyk).

8.7.3 Vruty zatížené současně příčně a osově

Pro vrutové spoje vystavené kombinaci osového zatížení a příčného zatížení, má být splněna podmínka (8.28).

9 DÍLCE A STĚNOVÉ DESKOVÉ KONSTRUKCE

Dílce a stěnové deskové konstrukce mají vysokou únosnost a tuhost v porovnání se svojí tíhou.

9.1 Dílce

Dílce se obvykle skládají minimálně ze dvou částí.

9.1.1 Tenkostěnné lepené nosníky

Za předpokladu lineárního průběhu poměrného přetvoření po výšce nosníku, mají normálová napětí v páslech na bázi dřeva splňovat následující podmínky:

$$\sigma_{f,c,max,d} \leq f_{m,d} \quad (9.1)$$

$$\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{m,d} \quad (9.2)$$

$$\sigma_{f,c,d} \leq k_c f_{c,0,d} \quad (9.3)$$

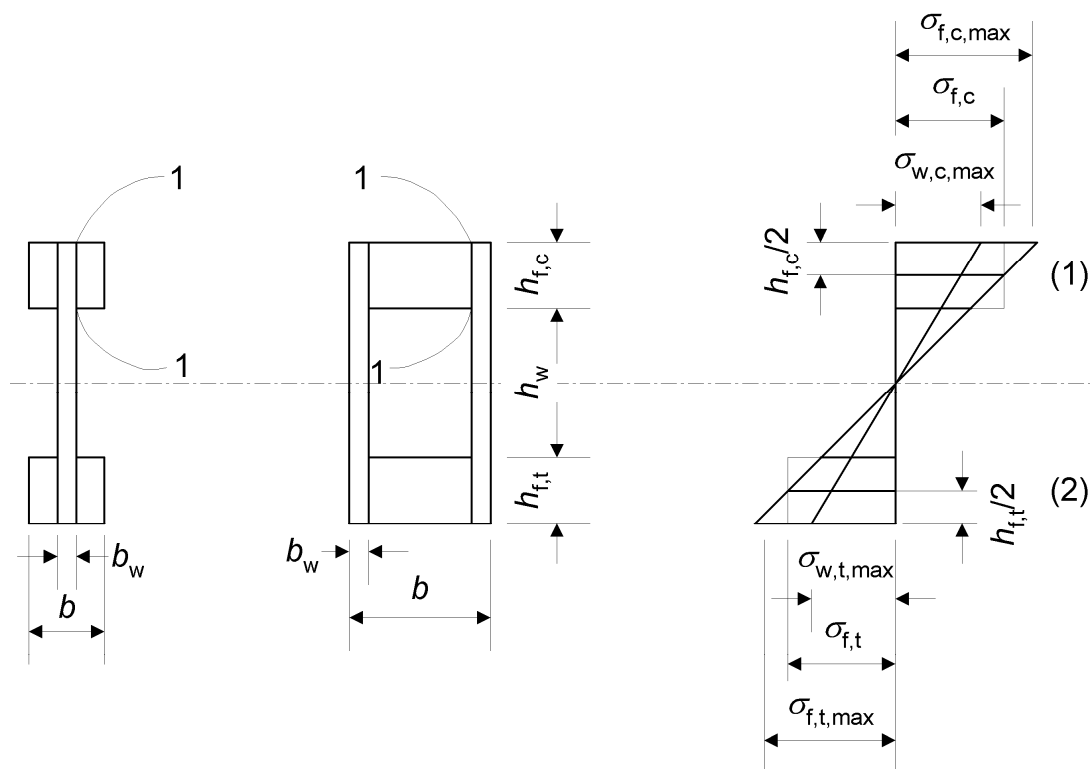
$$\sigma_{f,t,d} \leq f_{t,0,d} \quad (9.4)$$

kde $\sigma_{f,c,max,d}$ je největší návrhové napětí v tlaku ve vláknech pásu, $\sigma_{f,t,max,d}$ největší návrhové napětí v tahu ve vláknech pásu, $\sigma_{f,c,d}$ průměrné napětí v tlaku v pásu, $\sigma_{f,t,d}$ průměrné napětí v tahu v pásu, k_c součinitel zohledňující příčnou nestabilitu.

Součinitel k_c se může určit (konzervativně, zejména u nosníků uzavřeného průřezu) podle 6.3.2 s

$$\lambda_z = \sqrt{12} \left(\frac{\ell_c}{b} \right) \quad (9.5)$$

kde ℓ_c je vzdálenost mezi průřezy, ve kterých je zamezeno vybočení tlačенého pásu, b je znázorněno na obrázku 9.1.



Obrázek 9.1 – Tenkostěnné nosníky

(1) Tlak, (2) Tah

Jestliže se provede podrobný výpočet příčné nestability nosníku jako celku, může se předpokládat $k_c = 1,0$.

Normálová napětí ve stěnách mají splňovat následující podmínky:

$$\sigma_{w,c,d} \leq f_{c,w,d} \quad (9.6)$$

$$\sigma_{w,t,d} \leq f_{t,w,d} \quad (9.7)$$

kde $\sigma_{w,c,d}$ a $\sigma_{w,t,d}$ jsou návrhová napětí v tlaku a v tahu ve stěnách, $f_{c,w,d}$ a $f_{t,w,d}$ návrhové pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu stěn.



Pokud nejsou dány jiné hodnoty, má se návrhová pevnost stěn v rovinném ohybu uvažovat jako návrhová pevnost v tahu nebo v tlaku.

Musí se ověřit, že jakékoliv lepené styky mají dostatečnou pevnost.

Neprovede-li se podrobná analýza boulení, má se ověřit, že:

$$h_w \leq 70b_w \quad (9.8)$$

$$a \quad F_{v,w,Ed} \leq \begin{cases} b_w h_w \left(1 + \frac{0,5(h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right) f_{v,0,d} & \text{pro } h_w \leq 35b_w \\ 35 b_w^2 \left(1 + \frac{0,5(h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right) f_{v,0,d} & \text{pro } 35b_w \leq h_w \leq 70b_w \end{cases} \quad (9.9)$$

kde $F_{v,w,Ed}$ je návrhová posouvající síla působící na každou stěnu, h_w světlá vzdálenost mezi pásy, $h_{f,c}$ výška tlačeného pásu, $h_{f,t}$ výška taženého pásu, b_w tloušťka každé stěny, $f_{v,0,d}$ návrhová pevnost desky ve smyku.

U stěn z desek na bázi dřeva, se má v řezech 1-1 na obrázku 9.1, ověřit, že:

$$\tau_{mean,d} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{pro } h_f \leq 4 b_{ef} \\ f_{v,90,d} \left(\frac{4b_{ef}}{h_f} \right)^{0,8} & \text{pro } h_f > 4 b_{ef} \end{cases} \quad (9.10)$$

kde $\tau_{mean,d}$ je návrhové napětí ve smyku v řezech 1-1, za předpokladu jeho rovnoměrného rozdělení, $f_{v,90,d}$ návrhová pevnost ve smyku v rovině stěny (valivý smyk), h_f buď $h_{f,c}$ nebo $h_{f,t}$.

$$b_{ef} = \begin{cases} b_w & \text{pro nosníky uzavřeného průřezu} \\ b_w / 2 & \text{pro I-nosníky} \end{cases} \quad (9.11)$$

9.1.2 Lepené nosníky s tenkými pásy

Tento odstavec vychází z předpokladu lineárního průběhu poměrného přetvoření po výšce nosníku.

U pevnostního posouzení lepených nosníků s tenkými pásy se musí uvážit nerovnoměrné rozdělení napětí v pásech s ohledem na smykové ochabnutí a boulení.



Jestliže se neprovede podrobnější výpočet, složená soustava se má považovat za příslušný počet I-nosníků nebo U-nosníků (viz obrázek 9.2), s účinnými šířkami pásů b_{ef} , následovně:

– Pro I-nosníky

$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w \quad (\text{nebo } b_{t,ef} + b_w) \quad (9.12)$$

– Pro U-nosníky

$$b_{ef} = 0,5b_{c,ef} + b_w \quad (\text{nebo } 0,5b_{t,ef} + b_w) \quad (9.13)$$

Hodnoty $b_{c,ef}$ a $b_{t,ef}$ nemají být větší než maximální hodnota vypočtená pro smykové ochabnutí z tabulky 9.1. Mimo to hodnota $b_{c,ef}$ nemá být větší než maximální hodnota vypočtená pro boulení z tabulky 9.1.

Maximální účinné šířky pásů s ohledem na smykové ochabnutí a boulení se mají převzít z tabulky 9.1, přičemž ℓ je rozpětí nosníku.

Tabulka 9.1 – Maximální účinné šířky pásů s ohledem na smykové ochabnutí a boulení

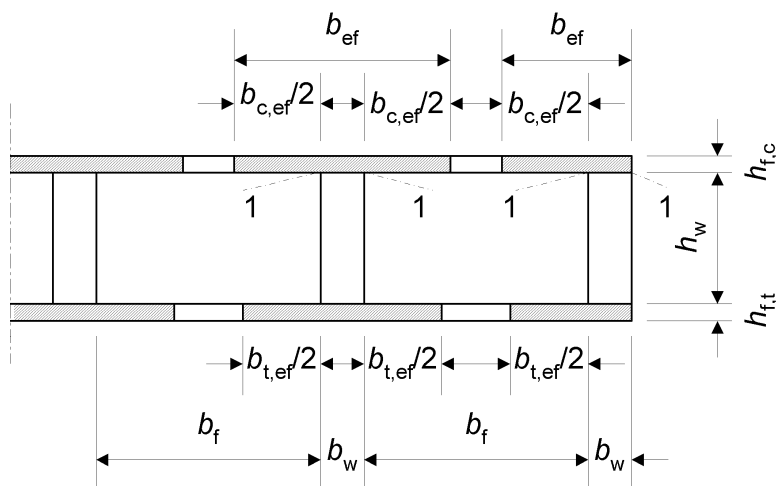
| Materiál pásu | Smykové ochabnutí | Boulení |
|--|-------------------|---------|
| Překližka s orientací vláken ve vnějších vrstvách: | | |
| – rovnoběžně se stěnami | $0,1\ell$ | $20h_f$ |
| – kolmo ke stěnám | $0,1\ell$ | $25h_f$ |
| Deska s orientovanými třískami | $0,15\ell$ | $25h_f$ |
| Třískové a vláknité desky s nahodilou orientací vláken | $0,2\ell$ | $30h_f$ |

Jestliže se neprovede podrobná analýza boulení, nemá být volná šířka pásu větší než dvojnásobek účinné šířky pásu s ohledem na boulení z tabulky 9.1.

V místě výztužných žeber desek na bázi dřeva, se má v řezech 1-1 průřezů tvaru I v obrázku 9.2 ověřit, že:

$$\tau_{\text{mean,d}} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{pro } b_w \leq 8h_f \\ f_{v,90,d} \left(\frac{8h_f}{b_w} \right)^{0,8} & \text{pro } b_w > 8h_f \end{cases} \quad (9.14)$$

kde $\tau_{\text{mean,d}}$ je návrhové napětí ve smyku v řezech 1-1, stanovené za předpokladu jeho rovnoměrného rozdělení, $f_{v,90,d}$ návrhová pevnost ve smyku v rovině pásu (valivý smyk).



Obrázek 9.2 – Nosník s tenkými pásy

Pro řezy 1-1 průřezů tvaru U, se mají ověřit stejné podmínky, ale s tím, že $8h_f$ nahradíme $4h_f$.

Normálové napětí v páslech, odpovídající příslušné účinné šířce pásu, mají splňovat následující podmínky:

$$\sigma_{f,c,d} \leq f_{f,c,d} \quad (9.15)$$

$$\sigma_{f,t,d} \leq f_{f,t,d} \quad (9.16)$$

kde $\sigma_{f,c,d}$ je průměrné návrhové napětí pásu v tlaku, $\sigma_{f,t,d}$ průměrné návrhové napětí pásu v tahu, $f_{f,c,d}$ návrhová pevnost pásu v tlaku, $f_{f,t,d}$ návrhová pevnost pásu v tahu.

Musí se ověřit, že jakékoliv lepené styky mají dostatečnou pevnost.

Normálová napětí ve stěnách na bázi dřeva mají vyhovět podmínkám (9.6) a (9.7), definovaným v 9.1.1.

9.1.3 Mechanicky spojované nosníky

Jestliže je průřez konstrukčního prvku složen z několika částí spojených mechanickými spojovacími prostředky, musí se uvážit vliv prokluzu ve spojích.

Výpočty se mají provést za předpokladu lineární závislosti mezi silou a prokluzem.



Jestliže se rozteč spojovacích prostředků v podélném směru mění podle posouvající síly mezi s_{\min} a s_{\max} ($\leq 4 s_{\min}$), může se použít následující účinná rozteč s_{ef}

$$s_{ef} = 0,75 s_{\min} + 0,25 s_{\max} \quad (9.17)$$

Metoda pro výpočet únosnosti mechanicky spojovaných nosníků je uvedena v kap. 10.

9.1.4 Mechanicky spojované a lepené tlačené pruty

Při pevnostním posouzení se musí uvážit deformace vlivem prokluzu ve spojích, vlivem smyku a ohybu ve vložkách, rámových spojkách, v dílčích prutech a pásech a vlivem osových sil v příhradovém spojení.

Metoda pro výpočet únosnosti I-prutů a prutů uzavřeného průřezu, členěných prutů a prutů s příhradovým spojením je uvedena v kapitole 11.

9.2 Stěnové deskové konstrukce

Stěnové deskové konstrukce jsou většinou používány za účelem zajištění prostorové tuhosti budov se dřevěným rámem

9.2.1 Všeobecné zásady

Stěnové deskové konstrukce se musí navrhovat tak, aby byly odolné jak proti vodorovnému, tak svislému zatížení, které na ně působí.

Stěna musí být dostatečně ukotvena, aby se předešlo jejímu překlopení a posunutí.

Stěnové deskové konstrukce určené k zajištění výztužné únosnosti musí být vyztuženy v rovině deskovými materiály, diagonálním zavětrováním nebo momentovými spoji.

Výztužná únosnost stěny se musí určovat buď zkouškami podle EN 594 nebo výpočty s využitím vhodných analytických metod nebo návrhových modelů.

Návrh stěnových deskových systémů musí zohlednit jak materiálové provedení, tak geometrické provedení stěny.

Odezva stěnových deskových konstrukcí na zatížení musí být stanovena tak, aby zajistila, že konstrukce bude vyhovovat příslušným mezím použitelnosti.



9.2.2 Zjednodušená analýza stěnových deskových konstrukcí – Metoda A

Zjednodušená metoda uvedená v tomto odstavci se má používat pouze pro stěnové deskové konstrukce s tahovou kotvou na jejich konci, která je svislým prvkem přímo spojeným se spodní konstrukcí.

Návrhová únosnost $F_{v,Rd}$ (návrhová výztužná únosnost) při síle $F_{v,Ed}$ působící při horním okraji vetknutého panelu, zajištěného proti nadzdvihnutí (svislým zatížením nebo ukotvením), se má určovat s použitím následující zjednodušené metody analýzy pro stěny provedené z jednoho nebo více panelů, u kterých je každý stěnový panel tvořen pláštěm připevněným k jedné straně dřevěného rámu, za předpokladu, že

- rozteč spojovacích prostředků je konstantní po obvodě každého pláště;
- šířka každého pláště je nejméně $h/4$.

Pro stěnu vyrobenou z několika stěnových panelů se má návrhová výztužná únosnost stěny vypočítat takto:

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} \quad (9.18)$$

kde $F_{i,v,Ed}$ je návrhová výztužná únosnost stěnového panelu podle následujícího postupu.

Návrhová výztužná únosnost každého stěnového panelu $F_{i,v,Ed}$ podle obrázku 9.3 se má vypočítat takto:

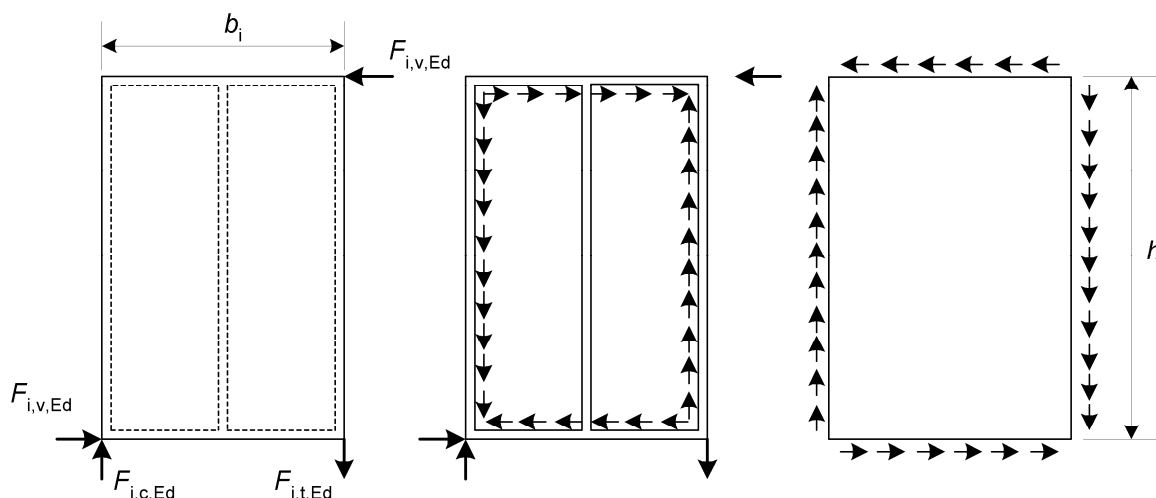
$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} b_i c_i}{s} \quad (9.19)$$

kde $F_{f,Rd}$ je příčná návrhová únosnost jednotlivého spojovacího prostředku, b_i šířka panelu stěny, s rozteč spojovacích prostředků.

$$a \quad c_i = \begin{cases} 1 & \text{pro } b_i \geq b_0 \\ \frac{b_i}{b_0} & \text{pro } b_i < b_0 \end{cases} \quad (9.20)$$

kde $b_0 = h/2$ a h je výška stěny.

Pro spojovací prostředky podél okrajů jednotlivého pláště, se má návrhová příčná únosnost zvětšit součinitelem 1,2 nad příslušné hodnoty uvedené v kapitole 8. Při určování rozteče spojovacích prostředků podle požadavků kapitoly 8, se má předpokládat, že okraje nejsou zatíženy.



Obrázek 9.3 – Síly působící na: a) panel stěny; b) rám; c) plášť

U stěnových panelů, které obsahují dveřní nebo okenní otvory, se nemá předpokládat, že se podílejí na výztužné únosnosti.

Pro stěnové panely s pláští na obou stranách platí následující pravidla:

- jestliže pláště a spojovací prostředky jsou stejného typu a rozměrů, pak se má celková výztužná únosnost stěny uvažovat jako součet výztužných únosností jednotlivých stran;
- jestliže jsou použity rozdílné typy pláštů a spojovací prostředky s podobným modulem prokluzu, může se uvážit 75 % výztužné únosnosti slabší strany, jestliže neplatí jiná hodnota. V jiných případech se nemá brát více než 50 %.

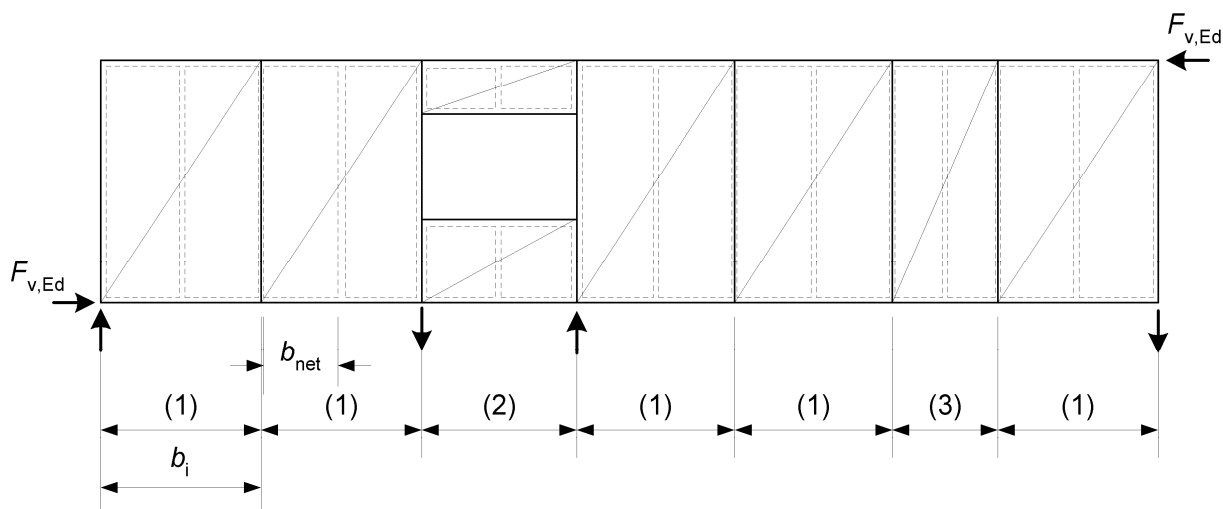
Vnější síly $F_{i,c,Ed}$ a $F_{i,t,Ed}$ podle obrázku 9.3 se mají určovat ze vztahu:

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_i} \quad (9.21)$$

kde h je výška stěny.

Tyto síly mohou být přeneseny buď do pláštů v přilehlém stěnovém panelu nebo přeneseny do konstrukce položené nad nebo pod. Když jsou tlakové síly přeneseny do konstrukce položené pod, má se panel ukotvit tuhým spojovacím prostředkem. Vybočení sloupků stěny se má ověřit podle 6.3.2. Kde konce svislých prvků tlačí na vodorovné rámové prvky, mají se stanovit napětí kolmo k vláknům vodorovných prvků podle 6.1.5.

Vnější síly, které vznikají ve stěnových panelech obsahujících dveřní a okenní otvory a ve stěnových panelech menší šířky (viz obrázek 9.4), mohou být podobně přeneseny do konstrukce položené nad nebo pod.



Obrázek 9.4 – Příklad sestavy stěnových panelů obsahujících stěnový panel s okenním otvorem a stěnový panel menší šířky

- (1) Stěnový panel (normální šířka), (2) Stěnový panel s oknem,
(3) Stěnový panel (menší šířka)

Smykové vybočení pláště se může zanedbat za předpokladu, že:

$$\frac{b_{\text{net}}}{t} \leq 100$$

kde b_{net} je světlá vzdálenost mezi sloupky a t tloušťka pláště.

S ohledem na to, že středový sloupek může být považován za podpěru pláště, rozteče spojovacích prostředků ve středovém sloupku nemají být větší než dvojnásobek roztečí spojovacích prostředků podél okrajů pláště.

Tam, kde se každý panel skládá z prefabrikovaných stěnových prvků, se má ověřit přenos smykových sil mezi dílčími stěnovými prvky.

V dotkových plochách mezi svislými sloupky a vodorovnými dřevěnými prvky, se mají posoudit napětí v tlaku kolmo k vláknům ve vodorovných prvcích.



10 MECHANICKY SPOJOVANÉ NOSNÍKY

Průřezy nosníků mohou být složeny z několika částí spojených mechanickými spoji. Mechanické spoje přenáší především posouvající síly.

10.1 Zjednodušená analýza

Řešení vychází z předpokladu, že pro každou část průřezu platí jednoduchá teorie ohybu a smykové přetvoření je zanedbáno.

10.1.1 Průřezy

Uvažovány jsou průřezy znázorněné na obrázku 10.1.

10.1.2 Předpoklady

Návrhová metoda je založena na teorii lineární pružnosti a na následujících předpokladech:

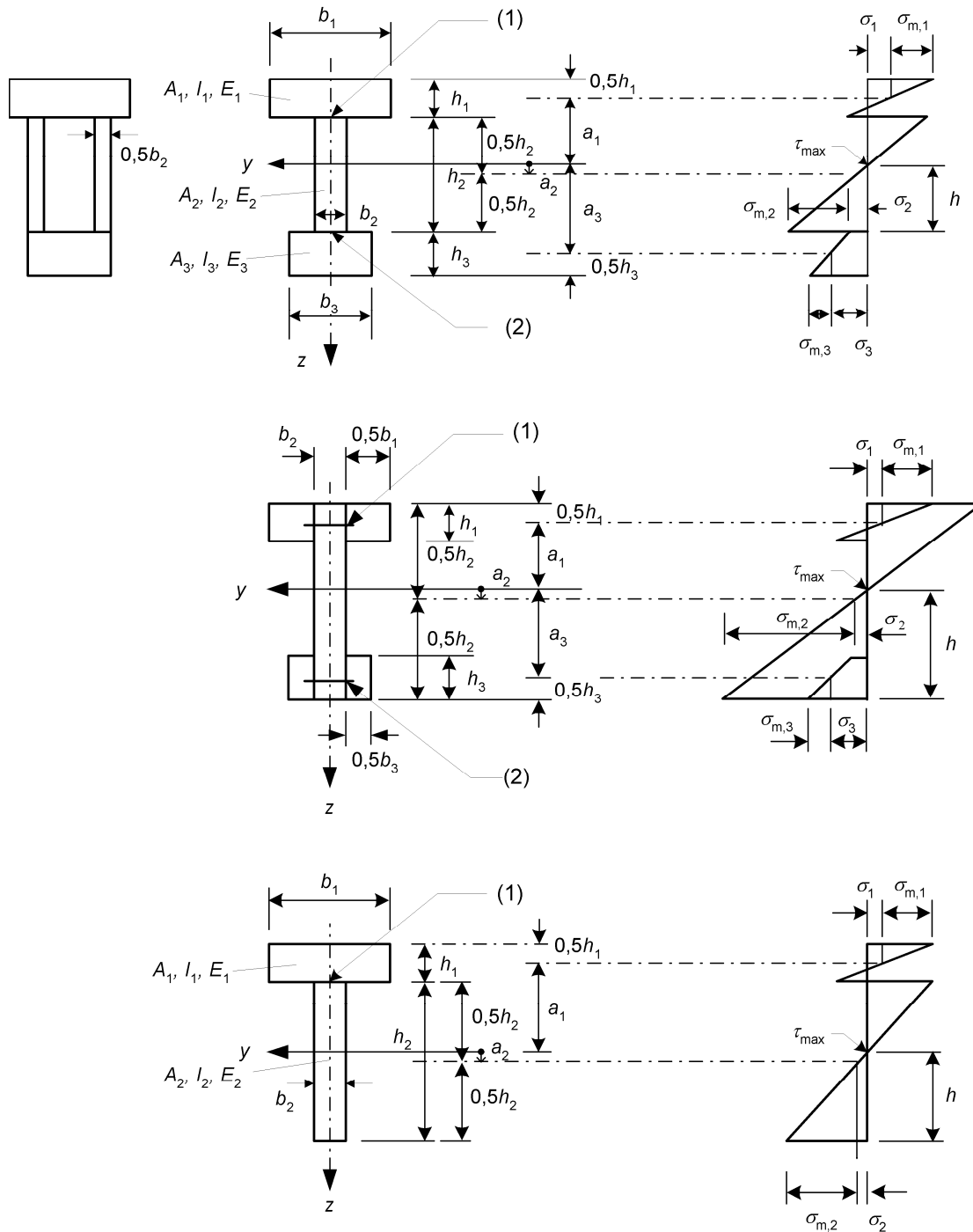
- nosníky jsou prostě podepřeny a mají rozpětí ℓ . Pro spojitě nosníky mohou být vztahy použity s ℓ rovnajícím se 0,8násobku příslušného rozpětí a pro konzolové nosníky s ℓ rovnajícím se dvojnásobku délky konzoly;
- jednotlivé části (dřeva, desek na bázi dřeva) jsou po délce buď z jednoho kusu nebo nastaveny lepenými spoji;
- jednotlivé části jsou navzájem spojeny mechanickými spojovacími prostředky s modulem prokluzu K ;
- rozteč s mezi spojovacími prostředky je konstantní nebo se stejnoměrně mění podle posouvající síly mezi s_{\min} a s_{\max} , kdy $s_{\max} \leq 4 s_{\min}$;
- zatížení působí ve směru osy z a vyvozuje moment $M = M(x)$ s průběhem ve tvaru sinusoidy nebo paraboly a posouvající sílu $V = V(x)$.

10.1.3 Rozteče

Jestliže se pás skládá ze dvou částí připojených ke stěně nebo jestliže se stěna skládá ze dvou částí (jako u komůrkového nosníku), rozteč s_i se určuje ze součtu spojovacích prostředků na jednotku délky ve dvou styčných plochách přípoje.

10.1.4 Průhyby od ohybových momentů

Při výpočtu průhybů se použije účinná ohybová tuhost $(EI)_{ef}$ určená podle 10.2.



- (1) Rozteč: s_1 Modul prokluzu: K_1 Zatížení: F_1
 (2) Rozteč: s_3 Modul prokluzu: K_3 Zatížení: F_3

Obrázek 10.1 – Průřez (vlevo) a průběh napětí v ohybu (vpravo).

Všechny rozměry jsou kladné s výjimkou a_2 , která se uvažuje kladně, jak je znázorněno.



10.2 Účinná ohybová tuhost

Účinná ohybová tuhost se má uvažovat takto:

$$(EI)_{\text{ef}} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2) \quad (10.1)$$

při použití průměrných hodnot E a kde:

$$A_i = b_i h_i \quad (10.2)$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12} \quad (10.3)$$

$$\gamma_2 = 1 \quad (10.4)$$

$$\gamma_i = \left[1 + \pi^2 E_i A_i s_i / (K_i l^2) \right]^{-1} \quad \text{pro } i = 1 \text{ and } i = 3 \quad (10.5)$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i} \quad (10.6)$$

kde značky jsou definovány na obrázku 10.1, $K_i = K_{\text{ser},i}$ pro výpočty mezních stavů použitelnosti, $K_i = K_{\text{u},i}$ pro výpočty mezních stavů únosnosti.

Pro T-průřezy $h_3 = 0$.

10.3 Normálová napětí

Normálová napětí se mají uvažovat takto:

$$\sigma_i = \frac{\gamma_i E_i a_i M}{(EI)_{\text{ef}}} \quad (10.7)$$

$$\sigma_{\text{m},i} = \frac{0,5 E_i h_i M}{(EI)_{\text{ef}}} \quad (10.8)$$

10.4 Maximální smykové napětí

Maximální smyková napětí se vyskytují tam, kde jsou nulová normálová napětí. Maximální smyková napětí ve stěnovém prvku (část 2 na obrázku 10.1) se mají uvažovat takto:



$$\tau_{2,\max} = \frac{\gamma_3 E_3 A_3 a_3 + 0,5 E_2 b_2 h_2^2}{b_2 (EI)_{\text{ef}}} V \quad (10.9)$$

10.5 Zatížení spojovacího prostředku

Zatížení spojovacího prostředku se má uvažovat takto:

$$F_i = \frac{\gamma_i E_i A_i a_i s_i}{(EI)_{\text{ef}}} V \quad (10.10)$$

kde $i = 1$ a případně 3, $s_i = s_i(x)$ je rozteč spojovacích prostředků jak je definována v 10.1.3.

11 SLOŽENÉ A ČLENĚNÉ TLAČENÉ PRUTY

U štíhlých tlačených prutů je jejich únosnost limitována vzpěrem. Zvýšení únosnosti prutů lze docílit především snížením jejich štíhlosti. Toho můžeme dosáhnout dvojitým způsobem: snížením jejich účinné (vzpěrné) délky a zvýšením poloměru setrvačnosti ke kritické ose vzpěru.

11.1 Všeobecně

Účinnou délku tlačených prutů můžeme snížit provedením výztuh ve směru kritického vzpěru. Zvýšení poloměru setrvačnosti lze dosáhnout zvětšením rozměru prvku nebo použitím složených a členěných tlačených prvků.

11.1.1 Předpoklady

Platí následující předpoklady:

- tlačené pruty jsou kloubově uloženy a mají délku ℓ ;
- jednotlivé části jsou po délce z jednoho kusu;
- zatížení je osová síla F_c působící v těžišti průřezu (více viz 11.2.3).

11.1.2 Únosnost

Pro vybočení tlačeného prutu ve směru osy y (viz obrázek 11.1), se má únosnost uvažovat jako součet únosností jednotlivých prvků.



Pro vybočení tlačeneho prutu ve směru osy z (viz obrázek 11.1), se má ověřit, že:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c f_{c,0,d} \quad (11.1)$$

$$\text{kde } \sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A_{\text{tot}}} \quad (11.2)$$

a kde A_{tot} je celková plocha průřezu, k_c se určuje podle 6.3.2, ale s účinným štíhlostním poměrem λ_{ef} stanoveným podle odstavců 11.2 – 11.3.

11.2 Mechanicky spojované tlačené pruty

Tlačené pruty velkých průřezů mohou být provedeny složením několika prvků dohromady a jejich spojením ocelovými spojovacími prostředky.

11.2.1 Účinný štíhlostní poměr

Účinný štíhlostní poměr se má uvažovat takto:

$$\lambda_{\text{ef}} = \ell \sqrt{\frac{A_{\text{tot}}}{I_{\text{ef}}}} \quad (11.3)$$

$$\text{s } I_{\text{ef}} = \frac{(EI)_{\text{ef}}}{E_{\text{mean}}} \quad (11.4)$$

kde $(EI)_{\text{ef}}$ se určuje podle kapitoly 10.

11.2.2 Zatížení spojovacích prostředků

Zatížení spojovacího prostředku se má uvažovat podle kapitoly 10, kde:

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120 k_c} & \text{pro } \lambda_{\text{ef}} < 30 \\ \frac{F_{c,d} \lambda_{\text{ef}}}{3600 k_c} & \text{pro } 30 \leq \lambda_{\text{ef}} < 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60 k_c} & \text{pro } 60 \leq \lambda_{\text{ef}} \end{cases} \quad (11.5)$$

11.2.3 Kombinovaná zatížení

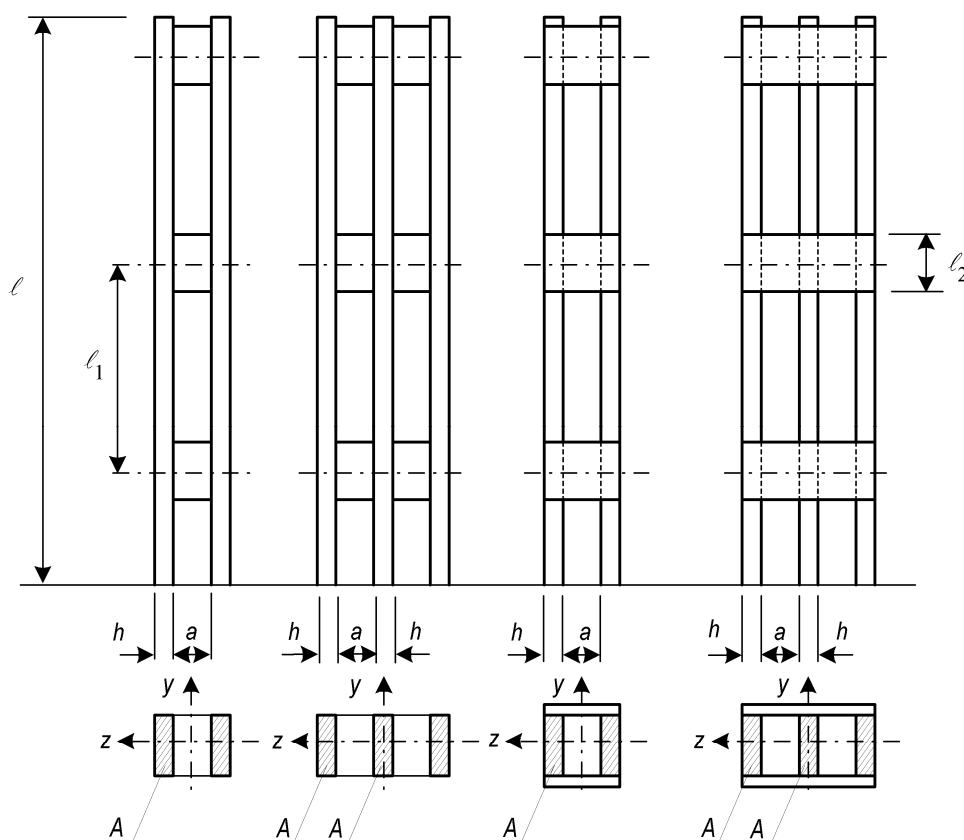
V případech, kdy malé momenty (např. od vlastní tíhy) působí současně s osovým zatížením, platí 6.3.2.

11.3 Členěné tlačené pruty s vložkami nebo rámovými spojkami

Únosnost členěných prutů je zjišťována pomocí obdobných postupů jako u prutů celistvých. Při zjišťování jejich únosnosti se ale musí vzít v úvahu možnost vybočení členěného prutu jako celku a také možnost vybočení dřívku členěného prutu samostatně.

11.3.1 Předpoklady

Uvažují se tlačené pruty znázorněné na obrázku 11.1, tj. tlačené pruty složené z dřívků, odsazených pomocí vložek nebo rámových spojek. Spoje mohou být buď hřebíkové nebo lepené nebo svorníkové s vhodnými hmoždíky.



Obrázek 11.1 – Členěné tlačené pruty



Platí následující předpoklady:

- průřez je složen ze dvou, tří nebo čtyř shodných dříků;
- průřezy jsou symetrické podle obou os;
- počet volných polí je alespoň tři; tj. dříky jsou spojeny alespoň na koncích a ve třetinách;
- volná vzdálenost mezi dříky není větší než trojnásobek tloušťky dříku h pro tlačené pruty s vložkami a není větší než šestinásobek tloušťky dříku pro tlačené pruty s rámovými spojkami;
- spoje, vložky a rámové spojky jsou navrženy podle 11.3.3;
- délka vložky ℓ_2 vyhovuje podmínce: $\ell_2/a \geq 1,5$;
- v každé střížné ploše jsou alespoň čtyři hřebíky nebo dva svorníky s hmoždíky. U hřebíkových spojů jsou alespoň čtyři hřebíky v řadě na každém konci v podélném směru tlačného prutu;
- rámové spojky vyhovují podmínce: $\ell_2/a \geq 2$;
- na tlačené pruty působí centrická osová zatížení.

Pro tlačené pruty se dvěma dříky se má A_{tot} a I_{tot} vypočítat takto:

$$A_{\text{tot}} = 2A \quad (11.6)$$

$$I_{\text{tot}} = \frac{b \left[(2h+a)^3 - a^3 \right]}{12} \quad (11.7)$$

Pro tlačené pruty se třemi dříky se má A_{tot} a I_{tot} vypočítat takto:

$$A_{\text{tot}} = 3A \quad (11.8)$$

$$I_{\text{tot}} = \frac{b \left[(3h+2a)^3 - (h+2a)^3 + h^3 \right]}{12} \quad (11.9)$$

11.3.2 Únosnost při zatížení osovou silou

Pro vybočení tlačeneho prutu ve směru osy y (viz obrázek 11.1), se má únosnost uvažovat jako součet únosností jednotlivých prvků.

Pro vybočení tlačeneho prutu ve směru osy z platí 11.1.2, kdy

$$\lambda_{\text{ef}} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \frac{n}{2} \lambda_1^2} \quad (11.10)$$

kde λ je štíhlostní poměr pro celistvý tlačný prut se stejnou délkou, stejnou plochou (A_{tot}) a stejným momentem setrvačnosti (I_{tot}), tj.

$$\lambda = \ell \sqrt{A_{\text{tot}} / I_{\text{tot}}} \quad (11.11)$$

λ_1 je štíhlostní poměr dřívků a do vztahu (11.1) má být dosazen s minimální hodnotou alespoň 30, tj.

$$\lambda_1 = \sqrt{12} \frac{\ell_1}{h} \quad (11.12)$$

n je počet dřívků, η součinitel uvedený v tabulce 11.1

Tabulka 11.1 – Součinitel η

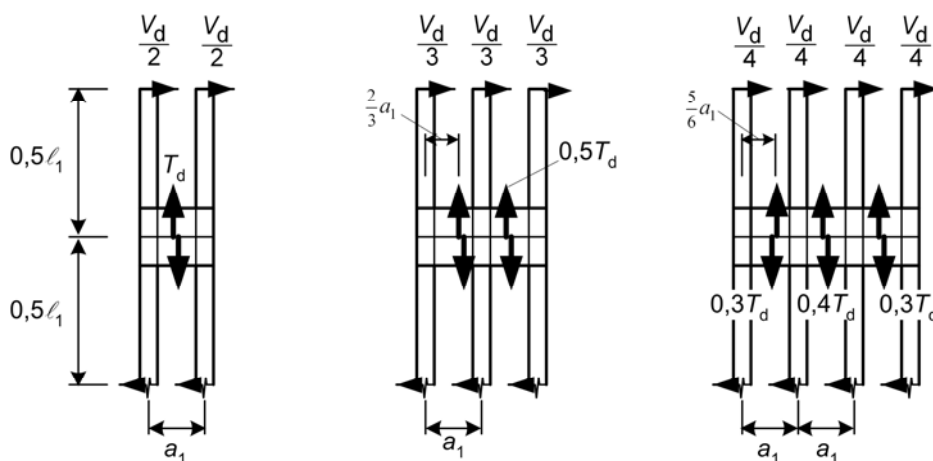
| Zatížení | Vložky připojené | | | Rámové spojky připojené | |
|------------------------------------|---------------------|---------|-----------------------|----------------------------|---------|
| | Lepením | Hřebíky | Svorníky ^a | Lepením | Hřebíky |
| Stálé/dlouhodobé zatížení | 1 | 4 | 3,5 | 3 | 6 |
| Střednědobé/krátkodobé zatížení | 1 | 3 | 2,5 | 2 | 4,5 |
| ^a s hmoždíky | | | | | |

11.3.3 Zatížení spojovacích prostředků, rámových spojek a vložek

Zatížení spojovacích prostředků a rámových spojek nebo vložek je znázorněno na obrázku 11.2 s V_d podle odstavce 11.2.2.

Posouvající síly v rámových spojkách a vložkách (viz obrázek 11.2) se mají vypočítat takto:

$$T_d = \frac{V_d l_1}{a_1} \tag{11.13}$$



Obrázek 11.2 Rozdělení posouvající síly a zatížení v rámových spojkách a vložkách



12 ŘEŠENÉ PŘÍKLADY

12.1 Posouzení sloupu na vzpěr

Posouzení kloubově uloženého sloupu čtvercového průřezu 100 x 100 mm, délky $\ell = 3$ m, centricky zatíženého střednědobou návrhovou silou $N_d = 30$ kN. Sloup je z rostlého dřeva a je zabudován v prostředí, ve kterém průměrná vlhkost dřeva bude 12 %. Parametry pevnosti a tuhosti dřeva jsou $f_{c,0,k} = 20$ MPa a $E_{0,05} = 6\,700$ MPa.

Návrhová pevnost v tlaku

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{20}{1,3} = 12,3 \text{ MPa}$$

Normálové napětí v tlaku

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{30 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 3,0 \text{ MPa}$$

Štíhlostní poměr

$$\lambda = \frac{\ell_{\text{ef}}}{i} = \frac{3\,000}{0,289 \cdot 100} = 103,8$$

$$\sigma_{c,\text{crit}} = \pi^2 \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = 3,14^2 \frac{6\,700}{103,8^2} = 6,1 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{\text{rel}} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{20}{6,1}} = 1,8$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel}}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,2(1,8 - 0,3) + 1,8^2 \right] = 2,27$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} = \frac{1}{2,27 + \sqrt{2,27^2 - 1,8^2}} = 0,29$$

Posouzení sloupu na vzpěr

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{3,0}{0,29 \cdot 12,4} = 0,83 < 1$$

Sloup na vzpěr vyhovuje.



12.2 Posouzení prutu na vzpěr a ohyb

Kloubově uložený prut čtvercového průřezu 200x200 mm, délky $\ell = 4$ m je zatížen návrhovou osovou silou $N_d = 100$ kN (dlouhodobou) a návrhovým příčným rovnoměrným zatížením $q_d = 5$ kNm⁻¹ (krátkodobým). Prut je z rostlého dřeva a je zabudován ve třídě provozu 1. Parametry pevnosti a tuhosti dřeva jsou $f_{c,0,k} = 20$ MPa, $f_{m,k} = 22$ MPa a $E_{0,05} = 6\,700$ MPa.

Návrhové pevnosti v tlaku a v ohybu

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{20}{1,3} = 13,85 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{22}{1,3} = 15,23 \text{ MPa}$$

Normálové napětí v tlaku a v ohybu

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{100 \cdot 10^3}{40 \cdot 10^3} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{q_d \ell^2}{8W} = 7,5 \text{ MPa}$$

Štíhlostní poměry

$$\lambda = \frac{\ell_{ef}}{i} = 69,2$$

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} = 13,8 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{20}{13,8}} = 1,2$$

Součinitel vzpěrnosti

$$k = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,2 (1,2 - 0,3) + 1,2^2 \right] = 1,31$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,31 + \sqrt{1,31^2 - 1,2^2}} = 0,54$$

Vzpěr a ohyb

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$



$$\frac{2,5}{0,54 \cdot 12,4} + \frac{7,5}{13,7} = 0,9 < 1$$

Prut na vzpěr a ohyb vyhovuje.

12.3 Posouzení nosníku na ohyb a smyk

Posouzení prostě podepřeného nosníku obdélníkového průřezu 50 x 200 mm, o rozpětí 3,5 m, zatíženého střednědobým návrhovým rovnoměrným zatížením 2 kNm⁻¹. Nosník je z rostlého dřeva a je zabudován v prostředí, ve kterém průměrná vlhkost dřeva bude 12 %. Parametry pevnosti a tuhosti dřeva jsou $f_{m,k} = 22$ MPa, $f_{v,k} = 2,4$ MPa a $E_{0,05} = 6\,700$ MPa.

Návrhová pevnost v ohybu a ve smyku

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{22,0}{1,3} = 13,54 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{2,4}{1,3} = 1,48 \text{ MPa}$$

a) Normálové napětí za ohybu (nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě)

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

Normálová napětí za ohybu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{1}{8} \frac{q_d \ell^2}{W} = \frac{1}{8} \frac{2 \cdot 3\,500^2 \cdot 6}{50 \cdot 200^2} = 9,2 \text{ MPa} < 13,54 \text{ MPa}$$

Nosník na ohyb vyhovuje.

b) Normálové napětí za ohybu (nosník není po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě)

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

Kritické napětí za ohybu

$$\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{0,78 b^2 E_{0,05}}{h \ell_{\text{ef}}} = \frac{0,78 \cdot 50^2 \cdot 6\,700}{200 \cdot (0,9 \cdot 3\,500 + 400)} = 18,4 \text{ MPa}$$



Poměrná štíhlost

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \sqrt{\frac{f_{\text{m,k}}}{\sigma_{\text{m,crit}}}} = \sqrt{\frac{22}{18,4}} = 1,06$$

Součinitel příčné a torzní stability

$$k_{\text{crit}} = 1,56 - 0,75 \lambda_{\text{rel,m}} = 1,56 - 0,75 \cdot 1,06 = 0,76$$

Redukovaná návrhová pevnost

$$k_{\text{crit}} \cdot f_{\text{m,d}} = 0,76 \cdot 13,54 = 10,3 \text{ MPa}$$

Normálové napětí za ohybu

$$\sigma_{\text{m,d}} = \frac{M_{\text{d}}}{W} = \frac{1}{8} \frac{q_{\text{d}} \ell^2}{W} = \frac{2 \cdot 3500^2 \cdot 6}{8 \cdot 50 \cdot 200^2} = 9,2 \text{ MPa} < 10,3 \text{ MPa}$$

Nosník na ohyb vyhovuje.

c) Smykové napětí

$$\tau_{\text{v,d}} \leq f_{\text{v,d}}$$

účinná šířka průřezu

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

$$k_{\text{cr}} = 0,67$$

$$\tau_{\text{v,d}} = \frac{3 V_{\text{d}}}{2 A} = \frac{3 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3500}{2 \cdot 2 \cdot 0,67 \cdot 50 \cdot 200} = 0,78 \text{ MPa} < 1,48 \text{ MPa}$$

Nosník na smyk vyhovuje.

12.4 Posouzení okapové vaznice na smyk a kroucení

Vaznice průřezu 140x300 mm je z lepeného lamelového dřeva a je zabudována ve třídě provozu 2. Namáhána je návrhovou posouvající silou $V_{\text{d}} = 15 \text{ kN}$ (krátkodobou) a návrhovým kroučícím momentem $M_{\text{tor,d}} = 2 \text{ kNm}$ (krátkodobým).

Charakteristická pevnost dřeva ve smyku $f_{\text{v,g,k}} = 2,7 \text{ MPa}$.

Návrhová pevnost ve smyku

$$f_{\text{v,g,d}} = k_{\text{mod}} \frac{f_{\text{v,g,k}}}{\gamma_{\text{M}}} = 0,9 \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v kroucení

$$f_{\text{tor,g,d}} = k_{\text{shape}} \cdot f_{\text{v,g,d}} = 1,32 \cdot 1,94 = 2,56 \text{ MPa}$$

Smyk za ohybu

$$\tau_{\text{v,d}} = \frac{3V_d}{2A_{\text{ef}}} < f_{\text{v,g,d}}$$

$$\tau_{\text{v,d}} = \frac{3 \cdot 15 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,67 \cdot 140 \cdot 300} = 0,80 \text{ MPa} < 1,94 \text{ MPa}$$

Kroucení

$$\tau_{\text{tor,d}} = \frac{M_{\text{tor,d}}}{k_{\text{tor}} h b^2} \leq f_{\text{tor,g,d}}$$

$$\tau_{\text{tor,d}} = \frac{2 \cdot 10^6}{0,249 \cdot 300 \cdot 140^2} = 1,37 \text{ MPa} < 2,56 \text{ MPa}$$

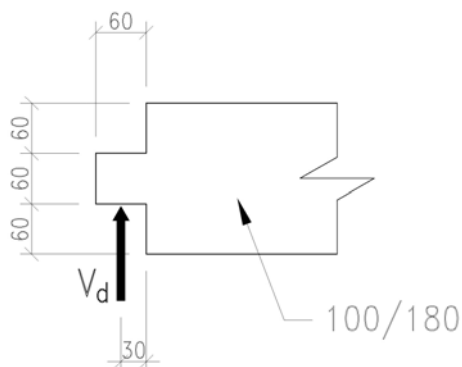
Tabulka - Součinitel k_{tor}

| h/b | 1 | 1,2 | 1,5 | 2 | 3 | 5 | 10 | >10 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| k_{tor} | 0,208 | 0,219 | 0,231 | 0,246 | 0,267 | 0,291 | 0,313 | 0,333 |

Vaznice na smyk a kroucení vyhovuje.

12.5 Posouzení čepu nosníku

Nosník s čepem (viz obr.) je proveden z rostlého dřeva a zabudován je ve třídě provozu 1. Materiálové parametry dřeva jsou $f_{\text{v,k}} = 2,4 \text{ MPa}$ a $f_{\text{c,90,k}} = 5,1 \text{ MPa}$. Čep je zatížen návrhovou posouvající silou $V_d = 2,7 \text{ kN}$ (střednědobou).



Návrhové pevnosti dřeva ve smyku a v tlaku kolmo k vláknům

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{2,4}{1,3} = 1,48 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{5,1}{1,3} = 3,14 \text{ MPa}$$

Součinitel koncentrace smykového napětí v místě čepu

$$k_v = \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1 i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left[\sqrt{\alpha (1 - \alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right]} = \frac{5}{\sqrt{180} \left[\sqrt{\frac{60}{180} \left(1 - \frac{60}{180} \right)} + 0,8 \frac{30}{180} \sqrt{\frac{180}{60} - \left(\frac{60}{180} \right)^2} \right]} = 0,534$$

Posouzení čepu nosníku na smyk a otláčení

$$\tau_d \leq k_v f_{v,d} = 0,534 \cdot 1,48 = 0,79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} = 1 \cdot 3,14 = 3,14 \text{ MPa}$$

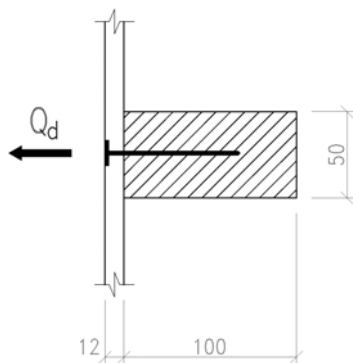
$$\tau_d = 1,5 \frac{V_d}{b h_{ef}} = 1,5 \frac{2,7 \cdot 10^3}{100 \cdot 60} = 0,68 \text{ MPa} < 0,79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_d}{b \ell} = \frac{2,7 \cdot 10^3}{100 \cdot 60} = 0,45 \text{ MPa} < 3,14 \text{ MPa}$$

Čep nosníku vyhovuje.

12.6 Návrh spoje pláště a sloupku stěny na vytažení

Hladké hřebíky kruhového průřezu $\varnothing 3,15$ mm a délky 50 mm připojují překližku ke sloupku obvodové stěny dřevostavby (viz obr.). Charakteristická hustota překližky je 400 kgm^{-3} a dřeva 350 kgm^{-3} . Obvodová stěna je zabudována ve třídě provozu 3. Na spoj působí vítr sací silou $Q_d = 780 \text{ Nm}^{-1}$.



Charakteristická pevnost hřebíku na vytažení

$$f_{ax,k} = (20 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2 = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 350^2 = 2,45 \text{ Nmm}^{-2}$$

Charakteristická pevnost hřebíku na protažení hlavičky

$$f_{head,k} = (70 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2 = 70 \cdot 10^{-6} \cdot 400^2 = 11,2 \text{ Nmm}^{-2}$$

Charakteristická únosnost hřebíku na vytažení

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,k} d t_{pen} = 2,45 \cdot 3,15 \cdot (50-12) = 293,3 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,d} d t + f_{head,k} d_h^2 = 2,45 \cdot 3,15 \cdot 12 + 11,2 \cdot 6^2 = 495,8 \text{ N}$$

(průměr hlavičky hřebíku bývá obvykle roven přibližně dvojnásobku průměru jeho dřívku)

$$\text{min. } F_{ax,Rk} = 293,3 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} \frac{F_{ax,Rk}}{\gamma_M} = 0,7 \frac{293,3}{1,3} = 157,9 \text{ N}$$

Rozteč hřebíků

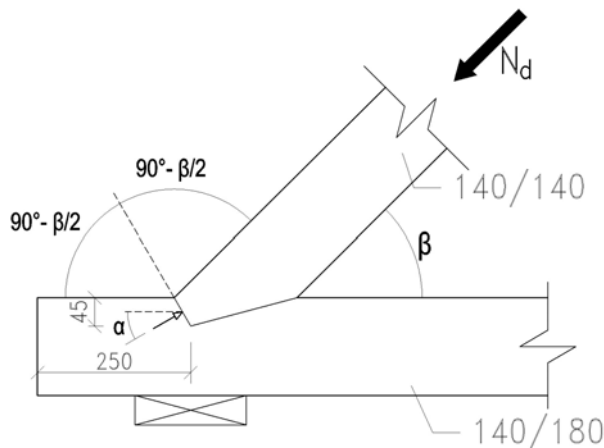
$$\text{rozteč} = 1000 \frac{F_{ax,Rd}}{Q_d} = 1000 \frac{157,9}{780} \cong 200 \text{ mm}$$

Spoj bude proveden hřebíky 3,15/50 mm s roztečí 200 mm.

12.7 Posouzení šikmého jednoduchého zapuštění

Šikmé jednoduché zapuštění (viz obr.) je provedeno z rostlého dřeva. Materiálové parametry rostlého dřeva jsou $f_{c,0,k} = 20 \text{ MPa}$, $f_{c,90,k} = 5,1 \text{ MPa}$ a $f_{v,k} = 2,4 \text{ MPa}$. Šikmý prvek zapuštění svírá s vodorovným prvkem úhel $\beta = 45^\circ$.

V ose šikmého prvku působí návrhová osová síla $N_d = 55 \text{ kN}$ (střednědobá).





Návrhové pevnosti dřeva v tlaku rovnoběžně a kolmo k vláknům

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{20}{1,3} = 12,31 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{5,1}{1,3} = 3,14 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku šikmo k vláknům (vztahující se k posouzení otláčení v čelní ploše zapuštění výšky 45 mm), $k_{c,90} = 1,0$, $\alpha = \beta/2$.

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{12,31}{\frac{12,31}{3,14} \sin^2 22,5^\circ + \cos^2 22,5^\circ} = 8,62 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost dřeva ve smyku

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{2,4}{1,3} = 1,48 \text{ MPa}$$

Posouzení zapuštění na otláčení a usmyknutí

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_d \cos^2 \alpha}{b t_z} = \frac{55 \cdot 10^3 \cos^2 22,5^\circ}{140 \cdot 45} = 7,45 \text{ MPa} < 8,62 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{N_d \cos \beta}{b l_z} = \frac{55 \cdot 10^3 \cos 45^\circ}{140 \cdot 250} = 1,11 \text{ MPa} < 1,48 \text{ MPa}$$

Šikmé jednoduché zapuštění vyhovuje.

12.8 Posouzení nosníku na průhyb

Rozpětí střešního nosníku je 15 m a osová vzdálenost mezi nosníky je 6 m. Nosník má obdélníkový průřez 160 x 1000 mm, je proveden z lepeného lamelového dřeva a je zabudován ve třídě provozu 1.

Parametry tuhosti dřeva jsou $E_{0,\text{mean},g} = 11\,000 \text{ MPa}$ a $G_{\text{mean},g} = 680 \text{ MPa}$.

Nosník je proveden bez nadvýšení. Konstrukce je v nadmořské výšce $< 1\,000 \text{ m n.m.}$

Charakteristické hodnoty zatížení :

- stálé zatížení $G_k = 0,5 \text{ kNm}^{-2}$;
- zatížení sněhem $Q_k = 0,7 \text{ kNm}^{-2}$.



Průhyb od jednotkového rovnoměrného zatížení $q_{\text{ref}} = 1,0 \text{ kNm}^{-1}$

$$w_{\text{ref}} = \frac{5 q_{\text{ref}} \ell^4}{384 EI} = \frac{5 \cdot 1,0 \cdot 15\,000^4 \cdot 12}{384 \cdot 11\,000 \cdot 160 \cdot 1\,000^3} = 4,5 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od stálého zatížení

$$g_k = 6 \cdot 0,5 = 3,0 \text{ kNm}^{-1}$$

$$w_{1,\text{inst}} = 3,0 u_{\text{ref}} = 3,0 \cdot 4,5 = 13,5 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od proměnného zatížení

$$q_k = 6 \cdot 0,7 = 4,2 \text{ kNm}^{-1}$$

$$w_{2,\text{inst}} = 4,2 u_{\text{ref}} = 4,2 \cdot 4,5 = 18,9 \text{ mm}$$

Okamžitý průhyb od stálého a proměnného zatížení

$$w_{\text{inst}} = 13,5 + 18,9 = 32,4 \text{ mm} < \ell/300 = 50 \text{ mm} \text{ (průhyb je téměř roven } \ell/500 = 30 \text{ mm)}$$

Průhyb vyhovuje.

Konečný (čistý) průhyb od stálého a proměnného zatížení

$$w_{\text{net,fin}} = w_{1,\text{inst}} (1 + k_{1,\text{def}}) + w_{2,\text{inst}} (1 + \psi_{2,1} k_{2,\text{def}})$$

$$w_{\text{net,fin}} = 13,5 (1 + 0,6) + 18,9 (1 + 0,0 \cdot 0,6) = 40,5 \text{ mm} < \ell/350 = 42,8 \text{ mm}$$

Průhyb vyhovuje.

V uvedeném příkladě jsou posuzovány pouze průhyby od momentů, neboť průhyby od posouvajících sil jsou malé.

U prostě podepřeného nosníku obdélníkového průřezu, zatíženého rovnoměrným zatížením, určíme přibližně poměr průhybu od posouvajících sil (w_V) a momentu (w_M) takto :

$$\frac{w_V}{w_M} = 0,96 \frac{E}{G} \left(\frac{h}{\ell} \right)^2$$

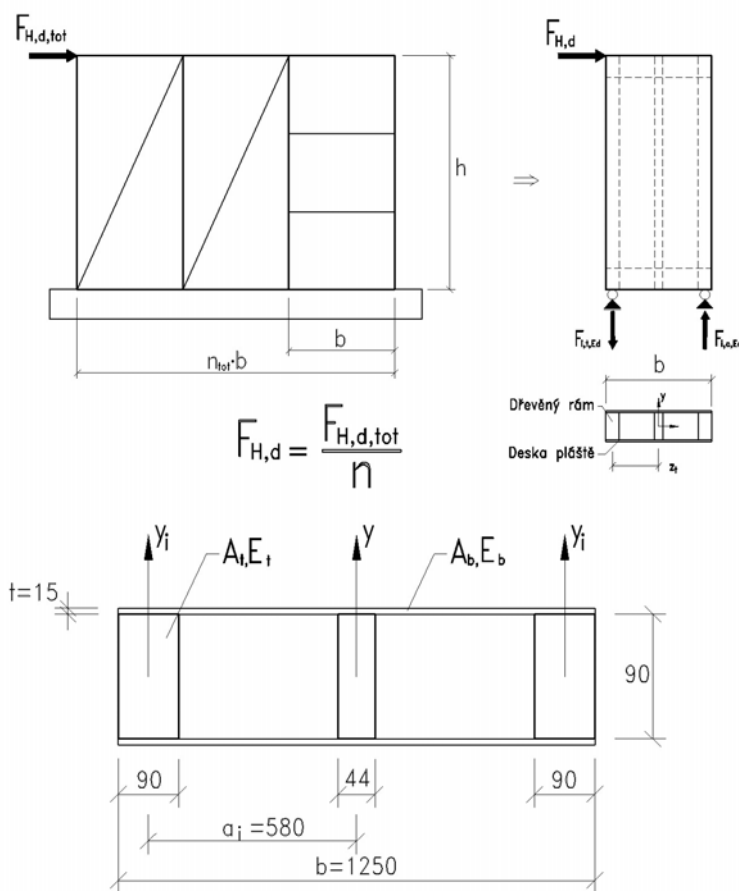
$$w_V = 0,96 \frac{11\,000}{680} \left(\frac{1\,000}{15\,000} \right)^2 w_M = 0,07 w_M$$

Z výpočtu vyplývá, že průhyb s uvažováním posouvajících sil je přibližně o 7 % větší.

12.9 Posouzení výztužné stěny

Výztužná stěna je zatížena vodorovnou návrhovou silou $F_{H,d,tot} = 25$ kN (krátkodobou) působící při horním okraji stěny viz obrázek.

Stěnový panel s rozměry $h = 2\ 635$ mm a $b = 1\ 250$ mm je tvořen dřevěnými sloupky ($2 \times 90 \times 90$ mm a $1 \times 44 \times 90$ mm) a dřevěnými příčnicí ($2 \times 80 \times 90$ mm). Pláště jsou z překližky tloušťky $t = 15$ mm a jsou připojeny k dřevěnému rámu pomocí sponek o $\varnothing 1,53$ mm a délky $\ell = 35$ mm, které mají rozteče $s = 75$ mm.



Obrázek - Výztužná stěna (pohled a řez)

Vlastnosti použitých materiálů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka - Vlastnosti použitých materiálů

| | $E_{0,m}$ [N/mm ²] | $f_{m,k}$ [N/mm ²] | $f_{t,0,k}$ [N/mm ²] | $f_{c,0,k}$ [N/mm ²] | ρ_k [kg/m ³] | ρ_m [kg/m ³] |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| C22 - dřevo | 10 000 | 22 | 13 | 20 | 340 | 410 |
| S - překližka | 9 200 | 23 | 15 | 15 | 410 | 410 |



a) Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku

$$M_{y,Rk} = 240 \cdot d^{2.6} = 240 \cdot 1,53^{2.6} = 725,12 \text{ Nmm}$$

b) Charakteristická pevnost v otlacení překližky a dřeva

překližka: $f_{h,1,k} = 0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{-0.3} = 0,11 \cdot 410 \cdot 1,53^{-0.3} = 39,70 \text{ N/mm}^2$

dřevo: $f_{h,2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0.3} = 0,082 \cdot 340 \cdot 1,53^{-0.3} = 24,54 \text{ N/mm}^2$

c) Charakteristická únosnost ve stříhu pro jednu sponku ($t_1 = 15 \text{ mm}$, $t_2 = 20 \text{ mm}$)

$$F_{f,Rk} = 2 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 1822,14 \text{ N}$$

$$F_{f,Rk} = 2 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d = 1501,88 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk} = 2 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 678,04 \text{ N}$$

$$F_{f,Rk} = 2 \cdot 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 667,10 \text{ N}$$

$$F_{f,Rk} = 2 \cdot 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 705,88 \text{ N}$$

$$F_{f,Rk} = 2 \cdot 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 596,67 \text{ N}$$

$$F_{f,Rk} = 596,67 \text{ N}$$

d) Charakteristická výztužná únosnost jednoho stěnového panelu (Metoda A)

$$F_{i,v,Rk} = 2 \cdot \frac{F_{f,Rk} \cdot b_i \cdot c_i}{s} = 2 \cdot \frac{596,67 \cdot 125,0 \cdot 0,949}{7,5} = 18874,66 \text{ N} = 18,87 \text{ kN}$$

$$c_i = \frac{b_i}{b_0} = \frac{125 \cdot 2}{263,5} = 0,949; \quad b_0 = \frac{h}{2} \quad (\text{konzervativní řešení})$$

e) Charakteristická výztužná únosnost stěnové sestavy (stěnový prvek s otvorem není uvažován)

$$F_{v,Rk} = \sum F_{i,v,Rk} = 2 \cdot 18,87 \text{ kN} = 37,74 \text{ kN}$$

f) Návrhová výztužná únosnost stěnové sestavy ($k_{\text{mod}} = 0,9$)

$$F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{37,74}{1,30} = 26,13 \text{ kN}$$

g) Posouzení mezního stavu únosnosti stěny

$$F_{v,Rd} > F_{H,d,tot}$$

$$26,13 \text{ kN} > 25,0 \text{ kN}$$

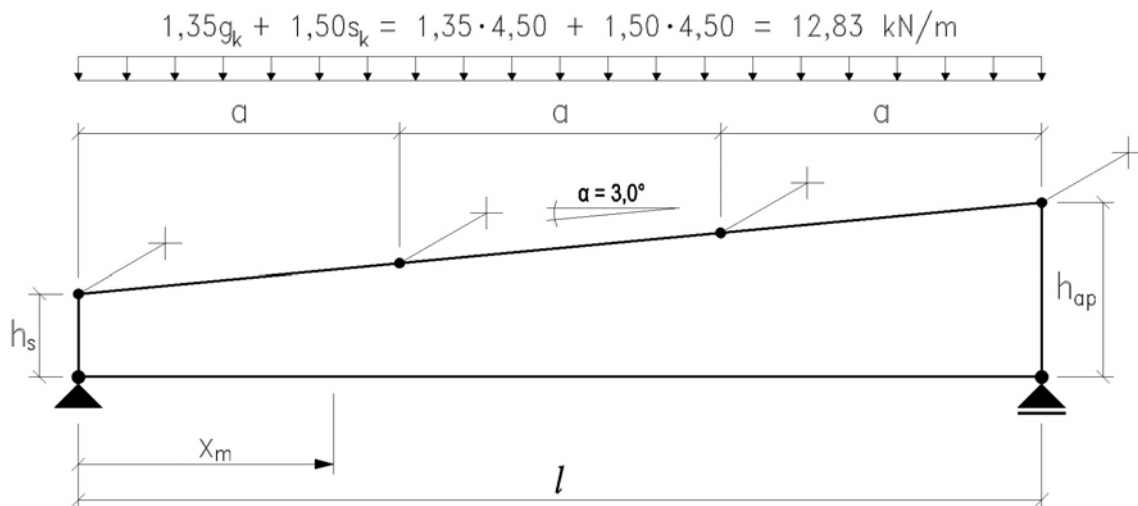
Výztužná stěna vyhovuje na vodorovné zatížení.

h) Návrhové vnější síly v kotvení

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{H,d} \cdot h}{b} = \frac{25,0 \cdot 263,5}{2 \cdot 125} = 26,35 \text{ kN}$$

Kotvení stěny je třeba navrhnout na síly 26,35 kN.

12.10 Posouzení pultového nosníku



Lepené lamelové dřevo GL24h (podle EN 14080), $\gamma_M = 1,25$;

Třída provozu 1, $k_{\text{mod}} = 0,90$

Rozměry nosníku:

$$b = 140 \text{ mm}, h_s = 571 \text{ mm}, h_{ap} = 1200 \text{ mm}, l = 12000 \text{ mm},$$

$$a = 4000 \text{ mm (vzdálenost příčných výztužných podpěr)}$$



Návrhové pevnosti

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 17,28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ N/mm}^2$$

Vzdálenost průřezu s maximálním ohybovým napětím od podpěry

$$x_m = \frac{l}{\left(1 + \frac{h_{\text{ap}}}{h_s}\right)} = \frac{12\,000}{\left(1 + \frac{1\,200}{571}\right)} = 3\,869 \text{ mm}$$

Výška nosníku v místě maximálního napětí

$$h_{x_m} = h_s + \frac{(h_{\text{ap}} - h_s)}{l} \cdot x_m = 571 + \frac{(1\,200 - 571)}{12\,000} \cdot 3\,869 = 774 \text{ mm}$$

Návrhové vnitřní síly

$$V_d = \frac{(g_d + s_d) \cdot l}{2} = \frac{12,83 \cdot 12,00}{2} = 76,95 \text{ kN}$$

$$M_{x_m,d} = V_d \cdot x_m - (g_d + s_d) \cdot \frac{x_m^2}{2} = 76,95 \cdot 3,87 - 12,83 \cdot \frac{3,87^2}{2} = 201,76 \text{ kNm}$$

Posouzení nosníku v místě maximálního ohybového napětí

- krajní vlákna nosníku na tažené straně (vlákna nejsou seříznuta)

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_{x_m}^2} = \frac{6 \cdot 201,76 \cdot 10^6}{140 \cdot 774^2} = 14,43 \text{ N/mm}^2$$

Pro $\alpha = 0^0 \rightarrow k_{m,\alpha} = 1,0$

$$\frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{14,43}{1,0 \cdot 17,28} = 0,84 < 1,0$$

- krajní vlákna nosníku na tlačené straně (vlákna jsou seříznuta)

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = 14,43 \text{ N/mm}^2$$

Pro $\alpha = 3^\circ$:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \cdot f_{v,d}} \cdot \operatorname{tg} \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha\right)^2}} =$$
$$= \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,28}{1,5 \cdot 1,94} \cdot \operatorname{tg} 3,0\right)^2 + \left(\frac{17,28}{1,94} \cdot \operatorname{tg}^2 3,0\right)^2}} = 0,91$$

$$\frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{14,43}{0,91 \cdot 17,28} = 0,92 < 1,0$$

Nosník na ohyb vyhovuje.

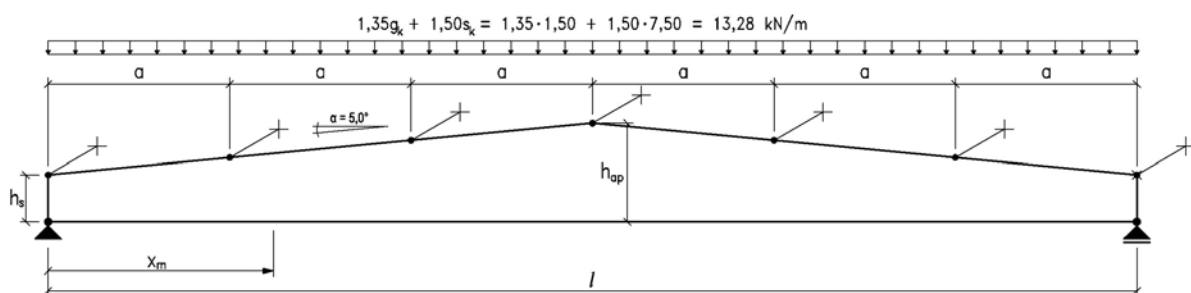
Posouzení nosníku na smyk v podpěrách

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} = 1,5 \cdot \frac{76,95 \cdot 10^3}{140 \cdot 571} = 1,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{1,44}{1,94} = 0,74 < 1,0$$

Nosník na smyk vyhovuje.

12.11 Posouzení sedlového nosníku



Lepené lamelové dřevo GL24h (podle EN 14080), $\gamma_M = 1,25$;

Třída provozu 2, $k_{mod} = 0,90$

Rozměry nosníku:

$b = 180 \text{ mm}$, $h_s = 750 \text{ mm}$, $h_{ap} = 1800 \text{ mm}$, $l = 24000 \text{ mm}$,

$a = 4000 \text{ mm}$ (vzdálenost příčných výztužných podpěr)



Návrhové pevnosti

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24,0}{1,25} = 17,28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,4}{1,25} = 0,29 \text{ N/mm}^2$$

Vzdálenost průřezu s maximálním ohybovým napětím od podpěry

$$x_m = \frac{l \cdot h_s}{2 \cdot h_{\text{ap}}} = \frac{24\,000 \cdot 750}{2 \cdot 1\,800} = 5\,000 \text{ mm}$$

Výška nosníku v místě maximálního napětí

$$h_{x_m} = h_s + \frac{(h_{\text{ap}} - h_s)}{\frac{l}{2}} \cdot x_m = 750 + \frac{(1\,800 - 750)}{\frac{24\,000}{2}} \cdot 5\,000 = 1\,188 \text{ mm}$$

Návrhové vnitřní síly

$$V_d = \frac{(g_d + s_d) \cdot l}{2} = \frac{13,28 \cdot 24,00}{2} = 159,36 \text{ kN}$$

$$M_{x_m,d} = V_d \cdot x_m - (g_d + s_d) \cdot \frac{x_m^2}{2} = 159,36 \cdot 5,00 - 13,28 \cdot \frac{5,00^2}{2} = 630,80 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{ap},d} = \frac{(g_d + s_d) \cdot l^2}{8} = \frac{13,28 \cdot 24,00^2}{8} = 956,16 \text{ kNm}$$

Posouzení nosníku v místě maximálního ohybového napětí

- krajní vlákna nosníku na tažené straně (vlákna nejsou seříznuta)

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h_{x_m}^2} = \frac{6 \cdot 630,80 \cdot 10^6}{180 \cdot 1\,188^2} = 14,90 \text{ N/mm}^2$$

Pro $\alpha = 0^0 \rightarrow k_{m,\alpha} = 1,0$



$$\frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{14,90}{1,0 \cdot 17,28} = 0,86 < 1,0$$

- krajní vlákna nosníku na tlačené straně (vlákna jsou seříznuta)

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = 14,90 \text{ N/mm}^2$$

Pro $\alpha = 5,0^\circ$:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \cdot f_{v,d}} \cdot \text{tg } \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \text{tg}^2 \alpha \right)^2}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{17,28}{1,5 \cdot 1,94} \cdot \text{tg } 5,00 \right)^2 + \left(\frac{17,28}{1,94} \cdot \text{tg}^2 5,00 \right)^2}} = 0,89$$

$$\frac{\sigma_{m,0,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,g,d}} = \frac{14,90}{0,89 \cdot 17,28} = 0,97 < 1,0$$

Nosník na ohyb vyhovuje.

Posouzení nosníku na smyk v podpěrách

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} = 1,5 \cdot \frac{159,36 \cdot 10^3}{180 \cdot 750} = 1,77 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{1,77}{1,94} = 0,91 < 1,0$$

Nosník na smyk vyhovuje.

Posouzení nosníku na ohyb ve vrcholové oblasti

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

$$\text{Přičemž } k_\ell = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3, \alpha_{ap} = 5,0^\circ \text{ a } r = \infty \rightarrow \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) = 0$$

$$k_\ell = k_1 = 1 + 1,4 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \text{tg } 5,0 + 5,4 \cdot \text{tg}^2 5,0 = 1,16$$

$$\sigma_{m,ap,d} = k_\ell \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,16 \cdot \frac{6 \cdot 956,16 \cdot 10^6}{180 \cdot 1800^2} = 11,41 \text{ N/mm}^2$$



Pro sedlový nosník $k_r = 1,0$

$$\frac{\sigma_{m,ap,d}}{k_r \cdot f_{m,g,d}} = \frac{11,41}{1,0 \cdot 17,28} = 0,66 < 1,0$$

Nosník na ohyb vyhovuje.

Posouzení nosníku na tah kolmo k vláknům

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

$$\text{Přičemž } k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2, \alpha_{ap} = 5,0^\circ \text{ a } r = \infty \rightarrow \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) = 0$$

$$k_p = k_5 = 0,2 \cdot \text{tg } \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \text{tg } 5,0 = 0,0175$$

$$\sigma_{t,90,ap,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,0175 \cdot \frac{6 \cdot 956,16 \cdot 10^6}{180 \cdot 1800^2} = 0,17 \text{ N/mm}^2$$

Pro referenční objem $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$ a objem vrcholové oblasti V

$$V = b \cdot h_{ap}^2 \cdot \left(1 - \frac{\text{tg } \alpha_{ap}}{4}\right) = 0,18 \cdot 1,80^2 \cdot \left(1 - \frac{\text{tg } 5,0}{4}\right) = 0,57 \text{ m}^3$$

stanovíme součinitel objemu

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,57}\right)^{0,2} = 0,45 \text{ a součinitel rozdělení napětí ve vrcholové oblasti}$$

$k_{dis} = 1,4$ pro sedlový nosník

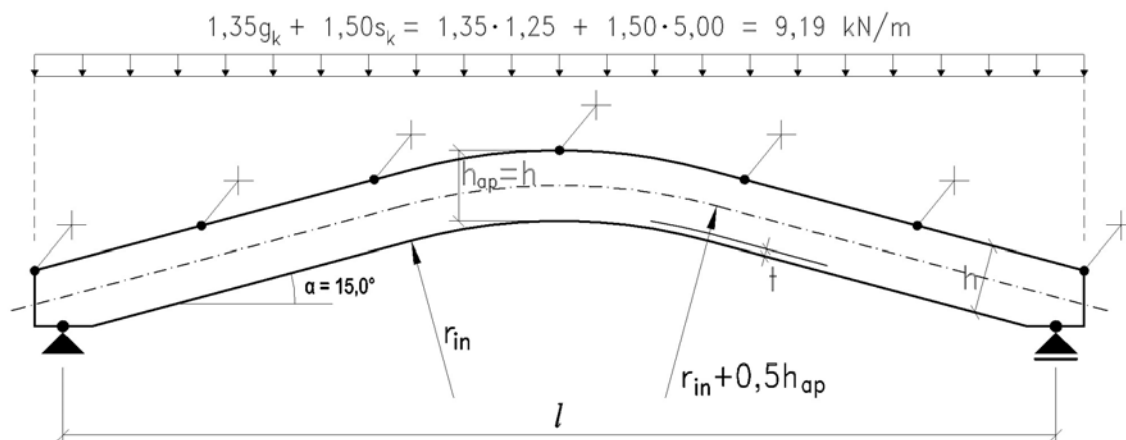
$$\frac{\sigma_{t,90,ap,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,g,d}} = \frac{0,17}{1,4 \cdot 0,45 \cdot 0,29} = 0,93 < 1,0$$

Nosník na tah kolmo k vláknům vyhovuje.

Poznámka:

Protože uprostřed nosníku je nulová posouvající síla není nutné provést posouzení pro kombinaci smyku a tahu kolmo k vláknům.

12.12 Posouzení zakřiveného nosníku



Lepené lamelové dřevo GL28h (podle EN 14080), $\gamma_M = 1,25$;

Třída provozu 2, $k_{mod} = 0,90$

Rozměry nosníku:

$b = 180 \text{ mm}$, $h = h_{ap} = 1600 \text{ mm}$, $l = 20\,000 \text{ mm}$, $r_{in} = 15\,000 \text{ mm}$, $t = 40 \text{ mm}$

Návrhové pevnosti

$$f_{m,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28,0}{1,25} = 20,16 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,g,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,g,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,45}{1,25} = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

Návrhové vnitřní síly

$$V_d = \frac{(g_d + s_d) \cdot l}{2} = \frac{9,19 \cdot 20,00}{2} = 91,90 \text{ kN}$$

$$M_{\max,d} = M_{ap,d} = \frac{(g_d + s_d) \cdot l^2}{8} = \frac{9,19 \cdot 20,00^2}{8} = 459,50 \text{ kNm}$$

Posouzení nosníku na ohyb

$$\sigma_{m,\max,d} = \sigma_{m,ap,d} = k_\ell \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}$$

$$\text{Příčemž } k_\ell = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3 \text{ a } \alpha_{ap} = 0^0$$



$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} 0 + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 1,00$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg} 0 - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 0,60$$

$$k_4 = 6 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 6 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$r = r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap} = 15\,000 + 0,5 \cdot 1\,600 = 15\,800 \text{ mm}$$

$$k_\ell = 1,00 + 0,35 \cdot \left(\frac{1600}{15800} \right) + 0,60 \cdot \left(\frac{1600}{15800} \right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{1600}{15800} \right)^3 = 1,04$$

$$\sigma_{m,ap,d} = k_\ell \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,04 \cdot \frac{6 \cdot 459,50 \cdot 10^6}{180 \cdot 1600^2} = 6,22 \text{ N/mm}^2$$

Pro $\frac{r_{in}}{t} = \frac{15000}{40} = 375 > 240$ je $k_r = 1,00$

$$\frac{\sigma_{m,ap,d}}{k_r \cdot f_{m,g,d}} = \frac{6,22}{1,00 \cdot 20,16} = 0,31 < 1,0$$

Nosník na ohyb vyhovuje.

Posouzení nosníku na tah kolmo k vláknům

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

Přičemž $k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2$ a $\alpha_{ap} = 0^0$

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \operatorname{tg} 0 = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2,6 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,25 - 1,50 \cdot \operatorname{tg} 0 + 2,6 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot \operatorname{tg} 0 - 4 \cdot \operatorname{tg}^2 0 = 0$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{1600}{15800} \right) + 0 \cdot \left(\frac{1600}{15800} \right)^2 = 0,0253$$

$$\sigma_{t,90,ap,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,0253 \cdot \frac{6 \cdot 459,50 \cdot 10^6}{180 \cdot 1600^2} = 0,15 \text{ N/mm}^2$$

Pro referenční objem $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$ a objem vrcholové oblasti V

$$V = \frac{\beta \cdot \pi}{180} \cdot b \cdot (h_{\text{ap}}^2 + 2 \cdot r_{\text{in}} \cdot h_{\text{ap}}) = \frac{15 \cdot \pi}{180} \cdot 0,18 \cdot (1,60^2 + 2 \cdot 15,00 \cdot 1,60) = 2,38 \text{ m}^3$$

stanovíme součinitel objemu

$$k_{\text{vol}} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{2,38} \right)^{0,2} = 0,335 \text{ a}$$

$k_{\text{dis}} = 1,4$ pro zakřivené nosníky

$$\frac{\sigma_{t,90,\text{ap,d}}}{k_{\text{dis}} \cdot k_{\text{vol}} \cdot f_{t,90,\text{g,d}}} = \frac{0,15}{1,4 \cdot 0,335 \cdot 0,32} = 1,00$$

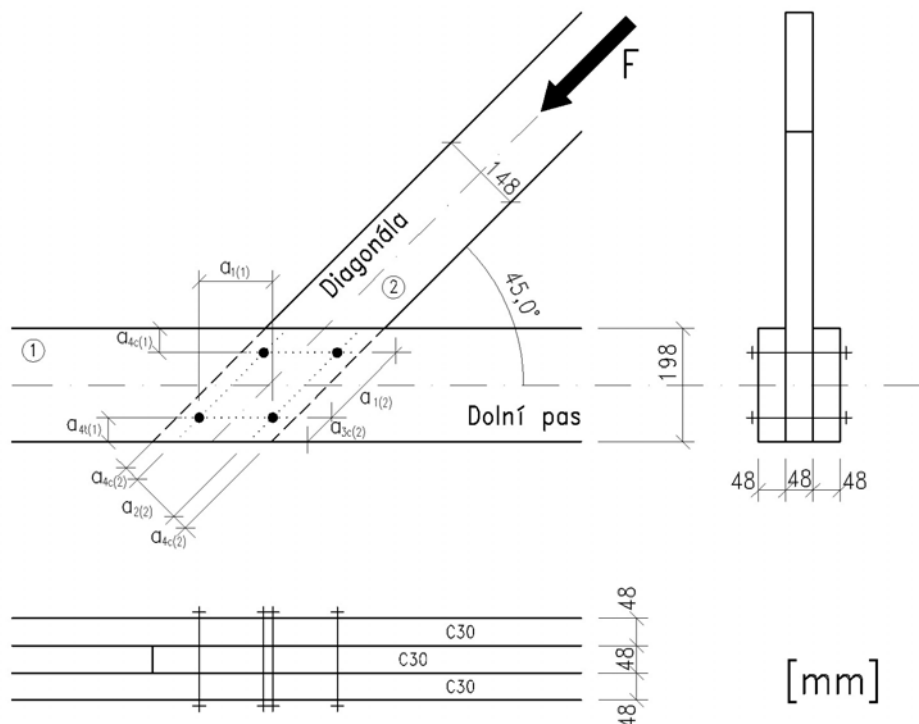
Nosník na tah kolmo k vláknům vyhovuje.

12.13 Určení přípustného zatížení přípoje diagonály

K dolnímu pasu příhradového vazníku je pomocí svorníků s charakteristickou pevností v tahu $f_{u,k} = 800 \text{ MPa}$ připojena diagonála, viz obrázek.

Třída pevnosti dřeva je C30 (všechny prvky), přičemž $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$.

Zatížení uvažujeme krátkodobé a třídu provozu 2.





Při uvážení minimálních roztečí a vzdálenosti od okrajů a konců vychází ve spoji jako optimální 4 svorníky průměru $d = 14$ mm.

Plastický moment únosnosti jednoho svorníku

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 14^{2,6} = 229\,160 \text{ Nmm}$$

Síla F působí rovnoběžně s vlákny v diagonále, ale pod úhlem 45^0 v dolním pasu

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,21 = 1,56$$

$$f_{h,2,k} = 0,082(1 - 0,01d) \rho_k = 0,082 \cdot 0,86 \cdot 380 = 26,8 \text{ MPa (diagonála)}$$

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,2,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26,8}{1,56 \cdot 0,5 + 0,5} = 20,9 \text{ MPa (pas)} \rightarrow \beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 1,28$$

Při zanedbání účinku sepnutí spoje platí pro jednotlivé tvary porušení spoje tyto únosnosti pro jeden stříh jednoho svorníku

$$\mathbf{g: 14\,070 \text{ N} \quad h: 9\,005 \text{ N} \quad j: 9\,530 \text{ N} \quad k: 14\,125 \text{ N}}$$

Z rozmístění svorníků podle obrázku vyplývají následující rozteče a vzdálenosti

$$a_{4t(1)} = 55 \text{ mm} > (2 + 2\sin 45^\circ)d = 48 \text{ mm} \rightarrow a_{3c(2)} = 78 \text{ mm} > 4d = 56 \text{ mm}$$

$$a_{4c(1)} = 50 \text{ mm} > 3d = 42 \text{ mm} \rightarrow a_{1(2)} = 131 \text{ mm} > 5d = 70 \text{ mm}$$

$$a_{2(2)} = 60 \text{ mm} > 4d = 56 \text{ mm} \rightarrow a_{4c(2)} = 44 \text{ mm} > 3d = 42 \text{ mm}$$

$$\text{Účinný počet svorníků v řadě je } n_{ef(2)} = \min \left\{ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_{1(2)}}{13d}}, n \right\} = \min \{1,72, 2\} = 1,72 \text{ a}$$

$$\text{charakteristická únosnost spoje } F_{k(2)} = (1,72 \cdot 2) \cdot 9005 \cdot 2 = 61955 = \underline{62,0 \text{ kN}}$$

Posoudit je třeba i horizontální složku síly F

$$a_{1(1)} = \sqrt{2a_{2(2)}^2} = 85 \text{ mm a } n_{ef(1)} = 1,54$$

Potřeba je též určit příslušné únosnosti jednoho stříhu jednoho svorníku, protože síla působí rovnoběžně s vlákny dolního pasu, ale pod 45^0 v diagonále

$$\text{Proto } f_{h,1,k} = 26,8 \text{ MPa a } f_{h,2,k} = 20,9 \text{ MPa} \rightarrow \beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 0,78$$



Při zanedbání účinku sepnutí spoje platí pro jednotlivé tvary porušení spoje tyto únosnosti pro jeden stříh jednoho svorníku

$$\mathbf{g: 18010 \text{ N} \quad \mathbf{h: 7035 \text{ N} \quad \mathbf{j: 10023 \text{ N} \quad \mathbf{k: 14125 \text{ N}}$$

Charakteristická únosnost spoje potom je

$$F_{k(1)} = (1,54 \cdot 2) \cdot 7035 \cdot 2 / 0,71 = 61035 = \underline{61,0 \text{ kN}}$$

Pro návrhovou únosnost spoje platí

$$k_{\text{mod}} = 0,9, \gamma_M = 1,3, F_d = F_k \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = 61,0 \cdot 0,9 / 1,3 = 42,2 \text{ kN}$$

Pro charakteristickou únosnost spoje na roztržení platí

$$F_{90, \text{Rk}} = 14bw \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} = 14 \cdot (2 \cdot 48) \cdot 1 \sqrt{\frac{198 - 55}{\left(1 - \frac{198 - 55}{198}\right)}} = 30495 = 30,5 \text{ kN}$$

Za předpokladu, že svislá složka síly F je $0,71 \cdot 61,0 = 43,3 \text{ kN}$ a je rozdělena do dvou stejných smykových sil (sil na každou stranu spoje) roztržení spoje by neměl být problém.

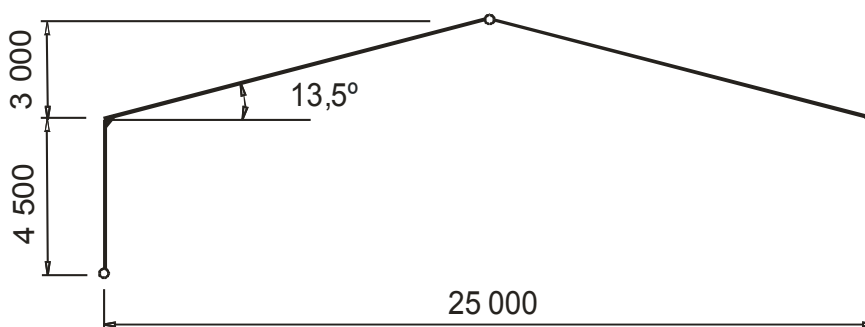
Přípustné zatížení spoje je $42,2 \text{ kN}$.

12.14 Návrh a posouzení spoje stojky a příčle trojkloubového rámu

Návrh a posouzení spoje v místě rámového rohu trojkloubového rámu.

Rám je z lepeného lamelového dřeva GL24h (podle EN 14080) a zabudován je ve třídě provozu 1.

Geometrie rámu:





| | |
|---------------|---------------------------------|
| Rozpětí: | $L = 25 \text{ m}$ |
| Výška příčle: | $h_R = 1\,480 \text{ mm}$ |
| Šířka příčle: | $b_R = 200 \text{ mm}$ |
| Výška stojky: | $h_C = 1\,480 \text{ mm}$ |
| Šířka stojky: | $b_C = 2 \times 120 \text{ mm}$ |
| Sklon příčle: | $\alpha = 13,5^\circ$ |

Vlastnosti lepeného lamelového dřeva (charakteristické vlastnosti):

$$f_{m,g,k} = 24 \text{ MPa}$$

$$f_{v,g,k} = 2,7 \text{ MPa}$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

Návrhová pevnost v ohybu

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{24}{1,25} = 17,28 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost ve smyku

$$f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{2,7}{1,25} = 1,94 \text{ MPa}$$

Kolíky

$$\text{Ocel S235 } \varnothing 24 \text{ mm (4.6): } f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly v rámovém rohu

$$\text{Stojka: } M_d = 676,8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}, V_{d,C} = 150,4 \cdot 10^3 \text{ N}, N_{d,C} = 178,1 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Příčle: } M_d = 676,8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}, V_{d,R} = 138,1 \cdot 10^3 \text{ N}, N_{d,R} = 187,8 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Návrh kolíkového spoje

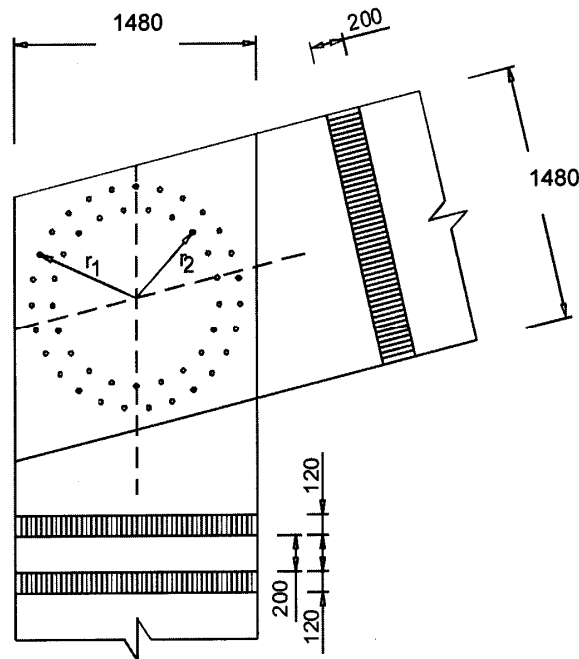
$$\text{Vnější kruh: } r_1 \leq 0,5 h - 4 d = 0,5 \cdot 1480 - 4 \cdot 24 = 644 \text{ mm} \quad \Rightarrow r_1 = 644 \text{ mm}$$

$$\text{Vnitřní kruh: } r_2 \leq r_1 - 5 d = 644 - 5 \cdot 24 = 524 \text{ mm} \quad \Rightarrow r_2 = 524 \text{ mm}$$

Počet kolíků v kruzích:

$$n_1 \leq \frac{2 \pi r_1}{6 d} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 644}{6 \cdot 24} = 28,1 \text{ ks} \quad \Rightarrow n_1 = 28$$

$$n_2 \leq \frac{2 \pi r_2}{6 d} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 524}{6 \cdot 24} = 22,8 \text{ ks} \quad \Rightarrow n_2 = 22$$



Zatížení kolíků

Zatížení kolíku ve stojce a příčli rámu od ohybového momentu:

$$F_M = M_d \frac{r_1}{n_1 r_1^2 + n_2 r_2^2} = 676,8 \cdot 10^6 \frac{644}{28 \cdot 644^2 + 22 \cdot 524^2} = 24,69 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Zatížení kolíku ve stojce rámu od posouvající a normálové síly:

$$F_{V,C} = \frac{V_{d,C}}{n_1 + n_2} = \frac{150,4 \cdot 10^3}{28 + 22} = 3,00 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{N,C} = \frac{N_{d,C}}{n_1 + n_2} = \frac{178,1 \cdot 10^3}{28 + 22} = 3,56 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Zatížení kolíku v příčli rámu od posouvající a normálové síly:



$$F_{V,R} = \frac{V_{d,R}}{n_1 + n_2} = \frac{138,1 \cdot 10^3}{28 + 22} = 2,76 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{N,R} = \frac{N_{d,R}}{n_1 + n_2} = \frac{187,8 \cdot 10^3}{28 + 22} = 3,76 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Celkové zatížení kolíku v ose příčle a stojky rámu:

$$F_{d,C} = \sqrt{(F_M + F_{V,C})^2 + F_{N,C}^2} = \sqrt{(24,69 \cdot 10^3 + 3,00 \cdot 10^3)^2 + (3,56 \cdot 10^3)^2} = 27,92 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{d,R} = \sqrt{(F_M + F_{V,R})^2 + F_{N,R}^2} = \sqrt{(24,69 \cdot 10^3 + 2,76 \cdot 10^3)^2 + (3,76 \cdot 10^3)^2} = 27,71 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Smyková síla ve stojce a příčli v místě spoje:

$$V_M = \left(\frac{M_d}{\pi} \frac{n_1 r_1 + n_2 r_2}{n_1 r_1^2 + n_2 r_2^2} \right) = \left(\frac{676,8 \cdot 10^6}{\pi} \frac{28 \cdot 644 + 22 \cdot 524}{28 \cdot 644^2 + 22 \cdot 524^2} \right) = 360,74 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{V,d,C} = V_M - \frac{V_{d,C}}{2} = 360,74 \cdot 10^3 - \frac{150,4 \cdot 10^3}{2} = 285,5 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{V,d,R} = V_M - \frac{V_{d,R}}{2} = 360,74 \cdot 10^3 - \frac{138,1 \cdot 10^3}{2} = 291,7 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Mechanické vlastnosti kolíků

Pevnost v otláčení rovnoběžně s vlákny (charakteristická hodnota):

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 24) \cdot 380 = 23,68 \text{ MPa}$$

a) Únosnost kolíku v ose stojky

Úhel mezi zatížením a vlákny dřeva:

$$\alpha_1 = \arctan \left(\frac{F_M + F_{V,C}}{F_{N,C}} \right) = \arctan \left(\frac{24,69 \cdot 10^3 + 3,0 \cdot 10^3}{3,56 \cdot 10^3} \right) = 82,7^\circ$$

$$\alpha_2 = \alpha - \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_1 \right) = 13,5 - (90 - 82,7) = 6,2^\circ$$

Pevnost v otláčení (charakteristická hodnota):

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 d = 1,35 + 0,015 \cdot 24 = 1,71$$



$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha_1 + \cos^2 \alpha_1} = \frac{23,68}{1,71 \cdot \sin^2 82,7 + \cos^2 82,7} = 13,94 \text{ MPa}$$

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha_2 + \cos^2 \alpha_2} = \frac{23,68}{1,71 \cdot \sin^2 6,2 + \cos^2 6,2} = 23,49 \text{ MPa}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{23,49}{13,94} = 1,685$$

Plastický moment únosnosti (charakteristická hodnota):

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 24^{2,6} = 465,3 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$t_1 = 120 \text{ mm}, t_2 = 200 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rk,C} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 13,94 \cdot 120 \cdot 24 = 40,1 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d = 0,5 \cdot 23,49 \cdot 200 \cdot 24 = 56,4 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \beta (1 + \beta) + \frac{4 \beta (2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \left[\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right]^* = \\ = 1,05 \frac{13,94 \cdot 120 \cdot 24}{2 + 1,685} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1,685 \cdot (1 + 1,685) + \frac{4 \cdot 1,685 \cdot (2 + 1,685) \cdot 465,3 \cdot 10^3}{13,94 \cdot 120^2 \cdot 24}} - 1,685 \right] = 19,4 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2 \beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \left[\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right]^* = \\ = 1,15 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,685}{1 + 1,685}} \sqrt{2 \cdot 465,3 \cdot 10^3 \cdot 13,94 \cdot 24} = 22,7 \cdot 10^3 \text{ N} \\ * F_{ax,Rk} = 0 \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd,C} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 19,4 \cdot 10^3}{1,25} = 13,97 \cdot 10^3 \text{ N}$$



b) Únosnost kolíku v ose příčle

Úhel mezi zatížením a vlákny dřeva:

$$\alpha_2 = \arctg\left(\frac{F_M + F_{V,R}}{F_{N,R}}\right) = \arctg\left(\frac{24.69 \cdot 10^3 + 2.76 \cdot 10^3}{3.76 \cdot 10^3}\right) = 82.2^\circ$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2} + \alpha - \alpha_2 = 90 + 13.5 - 82.2 = 21.3^\circ$$

Pevnost v otláčení (charakteristická hodnota):

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha_1 + \cos^2 \alpha_1} = \frac{23.68}{1.71 \cdot \sin^2 21.3 + \cos^2 21.3} = 21.65 \text{ MPa}$$

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha_2 + \cos^2 \alpha_2} = \frac{23.68}{1.71 \cdot \sin^2 82.2 + \cos^2 82.2} = 13.95 \text{ MPa}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{13.95}{21.65} = 0.644$$

$$t_1 = 120 \text{ mm}, t_2 = 200 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rk,R} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d = 21.65 \cdot 120 \cdot 24 = 62.4 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 0.5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d = 0.5 \cdot 13.95 \cdot 200 \cdot 24 = 33.5 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \left[\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right]^* = \\ = 1.05 \frac{21.65 \cdot 120 \cdot 24}{2 + 0.644} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 0.644 \cdot (1 + 0.644) + \frac{4 \cdot 0.644 \cdot (2 + 0.644) \cdot 465.3 \cdot 10^3}{21.65 \cdot 120^2 \cdot 24}} - 0.644 \right] = 23.5 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \left[\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right]^* = \\ = 1.15 \sqrt{\frac{2 \cdot 0.644}{1 + 0.644}} \sqrt{2 \cdot 465.3 \cdot 10^3 \cdot 21.65 \cdot 24} = 22.4 \cdot 10^3 \text{ N} \\ * F_{ax,Rk} = 0 \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd,R} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 22.4 \cdot 10^3}{1.25} = 16.13 \cdot 10^3 \text{ N}$$



Ověření podmínek porušení

a) Posouzení únosnosti spoje stojky a příčle rámu

- Stojka:

$$F_{d,C} = 27,92 \cdot 10^3 \text{ N} \leq 2 \cdot F_{v,Rd,C} = 2 \cdot 13,97 \cdot 10^3 = 27,94 \cdot 10^3 \text{ N} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- Příčle:

$$F_{d,R} = 27,71 \cdot 10^3 \text{ N} \leq 2 \cdot F_{v,Rd,R} = 2 \cdot 16,13 \cdot 10^3 = 32,26 \cdot 10^3 \text{ N} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) Posouzení smykového napětí stojky a příčle rámu

- Stojka:

$$\tau_{v,C} = \frac{3 \cdot F_{V,d,C}}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3 \cdot 285,5 \cdot 10^3}{2 \cdot 2 \cdot 120 \cdot 1480} = 1,21 \text{ MPa} \leq f_{v,g,d} = 1,94 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- Příčle:

$$\tau_{v,R} = \frac{3 \cdot F_{V,d,R}}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3 \cdot 291,7 \cdot 10^3}{2 \cdot 200 \cdot 1480} = 1,48 \text{ MPa} \leq f_{v,g,d} = 1,94 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{vyhovuje}$$



LITERATURA

Breyer, D. E.: Design of Wood Structures, McGraw-Hill Book Company, 1980

Kollmann, F. P.; Côté, W. A.: Principles of Wood Science and Technology, Volume I: Solid Wood, Springer-Verlag, Berlin 1967

Timber Engineering, Centrum Hout, 1995, ISBN 90-5645-001-8

NORMATIVNÍ ODKAZY

ISO 2081:1986 Metallic coatings. Electroplated coatings of zinc on iron or steel

(Kovové povlaky. Elektrolytický vyloučené povlaky zinku na železe nebo oceli)

ISO 2631-2:1986 Evaluation of human exposure to whole-body vibration. - Part 2: Continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz)

(Hodnocení expozice člověka celkovým vibracím - Část 2: Nepřerušované vibrace a rázy v budovách (1 Hz až 80 Hz))

EN 300 Oriented Strand Board (OSB) – Definition, classification and specifications

(Desky z orientovaných plochých třísek (OSB) - Definice, klasifikace a požadavky)

EN 301 Adhesives, phenolic and aminoplastic for load-bearing timber structures; classification and performance requirements

(Fenolická a aminová lepidla pro nosné díly dřevěných konstrukcí. Klasifikace a technické požadavky)

EN 312 Particleboards - Specifications

(Třískové desky - Požadavky)

EN 335-1 Durability of wood and wood-based products – definition of hazard classes of biological attack. Part 1: General

(Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi. Definice tříd. Ohrožení biologickým napadením. Část 1: Všeobecné zásady)

EN 335-2 Durability of wood and wood-based products – definition of hazard classes of biological attack. Part 2: Application to solid wood



(Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi. Definice tříd ohrožení biologickým napadením. Část 2: Aplikace na rostlé dřevo)

EN 335-3 Durability of wood and wood-based products – Definition of hazard classes of biological attack. Part 3: Application to wood-based panels

(Trvanlivost dřeva a výrobků ze dřeva - Definice tříd ohrožení pro biologické napadení - Část 3: Aplikace na desky ze dřeva)

EN 350-2 Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe

(Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi. Přirozená trvanlivost rostlého dřeva. Část 2: Přirozená trvanlivost a impregnovatelnost vybraných dřevin důležitých v Evropě)

EN 351-1 Durability of wood and wood-based products – Preservative treated solid wood. Part 1: Classification of preservative penetration and retention

(Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Rostlé dřevo ošetřené ochrannými prostředky - Část 1: Klasifikace průniku a příjmu ochranného prostředku)

EN 383 Timber structures – Test methods. Determination of embedding strength and foundation values for dowel type fasteners

(Dřevěné konstrukce. Zkušební metody. Stanovení pevnosti stěn otvorů a charakteristik stlačitelnosti pro kolíkové spojovací prostředky)

EN 385 Finger jointed structural timber. Performance requirements and minimum production requirements

(Konstrukční dřevo nastavované zubovitým spojem - Požadavky na užité vlastnosti a minimální výrobní požadavky)

EN 387 Glued laminated timber – Production requirements for large finger joints. Performance requirements and minimum production requirements

(Lepené lamelové dřevo - Velké zubovité spoje - Požadavky na užité vlastnosti a minimální výrobní požadavky)

EN 409 Timber structures – Test methods. Determination of the yield moment of dowel type fasteners – Nails



(Spojovací součásti. Dřevěné konstrukce. Zkušební metody. Stanovení momentu na mezi kluzu strojních součástí tvaru kolíku. Hřebíky)

EN 460 Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood – Guide of the durability requirements for wood to be used in hazard classes

(Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi. Přírozená trvanlivost rostlého dřeva. Požadavky na trvanlivost dřeva pro jeho použití v třídách ohrožení)

EN 594 Timber structures – Test methods – Racking strength and stiffness of timber frame wall panels

(Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Výztužná únosnost a tuhost stěnových panelů s dřevěným rámem)

EN 622-2 Fibreboards – Specifications. Part 2: Requirements for hardboards

(Vláknité desky - Požadavky - Část 2: Požadavky na tvrdé desky)

EN 622-3 Fibreboards – Specifications. Part 3: Requirements for medium boards

(Vláknité desky - Požadavky - Část 3: Požadavky na polotvrdé desky)

EN 622-4 Fibreboards – Specifications. Part 4: Requirements for softboards

(Vláknité desky - Požadavky - Část 4: Požadavky na izolační desky)

EN 622-5 Fibreboards – Specifications. Part 5: Requirements for dry process boards (MDF)

(Vláknité desky - Požadavky - Část 5: Požadavky na desky vyrobené suchým procesem (MDF))

EN 636 Plywood – Specifications

(Překližované desky - Požadavky)

EN 912 Timber fasteners – Specifications for connectors for timber

(Spojovací prostředky pro dřevo - Specifikace pro speciální hmoždíky pro dřevo)

EN 1075 Timber structures – Test methods. Testing of joints made with punched metal plate fasteners

(Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Spoje se styčnickovými deskami s prolisovanými trny)

EN 1380 Timber structures – Test methods – Load bearing nailed joints

(Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Nosné hřebíkové spoje)



EN 1381 Timber structures – Test methods – Load bearing stapled joints

(Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Nosné sponkové spoje)

EN 1382 Timber structures – Test methods – Withdrawal capacity of timber fasteners

(Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Únosnost na vytažení spojovacích prostředků)

EN 1383 Timber structures – Test methods – Pull through testing of timber fasteners

(Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Zkoušení spojovacích prostředků na protažení hlavy)

EN 1990:2002 Eurocode – Basis of structural design

(Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí)

EN 1991-1-1 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Densities, self-weight and imposed loads

(Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb)

EN 1991-1-3 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads

(Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem)

EN 1991-1-4 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind loads

(Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem)

EN 1991-1-5 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-5: General actions – Thermal actions

(Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou)

EN 1991-1-6 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-6: General actions – Actions during execution

(Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-6: Obecná zatížení - Zatížení při provádění)

EN 1991-1-7 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-7: General actions – Accidental actions due to impact and explosions

(Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení od nárazu a výbuchů)



EN 1995-1-1 Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: Common rules and rules for buildings

(Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby)

EN 10147 Specification for continuously hot-dip zinc coated structural steel sheet and strip – Technical delivery conditions

(Plechý a pásy z konstrukčních ocelí žárově pozinkované spojitém pochodem - Technické dodací podmínky)

EN 13271 Timber fasteners – Characteristic load-carrying capacities and slip moduli for connector joints

(Spojovací prostředky pro dřevo - Charakteristické únosnosti a moduly posunutí spojů se speciálními hmoždíky)

EN 13986 Wood-based panels for use in construction – Characteristics, evaluation of conformity and marking

(Desky na bázi dřeva pro použití ve stavebnictví - Charakteristiky, hodnocení shody a označení)

EN 14080 Timber structures – Glued laminated timber – Requirements

(Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo – Požadavky)

EN 14081-1 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross-section – Part 1, General requirements

(Dřevěné konstrukce Pevnostně tříděné konstrukční dřevo s obdélníkovým průřezem – Část 1, Obecné požadavky)

EN 14250 Timber structures. Production requirements for fabricated trusses using punched metal plate fasteners

(Dřevěné konstrukce - Požadavky na prefabrikované nosné prvky s kovovými styčnickovými deskami s prolisovanými trny)

EN 14279 Laminated veneer lumber (LVL) – Specifications, definitions, classification and requirements

(Vrstvené dřevo (LVL) - Definice, klasifikace a specifikace)



EN 14358 Timber structures – Fasteners and wood-based products – Calculation of characteristic 5-percentile value and acceptance criteria for a sample

(Dřevěné konstrukce – Spojovací prostředky a výrobky nabázi dřeva – Výpočet charakteristické hodnoty 5% kvantilu a kritéria přijatelnosti výběru)

EN 14374 Timber structures – Structural laminated veneer lumber – Requirements

(Dřevěné konstrukce - Vrstvené dřevo na nosné účely - Požadavky)

EN 14545 Timber structures – Connectors – Requirements

(Dřevěné konstrukce – Spoje - Požadavky)

EN 14592 Timber structures – Fasteners – Requirements

(Dřevěné konstrukce – Spojovací prostředky - Požadavky)

EN 26891 Timber structures. Joints made with mechanical fasteners. General principles for the determination of strength and deformation characteristics

(Dřevěné konstrukce. Spoje s mechanickými spojovacími prostředky. Všeobecné zásady pro zjišťování charakteristik únosnosti a přetvoření)

EN 28970 Timber structures. Testing of joints made with mechanical fasteners; requirements for wood density (ISO 8970:1989)

(Dřevěné konstrukce. Zkoušení spojů s mechanickými spojovacími prostředky. Požadavky na hustotu dřeva)

Poznámka:

Při používání EN 1995-1-1 musíme respektovat příslušné související evropské normy. Tyto související normy jsou citovány na příslušných místech textu EN 1995-1-1. U datovaných odkazů se pozdější změny nebo revize kterékoli z těchto souvisejících norem vztahují na EN 1995-1-1 pouze tehdy, jsou-li v ní zahrnuty ve formě změny nebo revize. U nedatovaných odkazů platí poslední vydání příslušné související normy. V EN 1995-1-1 je datovaných odkazů na související evropské normy mnoho, což se stalo problematickým s ohledem na jejich revize. Změna A1 EN 1995-1-1 se snaží tuto situaci zjednodušit a datované odkazy co nejvíce omezit. Některé odkazy na související evropské normy byly též zrušeny. V předcházející textu je proto již uveden přehled nově platných souvisejících evropských norem, podle A1 EN 1995-1-1.

