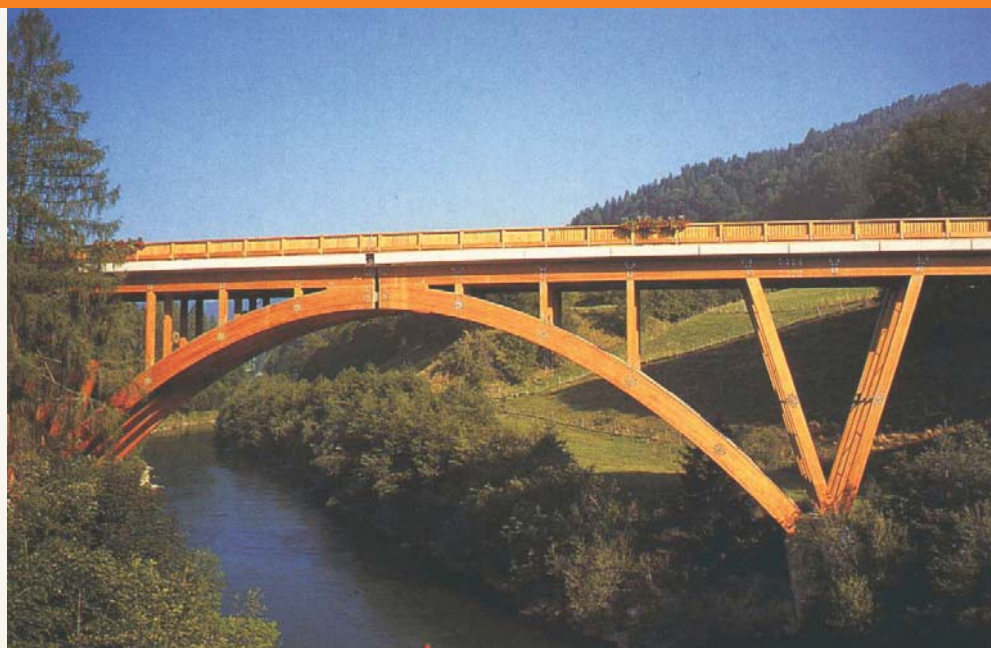


PŘÍRUČKA 1

Dřevěné konstrukce



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 1



Pilotní projekt Leonardo da Vinci
“Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures – TEMTIS” (Výukové materiály pro navrhování a zkoušení dřevěných konstrukcí)
Handbook 1 – Dřevěné konstrukce

Projekt byl financován s podporou Evropské komise. Tato publikace představuje názory autorů, Evropská komise není odpovědná za jakékoli použití informací obsažených v této publikaci.

© 2008 autoři příspěvků

Vydání první 2008



OBSAH

Úvod	VII
Kapitola 1 P. Kuklík; České vysoké učení technické v Praze Historie dřevěných konstrukcí	1
Kapitola 2 P. Kuklík; České vysoké učení technické v Praze Vlastnosti dřeva	13
Kapitola 3 M. Augustin; Graz University of Technology / Rakousko Materiály	26
Kapitola 4 M. Augustin; Graz University of Technology / Rakousko Lepidla	37
Kapitola 5 K.A. Malo, V. Angst; Norwegian University of Science and Technology / Norsko Lepené lamelové drevo	46
Kapitola 6 M. Augustin; Graz University of Technology / Rakousko Technické výrobky z dřeva (špeciálne šklarovka CLT)	60
Kapitola 7 A. Materna, A. Lokaj; VŠB-Technická universita Ostrava Navrhování dřevěných konstrukcí	100



Kapitola 8	M. Premrov, University of Maribor / Slovinsko	
	Mezdné stavy používateľností	108
Kapitola 9	A. Materna, A. Lokaj; VŠB-Technická universita Ostrava	
	Mezní stavy únosnosti – konstrukční prvky	117
Kapitola 10	M. Augustin, Graz University of Technology / Rakousko	
	Mezdné stavy – spoje	133
Kapitola 11	M. Premrov, M. Tajnik; University of Maribor / Slovinsko	
	Rovinné sústavy	155
Kapitola 12	A. Materna, A. Lokaj; VŠB-Technická universita Ostrava	
	Prostorové konstrukce	166
Kapitola 13	M. Premrov, University of Maribor / Slovinsko	
	Drevené konštrukcie budov	177
Kapitola 14	A. S. Hansen; VIA University College / Dánsko	
	Vystužovanie drevených konštrukcií	196
Kapitola 15	K. Bell, Norwegian University of Science and Technology / Norsko	
	Drevené mosty	207
Kapitola 16	A. Marynowicz, University of Opole / Polsko	
	Trvanlivost dřevěných konstrukcí	227
Kapitola 17	P. Kuklík; České vysoké učení technické v Praze	
	Požární odolnost dřevěných konstrukcí	233
Kapitola 18	A. Marynowicz, University of Opole / Polsko	
	Dřevěné konstrukce v agresivním prostředí	240



SEZNAM AUTORŮ

(in alphabetical order)

- | | |
|----------------------|--|
| Vanessa ANGST | Norwegian University of Science and Technology
Department of Structural Engineering
Rich. Birkelands vei 1a, NO-7030 Trondheim
vanessa.angst-nicollier@ntnu.no
http://www.ntnu.no |
| 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, NO-7030 Trondheim
kolbein.bell@ntnu.no
http://www.ntnu.no |
| Anders Søvstø HANSEN | VIA University College
School of Technology and Business
Chr. M. Østergaards Vej 4, DK-8700 Horsens
ash@viauc.dk
http://www.viauc.dk |
| Petr KUKLÍK | České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Thákurova 7, CZ-166 29 Praha 6
kuklik@fsv.cvut.cz
http://www.ocel-drevo.fsv.cvut.cz |



Leonardo da Vinci

Příručka 1



Antonín LOKAJ	VŠB-Technická univerzita Ostrava Fakulta stavební L. Podéšť 1875, CZ-708 33 Ostrava antonin.lokaj@vsb.cz http://www.fast.vsb.cz
Kjell Arne MALO	Norwegian University of Science and Technology Department of Structural Engineering Rich. Birkelands vei 1a, N0-7030 Trondheim kjell.malo@ntnu.no http://www.ntnu.no
Andrzej MARYNOWIC	Technical University of Opole Faculty of Civil Engineering Katowicka 48, PL- 45-061 Opole a.marynowicz@po.opole.pl http://mara.po.opole.pl/
Alois MATERNA	VŠB-Technická univerzita Ostrava Fakulta stavební L. Podéšť 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/
Matjaz TAJNIK	University of Maribor Faculty of Civil Engineering Smetanova ulica 17, SI-2000 Maribor matjaz.tajnik@uni-mb.si http://www.fg.uni-mb.si/



ÚVOD

Dřevo jako stavební materiál má řadu vynikajících vlastností: vzhledem k hmotnosti má vysokou pevnost, lze ho snadno obrábět a spojovat, je jedním z nejdostupnějších materiálů, nezatěžuje životní prostředí a má vynikající estetické vlastnosti. Nevhodné použití dřeva však také může v konstrukcích působit problémy: vykazuje značnou proměnlivost fyzikálních vlastností, vysoce závislých na obsahu vlhkosti a trvání zatížení. Dřevo je vysoce anizotropní materiál a jeho pevnostní a tuhostní vlastnosti kolmo k vláknům jsou mnohem nižší než ve směru vláken. Smršťování a bobtnání kolmo k vláknům může při změně vlhkosti vyvolat vznik trhlin. Vlastnosti dřeva se mohou zhoršovat v důsledku činnosti hmyzu a dřevokazných hub, dřevěné konstrukce mohou být zcela zničeny požárem. Uvedené problémy vyvolávají u některých inženýrů a části veřejnosti nedůvěru k dřevěným konstrukcím.

Účelem nejen této publikace, ale celého projektu je pomáhat překonávat tuto skepsi a ukázat, že s dobrými znalostmi je možné ze dřeva stavět funkční, ekonomické a trvanlivé stavby. Staleté zkušenosti s užitím dřeva ve stavitelství spojené s rozsáhlým výzkumem v posledních desetiletích poskytují bezpečné metody návrhu konstrukcí a jejich detailů.

Cílem pilotního projektu Leonardo da Vinci „Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures“, zkráceně „TEMTIS“ (Výukové materiály pro navrhování a zkoušení dřevěných konstrukcí), podporovaného Evropskou komisí, je zvýšit znalosti konstruktérů prostřednictvím souboru vzdělávacích materiálů. Cílovou skupinou projektu jsou studenti, architekti a stavební inženýři a také veřejnost, která může v tomto souboru výukových materiálů najít informace o materiálech a technologiích dřevěných konstrukcí.

Aby veřejnost byla ujistěna o bezpečnosti, spolehlivosti a trvanlivosti dřevěných konstrukcí, byla připravena také dokumentace o úspěšně realizovaných stavbách ze dřeva a materiálů na bázi dřeva a databáze zajímavých dřevěných staveb. Jádro tohoto projektu tvoří dvě příručky (Handbooks). Zatímco příručka 1 se zabývá technologiemi zpracování dřeva a materiálů na bázi dřeva a pravidly navrhování dřevěných konstrukcí, příručka 2 uvádí příklady návrhu a posuzování konstrukcí podle Eurokódu 5 (EC5).

Autoři příručky 1 věří, že tato publikace poskytne studentům i odborníkům solidní základ pro navrhování a umožní jim porozumět návrhu spolehlivých, ekonomicky výhodných a trvanlivých dřevěných stavebních konstrukcí. Autoři také doufají, že příručka pomůže zvýšit kvalitu nově navrhovaných dřevěných konstrukcí a v budoucnosti zvýší užití tohoto unikátního, ekologického a obnovitelného stavebního materiálu.



Leonardo da Vinci

Příručka 1



Partnerská organizace projektu odpovědná za přípravu příručky 1 (TU Graz) děkuje autorům všech kapitol (viz příložený seznam autorů) a všem dalším nevyjmenovaným „pomocným rukám“ za jejich úsilí. Poděkování patří také Mgr. Marcele Zahnašové z VŠB-TU Ostrava za její vynikající administrativní práci a její práci na zdárném organizačním zajištění projektu.

M. Augustin
Graz, September 2008



Kapitola č. 1

HISTORIE DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

1 Úvod

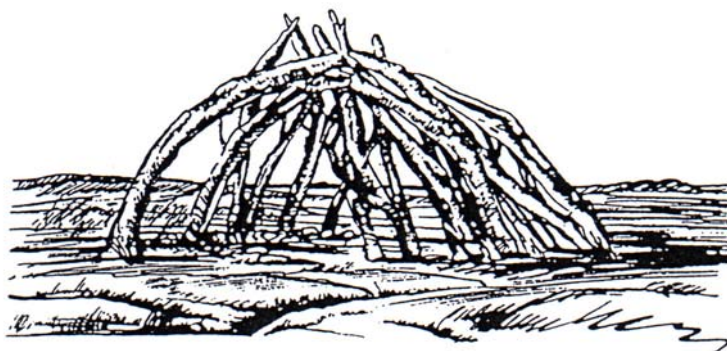
Česká republika leží ve středu Evropy a její území se vyznačuje tím, že se zde již od dávné minulosti stýkaly evropské kultury. Znamená to, že na území naší republiky je možno zaznamenat dřevěné konstrukce charakteristické pro celou střední Evropu. Historický vývoj dřevěných konstrukcí, zpracovaný v této kapitole, je proto především prezentován na příkladech konstrukcí, které se na území naší republiky od minulosti do současnosti vyskytovaly či vyskytují.

2 Domy ze dřeva

V této kapitole jsou popsány domy ze dřeva typické pro jižní, severní, západní a východní Evropu.

2.1 Nejstarší chýše

Pračlověk – *Homo sapiens neanderthalensis* (120 000 – 40 000 před n.l.) – nežil pouze v jeskyních, ale také v primitivních chýších. Chýše stavěné pračlověkem měly kostru z vhodných větví stromů (obr. 1) propletenou větvemi listnatých stromů nebo pokrytou trávou. Půdorys těchto chýší byl kruhový.



Obr. 1 Kostra chýše pračlověka (120 000 – 40 000 před n.l.)

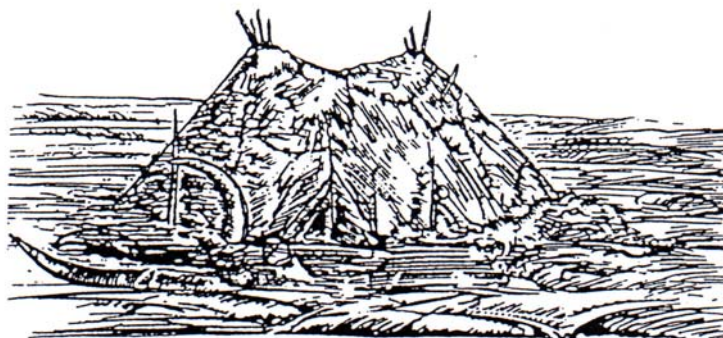
Evropský pračlověk – *Homo sapiens neanderthalensis* pravděpodobně vyhynul během poslední doby ledové, když *Homo sapiens fossilis* (40 000 – 10 000 před n.l.), potomek *Homo sapiens neanderthalensis*, přišel do Evropy ze sousedních kontinentů. Chýše stavěné



Homo sapiens fossilis měly kostru z větví stromů pokrytou kůžemi. Tyto chýše byly na svou dobu relativně veliké. Na Moravě archeologové odkryli pozůstatky chýší s půdorysnými rozměry až 15 m x 9 m. Půdorys těchto chýší byl obvykle eliptický. Rekonstrukce jedné ze tří chýší objevených v Ostravě je na obr. 2. Délka této chýše byla pravděpodobně 7 m.

2.2 První domy ze dřeva

Prvním skutečným stavitelem a architektem byl člověk až v období neolitu. Neolitičtí rolníci (nejstarší zemědělci) stavěli domy relativně pevné (tzv. dlouhé domy), jejichž životnost byla cca 20 let. Protože však zatím neovládali konstrukční finesy, činila jim potíže zejména příčná vazba krovu a zavětrování. Zpočátku ani nedovedli tesařsky spojit tři trámy v jednom bodě. Nicméně z domů, viz obr. 3, dokázali postavit celé vesnice.



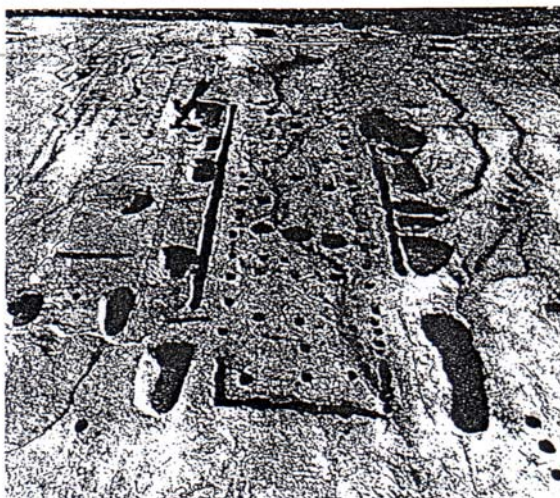
Obr. 2 Primitivní chýše pračlověka (40 000 – 10 000 před n.l.)



Obr. 3 Dlouhý dům (4 500 před n.l.)

Základní konstrukci domu vytvářelo pět řad kúlů zahloubených do země. Tři vnitřní řady podpíraly středové a vrcholovou vaznici a dvě vnější řady podpíraly okapové vaznice. Vnější řady kúlů byly propleteny proutím a poté omazány hlínou. Střechy byly patrně doškové. Domy mívaly standardní šířku danou konstrukčními možnostmi 5,5 - 7 m. Zato jejich délka se měnila v rozmezí 20 až 45 m. Domy neměly okna, protože je neolitici neuměli do konstrukce zabudovat a hlavně je neměli čím zasklít.

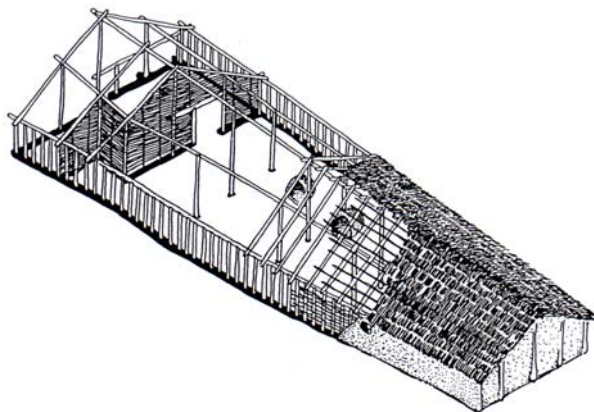
Půdorys dlouhého domu odkrytý archeology 30 – 40 cm pod terénem ve vesnici Bylany je na obr. 4.



Obr. 4 Půdorys dlouhého domu ve vesnici Bylany (4 500 před n.l.)

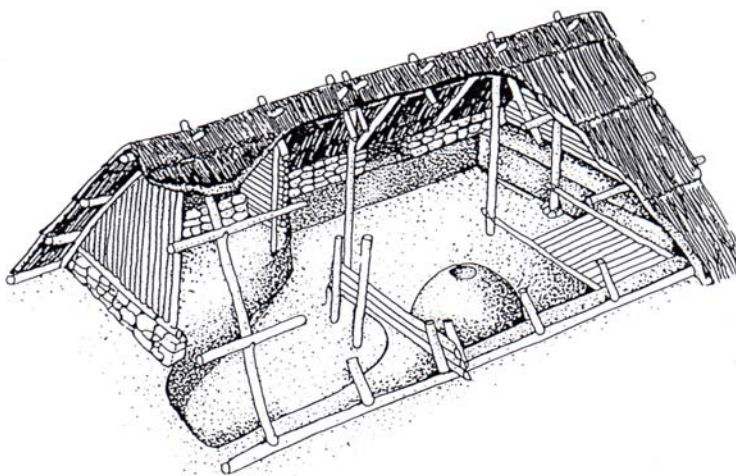
V půdorysu je možné vidět, kde byly kúly a ohniště. Po obvodě dlouhého domu jsou velké jámy, ze kterých byla brána zemina na omazání stěn. Tyto velké jámy pak sloužily jako místo pro odpad.

V období kolem roku 3 000 před n.l. byly dlouhé domy konstruovány podobně jako domy prvních zemědělců jen jejich půdorys byl lehce lichoběžníkový (obr. 5).



Obr. 5 Dlouhý dům (3 000 před n.l.)

V období kolem roku 400 př.n.l. sídlili na území Čech a části Moravy Keltové. Keltové stavěli poměrně lehké dřevěné stavby na kamenné podezdívce. Na obr. 6 je znázorněn zahloubený dům s předsíní, který se stavěl ve střední části keltských opidií. Nadzemní část obydlí měla velmi nízké stěny z kamene, které překrývala sedlová střecha sahající až k zemi. Tento typ obydlí byl potom používán ve střední Evropě po mnoho staletí. V období 400 - 550 n. l. přišli na území naší země Slované, kteří se zde již usadili natrvalo. Z archeologických nálezů vyplývá, že Slované stavěli obydlí stejného typu jako Keltové. Zatímco na raně středověkých hradištích (prvních městech) byl tento typ obydlí později vystřídán dokonalejšími nadzemními stavbami (především roubenými), na venkově se udržel ještě velmi dlouho. Rekonstrukce keltského domu objeveného archeology v obci Hrazany, je na obr. 6.



Obr. 6 Dům stavěný Kelty (400 před n.l.)

V době římského impéria byl střed Evropy okupován Germány.

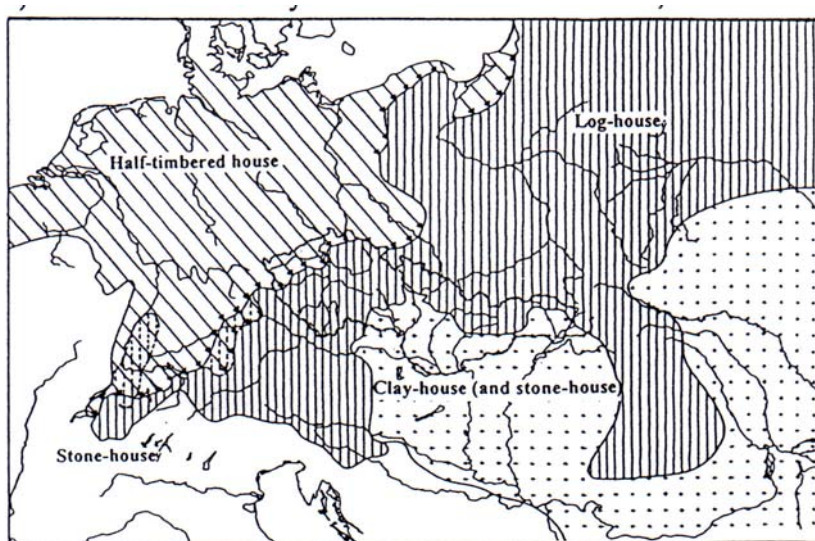
Domy stavěné Germány byly primitivní a malé. Rozměry půdorysu byly přibližně 5 m x 6 m nebo 4 m x 5 m. Rekonstrukce tohoto typu domu je na obr. 7.



Obr. 7 Dům stavěný Germány (0 – 500 n.l.)

2.3 Lidová architektura

Mezi 13. a 15. stoletím se vytvořila tzv. lidová architektura (architektura vesnice), která si zachovala svoji ustálenou podobu až do 19. století. Zároveň se lidová architektura v tomto období diferencovala regionálně podle dostupného stavebního materiálu, typů konstrukcí a jejich provedení - viz obr. 8.

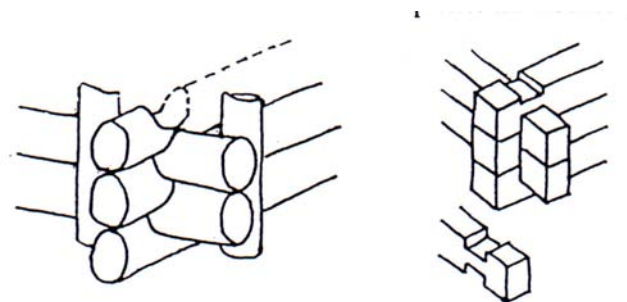


Obr. 8 Základní typy vesnických domů
Log-house – Roubený dům, Half-timbered house – Hrázděný dům, Stone-house – Kamenný dům,
Clay-house – Hliněný dům)

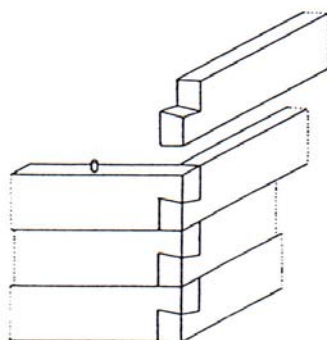
Nejpevnější z dřevěných konstrukcí byla konstrukce roubená, jež převažovala u vesnických domů po celá staletí. Kulatina, polohraněné a hraněné trámy, opracované sekerou (teprve od 16. století se používala pila), byly rovnány na sebe a v nárožích různým způsobem spojovány (obr. 9 a 10). Stěny roubených domů byly zakončeny vaznicovým věncem, na který se kladly stropnice - příčné trámy, které nesly stropní povaly. Na vaznicový věnec byla položena i vazba střechy různého provedení v závislosti na zatížení sněhem (obr. 12), která byla většinou vyztužena pouze pásky v rovině vaznic a sloupků.

Jako střešní krytina se nejčastěji používaly slaměné došky, které byly na hřebeni překryty drny. V lesnatých a horských oblastech se používaly šindele.

Hrázděné konstrukce (obr. 11) patří k náročnějším konstrukčním systémům. Tento typ dřevostavby vznikl ve 12. stol. na středním Rýně. Hrázděné konstrukce se nejdříve používaly ve městech, teprve od konce 15. století se používaly také na venkově. Hrázděné stěny tvořily rámy z trámů mezi které byla umístěná výplň. Dřevěná kostra minimalizovala potřebu velkých konstrukčních prvků a též umožňovala použít výplň z laciných, místně dostupných materiálů. Výplň tvořily většinou laťky či větve vzájemně propletené (popř. sláma) a omazané lepenicí - směsí jílu a řezanky. Od poslední čtvrtiny 19. století se začaly jako výplň používat cihly a vápenná malta.



Obr. 9 Plátový spoj rohů roubených domů



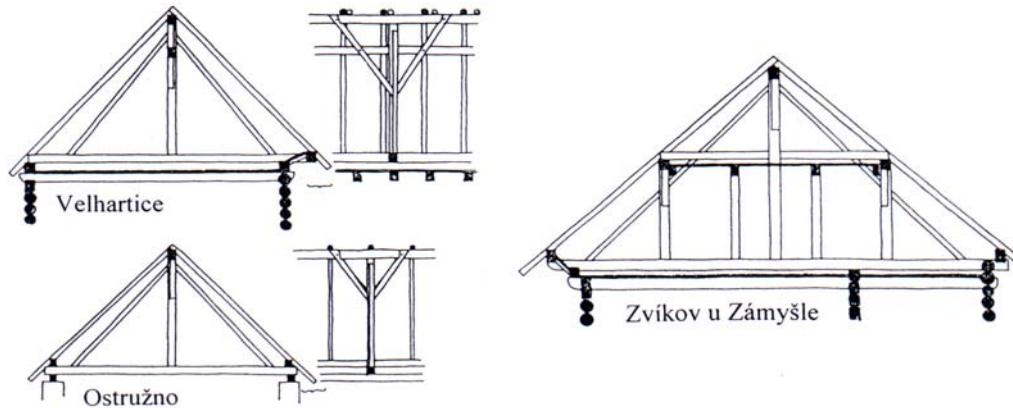
Obr. 10 Rybinový spoj rohů roubených domů



Obr. 11 Hrázděná stěna

Někdy byla konstrukce domu kombinací technik roubení a hrázdění.

Střešní konstrukce vesnických domů byly velmi jednoduché a závislé na zatížení sněhem. Zavětrování bylo většinou navrhováno jen v podélném směru (obr. 12).



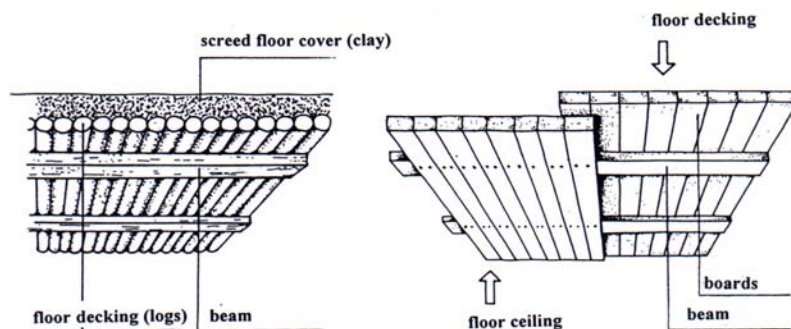
Obr. 12 Střešní konstrukce

2.4 Domy ve městech

Od 12. stol. se domy ve městech začaly odlišovat od domů na vesnici.

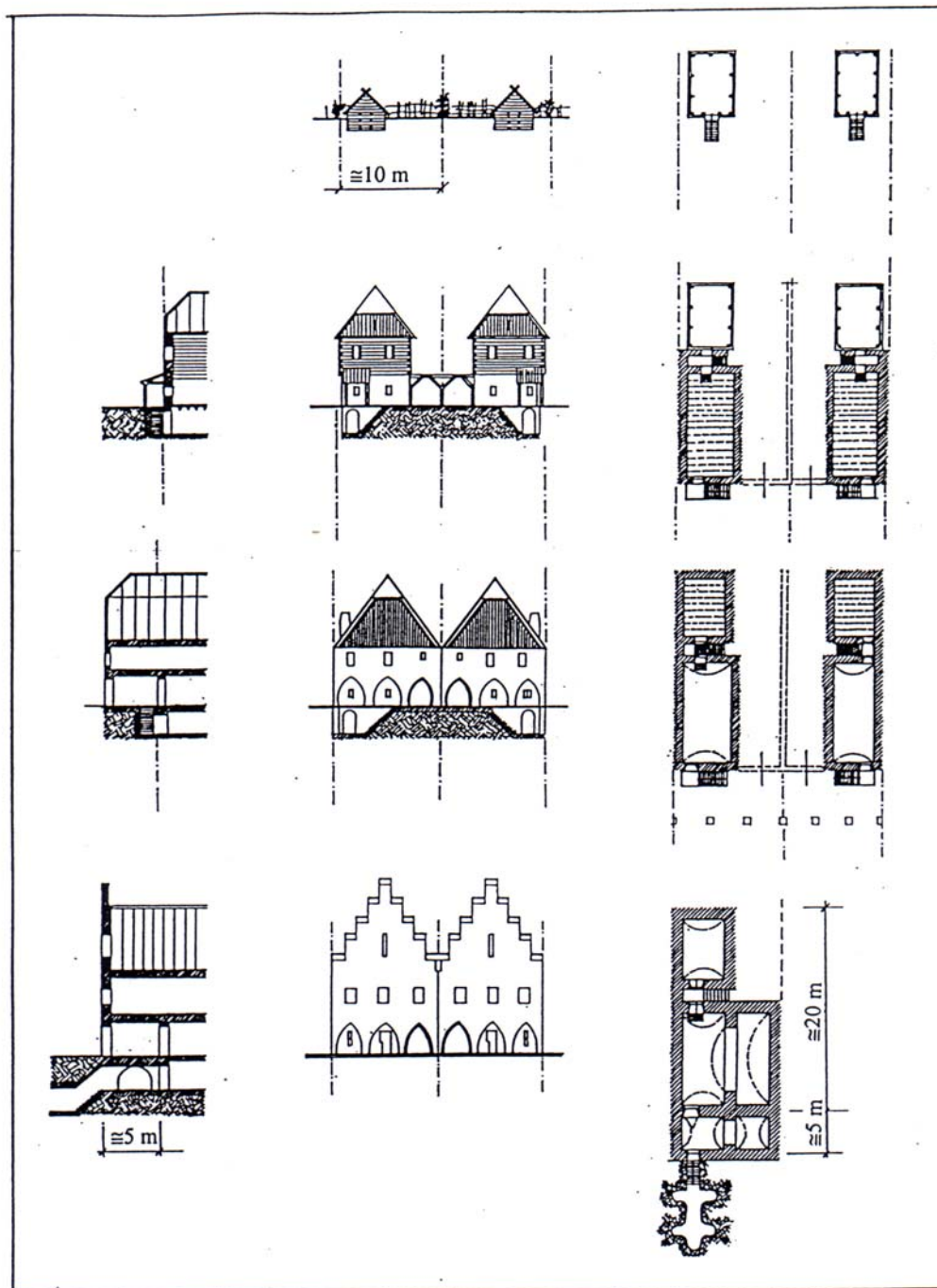
Ve městech střední Evropy byl v 12. a 13. stol. nejrozšířenějším typem domu tzv. komorový dům ze dřeva s přilehlým průjezdem na dvůr, který se lišil od domu na vesnici jen krytým průjezdem. Od 14. století se začaly stavět městské domy z kamene a cihel. Vývoj domů ve městě byl mnohem diferencovanější než vývoj vesnického domu. Souviselo to i s kolonizací měst, kdy příchozí kolonisté si z domova přinášeli stavební zvyklosti někdy odlišné od tradice místních obyvatel. Kolonizace měst byla důsledkem zvýraznění úlohy měst ve všech sférách života různých zemí.

Stropy městských domů bývaly většinou až do 16. stol. pouze dřevěné (obr. 13), i když klenba nebyla technickým problémem. Důvodem nebyly jen finanční náklady, ale zejména dobré tepelně izolační vlastnosti dřevěných stropů.



Obr. 13 Stropní konstrukce

(screed-násyp, floor- strop, cover-násyp, clay-hlína, decking-záklop, log-kulatina, beam-nosník, ceiling-podhled, beam-nosník, board-prkno/fošna)



Obr. 14 Vývoj domů ve městě od 13. do 16. stol.

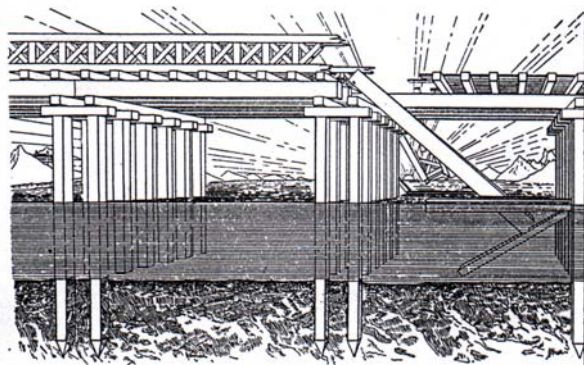
Krovy domů ve městech byly obdobné jako na vesnici.

Od 16. století nastal velký rozvoj cihlářství. To umožňovalo více používat cihly na zdi domů. Dřevo je od tohoto období používáno ve městech většinou pouze na stropy, příčky a krovy domů.

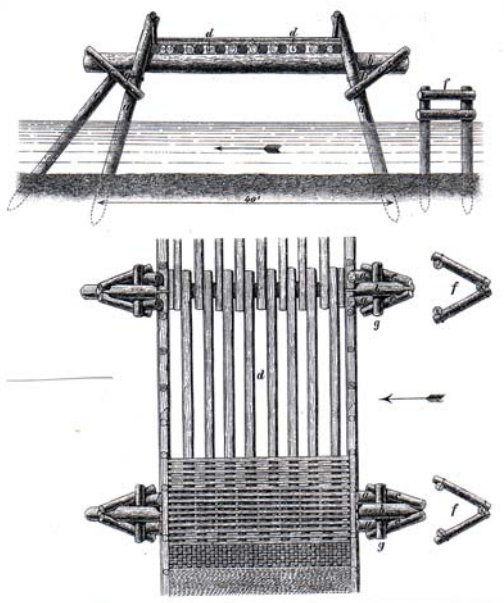
Ke změně došlo až v 70. letech 20. století, odkdy se dřevo opět začalo více využívat a to nejen v bytové výstavbě. Dřevěné budovy současnosti splňují ty nejnáročnější uživatelské požadavky a prakticky je nerozeznáme od zděných staveb.

3 Dřevěné mosty

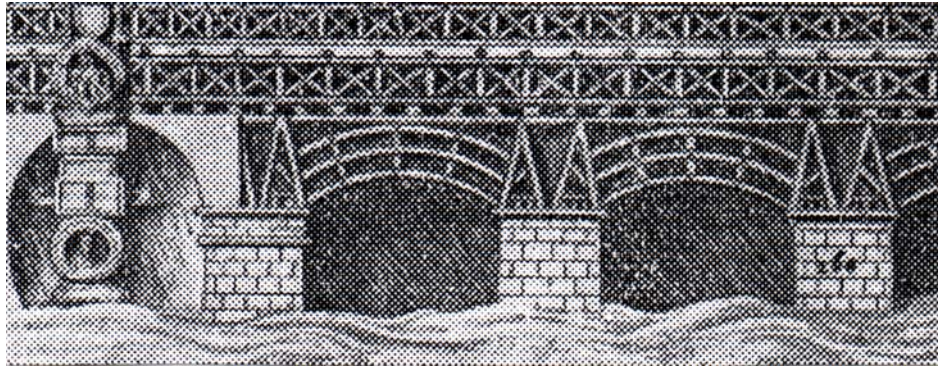
Nejstarší historicky zaznamenané dřevěné mosty pochází z období kolem roku 600 před n. l. Patří k nim například i velmi známý trámový most přes Tiberu v Římě (Pons Sublicius), postavený v roce 625 před n. l. (obr.15). Roku 54 před n. l. postavily specializované čtyři římských vojsk 430 m dlouhý dřevěný most přes Rýn (obr.16). Most je mimo jiné zajímavý tím, že jeho stavba trvala pouze 10 dní. Z období na přelomu našeho letopočtu stojí ještě za zmínku obloukový dřevěný most přes Dunaj, postavený v roce 103 n. l. (obr.17). Světlost polí mostu byla 35 m, šířka pilířů 18 m a most byl dlouhý 1070 m.



Obr. 15 Most Pons Sublicius

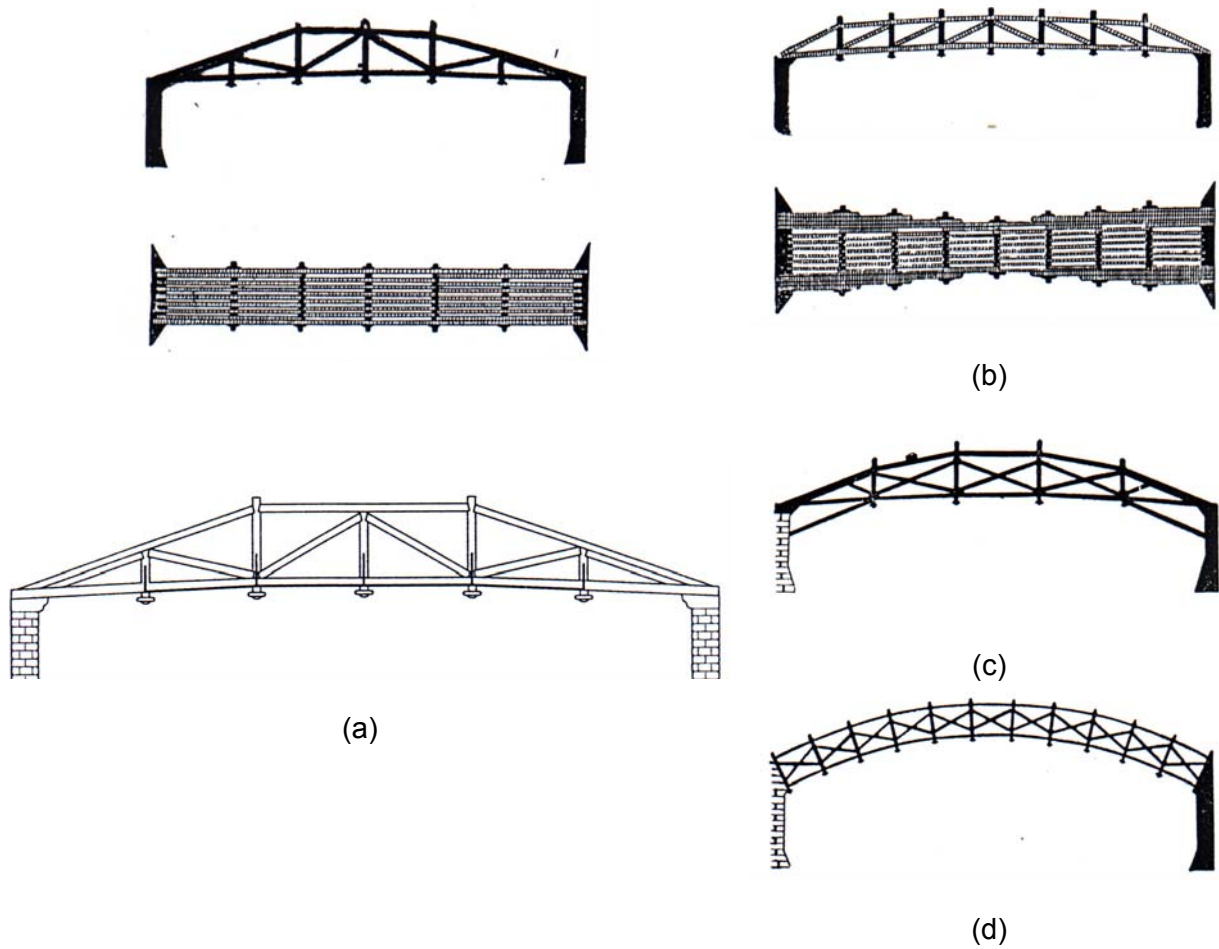


Obr. 16 Césarův most



Obr. 17 Trajánův most

V roce 1570 Andrea Palladio publikoval obrázek příhradového mostu rozpětí 30 m přes říčku Cismone v severovýchodní Itálii, který byl postaven kolem roku 1550 (obr. 18a).



Obr. 18 Palladiovy příhradové mosty



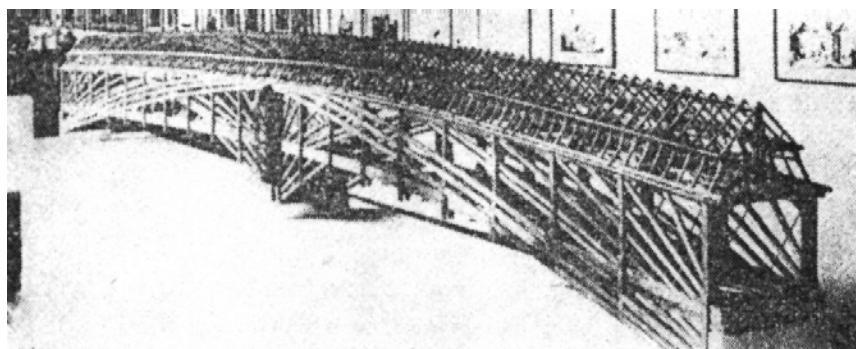
Jedním z nejstarších existujících mostů v Evropě je Kapellbrücke (obr. 19) v Luzernu. Byl postaven v roce 1333 a v průběhu staletí byl několikrát přestavěn. Původní celková délka byla 285 m, ale v 19. století byla redukována na 222 m. Most je krytý a je koncipován jako prostě podepřený nosník na propojených pilotách. V srpnu 1993 byla větší část mostu zničena při požáru.



Obr. 19 Kapellbrücke

Okamžitě byla zahájena rekonstrukce mostu podle původního návrhu a most byl znovu otevřen v dubnu 1994. Podpěrnou konstrukci tvoří především dubové piloty zaberaněné do dna říčky Reuss. Příčnický z dubu spojují hlavy pilot a podpírají 26 polí hlavní konstrukce mostu; průměrné rozpětí mostu je 7,65 m a maximální rozpětí je okolo 13,5 m; celková délka je nyní 204 m.

Mezi roky 1755 a 1758 tesařský mistr Hans Ulrich Grubenmann postavil velmi známý most Rhinebridge v Schaffhausenu (obr. 20). Most navrhl prostý nosník o rozpětí 119 m, ale byl donucen městským úřadem změnit návrh a umístit do středu mostu pilíř. Krátce po dokončení mostu však odstranil podkladní prvky nad tímto pilířem a tak demonstroval, že jeho původní pojetí je možné.



Obr. 20 Model mostu Rhinebridge



Během dramatické železniční expanse v 19. století bylo postaveno mnoho dřevěných mostů a viaduktů.

Britský inženýr I. K. Brunel (1806-1859) byl velkým zastáncem konstrukčního používání dřeva a začlenil mnoho dřevěných konstrukcí do své železnice z Londýna do Bristolu. Nicméně nejvíce je znám jako stavitel dřevěných mostů v případě svých železničních viaduktů postavených především v jihozápadní Anglii a velšských údolích. Na hlavní trati skrz Cornwall bylo 43 viaduktů s celkovou délkou 8 km, které byly postaveny mezi roky 1850 a 1859. Byly to štíhlé, půvabné konstrukce, často postavené na velkých obloucích, aby přemostily hluboká údolí s hloubkou až 50 m. Viadukty byly stavěny modulovým systémem a většinou zahrnovaly vějířovité podpěry. Hlavní nosníky byly z baltické borovice a měly průřez 300 mm na 300 mm. Byly většinou mechanicky lamelovány s použitím speciálního Brunelova čepového spoje nebo smykového klínu, aby bylo možné dosáhnout větší rozpětí. Zvláštním pozornost byla při navrhování věnována možnosti vyměnit kterýkoliv prvek během hodiny bez přerušení provozu. Plánovaná trvanlivost dřevěných prvků byla 30 let, ale jakmile se mzdové náklady zvýšily, většina mostů byla do roku 1940 vyměněna.

4 Literatura

- [1] Ebinghaus, H.: "Das Zimmerhandwert", Leipzig/Germany, 1939;
- [2] Kuklík P.: "Development of timber framed houses in Central Europe", Workshop COST Action E5, IUAV University, Venice/Italy, 2000;
- [3] Mencl, V.: "Lidová architektura", Praha/Československo, 1980.

Kapitolu č. 1 zpracoval Petr KUKLÍK, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí / Česká republika.



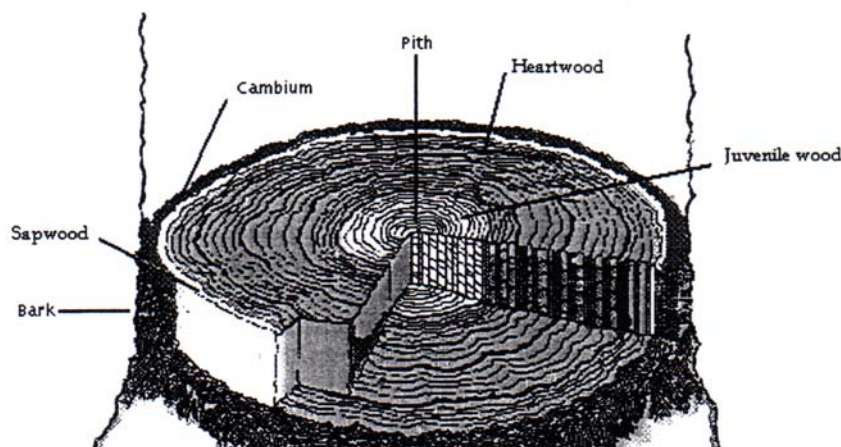
Kapitola č. 2

VLASTNOSTI DŘEVA

1 Úvod

Kmen stromu je na počátku zájmu stavebních inženýrů, protože jeho rozřezáním vzniká konstrukční dřevo. S ohledem na pochopení chování a možnosti dřeva, je nutné se seznámit se základní stavbou kmene stromu. Na obr. 1 je zobrazen průřez kmene stromu s jeho hlavními růstovými částmi.

Kůra s lýkem	Vnější vrstvy chrání kmen stromu proti požáru, teplotě, poškození. Vnitřní vrstvy transportují živiny do růstových částí.
Kambium	Růstová část, ve které vznikají nové buňky dřeva. Nové buňky dřeva rostou směrem dovnitř kmene stromu a nová kůra roste směrem k vnějšímu okraji kambia.
Bělové dřevo	Nové buňky, které vytváří svislé kanálky pro transport vody a živin od kořenů do větví. Stěny buněk stále vnitřně rostou a obsahují zásobní látky pro svůj růst.
Jádrové dřevo	Buňky jádrového dřeva již nerostou a vytváří schránky pro odpadní produkty (extraktivní látky). Je starším, a obvykle tvrdším dřevem, přesto ale nemusí mít vyšší pevnost.
Extraktivní látky	Doprovodné produkty růstových reakcí, které jsou uloženy v buňkách jádrového dřeva. Složení extraktivních látek se mění podle druhů dřevin a částečně strom od stromu. Některé extraktivní látky jsou toxické pro dřevokazné houby a hmyz.
Juvenilní dřevo	Nejmladší dřevo stromu, které se vyskytuje blízko středu kmene stromu. Má sklon k tomu mít horší hustotu a strukturu buněk. Obecně tvoří juvenilní dřevo velmi malou část průřezu kmene stromu mimo rychle rostoucí dřevo na plantážích.
Dřeň	Tmavá malá porézní vrstva v samém středu kmene stromu paprskovitého nebo více méně kruhového tvaru.



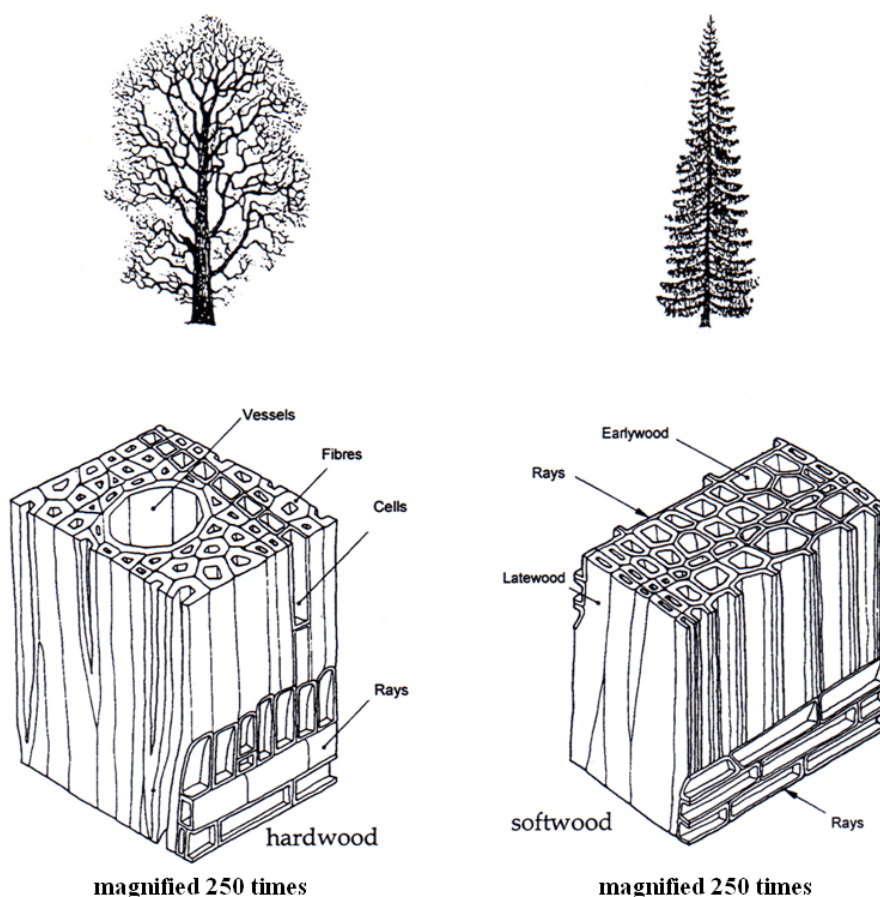
Obr. 1 Průřez kmene stromu
(bark - kůra s lýkem, kambium - kambium, sapwood - bělové dřevo,
heartwood - jádrové dřevo, juvenile wood - juvenilní dřevo, pith - dřeň)

Dřevo je přírodní organický buněčný materiál. Je kompozitem vytvořeným z chemického komplexu celulózy, hemicelulózy, ligninu a extraktivních látek. Dřevo je vysoce anizotropní zejména vzhledem k podlouhlému tvaru buněk dřeva a orientované stavbě stěn buněk. Anizotropie kromě toho vyplývá z rozdílných velikostí buněk v průběhu růstového období a částečně z převládajícího směru určitých typů buněk (např. dřevných paprsků).

Jemná struktura stěn buněk, uspořádání buněk v bezvadém dřevu a růstové nepravidlosti konstrukčního dřeva představují tři strukturální úrovně, které všechny mají značný vliv na vlastnosti dřeva jako konstrukčního materiálu. Například submikroskopická struktura stěn buněk objasňuje mimo jiné, proč je sesychání a bobtnání kolmo k vláknům zpravidla 10 až 20krát větší než ve směru vláken. Mikroskopická stavba bezvadého dřeva je klíčem k pochopení proč je tuhost 20 a 40krát vyšší v podélném směru než v příčném směru. Makroskopická struktura (suky, odklon vláken apod.) dává vysvětlení proč pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny může zaznamenat skok z více než 100 N/mm^2 u bezvadého dřeva na méně než 10 N/mm^2 u konstrukčního dřeva nízké jakosti.

2 Struktura dřeva

Dřevo se získává ze dvou hlavních skupin rostlin známých komerčně jako tvrdé dřeviny (krytosemenné, listnaté) a měkké dřeviny (nahosemenné, jehličnaté), viz obr. 2.



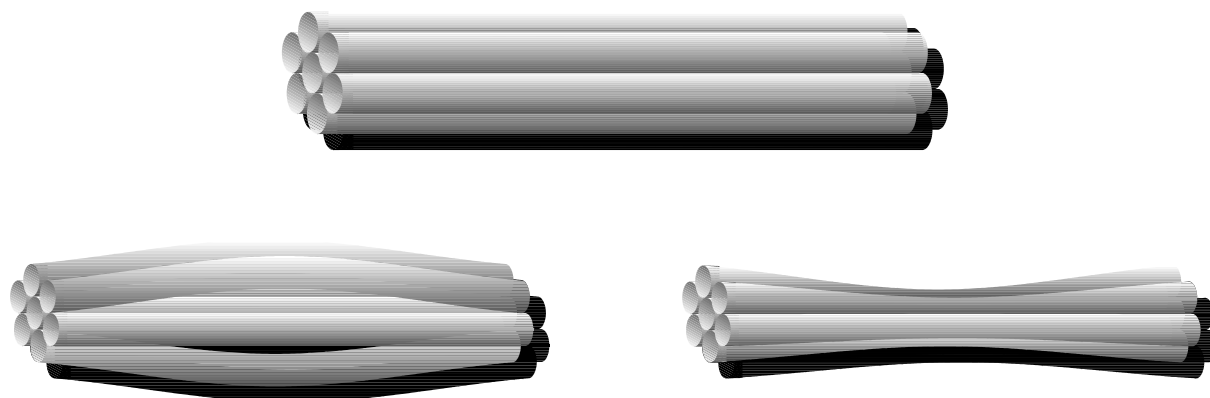
Obr. 2 Buněčná struktura dřeva – zvětšená 250krát
(hardwood - tvrdá dřevina, softwood - měkká dřevina, fibres - vlákna, vessels - pryskyřičné kanálky, cells - buňky, rays - dřeňové paprsky, earlywood - jarní dřevo, latewood - letní dřevo)

Při pozorování dřeva bez optických pomůcek jsou patrné nejenom rozdíly mezi jehličnatými a listnatými dřevinami a mezi druhy dřevin, ale také rozdíly v rámci jednoho druhu, např. bělové a jádrové dřevo, jarní a letní dřevo, uspořádání pórů a výskyt reakčního dřeva. Všechny tyto fenomény jsou důsledkem vývoje a růstu tkáně dřeva.

Dřevo je vláknité. Buňky jsou dlouhé a štíhlé a jsou uspořádány ve směru podélné osy kmene stromu. Jsou to tato vlákna, která vytváří strukturu dřeva, nikoliv letokruhy. Vlákna jsou také původem anizotropních vlastností dřeva, které má vyšší tuhost a pevnost rovnoběžně s vlákny než napříč vlákny. Strukturu dřeva můžeme přirovnat ke svazku stébel slámy (představujících vlákna dřeva), která jsou spojena dohromady pomocí slabého lepidla, viz obr.3.



Působí-li zatížení rovnoběžně s osou stébel slámy, jsou velmi pevná v tahu a mají přiměřeně dobrou pevnost v tlaku než začnou vybočovat. Nicméně, jestliže zatížení působí kolmo k ose stébel slámy, mají tendenci se zmáčknout při tlaku a jsou nejslabší v tahu, kdy "lepené" spoje selhávají a stébla slámy se doslova odtrhávají od sebe.



Obr. 3 Ortotropní skladba vláken dřeva

Mnoho vlastností, které zajímají stavební inženýry jsou funkcí mikrostruktury dřeva:

Hustota	konstrukce buňky a její velikost, vlhkost
Pevnost	hustota, vlhkost, velikost buňky
Sesychání	konstrukce buňky a její velikost, vlhkost
Tuhost	hustota, konstrukce buňky a její velikost, vlhkost
Barva	extraktivní látky
Požární odolnost	hustota, extraktivní látky
Elektrický odpor	vlhkost, konstrukce buňky
Mechanický útlum	konstrukce buňky



Dřevo jehličnatých dřevin vykazuje relativně jednoduchou stavbu tvořenou z 90 až 95 % tracheidami, které jsou tvořeny dlouhými (2 až 5 mm) a tenkými (10 až 50 μm) buňkami se zploštělými nebo zužujícími se uzavřenými konci. Tracheidy vytvářejí radiální řady a jsou orientovány podélně vzhledem k ose kmene stromu. Na přechodu z jarního dřeva do letního dřeva buněčné stěny zesilují, zatímco průměr buněk se zmenšuje. Na konci růstového období strom vytváří tracheidy s malou buněčnou dutinou a malým radiálním průměrem, zatímco na začátku dalšího růstového období vytváří tracheidy s širokou buněčnou dutinou a průměrem. Tento rozdíl v růstu může mít za následek poměr mezi hustotou letního dřeva a jarního dřeva až 3:1.

Dřevo listnatých dřevin má složitější stavbu než dřevo jehličnatých dřevin, nejdůležitější strukturální znaky jsou však porovnatelné. Dřevo listnatých dřevin má nosné tkanivo obsahující libriformní (dřevní) vlákna a vláknité tracheidy. V tomto zpevňujícím tkanivu jsou rozmístěny vodivé cévy, které mají často velké dutiny. Tyto cévy jsou dlouhé trubice s délkou od několika centimetrů až do několika metrů, které pozůstávají z jednotlivých elementů s otevřenými nebo perforovanými konci. Podle uspořádání průměrů cév je možné rozlišovat rozptýleně pórovité a kruhovitě pórovité listnaté dřeviny. Vlákna listnatých dřevin mají tlustší buněčné stěny a menší dutiny, než tracheidy jehličnatých dřevin. Rozdíly v tloušťce stěn a průměru dutin mezi jarním a letním dřevem nejsou tak výrazné, jako u jehličnatých dřevin.

3 Letokruhy

U většiny jehličnatých dřevin a kruhovitě pórovitých listnatých dřevin existuje korelace mezi šířkou letokruhů a hustotou. Jehličnaté dřevo má tendenci k tvorbě letního dřeva letokruhů s vysokou hustotou a poměrně stálou tloušťkou. Podstatné změny v šířce letokruhů jsou způsobeny jarním dřevem letokruhu s nízkou hustotou. Proto se u většiny jehličnatých dřevin hustota zmenšuje s rostoucí šířkou letokruhů. To vysvětluje, proč byla šířka letokruhů přijata jako parametr třídění v řadě předpisů pro vizuální třídění, používaných tč. v Evropě. Přesto je při použití této závislosti na místě obezřetnost. Hustota závisí při určité šířce letokruhů na půdě, klimatických podmínkách, lesopěstební praxi apod. Proto je pro běžné dřevo jehličnanů možný pouze nepřesný odhad hustoty na základě šířky letokruhů.

Kruhovitě pórovité listnaté dřeviny jako např. dub nebo jasan jsou charakterizovány vysokou koncentrací otevřených cév, které se vytvářejí v jarním období. Šířka těchto prstenců je poměrně stálá a změna šířky letokruhů je způsobena změnou tloušťky prstenců letního dřeva, které vykazují vysokou hustotu. Proto se u většiny kruhovitě pórovitých listnatých dřevin hustota zvětšuje s rostoucí šířkou letokruhů. U roztroušeně pórovitých listnatých dřevin, jako jsou topol nebo buk, taková závislost neexistuje.

4 Bělové a jádrové dřevo

Mladá vnější část kmene stromu vede mizu z kořenů směrem vzhůru do koruny stromu. Tato část kmene se označuje jako bělové dřevo. Se stárnutím buněk tyto přerušují svoji fyziologickou funkci; příslušná vnitřní část kmene se označuje jako jádrové dřevo.



U většiny druhů dřeva je jádrové dřevo tmavěji zbarveno vzhledem k ukládání jádrových látek. Účinkem těchto látek je jádrové dřevo odolnější proti hnilobě a dřevokaznému hmyzu. Při vytváření jádrového dřeva se zpravidla výrazně redukuje vlhkost dřeva. U řady listnatých dřevin se uzavírají cévy. To má za následek výrazné zmenšení propustnosti. U některých druhů dřeva (např. smrk, buk) není jádrové dřevo zbarveno; jádrové látky a fyzikální změny přesto způsobují rozdíl mezi jádrovým a bělovým dřevem.

Pro impregnaci dřeva je vhodnější bělové dřevo, protože jádrové dřevo např. u borovice (*Pinus sylvestris*) je prakticky nepropustné.

5 Juvenilní a reakční dřevo

Dřevo prvních 5ti až 20ti letokruhů (juvenilní dřevo) libovolného průřezu kmene stromu vykazuje odlišné vlastnosti proti dřevu ve vnějších oblastech kmene stromu. To je významné zejména u jehličnatých druhů. U juvenilního dřeva jsou tracheidy relativně krátké a tenkostěnné.

Juvenilní dřevo proto vykazuje proti normálnímu dřevu nižší hustotu, pevnost i tuhost a výrazně větší míru sesychání v podélném směru. Jádrové dřevo někdy pozůstává pouze z juvenilního dřeva, které vykazuje nízkou jakost s ohledem na mechanické vlastnosti. Proto u mladých, rychle rostoucích stromů s vysokým podílem juvenilního dřeva, může jádrové dřevo vykazovat horší jakost než bělové dřevo. Juvenilní dřevo doposud nepředstavovalo pro dřevěné konstrukce žádný problém. S rostoucím používáním rychle rostoucích dřevin z plantáží s krátkými mytními obdobími, budou problémy vyplývající z juvenilního dřeva narůstat.

Strom reaguje na vnější síly působící na kmen vytvářením reakčního dřeva. Jehličnaté dřeviny vytvářejí tlakové dřevo v oblastech vysokých tlakových namáhání, zatímco listnaté dřeviny vytvářejí tahové dřevo v oblastech s vysokým tahovým namáháním. Zatímco tahové dřevo má pro dřevěné nosné konstrukce pouze malý význam, tlakové dřevo často způsobuje problémy. Tlakové dřevo má širší letokruhy a vyšší podíl letního dřeva než normální dřevo.

Tlakové dřevo způsobuje nadměrné tvarové změny konstrukčního dřeva během vysychání. Tlakové dřevo zpravidla vykazuje vyšší hustotu, takže nedochází ke snížení mechanických vlastností, v suchých podmínkách však má tendenci ke křehkému porušení. Většina pravidel pro vizuální třídění omezuje podíl tlakového dřeva ve vyšších jakostních třídách.

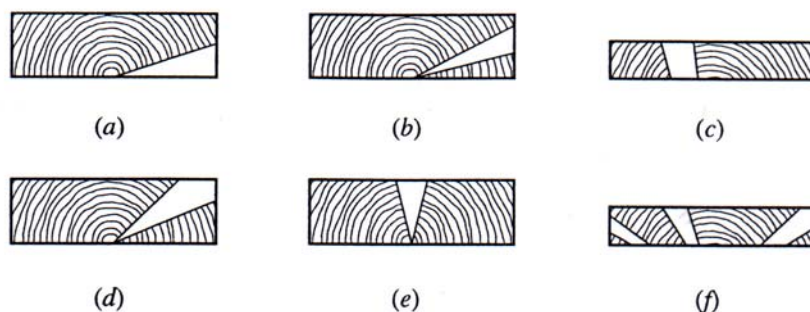
6 Odklon vláken

Některé stromy vytvářejí spirálové buňky okolo kmene. Tato točivost je u některých druhů rozšířená, u jiných k ní dochází zřídka. Vyskytuje se zejména u mladých stromů. Řezivo, které bylo vyrobeno z těchto stromů, vykazuje často odklon vláken, pro který je nepřijatelné jeho použití na konstrukční účely. Ve většině předpisů pro vizuální třídění jsou stanoveny mezní hodnoty odklonu vláken; přitom je obvykle akceptován odklon vláken 1:10 pro dřevo vyšší jakosti a 1:5 pro dřevo nižší jakosti.

7 Suky

Suky jsou části větví, které jsou zarostlé v hlavním kmenu stromu. Boční větev je spojena s dřením hlavního kmene. Když objem kmene roste, další letokruhy obalují kmen i větve a vzniká kuželovitá oblast dřeva větve – zarostlý suk. Tyto suky se označují jako srostlé suky, protože jsou pevně srostlé s okolním dřevem. Větve na některých místech odumírají nebo se odlomí. Další letokruhy potom obklopují pouze mrtvý pahýl větve a toto mrtvá část větve se nazývá nesrostlý suk. Není pevně zarostlý a označuje se proto jako vypadavý, který často obsahuje i kůru.

Jehličnaté dřeviny jsou charakterizovány dominantním kmenem, z něhož vycházejí v pravidelných vzdálenostech nebo přeslenech boční větve (přesleny větví). Jehličnaté řezivo proto vykazuje skupinové suky, které jsou odděleny dřevem bez suků. Se zřetelem k mechanickým vlastnostem jsou suky nejvýznamnější vadou dřeva. Suky jsou pojmenovány podle jejich vzhledu na povrchu dřeva (obr. 4).



Obr. 4 Druhy suků
(a) křídlový suk; (b) boční suk; (c) procházející suk; (d) hranový suk; (e) plošný suk ;
(f) skupinový suk

8 Hustota

Hustota je nejdůležitější fyzikální charakteristikou dřeva. Většina mechanických vlastností dřeva jakož i únosnost spojů pozitivně koreluje s hustotou. Proto jsou stanoveny mezní hodnoty hustoty pro třídy pevnosti podle EN 338 „Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti“.

Hustota je definována takto

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

kde

m je hmotnost (kg) dřeva a V je objem (m^3).

Hustota závisí na vlhkosti, protože vlhkost zvětšuje hmotnost a podmiňuje bobtnání objemu.



Hustota ρ_ω při vlhkosti ω (%) se vyjadřuje takto

$$\rho_\omega = \frac{m_\omega}{V_\omega} = \frac{m_0 (1 + 0.01 \omega)}{V_0 (1 + 0.01 \beta_V \omega)} = \rho_0 \frac{1 + 0.01 \omega}{1 + 0.01 \beta_V \omega} \quad (2.2)$$

kde m_0 , V_0 a ρ_0 jsou hmotnost, objem a hustota při nulové vlhkosti. ρ_0 se nazývá hustota v úplně suchém stavu. β_V je součinitel objemového přetvoření, v procentech přetvoření na procento zvýšení vlhkosti.

Jak bude později podrobně vysvětleno, k bobtnání dochází pouze tehdy, když voda proniká do buněčných stěn. Vlhkost, při které jsou buněčné stěny zcela nasyceny, je tzv. bod nasycení vláken ω_f , který odpovídá vlhkosti asi 28 %. Nad tímto bodem již nedochází k dalšímu bobtnání. Pod bodem nasycení vláken se může pro praktické účely předpokládat lineární závislost bobtnání a sesychání na vlhkosti.

V dřevařské vědě a inženýrství se používá hlavně hustota v absolutně suchém stavu ρ_0 a hustota ρ_{12} při vlhkosti dřeva 12%. Hodnoty hustoty podle EC5 se vztahují k hmotnosti a objemu při rovnovážné vlhkosti, která se ustálí při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65%.

Hodnoty ρ_{12} , na které se odvolává EC5 se vztahují k průměrné hustotě $\rho_{12,mean}$ a charakteristické hustotě $\rho_{12,k}$, definované jako 5% hodnota souboru. Pro třídu pevnosti dřeva se hustota zpravidla předpokládá s normálním rozdělením a variačním koeficientem 10 %. Z toho vyplývá:

$$\rho_{12,k} = \rho_{12,mean} - 1.65 (0.1 \rho_{12,mean}) = 0.84 \rho_{12,mean} \quad (2.3)$$

Hustota ρ_c buněčné stěny je asi 1 500 kg/m³. Hustota dřeva je proto závislá na jeho pórovitosti, která je definovaná jako objemový podíl buněčných dutin. Konstrukční dřevo vykazuje zpravidla hustotu v absolutně suchém stavu mezi 300 až 550 kg/m³, což odpovídá objemovému podílu dutin 0,8 až 0,63.

Hustota dřeva má rozptyl v širokých mezích, dokonce i když byl náhodný výběr odebrán z jedné růstové lokality. V EN 338 "Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti" jsou definovány charakteristické hodnoty hustoty $\rho_{12,k}$.

9 Dřevo a vlhkost

Vlhkost dřeva je definována jako poměr hmotnosti odvedené vody (m_w) a hmotnosti suchého dřeva (m_0), viz rovnice 2.4. Hmotnost v suchém stavu se získá vysoušením v sušárně při 103 ± 2 °C. Vlhkost dřeva může být vyjádřena jako zlomek nebo v procentech. V této kapitole je vlhkost vyjadřována v procentech:

$$\omega = \frac{m_w}{m_0} 100 = \frac{m_\omega - m_0}{m_0} 100 \quad (2.4)$$



Pro vlhkost dřeva mezi 6 % a 28 % jsou k dispozici elektrické vlhkoměry, které jsou jednoduše a rychle použitelné. Přesnost nejlepších vlhkoměrů na dřevo je řádově $\pm 2\%$, což je pro praktické inženýrské aplikace dostačující. V současné době jsou používány dva principy: první založený na DC (pomocí stejnosměrném proudu) měření na vlhkosti závislého elektrického odporu mezi dvěma elektrodami, zaraženými do dřeva; druhý založený na AC (pomocí střídavého proudu) stanovení na vlhkosti závislých dielektrických vlastností dřeva uvnitř elektrického pole, které je vyvoláno dvěma elektrodami přiloženými na povrch dřeva. Oba typy vlhkoměrů na dřevo se musí kalibrovat; AC přístroje (na střídavý proud) mohou měřit vlhkost pouze v povrchové vrstvě dřeva.

Při sušení čerstvě pokáceného dřeva je voda nejprve odváděna z buněčných dutin. Tato voda není na dřevo molekulárně vázána a nazývá se volná voda. Voda uvnitř buněčných stěn se nazývá vázaná voda, protože je vázána na buněčnou stěnu vodíkovými spoji a van der Waalsovými silami. Odvedení vody z buněčných stěn proto vyžaduje větší spotřebu energie, než odvedení volné vody.

Vlhkost ω_f , při které jsou buněčné stěny nasyceny vodou, ale v buněčných dutinách ještě není volná voda, se nazývá mez nasycení vláken (FSP). FSP je u většiny druhů dřeva mezi 25 % a 35 %; pro většinu praktických aplikací je 28 % vhodná střední hodnota.

Mez nasycení vláken je z inženýrského hlediska velmi důležitá, protože pod tímto bodem dochází k významným změnám většiny fyzikálních a mechanických vlastností. Nad FSP je většina vlastností přibližně konstantní.

10 Sesychání a bobtnání

Vlhkost vykazuje takovou afinitu k substanci buněčné stěny dřeva, že si může vynutit přístup do tohoto vlastně neporézního materiálu. Přitom jsou mikrofibrily tlačeny od sebe. Z toho vyplývající bobtnání buněčné stěny se může pro praktické aplikace předpokládat jako ekvivalentní objemu přijaté vody. Objem buněčných dutin zůstává při bobtnání stálý. Z toho vyplývá, že objemové bobtnání dřeva odpovídá objemu přijaté vody.

Vystupuje-li vlhkost z buněčné stěny, dřevo sesychá. Sesychání a bobtnání v mezích běžných změn vlhkosti u dřevěných konstrukcí se označují jako vlhkostní přetvoření.

V rozmezí vlhkosti dřeva mezi 5 % a 20 % se rozměry dřeva mění lineárně s vlhkostí. V této oblasti se může vlhkostní přetvoření vypočítat ze vztahu

$$h_2 = h_1 \left[1 + \frac{\beta}{100} (\omega_2 - \omega_1) \right] \quad (2.5)$$

kde h_1 a h_2 jsou rozměry (tloušťky) při příslušných vlhkostech ω_1 a ω_2 . β je součinitel bobtnání (kladný) nebo sesychání (záporný) v %/‰.

Nejsou-li k dispozici hodnoty součinitele bobtnání a sesychání pro určitý druh dřeva, může se použít přibližná hodnota. Součinitel objemového bobtnání a sesychání β_V se může uvažovat roven číselné hodnotě hustoty násobené 10^{-3} . To znamená, že objem dřeva s hustotou rovnou 400 kg/m^3 nabobtná o 0,4 % při každém přírůstku vlhkosti o 1 %. To je založeno na základní úvaze, že součinitel objemového bobtnání odpovídá objemu přijaté vody. Součinitel



bobtnání a sesychání v podélním směru β_0 je zpravidla zanedbatelný a součinitel v příčném směru β_{90} odpovídá poloviční hodnotě součinitele objemového bobtnání popř. sesychání.

Pro většinu druhů dřeva včetně smrku, jedle, borovice, modřínu, topolu a dubu mohou být pro technické použití uvažovány hodnoty $\beta_0 = 0,01$ a $\beta_{90} = 0,2$. Pro druhy dřeva s vysokou hustotou jako např. buk (*Fagus sylvatica*) a Bongossi (*Lophira alata*) se má uvažovat $\beta_{90} = 0,3$.

U překližky jsou vlhkostní přetvoření v rovině desky porovnatelná s hodnotami pro dřevo v podélním směru. U jiných výrobků na bázi dřeva, jako jsou třískové desky nebo vláknité desky, tato přetvoření závisí velmi výrazně na příslušném typu desky a výrobní technice. Kolmo k rovině desky mají vratná vlhkostní přetvoření stejnou řádovou velikost jako u dřeva. Nicméně mnoho deskových výrobků, které byly v průběhu výroby vystaveny vysokým tlakovým napětím, vykazuje přídatné, nevratné tloušťkové bobtnání, označované také jako „zpětné odpružení“.

Je-li roztažnosti dřeva bráněno (např. u kolíkových spojů), přijímáním vlhkosti jsou vyvozo- vána vnitřní napětí. Účinkem vazkopružného/plastického chování dřeva se tato napětí eventuálně odbourají a dochází k nevratným rozměrovým změnám. Vratí-li se dřevo ke své původní vlhkosti, jeho rozměry se zmenší a kolíkový spoj může ztratit přesnost lícování a tím i část únosnosti. Při navrhování je proto důležité umožnit přístup k takovým konstrukčním detailům, které by mohly potřebovat stáhnout.

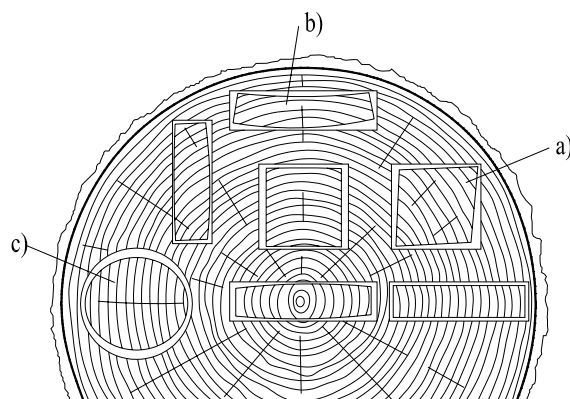
Aby se problémy vlhkostních přetvoření minimalizovaly, má se dřevo vždy zabudovat s vlhkostí co nejvíce odpovídající později očekávané rovnovážné vlhkosti. Dřevo s vlhkostí přesahující 20 – 22 % se má zabudovat pouze tehdy, když je možné přiměřeně rychlé vysychání konstrukce bez rizika biologické degradace nebo trvalých přetvoření účinkem mechanicko-sorpčního dotvarování.

11 Tvarové změny

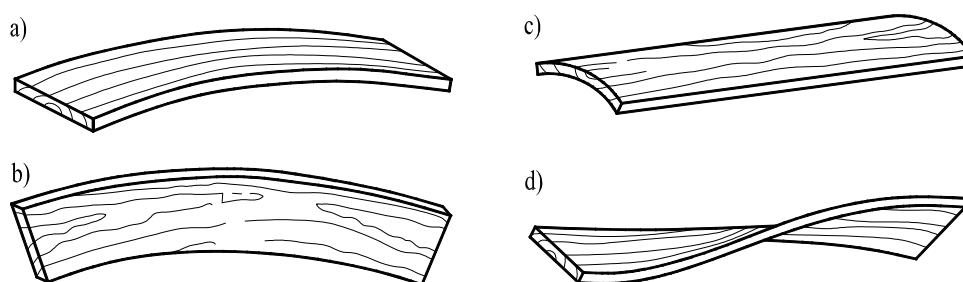
Anizotropie bobtnání a sesychání kolmo k vláknům může způsobit zdeformování průřezu při vysoušení (obr.5). Skutečnost, že sesychání v tangenciálním směru je přibližně dvojnásobkem sesychání v radiálním směru, objasňuje tendenci letokruhů se napřímit.

Vnitřní napětí, vznikající anizotropním sesycháním, se mohou odbourat v první řadě vznikem radiálních trhlin. Tendence k tvorbě trhlin je tím větší, čím větší je průřez a čím rychlejší je vysoušení.

Přítomnost tlakového dřeva, juvenilního dřeva nebo i suků pouze v jedné části průřezu, může způsobit tvarové změny v podélném směru známé jako zakřivení ve směru tloušťky nebo šířky a šroubové zakřivení. K šroubovému zakřivení může také dojít, když bylo řezivo vyrobeno ze stromu s točivým růstem. Příčné zakřivení je důsledkem rozdílných vlhkostních přetvoření v tangenciálním a radiálním směru (obr. 6).



Obr. 5 Tvarové změny různých průřezů, vyříznutých z různých částí kmene, po vysušení



Obr. 6 Tvarové změny

a) podélné zakřivení ve směru tloušťky; b) podélné zakřivení ve směru šířky;
c) příčné zakřivení; d) šroubové zakřivení

V národních pravidlech pro třídění jsou často stanoveny mezní hodnoty pro velikosti tvarových změn. Normy EN pro vizuální a strojní třídění obsahují doporučené meze tvarových změn (tab. 1). Tyto meze neuvažují závislost mezi pevností a tvarovými změnami, ale definují mez, za kterou jsou manipulace a sestavování řeziva do konstrukčních dílců nepříjemně komplikované. Může také dojít k tomu, že pro určitou konstrukci jsou potřebné užší meze, než které jsou uvedeny v tab. 1. Takové meze pak musí být dohodnuty s výrobcem.

Typ tvarové změny	Třídy pevnosti	
	C18 a nižší	Vyšší třídy
Zakřivení na tloušťku	20	10
Zakřivení na šířku	12	8
Šroubové zakřivení	2 mm/25 mm šířky	1 mm/25 mm šířky
Příčné zakřivení	bez omezení	

Tab. 1 Maximální tvarové změny (mm na 2 m délky) podle EN 518 a EN 519



12 Vlhkost a mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti dřeva závisejí na vlhkosti. Zvyšování vlhkosti vede k poklesu hodnot pevnosti a tuhosti. Tento účinek se zčásti vysvětluje bobtnáním buněčné stěny, následkem čeho je k dispozici méně materiálu buněčné stěny na plošnou jednotku. Mnohem důležitější je však, že voda vnikající do buněčné stěny zeslabuje vodíkové spoje, které drží pohromadě buněčnou stěnu. Změny vlhkosti nad mezí nasycení vláken nemají vliv na mechanické vlastnosti, protože v tomto případě se pouze ukládá volná voda do buněčných dutin.

Účinek změn vlhkosti na různé mechanické vlastnosti je rozdílný. Tak například porušení tlakem rovnoběžně s vlákny je způsobeno vybočením vláken, kdy důležitou roli hrají vodíkové spoje citlivé na vlhkost. Při porušení tahem rovnoběžně s vlákny rovněž dojde k porušení kovalentních vazeb, když se od sebe odtrhnou mikrofibrily buněčné stěny. Pevnost v tlaku je však více citlivá na vlhkost než pevnost v tahu.

Porovnávají-li se mechanické vlastnosti, má se používat standardní srovnávací vlhkost dřeva odpovídající 20°C a 65% relativní vlhkosti vzduchu. Je-li konstrukční dřevo vyšetřováno při jiných podmínkách, musí se jeho mechanické vlastnosti upravit podle EN 384 „Konstrukční dřevo – Zjišťování charakteristických hodnot pevnosti, tuhosti a hustoty“.

13 Trvání zatížení

Dřevo vykazuje při zatížení v průběhu času výrazný pokles pevnosti. Hodnoty pevnosti, které se používají při navrhování dřevěných prvků pro stálá zatížení, jsou pouze asi 60% hodnot pevnosti, které byly zjištěny krátkodobými laboratorními zkouškami.

Je známo, že změny vlhkosti výrazně zvětšují dotvarování dřeva. Tento účinek se označuje jako mechanicko-sorpční, protože se projevuje pouze při současném mechanickém namáhání a střídavé vlhkostní sorpci. Zjistilo se rovněž, že mechanicko-sorpční účinek zkracuje dobu do porušení dřeva.

Povrchově ošetřené dřevo nebo prvky z lepeného lamelového dřeva s velkým objemem vykazují menší změny vlhkosti, než neošetřené dřevo nebo dřevo malého objemu. Vystává proto otázka, zda pro povrchově ošetřené dřevo nebo pro lepené lamelové prvky velkého objemu nemá být povolena mírnější redukce modifikačním součinitelem.

Chování deskových materiálů s ohledem na trvání zatížení kolísá v širokých mezích. Pro konstrukční překližku se předpokládá podobné chování jako u rostlého dřeva. Chování třískových desek je úzce spojeno s velikostí a orientací třísek. U třískových i vláknitých desek má na dlouhodobé vlastnosti velmi významný vliv jakost lepidla. Zatímco pro nejlepší třískové desky se může pro stálé zatížení předpokládat modifikační součinitel 0,4, pro vláknité desky může klesnout až na 0,2.

14 Modifikační součinitele pro vlhkost a trvání zatížení

Při navrhování dřevěných konstrukcí se uvažuje vliv vlhkosti dřeva a trvání zatížení zařazením konstrukce do tříd provozu a tříd trvání zatížení. EC5 pak definuje modifikační součinitele k_{mod} pro každou kombinaci těchto dvou tříd.



15 Literatura

- [1] Boughton, G.N.: "Introduction to timber design", Chapter 1.0 from "LIMIT STATES TIMBER DESIGN to AS1720.1"; Curtin University, Australia, 1997
- [2] Hoffmeyer, P.: "Wood as a building material", Chapter A4 from "STEP 1 – Timber Engineering"; First Edition, Centrum Hout, The Netherlands, 1995

Kapitolu č. 2 zpracoval Petr KUKLÍK, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí / Česká republika.

Kapitola č. 3

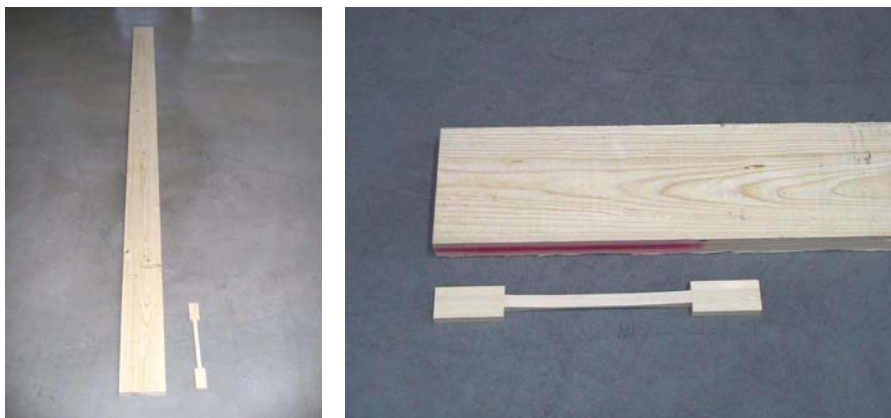
MATERIÁL

1 Úvod

Na začiatok tejto kapitoly je citovaný výrok B. Madsena [1]:

‘... The two products – wood, in the sense of clear defect-free wood and timber, in the sense of commercial timber – have to be considered as two different materials and that must be respected when strength properties are developed for engineering purposes. ...’

Obsah výroku v podstate sumarizuje obsah tejto kapitoly, pretože drevo ako inžiniersky materiál nachádza uplatnenie v stavebníctve. Pre oba významy – drevo a drevo na stavebné konštrukcie – sa ukazuje, že mechanické vlastnosti „pekného dreva“ boli testované a skúšané už pri použití dreva na stroje a lietadlá. Vlastnosti materiálu sa výrazne odlišovali od vlastností dreva v stavebníctve. Popri veľkostnému efektu, napr. vzorky malých rozmerov vykazujú vyššie pevnosti než vzorky veľkých rozmerov, sa objavujú aj ďalšie efekty – „štruktúrne odchýlky“ (nepravidelnosti rastu) ako sú hrče (suky), odklon vlákien, trhliny, atď.. V procese výroby dreva (napr. prerezané vlákna, atď.) môžu takisto vzniknúť odchýlky, ktoré sa na nespracovaných vzorkách nevyskytujú. Mechanické hodnoty a v niektorých prípadoch správanie sa materiálu pri mechanickom zaťažení týchto dvoch materiálov sa musí prísne oddeľovať. Obr. 1 ukazuje odchýlky a neporovnateľné správanie sa vzoriek pri ťahových skúškach. Príslušné rozmery a štruktúra materiálu objasňujú uvedené skutočnosti.



Obr. 1 Vzorky pre ťahové skúšky; rastené drevo vs. strom



Z európskeho pohľadu musia byť hodnoty dreva na inžinierske konštrukcie, potrebné na určenie zaťažiteľnosti a tuhosti, testované na vzorkách z rasteného dreva. V Severnej Amerike sú už dlhú dobu pevnostné vlastnosti dreva používané na drevené konštrukcie odvádzané od vlastností bezchybného („pekného“) dreva pomocou rôznych faktorov. To vedie k záverom, že ak sú testované mechanické vlastnosti dreva na stavebné konštrukcie, je správnejšie hovoriť o konštrukcii ako o dimenzovaní materiálu.

2 Triedenie

Drevo je prírodný materiál so širokým rozptylom fyzikálnych a mechanických vlastností, ktoré závisia od druhu dreveniny, genetiky, spôsobu rastu stromu a ďalších okolností. Aby sme boli v stave dané vlastnosti materiálu využiť na nosný prvok a daný prvok spoľahlivo a úspešne použiť, musí sa drevo triediť. V závislosti od neskoršieho použitia daného prvku je proces triedenia rozdelený nasledovne:

- zaťažiteľnosť
- výskyt
- „použitie“ (napr. tvar, stabilita, pretvorenie,...) .

V Tab. 1 je prehľad vybraných štrukturálnych odchýlok (rastové vlastnosti) dreva a stavebného dreva a ich význam na vlastnosti triedenia

Druh odchýlky (rastové vlastnosti)	Vplyv na			
	zaťažiteľnosť	tuhosť	trvácnosť	výskyt
Rozvetvenie vlákien (vrátane odklonu vlákien v oblasti hrč)	+	±	-	+
(Globálny) odklon vlákien	+	-	-	-
Reakčné drevo	+	±	-	+
Tvar a poloha letokruhov	(-)	(-)	(-)	+
Biologické poškodenie (hmyz, huby)	(+)	(+)	+	+
Mechanické poškodenie	+	(-)	-	(-)
Pretvorenia	(+)	(+)	(+)	(-)
Deformácie, skrútenie	-	+	-	+

Vysvetlivky:
+ veľmi rozhodujúci vplyv, (+) rozhodujúci vplyv, ± stredný vplyv, (-) malý vplyv, - žiadny vplyv

Tab. 1 Prehľad vybraných štrukturálnych odchýlok (rastové vlastnosti) dreva a stavebného dreva a ich význam na vlastnosti triedenia [4]



Pre použitie nosného prvku je samozrejme najdôležitejším triediacim parametrom zaťažiteľnosť a tuhosť. Na takéto triedenie sú používané dve metódy:

– vizuálne pevnostné triedenie

Metóda vizuálneho pevnostného triedenia je založená na vzťahu početnosti, veľkosti a typov rastových vlastností (ako je veľkosť hrče a mechanické vlastnosti) k pevnostným vlastnostiam. Vo všeobecnosti je triedenie ručné, vykonáva ho zaškolená osoba. Rozdelenie do jednotlivých pevnostných tried je jednoduché a ľahko naučiteľné, pravidlá sú vo všeobecnosti definované v jednotlivých krajinách. Európska norma EN 14 081, časť 1 definuje minimálne požiadavky na jednotlivé pevnostné triedy:

- Limitovanie vlastností ovplyvňujúcich pevnosť pri pevnostnom triedení: hrče, odklon vlákien, hustota, pretvorenie.
- Limitovanie geometrických vlastností: vysychanie, zakrivenie (ohyb priečne k rovine dosky, ohyb v rovine dosky, skrútenie).
- Limitovanie biologických vlastností: poškodenie hubami a hmyzom.
- Iné vlastnosti: reakčné drevo, mechanické poškodenie.

Výhody a nevýhody vizuálneho pevnostného triedenia sú:

Pravidlá sú jednoduché a ľahko zrozumiteľné, na ich aplikáciu nie sú potrebné žiadne výnimočné technické znalosti a žiadne finančne náročné vybavenie.

Triedenie je časovo náročné a nie celkom presné, pretože štruktúra dreva a hustota, čo sú dôležité parametre pevnosti, nie sú zohľadnené, ale iba odhadnuté.

Výsledky triedenia sú závislé na pozornosti a znalosti zodpovednej osoby. Preto je kapacita a objektivita obmedzená.

Ak sú pravidlá správne používané, je metóda efektívna a výhodná.

Požiadavky na zaradenie do národných tried pevnosti s použitím vizuálneho triedenia pre triedy pevnosti, ktoré sú uvedené v EN 338, sú stanovené európskym štandardom EN 1912.

– mechanické pevnostné triedenie

Počas mechanického pevnostného triedenia sú okrem parametrov, ktoré sú zohľadnené pri vizuálnom triedení, navyše zohľadnené aj pevnosť ovplyvňujúce parametre, akými sú hustota a modul pružnosti. Dôsledkom takéhoto triedenia môže byť drevo s vyššími pevnostnými parametrami.

Triedenie prebieha na strojoch, ktoré fungujú na nasledovných princípoch:

Mechanická metóda (zariadenie na ohýbanie prvkov, zaťažovacie zariadenie)

Vibračná metóda (merania vlastných frekvencií a ultrazvukové merania)

Röntgenová metóda (presvecovanie alebo mikrovlnná metóda)

Optická metóda (CCD-Kamery, merania tracheidických efektov)

Iné (meranie tepelnej kapacity, merania tlaku, atď.)

Výhody a nevýhody mechanického pevnostného triedenia sú:

Triedenie je opakovateľné a objektívne, čo vedie k vyššej predpovedateľnej presnosti a vyššiemu podielu vyšších pevností.

Rýchlosť triedenia sa môže zvýšiť (až po kapacitu 300 m/min).

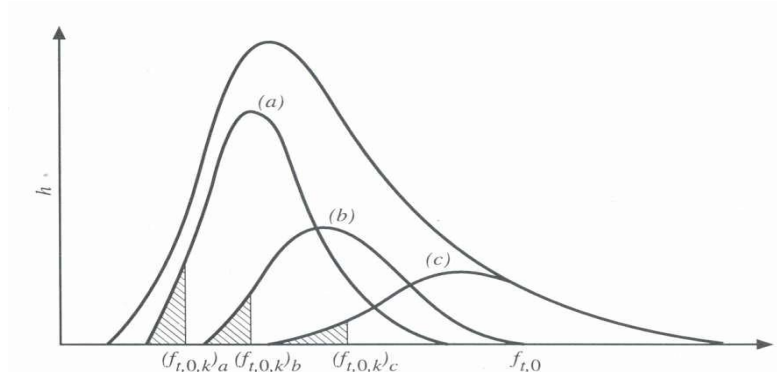
Vybavenie je drahé, jeho nákup je efektívny iba pre veľké firmy s vysokou produkciou. Stroje musia byť sledované a servisované, potrebná je aj stála interná a externá kontrola všetkých zariadení a produktov.

Pracovníci, ktorí kontrolujú proces triedenia musia mať vzdelanie v príslušnom odbore.

V súčasnosti je dovolené používať iba stroje na triedenie vzoriek malých rozmerov.

Pravidlá pre strojové triedenie sú uvedené v európskej norme EN 14081 (časti 1, 2, 3 a 4).

Proces pevnostného triedenia vedie k homogénnejmu a jemnému rozdeleniu mechanických vlastností a dovoľuje definovať triedy podľa príslušného triedenia (pozri obr. 2). Pre európske triedy pevnosti sú dané charakteristické hodnoty v EN 338. Pre mäkké a tvrdé dreveniny sú tieto hodnoty uvedené v tabuľkách (pozri tiež prílohy).



Obr. 2 Schéma rozptylu pre medzu porušenia stavebného dreva, priradená k trom triedam a, b, c; [2]



3 Mechanické vlastnosti

Proces výroby stavebného dreva pozostáva z nasledovných krokov:

odkôrovanie

rezanie

sušenie

hobľovanie (ak je nutné)

výroba zubovitých spojov (len pre určité výrobky)

lepenie širšej strany (len pre určité výrobky, ale menej ako štyri kusy)

Odhliadnúc od rozdielov medzi drevom a stavebným drevom, ktoré boli uvedené na začiatku tejto kapitoly, je správanie sa dreva vplyvom anizotropie, napučovania a zmrašťovania, dĺžky trvania zaťaženia, atď. rovnaké, ako bolo uvedené v kapitole 2 pre drevo.

Je potrebné zdôrazniť, že hodnoty uvedené v tejto tabuľke, závisia kvôli „veľkostnému efektu“ od rozmerov prvku (pre rastečné drevo: šírka $b = 150$ mm pre medzu porušenia, výška $h = 300$ mm). Pre iné rozmery navrhovaných prvkov sa môžu súčinitele k_b a k_h zmeniť.

4 Výrobky

4.1 Piliere a guľatina

– Všeobecne

Pre výrobky „Piliere a guľatina“ je prípustné iba odkôrovanie a niekedy pozdĺžny rez, ktorý slúži na zredukovanie efektov napučovania a zmrašťovania. Poškodeniu štruktúry vlákien napr. pri zmenách prierezu je potrebné zabrániť. Ako dôsledok neporušeného prierezu je možné jednak zvýšiť priehyb a napätostné vlastnosti a jednak zvýšiť hodnotu MOE o približne 20 % v porovnaní s rezivom.

– Mechanické vlastnosti

Ak sú pilere a guľatina použité ako nosné prvky, musí sa k vplyvu rastových chýb na mechanické vlastnosti, ako sú veľkosť a tvar hŕč, odklon vlákien a vplyv rezania (ako bolo práve vyššie uvedené), dodatočne pridať aj konicita (zmenšovanie rozmerov prierezu po dĺžke), pootočenie vlákien v dôsledku špirálového rastu stromu a ovalita (pomer najväčšieho a najmenšieho rozmeru v priečnom reze).

– Rozmery

Dĺžka: do 20 m (závislé od požiadaviek a montážnych možností)



Priemer: od malých polomerov (80 mm) až do 500 mm, závislé od druhu dreveniny

– Použitie

Piliere a guľatina sú používané v prípadoch, kedy sú namáhané výlučne rovnobežne s vláknami. Piliere a guľatina sa často používajú na stavbu poľnohospodárskych objektov, mostov na zväžanie dreva, telefónnych stožiarov, lešení a tiež ako základové konštrukcie. Tieto výrobky sú cenovo priaznivé a ľahko obstarateľné. Pro projektovaní je potrebné zohľadniť ich špecifiká, hlavne v spojoch v súvislosti s trvanlivosťou spojov.

– Druhy drevín

Môžu byť použité všetky dostupné druhy – mäkké drevo (smrek, borovica, jedľa, červený smrek, duglaska) a tvrdé drevo (dub, buk, jelša, javor, agát, gaštan, atď.).

4.2 Rastené drevo

– Všeobecne

Rastené drevo (tiež „rezivo!“) sa získava rezaním kmeňov na prizmatické časti rôznych veľkostí. Po rezaní sú tieto časti vysušené na vlhkosť pod $u \leq 20 \%$ (podľa možnosti sa má dosiahnuť taká vlhkosť, akú bude mať daný prvok po zabudovaní). V závislosti od použitia je prvok niekedy hobľovaný.

Nevýhodou rasteného dreva je, že je náchylné na tvorbu trhlín a deformovanie sa počas procesu sušenia. Tento jav je objasniteľný – vlastnosti dreva sú rôzne v rámci priečného rezu: prvých 15-20 letokruhov má nižšiu hustotu, než neskôr narastená hmota. Ak chceme zabrániť vzniku trhlín, musia byť vnútorné časti kmeňov počas rezania na píle oddelené. Takýmto opatrením sa dosiahnu prierezy s väčšou rozmerovou stabilitou.

– Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti mäkkých drevín pri namáhaní tlakom a ťahom ako aj medza porušenia na ohyb sú vyššie pre prierezy, ktoré sú vybraté z okrajových častí kmeňa. Preto ak chceme dosiahnuť vyššiu pevnosť a tuhosť rasteného dreva, má byť toto vybraté z okrajových častí. Časti prierezu s vyšším šmykovým namáhaním môžu byť z vnútorných častí kmeňa (dôležité pri zhotovovaní lepeného lamelového dreva).

Rastené drevo je za normálnych okolností triedené vizuálne podľa národných noriem (napr. ÖNORM DIN 4074-1 v Rakúsku). Pre dosky použité na lepené lamelové drevo a dosky lešení sa používa aj strojové triedenie.

–



Rozmery

Rastené drevo sa podľa rozmerov po rezaní rozdeľuje na:

	hrúbka t / výška h	šírka b
Laty	$t \leq 40 \text{ mm}$	$b < 80 \text{ mm}$
Dosky	$t \leq 40 \text{ mm}$	$b \geq 80 \text{ mm}$
Fošne	$t > 40 \text{ mm}$	$b > 3t$
Hranoly	$b \leq h \leq 3b$	$b > 80 \text{ mm}$

Tab. 2 Rozmery typických prvkov z rasteného dreva a ich názvoslovie podľa ÖNORM DIN 4074-1

Hranoly (v strednej Európe) sa vyrábajú do dĺžky 16 m v odstupňovaní po 0,5 m. Prierezy sú odstupňované po 20 mm až do veľkosti 200/240 mm. Štandardná dĺžka fošien, dosiek a lát (v strednej Európe) je 4,0 m. Dostupné dĺžky sú od 1,5 m do 6,0 m. V ostatných častiach Európy môžu byť rozmery iné.

– Použitie

Pri projektovaní drevených konštrukcií sa používa rastené drevo pre všetky typy nosných prvkov ako sú stĺpy, nosníky, väznice a iné nosné prvky. Vo všeobecnosti sú uvedené rozmery dostatočné pri prvkoch debnenia a vo všetkých oblastiach stavebníckeho priemyslu.

Fošne sa používajú ako nosné prvky podláh lešení, balkónov a strešných rovín, ako aj na výrobu priehradových nosníkov spájaných ocelovými doskami s prelisovanými hrotmi.

Dosky sa používajú na strešné konštrukcie alebo debnenia striech, ako vrchná vrstva podláh balkónov, terás a pod.

Laty sa vo všeobecnosti používajú ako podkladové konštrukcie podláh, na strešné konštrukcie a fasády.

V drevených konštrukciách môžu byť laty a dosky použité aj pri škrupinových konštrukciách.

– Druhy drevín

V Európe sa používajú predovšetkým smrek, borovica, jedľa, červený smrek a duglaska. Postupne stále viac sú používané tiež dub, buk, jelša a agát.



4.3 Drevo so špeciálnymi vlastnosťami

4.3.1 KVH[®] - konštrukčné drevo (nemecky „Konstruktionsholz“) s klinovým spojom alebo bez klinového spoja

– Všeobecne

Rezivo so špeciálnymi vlastnosťami, pomenované ako KVH, je vyrábané stále vo väčších objemoch. V dôsledku horšej kvality (predovšetkým nedostatočné vysušenie) ponúkaného reziva sa pri konci minulého storočia dohodli piliarske závody a tesárske organizácie na zaistení kvality vyrábaním nového výrobku, označeného ako KVH. Vyrábaný produkt má vlhkosť $u = 15 \pm 3 \%$, má definovanú povrchovú kvalitu (v Nemecku sa rozlišuje opracovanie povrchu pre viditeľnú a neviditeľnú (spravidla zakrytú obkladom) konštrukciu. Tento materiál má šandarizované rozmery (označené ako „uprednostňované“ rozmery) a je označený KVH. KVH[®] je normovaný výrobok.

Rezivo požadovaných parametrov sa spája klinovým spojom (podľa EN 386). Aby sa zlepšila spoľahlivosť drevenej konštrukcie, bol vyvinutý ďalší produkt (GLT[™]). Každý prvok z tohoto materiálu je skôr, než sa dostane do predaja, skúšaný na ťah.

– Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti sú porovnateľné s vlastnosťami reziva. Bežne je KVH[®] zaradené do nemeckej triedy pevnosti S10, podľa DIN 4074 (C24 podľa EN 338). Zriedkavo je zaradené do triedy pevnosti C30.

– Rozmery

Zodpovedajúce šandarizované rozmery pre KVH[®] a GLT[™] sú uvedené v Tabuľke 3.

KVH a GLT	Výška [mm]					
Šírka [mm]	120	140	160	180	200	240
60	✓	✓	✓	✓	✓	✓
80	✓	✓	✓	✗	✓	✓
100	✓	✗	✗	✗	✓	✗
120	✓	✗	✗	✗	✓	✓
✓ dostupné ako štandardný prierez ✗ nedostupné ako štandardný prierez						

Tab. 3 Uprednostňované rozmery KVH[®] a GLT[™]

Dostupné sú rôzne dĺžky. Pre nelepené prvky sú dĺžky do 5 m, pre prvky spájané klinovým spojom sú bežne dostupné dĺžky do 14 m. Na objednávku sú možné dĺžky do 18 m.



– Použitie

Použitie je podobné ako pri rezive – stĺpy, nosníky, väznice, atď. Prvky sa používajú aj ako viditeľné časti konštrukcie v interiéri a v konštrukcii krovu.

– Druhy drevín

Za normálnych okolností sú prvky zhotovované zo smreka. Na výrobu KVH[®] und GLT[™] môžu byť použité aj borovica, jedľa a červený smrek.

DUO-/TRIO - Nosníky

– Všeobecne

DUO- a TRIO- nosníky sú zložené z dvoch a troch častí reziva – v niektorých prípadoch KVH[®], ktoré sú na širšej strane lepené tak, aby jadrové drevo bolo na vonkajšej strane (podobne ako výroba lepeného lamelového dreva). Výhoda takéto usporiadania spočíva v tom, že proces vysychania dreva prebieha na relatívne malom priereze, pričom KVH[®] je dostupné pre väčšie prierezy.

Vzhľadom na pomerne veľké lepené plochy, ktoré vyvolávajú pri zmenách vlhkosti vnútorné napätia v priereze, sa používajú – DUO- a TRIO nosníky iba v triedach použitia 1 a 2.

– Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti sú pre KVH[®] a rezivo rovnaké. Na základe skutočnosti, že pri DUO- und TRIO- nosníkoch sú súčasne zaťažované dve alebo tri časti jedného prierezu, môže sa tento efekt zohľadniť.

– Rozmery

Prípustné rozmery sú dané rozmermi jednotlivých častí, z ktorých je prierez zložený. V tabuľkách 4 a 5 sú uvedené štandardné rozmery. Dostupné sú dĺžky do 18 metrov.

– Použitie

DUO- und TRIO- nosníky rozširujú použitie KVH[®] a reziva (kvôli veľkým prierezom). Vo všeobecnosti môžu byť prvky z KVH[®] a reziva použité rovnako.

– Druhy drevín

DUO- und TRIO- nosníky sú za normálnych okolností zhotovované zo smreka.



Duo-Nosníky		Výška h [mm] (zvislý lepený spoj)							
		100	120	140	160	180	200	220	240
Šírka b [mm] (zvislý lepený spoj)	80	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓
	100	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓
	120	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	140	x	x	✓	x	x	✓	x	x
	160	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x
✓ dostupné ako štandardný prierez x nedostupné ako štandardný prierez									

Tab. 4 Upredňované rozmery DUO- Nosníkov

Trio-Nosníky		Výška h [mm] (zvislý lepený spoj)							
		100	120	140	160	180	200	220	240
Šírka b [mm] (zvislý lepený spoj)	180	x	x	x	x	✓	✓	✓	x
	200	x	x	x	✓	x	✓	x	x
	240	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x
✓ dostupné ako štandardný prierez x nedostupné ako štandardný prierez									

Tab. 5 Upredňované rozmery TRIO- Nosníkov



5 Literatúra

- [1] Madsen, B.;
'Structural behaviour of timber',
Amer Society of Civil Engineers, 1995

- [2] Glos, P.;
'Strength grading',
Kapitola A6, 'STEP 1 – Holzbau; Erste Ausgabe, Centrum Hout, Niederlande, 1995

- [3] Schickhofer, G.; et.al.
'Holzbau – Der Roh- und Werkstoff Holz, Part A',
Skriptum, Institute für Holzbau und Holztechnologie, Graz Technische Universität /
Österreich, Graz/Österreich, 2004

- [4] Augustin, M.;
'Eine zusammenfassende Darstellung der Festigkeitssortierung von Schnittholz',
Diplomarbeit, Institut für Stahl, Holzbau und Flächentragwerke, Graz Technische Uni-
versität / Österreich, Graz/Österreich, 2004

Kapitulu 3 spracoval DI M. Augustin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz / Rakúsko.



Kapitola č. 4

LEPIDLÁ

1 Úvod

Použitie dreva a stavebného dreva bez ďalších dodatočných opatrení je vzhľadom na prirodzene dané rozmery obmedzené na relatívne malé dĺžky a malé prierezy. Jedna z možností, ako sa dajú tieto obmedzenia eliminovať, je spájanie dvoch alebo viacerých častí lepením.

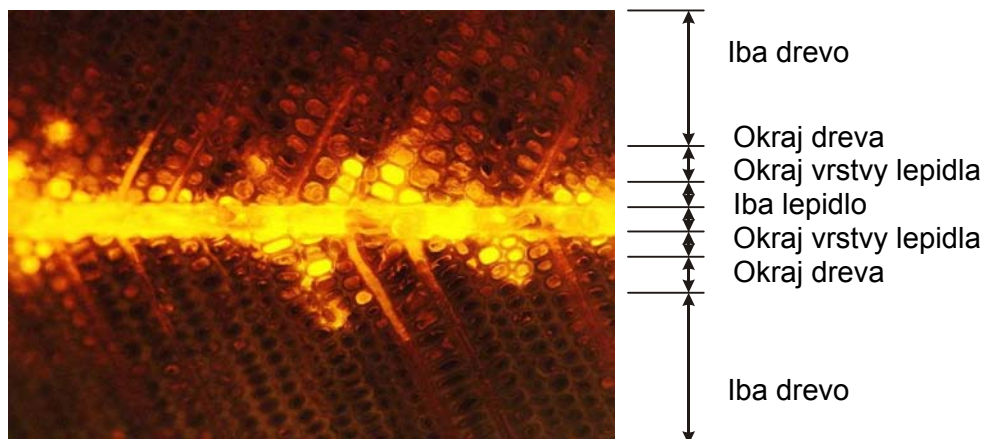
Lepidlo je nemetalický – vo väčšine prípadov organický – materiál, ktorý spája pevné časti bez zásahu do ich štruktúry. Toto spojenie je vyrobené bez mechanických spojovacích prostriedkov a spojené časti vytvárajú jeden celok. Pri pôsobení zaťaženia sa lepený prvok správa ako jeden celok.

V týchto spojoch má lepidlo za úlohu vyplniť medzery medzi spájanými časťami, aby vznikol jeden celok, ktorý je rovnako pevný a odolný, ako samotné spájané časti. Lepené plochy musia zároveň vykazovať dostatočnú trvanlivosť, aby kvalita spoja neovplynila plánovanú životnosť konštrukcie.

Na začiatku procesu lepenia musí byť lepidlo tekuté. Pri nanášaní lepidla je dôležité, aby lepená plocha bola pokrytá súvislou vrstvou lepidla. Na zabezpečenie rovnomerného rozdelenia lepidla po celej lepenej ploche sa používa primeraná tlaková sila. Po určitom čase lepidlo vytvrdne, pričom musí vykazovať dostatočnú pevnosť a trvanlivosť aj bez vnášanej tlakovej sily. Tento proces sa nazýva vytvrdzovanie a tuhnutie. Počas vytvrdzovania a tuhnutia prebiehajú v lepidle fyzikálne a chemické procesy, prípadne kombinácia oboch. Pre lepidlá používané na lepenie drevených prvkov sú to predovšetkým chemické procesy, pretože lepidlá tvrdnúce na základe fyzikálnych procesov majú pri pôsobení zaťaženia tendenciu veľkých pretvorení, čo je nežiadúci jav.

Pri lepení preniká tekuté lepidlo do buniek dreva, ktoré sú na okraji lepenej plochy. Pri vytvrdzovaní lepidla vzniká „zazubenie“ medzi lepenými plochami a lepidlom (pozri obr.1). Únosnosť lepeného spoja je definovaná adhéziou a kohéziou lepidla a dreva. Je závislá na mnohých faktoroch, z ktorých najdôležitejšie sú: spájaný materiál (kvalita a priepustnosť lepenej plochy, orientácia vlákien), typ lepidla a jeho vlastnosti, prostredie (teplota a vlhkosť), doba spracovateľnosti lepidla, čas montáže, vyvolaný lisovací tlak, trvanie vyvolaného tlaku, geometria lisovaného prvku (priamy, zakrivený).

Ďalej je dôležité, aby pevnosť samotného lepidla bola vyššia, ako je pevnosť spájaných drevených častí.



Obr. 1 Detail lepenej škáry - použité PUR –lepidlo, fluorescenčná mikroskopia
(Obrázok od: Dr. K. Richter, EMPA Dübendorf / CH)

V dôsledku veľkej šírky lepenej škáry sú požiadavky na lepidlá pre inžinierske konštrukcie z dreva iné, než požiadavky na lepidlá pre lepenie nenosných častí (napr. okná, nábytok, drevené podlahy, atď.).

Pri výbere lepidla musia byť zohľadnené a koordinované všetky parametre výroby. To znamená vplyvy teploty, dĺžky zaťaženia, vlhkosti vzduchu, atď. V Eurokóde 5 sú tieto podmienky definované v triedach použitia.

2 Klasifikácia lepidiel podľa Eurokódu 5

Predpisy pre lepidlá používané na účely stavebníctva v rámci Eurokódu 5 sú definované v EN 301 „Lepidlá pre nosné konštrukcie: Klasifikácia a použitie“. Kontrolné štandardy sú definované v EN 302 (Časť 1-7). Tieto požiadavky sú zamerané iba na fenolové a aminoplastické lepidlá.

V spomenej norme sú lepidlá rozdelené na:

Typ I – Lepidlá

(môžu sa používať v exteriéri a nad 50° C.)

Typ II – Lepidlá

(môžu sa používať iba vo vykurovaných a vetraných priestoroch chránených voči vplyvom počasia. Je dovolené iba krátko vystaviť vplyvom počasia alebo teplote nad 50° C.)

Podľa EN 1995 sú pre nosné prvky v súčasnosti povolené iba lepidlá spĺňajúce požiadavky EN 301.

Lepidlá na lepenie materiálov na báze dreva, ktoré majú byť nosnými časťami (napr. preglejky, OSB, vláknité dosky, atď.) podliehajú špeciálnym požiadavkám.



3 Druhy lepidiel používaných na lepenie inžinierskych konštrukcií

3.1 Všeobecne

Na zhotovovanie lepených spojov je na trhu veľmi široká ponuka lepidiel. Pre nosné konštrukcie sa vo všeobecnosti používajú fyzikálne vytvrdzovadlá. Charakteristikou tejto skupiny je skutočnosť, že proces vytvrdzovania je riadená chemická reakcia jednotlivých komponentov. Podľa typu chemickej reakcie (polykondenzácia, polyadícia a polymerizácia) sa rozdeľujú aj typy lepidiel na jednotlivé podskupiny.

Tieto podskupiny sú v nasledovnom popísané so svojimi najdôležitejšími vlastnosťami.

3.2 Lepidlá založené na polykondenzácii

Všeobecné vlastnosti pre tieto typy lepidiel:

- pomerne dlhý čas lisovania a vytvrdzovania
- sú krehké
- vznikajú napätia zo zmrašťovania
- dostatočne vypĺňajú lepené škáry
- možné poškodenie vlákien dreva
- ekonomické (UF)
- dlhoročné skúsenosti
- emitujú formaldehyd

Reprezentanti podskupiny:

- Rezorcínformaldehyd (RF): Typ I
- Fenolrezorcínformaldehyd (PRF): Typ I
- Melamínformaldehyd (MF): Typ I
- Melamínureaformaldehyd (MUF): Typ I
- Ureaformaldehyd (UF): Typ II

3.3 Lepidlá založené na polyadícii

Reprezentanti podskupiny:

- Emulzia-Polymér-Isokyanát (EPI): Type I
- Jednozložkové -polyuretánové (1C-PUR): Typ I

Všeobecné vlastnosti pre tieto typy lepidiel:

- krátky čas tvrdnutia
- menší lisovací tlak



- vyššia elasticita spoja
- nepoškodzuje vlákna dreva
- drahšie, ale výhodnejšie použitie (menšia spotreba)
- môžu sa používať vo vlhšom prostredí
- žiadne formaldehydové emisie

- Epoxidové lepidlá

Všeobecné vlastnosti pre tento typ lepidiel:

- dvojzložkový systém
- rýchlo chemicky reagujúce
- menší lisovací tlak
- nepoškodzuje vlákna dreva
- krehké
- drahé, spravidla sa používa pri rekonštrukciách
- dobre vypĺňa medzery

4 Typy lepených spojov pre prvky v stavebníctve

V závislosti od geometrickej polohy lepeného spoja a od jeho účelu sa lepené spoje rozdeľujú na:

4.1 Paralelné spoje

V tomto type spoja musia byť prenesené napätia oboch spájaných častí - šmykové napätia paralelné k vláknam a normálové napätia kolmo k vláknam. Certifikované lepidlá spravidla spĺňajú tieto požiadavky bez problémov. Napätostné zmeny vplyvom zmien vlhkosti (napučovanie a zosychanie) sú v smere vlákien malé.

Praktickými príkladmi pre tento typ spoja sú široké plochy (spájanie po šírke) pri výrobe lepeného lamelového dreva (pozri kapitolu 5) a lepenie užších strán dosiek pri výrobe škárovky (pozri kapitolu 6).

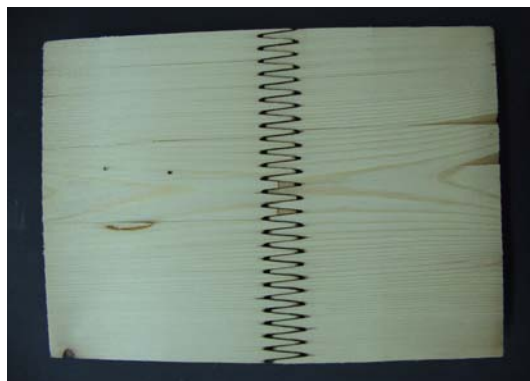


Obr. 2 Aplikovanie lepidla a lisovanie lepeného lamelového dreva

4.2 Spoje koncov prierezov

Pevnosť tohoto typu lepeného spoja musí byť vyššia ako je pevnosť spájaného materiálu. Malá pevnosť lepidiel neumožňuje výrobu tupých spojov – prinajmenej nie pre vonkajšie lamely – pre stavebné účely. Tento problém je vyriešený transferom normálových napätí na šmykové napätia vytvorením šikmých lepených plôch. Toto je dosiahnuté spravidla vytvorením klinových spojov. V ideálnom prípade je šmyková únosnosť spoja rovnako veľká ako ťahová únosnosť spájaného materiálu. Keďže pomer šmykového a ťahového napätia je približne 1:10, mala by byť lepená plocha 10-krát väčšia ako je plocha dreveného prierezu.

Keďže obe časti sú osadené v rovnakom smere, nevyskytujú sa v spoji problémy súvisiace so zmenou vlhkosti (napučovanie a zosychanie).



Obr. 3 Pohľad na klinový spoj zboku (vľavo) a zhora (vpravo)

4.3 Krížové spoje

V tomto type spoja je lepidlo zaťažené šmykovým napätím rovnobežne s vláknami a ťahovým napätím kolmo na vlákna. Certifikované lepidlá sú spravidla schopné preniesť dané zaťaženie, avšak pribúdajú pomerne veľké napätostné zmeny vplyvom zmien vlhkosti (napučiavanie a zosychanie). Tento jav musí byť pri navrhovaní takýchto spojov zohľadnený.



Obr. 4 Krížový spoj pre CLT a latovku



5 Výroba lepených spojov

Výrobu lepených spojov možno rozdeliť na nasledovné kroky:

- Sušenie drevených častí na vlhkosť, ktorá je očakávaná pre daný prvok v konštrukcii. Táto vlhkosť musí byť v zhode s vlhkosťou, pri ktorej sa môže lepidlo používať.

- Vizuálne lebo strojové triedenie dreva.

- Opracovanie lepených plôch – spravidla hobľovanie. Tento proces prebieha bezprostredne pred samotným lepením, aby sa zabránilo nežiadúcemu zaprášeniu alebo znečisteniu lepených plôch. Nástroje na opracovanie musia byť ostré, aby lepená plocha nebola poškodená.

- Miešanie a nanášanie lepidla. V závislosti od použitého lepidla musia byť splnené požiadavky, týkajúce sa vlhkosti a teploty prostredia vo výrobnom priestore.

- Lisovanie – vnesenie dostatočného lisovacieho tlaku (závisí od typu výrobku – napr. pre lepené lamelové drevo je to 3 – 5 N/mm²) na lamely, aby jednotlivé spájané plochy boli v kontakte dovtedy, kým lepidlo nedosiahne určitú pevnosť. Podľa druhu lepidla je predpísaná aj dĺžka trvania lisovania.

- Doprava do priestoru, kde lepidlo dostatočne vytvrdne. V niektorých prípadoch sa používa na urýchlenie vytvrdzovania aj zohrievanie alebo iné techniky (napr. ultravysokofrekvenčné metódy).

- Úprava bočných plôch lepeného lamelového dreva a rezanie na požadované rozmery.

- Balenie a logistika.

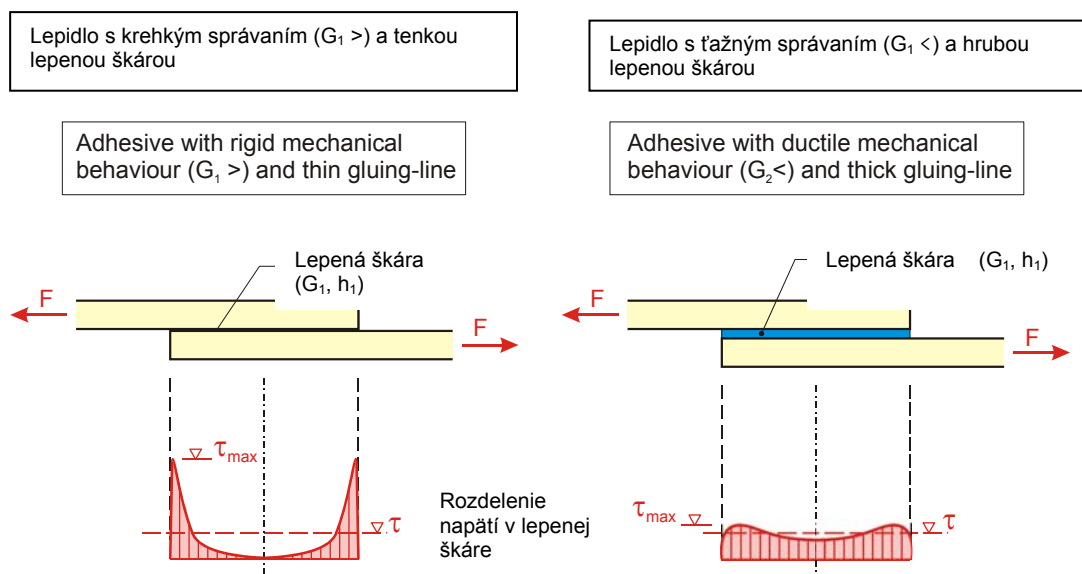
6 Stavba a mechanizmy lepených spojov

Pri návrhu lepených spojov musia byť zohľadnené viaceré faktory a parametre, ovplyvňujúce pevnosť vyrábaných spojov. Parametrami sú napr.: vlhkosť dreva, veľkosť a smer pôsobenia zaťaženia, spôsob použitia lepeného prvku a predpokladaná životnosť.

Vzhľadom na mechanické správanie lepených spojov sa rozlišujú tuhé a elastické vlastnosti.

V tenkých tuhých vrstvách lepidla, ktoré sú namáhané šmykom, vznikajú na koncoch spoja napätostné špičky. To sú zároveň miesta, kde v prípade vzniku trhliny začínajú. Oblasť stredu lepených spojov prenášajú len malú časť zaťaženia. To znamená, že zväčšenie lepených plôch vedie iba k malému zväčšeniu únosnosti spoja.

V protiklade k napätostným špičkám v lepených plochách sa pri použití lepidiel s duktilným správaním dá dosiahnuť viacmenej rovnomerné rozdelenie napätí. Lepené plochy sú lepšie využité, čo vedie k zvýšeniu únosnosti spoja vplyvom zväčšenia lepenej plochy.



Obr. 1 Rozdelenie šmykových napätí v lepenej škáre pre tuhé a duktilné lepidlá

Lepené plochy sú v inžinierskych konštrukciách spravidla tenké (tenké $< 0,1 \text{ mm} <$ hrubé). Typ správania je možné regulovať hrúbkou lepenia a vytvoriť tak kvázi tuhý spoj.



7 Literatúra

- [1] Raknes, E.;
'Adhesives',
Kapitola A12 zo 'STEP 1 – Timber Engineering; Prvé vydanie, Centrum Hout,
Holandsko, 1995
- [2] Schickhofer, G.; et.al.
'Holzbau – Der Roh- und Werkstoff Holz, Part A',
Skriptum, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz /
Rakúsko, Graz/ Rakúsko, 2004
- [3] Dunky, M.; Niemz, P.;
'Holzwerkstoffe und Leime – Technologie und Einflussfaktoren',
Springer, Berlin-Heidelberg, Nemecko, 2002
- [4] Chaudhary, M.; Pocius, A.V.; (Ed.)
'Adhesion Science and Engineering, Volume 1: The Mechanics of Adhesion',
Elsevier Science B.V., Amsterdam, Holandsko, 2002
- [5] Chaudhary, M.; Pocius, A.V.; (Ed.)
'Adhesion Science and Engineering, Volume 2: Surfaces, Chemistry and Applications',
Elsevier Science B.V., Amsterdam, Holandsko, 2002
- [7] Packham, D.E.; (Ed.)
'Handbook Adhesion',
Druhé vydanie, John Wiley & Sons, West Sussex, UK, 2005
- [8] Davis, G.;
'The performance of adhesives systems for structural timbers',
Paper, International Journal for Adhesion and Adhesives,
Vol. 17 (1997), Nr. 3, p. 247 – 255
- [9] Richter, K.;
'Gluing technologies and properties of GLT',
Präsentation, 1. GraHSE 2007, Institut für Stahl, Holzbau und Flächentragwerke,
Technische Universität Graz / Rakúsko, Graz/ Rakúsko, 2007

Kapitola 4 spracoval DI M. Augustin, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz / Rakúsko.



Kapitola 5

LEPENÉ LAMELOVÉ DREVO

1 Úvod

1.1 História

Lepené laminované drevo alebo lepené lamelové drevo je jedným z najstarších produktov používaných v inžinierskych drevených konštrukciách a je ešte stále konkurencieschopným materiálom na stavbu moderných konštrukcií. Lepené lamelové drevo (ďalej iba LLD) je vyrobené z drevených dosák, ktoré sú zlepené tak, že vytvárajú priečny rez požadovaného tvaru.

Lepené konštrukcie boli používané storočia, avšak myšlienka lepeného lamelového dreva sa objavila až na začiatku 20. storočia. Nemec Otto Hetzer si nechal patentovať zakrivené lepené prvky, ktoré sú zložené z lamiel a vzájomne pod tlakom spolu nerozoberateľne zlepené. Hetzer objavil jedinečnú techniku, ktorou sa dali vyrobiť väčšie prierezy než z reziva a dali sa použiť na väčšie konštrukcie.

Do začiatku 60-tych rokov bola produkcia pomerne malá, od tohoto obdobia však stále narastá, predovšetkým vďaka rozvoju technologických zariadení a vývoju lepidiel, čo viedlo (a vedie) k lepšiemu využitiu prírodných materiálov.

1.2 Prehľad

Lepené lamelové drevo sa zhotovuje lepením jednotlivých častí – lamiel v predpísaných podmienkach. Lamely sú orientované tak, že pozdĺžne vlákna lamiel sú zhodné s pozdĺžnym smerom prvku. Toto je v protiklade s krížom usporiadanými lamelami v laminátových a preglejkových výrobkoch, kde sú vrstvy ukladané striedavo – jedna paralelne, ďalšia kolmo k pozdĺžnemu smeru. O takýchto materiáloch bude pojednávať nasledujúca kapitola.

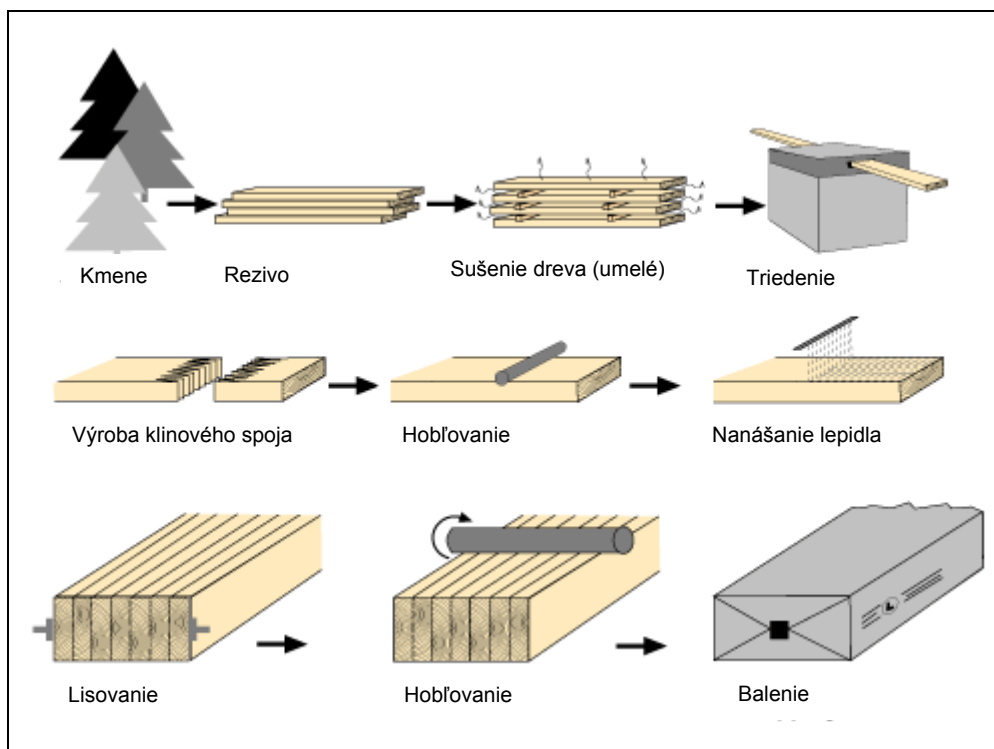
Proces výroby LLD v kombinácii s modernými technikami lepenia vytvára z LLD stavebný materiál vysokej kvality s jedinečnými vlastnosťami. V porovnaní s rasteným drevom dosahujú prvky z LLD vyššie pevnostné a aj tuhostné parametre a môžu byť vyrábané v takmer každom tvare.

Vďaka flexibilita a prispôsobivosti tvaru je LLD používané vo veľmi širokej škále konštrukcií, predovšetkým však pre halové stavby s veľkými rozpätiami.

2 Výroba lepeného lamelového dreva

2.1 Proces výroby

Proces výroby LLD je vo všetkých krajinách veľmi podobný. Na obr.1 je schématické znázornenie výroby LLD.



Obr. 1 Skica výrobného procesu LLD
(Zobrazené s povolením Svenskt Limträ AB)

LLD sa dá v princípe vyrábať z každej drevinu, ak sú pre danú drevinu vyvinuté vhodné lepidlá. V praxi sa na výrobu LLD používajú predovšetkým mäkké drevinu, pretože lepenie tvrdých drevín je výrazne problematickejšie. Najrozšírenejšou drevinou na výrobu LLD je smrek.

- Dosky alebo lamely priemernej hrúbky 40-50 mm a dĺžky 1,5-5,0 m sú privezené zo skládky. Na zakrivené nosníky sa používajú tenšie lamely - 20-30 mm.
- Lamely sa sušia na jednotnú predpísanú vlhkosť, ktorá sa pohybuje od 8 do 15 %. Rozdiel vlhkosti dvoch susedných lamiel nesmie byť vyšší ako 5 %. Používané lepidlá dovoľujú vlhkosť dreva maximálne 15 %. Pevnosť lepenej škáry je potom optimálna a približne zhodná s vlhkosťou hotovej konštrukcie, čím sa dá predchádzať vzniku vysušných trhlín v dreve.
- Vysušené lamely sa triedia vizuálne alebo strojovo do pevnostných tried. Použitie strojového triedenia umožňuje presnejšie triedenie, čo má za následok väčší podiel



vyšších pevností. Odstupňovanie podľa pevnostných tried umožňuje použiť v jednom priereze lamely rovnakej pevnosti, čím sa vyrobí „homogénne LLD“. Pre ešte výhodnejšie využitie pevnostného triedenia sa dajú vyrobiť lepené prvky tak, že lamely vyšších pevností sú umiestnené na vonkajších častiach priečného rezu, kde očakávame väčšie namáhanie a v strede priečného rezu sú lamely nižších pevností. V takomto prípade hovoríme o „kombinovanom LLD“. Je preto dôležité, aby bol Vo výrobní dostatok skladovacieho priestoru aspoň na dve pevnostné triedy lamiel.

- Lamely sú po dĺžke spájané klinovými spojmi. Zubový spoj je vytvorený frézou, potom je na plochu spoja nanosené lepidlo a spoj je pod tlakom minimálne dve sekundy. Lamela sa reže potom na príslušnú dĺžku. Takto pripravená lamela ostáva minimálne osem hodín bez ďalšieho spracovania, v tomto čase vytvrdzuje lepidlo v klinovom spoji.
- Po vytvrdnutí klinového spoja sa lamely hoblujú – jednak sa vytvára hladká plocha na lepenie a jednak sa hoblujú prípadné nerovnosti v zubovitom spoji.
- Na hornú plochu lamiel je nanášané lepidlo, lamely sa skladajú na požadovanú veľkosť prierezu. Pri zhotovovaní kombinovaného LLD je potrebné dávať pozor na orientáciu lamiel vyššej a nižšej pevnosti v priereze. Na elimináciu vnútorných napätí v priereze sú lamely osadzované tak, aby priebeh letokruhov bol na každej lamele v rovnakom smere. Jedine posledná lamela má jadrovú časť na vonkajšej časti prierezu.
- Zlepené lamely sú následne lisované. Vyvodenie lisovacieho tlaku musí prebehnúť skôr, než začne lepidlo tvrdnúť, čo je približne do jednej hodiny po jeho nanesení. Presný čas začiatku tvrdnutia závisí od typu lepidla a od teploty prostredia. Pri zakrivených prvkoch sa vytvára najskôr tvar prvku a až potom sa prvok lisuje. Lepidlo tvrdne pri predpísaných a kontrolovaných vlhkosťných a teplotných podmienkach (spravidla pri vlhkosti vzduchu 65 % a pri teplote 20 °C). Priame prvky sa môžu alternatívne vyrábať pri kontinuálnom vysokofrekvenčnom lisovaní.
- Po vytvrdnutí lepidla sa odstráni lisovací tlak a lepené prvky sa hoblujú po stranách, čím sa odstraňuje po bokoch vytlačené lepidlo a zároveň sa vytvára hladká plocha. Nasleduje finalizácia výroby, kedy sa konkrétny prvok pripravuje na montáž (napr. vŕtanie otvorov pre spojovacie prostriedky, nanášanie ochranných alebo farebných náterov). Pred zabalením je prvok ešte raz skontrolovaný a označený. Zabalený prvok ide buď do skladu hotových výrobkov alebo je priamo transportovaný na stavbu.

Teoreticky je možné vyrobiť prvky z LLD takmer všetkých rozmerov. Prakticky je veľkosť prvkov z LLD obmedzená možnosťami transportu a možnosťami výrobcu. Ďalším z obmedzení je čas začiatku tvrdnutia lepidla po jeho nanesení.

2.2 Kontrola kvality výroby

Kontrola kvality výroby je dôležitou súčasťou produkcie LLD. Pozostáva z internej časti, ktorú realizuje výrobca a z externej časti, ktorú robí externá nezávislá osoba. Kontrola kvality

obsahuje skúšky priehybu a ťahové skúšky zubovitých spojov a skúšky delaminácie alebo šmykové skúšky na kontrolu integrity lepených škár.

Výrobca musí proces výroby kontrolovať (FPC) a vytvoriť koncept skúšania výrobkov a skúšky aj uskutočňovať. Zároveň je produkcia kontrolovaná aj treťou nezávislou osobou, ktorá kontroluje výrobu priamo u výrobcu. Prevádzanie kontroly kvality podľa európskych štandardov umožňuje následne tieto výrobky označiť značkou CE:

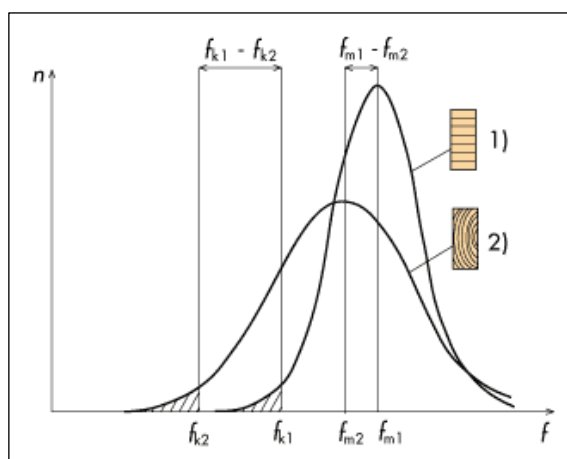
- EN 301: Lepidlá pre nosné drevené prvky (fenolové a aminoplastické)
- EN 385: Klinové spoje v dreve pre stavebníctvo
- EN 386: Lepené lamelové drevo

3 Vlastnosti

3.1 Materiálové vlastnosti

3.1.1 Pevnosť a tuhosť

LLD má vo všeobecnosti tie isté pevnostné vlastnosti ako bežné rezivo. Pevnosť závisí od uhla medzi pôsobiacim zaťažením a vláknami dreva, od vlhkosti a od dĺžky trvania zaťaženia. LLD vykazuje vyššie pevnosti a tuhosti ako rovnako veľký prierez z reziva, pretože rozptyl pevnosti je menší. Nehomogenity, ktoré sa nachádzajú v rezive (napr. poruchy rastu) sú počas výroby LLD z lamiel odstránené alebo sú v hotovom výrobku rovnomernajšie rozdelené, takže vplyv možných nehomogenít je v porovnaní s rezivom v LLD menší.



Obr. 2 Početnosť rozdelenia pevnosti pre LLD a rezivo
(Zobrazené s povolením Svenskt Limträ AB)

Ako príklad je na obr. 2 uvedené štatistické rozdelenie pevností pre LLD a rezivo. Prvky zhotovené z LLD majú vyššiu priemernú pevnosť a menší rozptyl pevnostných vlastností ako



tomu odpovedajúce prvky z reziva. „Laminovací efekt“ sa zvyčajne objasňuje na tomto príklade.

Kritickým pre pevnosť reziva je pevnosť najslabšieho miesta – zvyčajne v hrči (suku) alebo podobnom mieste. Rozdiel medzi jednotlivými doskami je preto veľký. V nosníku z LLD sú lamely s rôznymi pevnosťami pomiešané a preto je riziko, že na jednom mieste v priereze sa budú nachádzať viaceré veľké nehomogenity, veľmi malé. Rozdelenie zaťaženia na jednotlivé lamely v LLD umožňuje lokálne prerozdelenie napätí z oslabených miest na miesta s vyššou pevnosťou.

Tento efekt sa často zohľadňuje v bezpečnosti alebo pri materiálových súčiniteľoch, ktoré sa používajú pri dimenzovaní. V Eurokóde 5 je súčiniteľ materiálu, ktorý zohľadňuje neistoty modelu a variácie priečného rezu, redukovaný na 1,25, zatiaľ čo pre rezivo je jeho hodnota 1,3.

3.1.2 Veľkostný efekt

S LLD a veľkosťou prierezu súvisí pojem „veľkostný efekt“. Nosníky z LLD, ktoré boli skúšané v laboratórnych podmienkach, vykazovali typické náhle poruchy podobné krehkému lomu. Tieto boli pozorované v miestach nehomogenity prierezu (hrče) alebo v miestach klinových spojov na ťahanej strane prierezu. Keďže pravdepodobnosť, že v nosníku sa takéto miesto nachádza, rastie s veľkosťou prierezu, je únosnosť veľkého prierezu spravidla menšia ako únosnosť malého prierezu. Tento efekt bol skúmaný veľa rokov.

Podľa Eurokódu 5 sa vplyv veľkosti prierezu z LLD na pevnosť zohľadňuje. Charakteristické hodnoty pevnosti v ohybe sa môžu pre prierezy nižšie ako 600 mm zvýšiť nasledovným súčiniteľom:

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1 \quad (h \text{ v mm})$$

3.1.3 Pomer pevnosti k hmotnosti

V porovnaní pevnosti k vlastnej tiaži je LLD pevnejšie ako oceľ. Dôsledkom veľkého pomeru medzi pevnosťou a vlastnou tiažou sú možné konštrukcie na veľké rozpätia. To znamená, že nosníky z LLD si vyžadujú menej medziľahlých podpôr.

3.1.4 Chyby sušenia

Pri výrobe LLD by mali byť jednotlivé lamely vysušené na vlhkosť približne 12 %, ktorú majú mať pred lepením. Obmedzená hrúbka lamiel umožňuje rovnomerné sušenie, čím sú chyby sušenia minimalizované. Vlhosť dreva v konštrukciách v interiéroch je približne 9 až 12 %, čo je vlastne vlhkosť LLD dosiahnutá vo výrobe.

3.1.5 Chemická odolnosť

Drevo a syntetické lepidlá, ktoré na pri výrobe LLD používajú, vykazujú vysokú chemickú odolnosť. Preto je LLD ideálnym materiálom na konštrukcie, kde pôsobí agresívne prostredie.



3.1.6 Tlaková impregnácia

Ochrana dreva pred hubami a mikroorganizmami je riešená predovšetkým v projektovaní detailov. Ako doplnenie môže byť drevo ešte tlakovo impregnované, kde sa používajú dve rôzne metódy. Lamely môžu byť impregnované buď po lepení alebo pred lepením. Pri impregnovaní po lepení musí byť lepidlo schopné zniesť tlakovú impregnáciu, získava sa však celistvá impregnovaná plocha. Táto metóda sa používa v prípadoch, kedy rozmery a tvar prvku dovoľujú jeho umiestnenie v zariadení na tlakovú impregnáciu. Druhá metóda - impregnovanie pred lepením je možné vtedy, ak sú naimpregnované časti schopné lepenia, čo závisí jednak od typu lepidla a jednak od lepeného prvku.

3.1.7 Lepidlá

Na výrobu konštrukcií z LLD sa môžu používať iba povolené lepidlá vysokej pevnosti a dobrej trvanlivosti. Smernice pre lepidlá sú uvedené v norme EN 301, ktorá rozlišuje dva typy lepidiel – typ I a typ II. Lepidlá typu I môžu byť použité v konštrukciách všetkých tried prostredia, lepidlá typu II sa môžu používať iba v triedach použitia 1 a 2.

Tradične sú používané rezorcínové lepidlá, ktoré sú charakteristické tmavou červeno-hnedou farbou. V ostatných rokoch sa stáva obľúbenejším používanie malamínových lepidiel, predovšetkým pre ich svetlú farbu, takže lepená škára nie je taká zreteľná. Obidve lepidlá patria do typu I, ktorý je prípustný pre všetky triedy prostredia, napr. v interiéri a aj exteriéri. V súčasnosti je dovolené pre výrobu LLD používať aj polyuretánové lepidlá (PU). Sú zaradené do typu II a sú bezfarebné.

3.1.8 Požiarna odolnosť

LLD tak ako rezivo má dobrú požiarnu odolnosť, ktorá sa zväčšuje so zväčšovaním prierezu. Lepené spoje sú rovnako odolné voči účinkom požiaru ako samotné drevo.

3.1.9 Hospodárnosť

LLD je z hľadiska ceny konkurencie schopné v porovnaní s inými materiálmi. Malá hmotnosť LLD znižuje montážne a dopravné náklady a má tiež pozitívny vplyv na cenu základových konštrukcií. Zakrivené prvky sa dajú z LLD vyrábať cenovo výhodnejšie, než z iných materiálov.

3.1.10 Životné prostredie a vstupné energie

Výroba LLD spotrebováva málo energie. Surovina je kontinuálne obnoviteľná. Získava sa z prirodzeného kolobehu života a po použití sa môže zhodnotiť bez negatívnych dopadov na životné prostredie.

Ak je cieľom získať optimálny produkt, ktorý vychádza z obnoviteľnej suroviny, je LLD jedným z najlepších materiálov vo vzťahu k životnému prostrediu. Na jednej strane jeho vysoká pevnosť a jej malé odchýlky v porovnaní s rezivom a na druhej strane možnosť výroby veľkých dielcov znamenajú hospodárne použitie dreva ako stavebného materiálu.

3.2 Mnohotvárnosť

3.2.1 Tvar a veľkosť

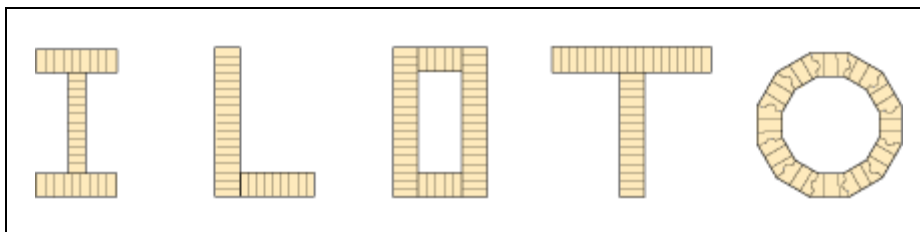
Výrobný proces LLD dovoľuje produkciu širokej škály tvarov a veľkostí jednotlivých stavebných dielcov. To ponúka architektom a inžinierom rozmanité možnosti pri projektovaní ich vlastných tvarov, od dlhých priamych nosníkov až po klenbové oblúkové konštrukcie, pričom sú zároveň splnené pevnostné požiadavky. Týmto sa LLD ľahko môže presadiť na trhu. Obmedzeniami sú iba transportné možnosti a možnosti vybavenia jednotlivých výrobcov.

Kombináciou lamiel v LLD je možná výroba dlhších elementov, než bol samotný materiál v kmeni stromu. Dielce dlhšie ako 30 až 40 m nie sú vôbec zriedkavosťou.

Zakrivením lamiel pri výrobe sa dá dosiahnuť ďalšia dimenzia – oblúkové tvary konštrukcií, čo je pri niektorých materiáloch náročné a pri niektorých takmer vylúčené. V závislosti od veľkosti a zakrivenia sú používané tenšie lamely.

3.2.2 Tvary prierezov

Z LLD môžu byť vyrábané rozličné tvary prierezov. Závisí to od požiadaviek na pevnosť a tuhosť konštrukcie. Najčastejšie používané sú obdĺžnikové prierezy do výšky až 2 m. Ostatné tvary sú taktiež možné – od bežne a každodenne vyrábaných až po špeciálne jedinečné tvary. Na obr. 3 sú uvedené typické prierezy z LLD.



Obr. 3 Príklady prierezov z LLD
(Zobrazené s povolením Svenskt Limträ AB)

Na obr. 4 a 5 sú uvedené prierezy zhotovené na mieru na konštrukciu mosta Leonardo da Vinci v Nórsku.

Ďalšou výhodou LLD je možnosť zmeny prierezu po dĺžke daného prvku tak, aby bol lepšie prispôsobený priebehu vnútorných síl. Stredná časť nosníka má vyšší prierez kvôli väčšiemu namáhaniu nosníka v tejto časti.



Obr. 4 Prierez zhotovený na zákazku
(Zobrazené s povolením „Správa nórskeho verejných komunikácií“)



Obr. 5 Most Leonardo da Vinci, Ås, Nórsko
(Zobrazené s povolením „Správa nórskeho verejných komunikácií“)

3.2.3 Kombinované LLD

V rámci priečného rezu je možné použiť lamely rôznych pevností. Tam, kde bude namáhanie väčšie, je možné použiť lamely vyšších pevností. Spravidla je to horný a dolný okraj prierezu. Takýmto spôsobom sa dajú hospodárnejšie využiť lamely príslušných pevnostných tried.

Podľa Eurokódu 5 je potrebné v prípade použitia rôznej kvality lamiel (charakteristické hodnoty pevností a tuhostí) v rámci priečného rezu túto skutočnosť zohľadniť pri návrhu prvku.

3.3 Navrhovanie

3.3.1 Estetika

Optické pôsobenie LLD je atraktívne a väčšinou sa ľuďom páči. Atraktivnosť sa preto dá dosiahnuť aj bez opláštenia a tým prispieť k celkovému priaznivému dojmu z konštrukcie.

3.3.2 Predpríprava

Konštrukcie z lepeného lamelového dreva umožňujú rýchlu a jednoduchú montáž predpripravených dielcov. Časti konštrukcie môžu byť montované nezávisle od počasia. Konštrukcie sú vzápätí po namontovaní schopné prenášať plánované zaťaženie. Vďaka technológii výroby je možné vyrábať presne požadované prierezy a tvary.



3.3.3 Doprava a montáž

Prvky sa väčšinou dopravujú cestnou dopravou. Typ použitého prepravného prostriedku je závislý od tvaru a rozmerov prepravovanej konštrukcie. Niekedy môže byť výhodou, aby konštrukcia bola navrhnutá z viacerých menších častí, aby sa dali použiť bežné kamióny.

Ako ochrana pred dažďom a snehom a tiež pred zašpinením prepravovaných dielcov sa používajú ochranné obaly. Pred alebo počas montáže sa obaly postupne odstraňujú. Je potrebné dávať pozor na možnosť kondenzovania vody pod ochrannou obalovou fóliou. Dlhšie skladovanie zabalených dielcov na stavbe nie je preto žiadúce.

Hrany jednotlivých prepravovaných prvkov môžu byť počas prepravy a montáže poškodené. Je preto nutné, aby doprava aj montáž prebiehala podľa predpisov. Pri dvíhaní jednotlivých dielcov sa niekedy používajú ochranné uholníky alebo iné pomocné prvky.

4 Použitie lepeného lamelového dreva v stavebníctve

4.1 Primerané použitie LLD

Princíp LLD existuje z čias ranného Egypta, kde boli tieto techniky používané pri výrobe drevených sarkofágov.

V 19. storočí sa začalo LLD používať ako stavebný prvok v budovách. Zrejme najstaršia konštrukcia, v ktorej sa použilo LLD, je Union Hall kráľa Edwarda Kollega v Southamptone, ktorá bola postavená v roku 1860. Krov haly pozostáva z oblúkových lepených nosníkov.

LLD rozšírilo priemyselné konštrukčné metódy až na začiatku 20-teho storočia, keď Otto Hetzer vyvinul „Hetzerov nosník“. V tomto období bolo LLD používané na strešné konštrukcie s rozpätím až do 45 m. Chýbajúce stĺpy umožnili neobmedzené využitie celého priestoru, čo bolo nesporne veľkou výhodou. Napríklad vo Švajčiarsku bolo v období 10 rokov postavených viac ako 200 objektov s využitím Hetzerovej metódy.

Prvé konštrukcie, pri ktorých bolo uprednostnené LLD pred oceľou, boli prestrešenia nástupíšť železničných staníc. Dôvodom bolo korodovanie oceľových konštrukcií vplyvom vodnej pary z rušňov.

Potom sa materiál LLD presadil aj pri halách s veľkým rozpätím. Počas života Otto Hetzera bolo postavených množstvo športových hál, skladov, hangárov, kostolov a ďalších objektov, z ktorých väčšina ešte stále existuje.

Možnosti lepenia drevených lamiel neboli vždy plne využité. Do konca druhej svetovej vojny nachádzali konštrukcie uplatnenie iba v suchom prostredí. Až po vyvinutí syntetických živcových lepidiel sa začínajú stavať aj mostné konštrukcie.

V sedemdesiatych rokoch 20-teho storočia bola zdokonalená technika lepenia zakrivených prvkov, čo umožnilo stavbu mnohých moderných konštrukcií.

V súčasnosti sa LLD etablovalo ako materiál nosných konštrukcií hál s rozpätím okolo 100 m. V Európe konkuruje LLD iným materiálom v celej škále objektov: jednopodlažné budovy, výrobné haly, nákupné centrá, sklady, letiskové terminály, atď. LLD sa používa špeciálne v



situáciách, kde je jeho estetický dojem v porovnaní s inými materiálmi veľkou výhodou. Z lepeného lamelového dreva sa dajú zhotoviť takmer všetky možné konštrukčné formy. Dôkazom je strecha pavilónu slonov v kolínskej ZOO – obr. 6.

V USA, strednej Európe a Škandinávii sa stáva LLD stále populárnejšie na stavbu moderných mostných konštrukcií, špeciálne na stavbu lávok pre peších a cyklistov, ale tiež na stavbu cestných mostov menších rozpätí. Zakrivené dielce z LLD môžu byť použité na zhotovovanie rôznych estetických efektov a špeciálnych typov mostov. Príkladom cestného mosta je „Europabrücke“ v Murau, Rakúsko, ktorý bol zhotovený v roku 1993 ako celodrevená konštrukcia so železobetónovou mostovkou spriahnutou s pozdĺžnikmi mosta – obr. 7.

Ďalším použitím LLD, ktoré sa stalo populárnym, je použitie vo funkcii nosníkov podlahy domov. Táto konštrukcia kombinovaná s betónovou doskou alebo iným materiálom má dobré vlastnosti z hľadiska stavebno-fyzikálneho (absorbacia hluku) a tiež dobrú požiarnu odolnosť. Navyše je jej cena porovnateľná s inými variantmi stropných konštrukcií.



Obr. 6 Pavilón slonov, ZOO, Köln
(Zobrazené s povolením BAM Deutschland AG)



Obr. 7 Most „Europabrücke“, Murau, Rakúsko
(Zobrazené s povolením Josef Bärnthaler)

V širokej škále použitia lepeného lamelového dreva najviac prevládajú:

- Hlavné nosníky, strešné nosníky, strešné väznice a stĺpy v bytovej a priemyselnej výstavbe
- Stropné nosníky so špeciálnymi požiadavkami pre priemyselné podlahy alebo stropy s veľkými rozpätiami
- Prievlaky v nosných stenách
- Primárne a/alebo sekundárne nosníky vo veľkých priemyselných stavbách (napr. oblúky, rámy, priečle, stĺpy)
- Hlavné a vedľajšie nosníky mostov

4.2 Typické konštrukcie

4.2.1 Nosníky

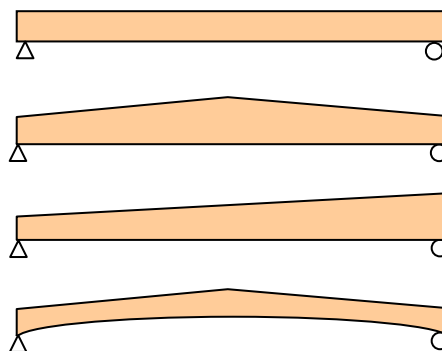
Najčastejšou formou konštrukcie z lepeného lamelového dreva je nosník uložený na dvoch stĺpoch alebo stenách. Pre menšie rozpätia sa používajú bežne priame nosníky konštantnej výšky. Pre väčšie rozpätia je hospodárnejšie použiť prierezy premennej výšky tak, aby tvar nosníka sledoval tvar ohybových momentov alebo priečnych síl na nosníku. Príkladom je symetrický strešný sedlový nosník, ktorého výška je najväčšia v strede rozpätia. Nosníky s prierezmi premennej výšky bývajú najčastejšie symetrické, ale tiež nesymetrické sedlové, pultové alebo strešný nosník rámovej konštrukcie.

Z estetických a funkčných dôvodov sú nosníky z LLD vyrábané často so zakrivením, pričom zakrivené časti bývajú konštantnej, ale aj premennej výšky. Nosník s priamou spodnou hranou môže mať určité nadvýšenie. Bežným tvarom je zakrivený sedlový nosník – symetrický sedlový nosník so spodnou zakrivenou hranou.

V početných konštrukciách, ako napríklad otvorené štadióny, ploché strechy a tribúny sa predpokladá, že jedna strana budovy je bez stĺpov. V týchto prípadoch ponúka lepené lamelové drevo riešenie pomocou polrámových konštrukcií.



Obr. 8 Nosníky z LLD v budove knižnice, Švédsko
(Zobrazené s povolením Svenskt Limträ AB)



Obr. 9 Priamy nosník, sedlový nosník, pultový nosník, sedlový nosník so spodným zakrivením

4.2.2 Stĺpy a vzpery

Stĺpy a vzpery sú väčšinou priame prvky z LLD. Môžu byť zhotovené na objednávku, ale tiež môžu byť použité ako štandardné skladové prierezy. Stĺp sa dá vyrobiť pomerne ľahko, pričom častokrát má hríbovú hlavicu kvôli zväčšeniu úložnej plochy nosníka ukladaného na stĺp (problematika malej únosnosti dreva v smere kolmo na vlákna).

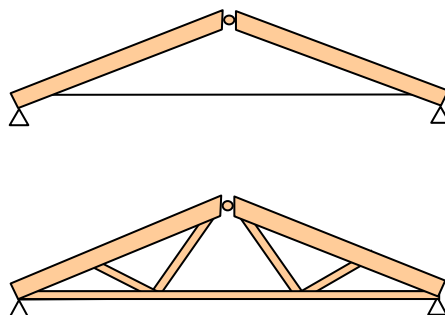
4.2.3 Trojkľbové sústavy

Pre rozpätia, pri ktorých pôsobia plnostenné nosníky ťažkopádne a vyžadujú veľa materiálu, sú vhodnejšie priehradové nosníky. Drevené priehradové nosníky sú za normálnych okolností zhotovované z triedeného reziva. Pre väčšie rozpätia je dominujúcim materiálom lepené lamelové drevo. Bežnou konštrukciou z LLD je trojkľbová sústava. Táto sa používa pre rozpätia, kde bežné priehradové nosníky nie sú dostatočné.

Trojklbová sústava pozostáva z dvoch nosníkov z LLD, ktoré sú vo vrchole spojené kĺbom. Vo všeobecnosti sú obe časti zložené z nosníkov konštantnej výšky, ale existujú konštrukcie aj s premennou výškou prierezu. Spodné časti sústavy sú spojené tiahom, ktoré je buď z dreva alebo častokrát z ocele. Niekedy sú spodné časti opreté priamo do základových konštrukcií. Tento typ nosnej sústavy je vhodný pre rozpätia od 15 do 40 m. Väčšie rozpätia (do 50 m alebo viac) sú dopĺňané diagonálami (tiahlá a vzpery), ako je ukázané na obr. 11.



Obr. 10 Trojklbová sústava pre maštal' vo Švédsku (Zobrazené s povolením Svenskt Limträ AB)



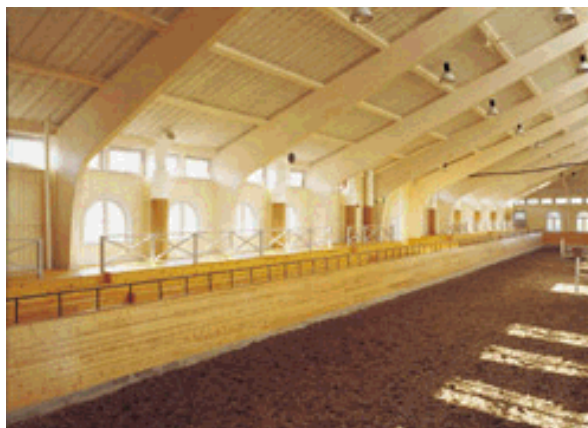
Obr. 11 Typy trojklbových sústav

4.2.4 Rámy

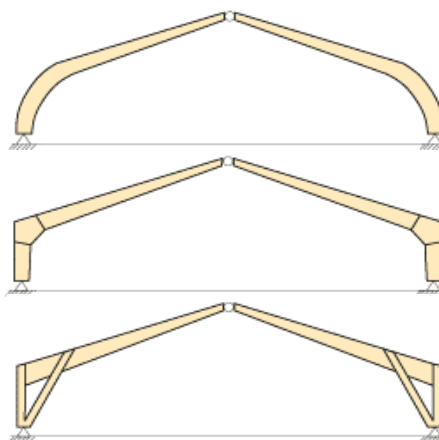
V súčasnosti sú takmer všetky drevené rámové konštrukcie zhotovené z LLD. Tieto sústavy sa používajú tam, kde je potrebná svetlá výška v rámci celého priečného rezu objektu.

Tradičná rámová konštrukcia je symetrická sústava. Rámové rohy môžu byť zhotovené viacerými spôsobmi, ako je znázornené na obr. 13 – zakrivený roh, vložený (vlepený) roh, roh vytvorený pomocou spojovacích prostriedkov a roh so vzperami alebo tiahlymi. Tvar jednotlivých dielcov by mal sledovať priebeh vnútorných síl v ráme tak, aby zároveň bola dodržaná funkčnosť a estetika konštrukcie. Zakrivené alebo vzperami nahradené rámové rohy spĺňajú tieto požiadavky asi najlepšie a preto sú vhodné pre rozpätia okolo 30 až 40 m. Ak je rozpätie väčšie, nedajú sa jednotlivé dielce dopraviť ako polovice rámu a musia byť zhotovované montážne spoje, čo je nevýhodné.

Zaujímavé priestory môžu vzniknúť kombináciou s inými konštrukčnými systémami alebo vytvorením trojdimenzionálneho nosného systému z polrámov.



Obr. 12 Rámy jazdiarne vo Švédsku
(Zobrazené s povolením Svenskt Limträ AB)

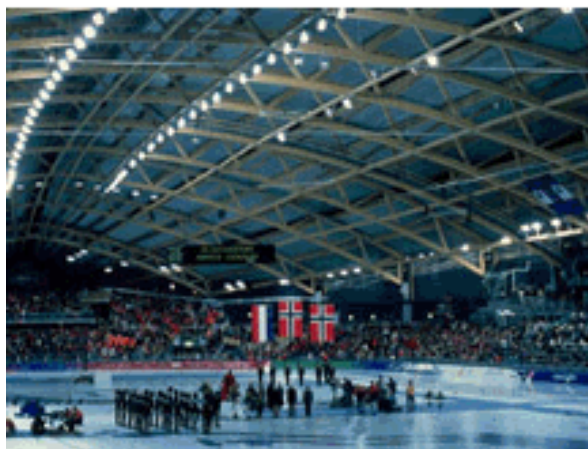


Obr. 13 Príklady rámov: Rám so zakriveným rohom, s vloženým rámovým rohom a so vzperami (Zobrazené s povolením Svenskt Limträ AB)

4.2.5 Oblúky

Oblúky sú konštrukčné systémy, pre ktoré je použitie LLD veľmi výhodné. LLD je materiál, z ktorého sa bez veľkého zvýšenia ceny dajú vytvárať zakrivené prvky s premennou výškou prierezu. Za normálnych okolností sú používané prierezy konštantnej výšky. Ak sa snažíme o približne rovnaké využitie prierezu po dĺžke prvku, musí byť výška prierezu po dĺžke oblúka premenná.

Oblúky sú zvyčajne navrhované ako trojkľbové – dva kľby sú v miestach podpôr a tretí vo vrchole oblúka. Pre rozpätia okolo 60 – 70 m sú používané trojkľbové sústavy. Pre väčšie rozpätia musia byť jednotlivé časti oblúka rozdelené kvôli transportným obmedzeniam. Oblúk je potom montovaný priamo na stavbe. Zaujímavým riešením pre veľké rozpätia sú kruhové priestorové oblúkové sústavy, v ktorých sú jednotlivé polooblúky usporiadané radiálne. S takýmto typom konštrukcie je možné dosiahnuť rozpätia do 160 m.



Obr. 14 Oblúková konštrukcia Olympijskej haly, Hamar, Nórsko (Zobrazené s povolením Svenskt Limträ AB)



Obr. 15 Výroba jedného oblúka (Zobrazené s povolením Svenskt Limträ AB)

5 Literatúra

Moelven Limtre AS. *Limtreboka*. 2002

<http://www.brettschichtholz.de>

<http://www.glulam.co.uk>

Bibliothek für Forstprodukte. *Wood handbook – Wood as an engineering material*. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113, Madison, Wisconsin, 1999

Thelandersson S. und Larsen H.J. *Timber Engineering*. John Wiley & Sons Ltd, England, 2003

STEP. *Timber Engineering STEP 1 – basic of design, material properties, structural components and joints*. Centrum Hout, The Netherlands, 1995

Treteknisk og TreFokus AS. *Trebaserte konstruksjonselementer*. Fokus på tre Nr. 27, Oslo, Norge,

Aune P. *Trekonstruksjoner, Del 1, Materialer – Dimensjonering – Forbindelser*. Tapir, 1992

Kapitulu 5 spracoval Prof. Kjell A Malo a vývojová asistentka Vanessa Angst, NTNU, Nórsko



Kapitola 6

TECHNICKÉ VÝROBKY Z DREVA (EWP's – ENGINEERED WOOD PRODUCTS) (ŠPECIÁLNE ŠKÁROVKA (CLT))

1 Úvod

Drevo sa používalo od začiatkov ľudstva v jeho prirodzenej forme ako nosník buď v jeho pôvodnom tvare ako guľatina alebo ako rezivo s typickým obdĺžnikovým prierezom. Výrobky na báze dreva sa používajú na rôzne účely: ako nosné prvky stien alebo ako tepelný a zvukový izolant. Za normálnych okolností by sa mohli použiť aj dosky alebo iné rezivo, v súčasnosti je to však väčšinou nevhodné. Nosníkové prvky majú aj ďalšie nevýhody – anizotropické vlastnosti a zmeny pevnostných vlastností vplyvom zmien vlhkosti.

V tejto kapitole budú predstavené tzv. „technické výrobky z dreva (EWP)“. Ďalej bude podrobne popísaný výrobok „škárovka (CLT)“, ktorý sa pravdepodobne v blízkej budúcnosti stane najvýznamnejším výrobkom v masívnych drevených konštrukciách, v bytovej výstavbe a viacpodlažnej výstavbe.

2 Technické výrobky z dreva

2.1 Prehľad

V procese výroby „technických výrobkov (EWP)“ sa surovina – drevo najskôr rozličnými spôsobmi delí na menšie kúsky určitých rozmerov a vzápätí spája pomocou lepidiel alebo – v špeciálnych prípadoch – mechanickými spojovacími prostriedkami.

Touto procedúrou sa môžu anizotropické efekty odstrániť alebo prinajmenšom redukovať. Okrem prútových prvkov (laty, dosky) sa vyrábajú aj dvojrozmerné elementy s pomerne veľkými a premenlivými rozmermi vo forme dosiek (zaťažované kolmo na rovinu elementu) a stien (zaťažované v rovine elementu). Tieto výrobky majú navyše výhodu v tom, že sa na ich výrobu dá použiť drevo horšej kvality alebo tiež recyklované drevo. Zmenšený vplyv jednotlivých porúch materiálu akými sú hrče, šikmý priebeh vlákien, zmeny hustoty, atď. na fyzikálne vlastnosti umožňuje vyrobiť produkt s homogénnymi vlastnosťami.

Pomenovanie výrobkov „EWP“ súvisí so skutočnosťou, že takýmto spôsobom sú vyrábané produkty s „technickými“ a „vytvorenými“ vlastnosťami v porovnaní s prirodzenými vlastnosťami guľatiny alebo reziva.

V závislosti od veľkosti používaných častí a ich vzájomnej orientácie (smer vlákien použitých častí je paralelný alebo kolmý na hlavný smer elementu) sa dá vyrobiť široká škála výrobkov

s určitými rozmermi. Podľa spomenutých dvoch parametrov sú 2D-výrobky (dvojdimenziálne) uvedené na obr. 1. Podobná tabuľka sa dá zostaviť aj pre 1D-výrobky.

Orientácia vlákien komponentov	Orientácia častí v jednom smere	Orientácia častí ortogonálne	„ľubovoľná“ orientácia častí
Jednoduché drevené komponenty			
Drevené vlákna (časti) 	Extrudát	-	Vláknité dosky
Triesky 	Pozdĺžne orientované triesky (LSL); paralelné triesky (Parallam)	Orientované triesky (OSB)	-
Dýhy 	Pozdĺžne orientované dýhy (LVL)	Škárovka; LVL s kolmým usporiadaním vrstiev	-
Dosky 	Lepené lam. drevo BRESTA	Krížom vrstvené drevo (CLT)	-

Tab. 1 Prehľad technických výrobkov s výraznými rozmermi v dvoch smeroch

V nasledujúcich odstavcoch bude uvedený krátky prehľad o výrobných procesoch, vlastnostiach a použití najdôležitejších dvojdimenziálnych EWP.

2.2 Výrobky zložené z drevených vlákien

Drevené vlákna sa získavajú z guľatiny a odpadového dreva prostredníctvom tzv. „defibrilátorov“. Tieto zariadenia roztriešia drevnú hmotu s pomocou pary a/alebo

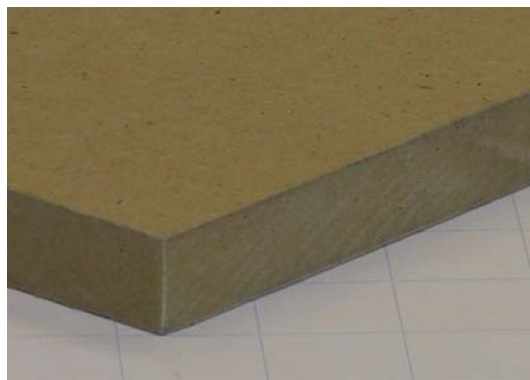


chemických procesov až do zväzkov vlákien, kedy vzniká vláknitá kaša. Do takejto substancie (môže byť mokrá, polosuchá alebo suchá) sa pridávajú prírodné a/alebo syntetické lepidlá a/alebo anorganické (napr. sádra, atď.) prímiesy a celá zmes sa lisuje. V závislosti od rôznych parametrov sa môžu mechanické vlastnosti výrobku meniť. V dôsledku malých rozmerov stavebných častíc tohoto materiálu nie je možné ich orientované usporiadanie. Vzhľadom na hustotu výrobku sa vyrábajú nestlačené (tuhé a polotuhé izolačné dosky) a stlačené (stredne tvrdé drevovláknité dosky, tvrdé dosky a špeciálne tvrdené dosky).

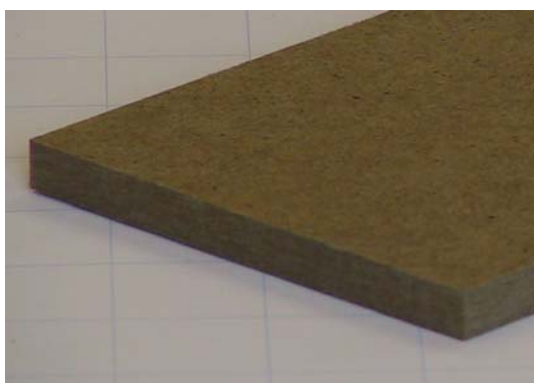
Na stavebné účely sa používa široká škála typov a veľkostí nosných aj nenosných obkladových a izolačných drevovláknitých dosiek.



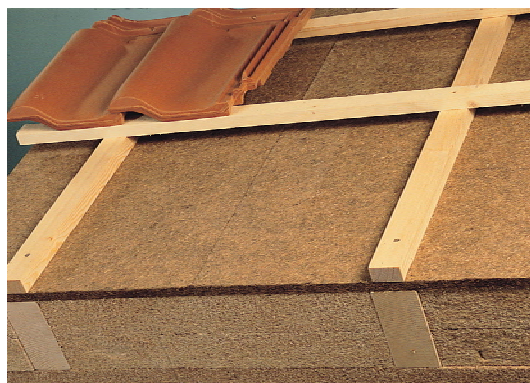
polotuhá izolačná doska



strednetvrdá drevovláknitá doska



tvrdá drevovláknitá doska



použitie drevovláknitej dosky v strešnej konštrukcii

Obr. 1 Rôzne typy drevovláknitých dosák a použitie drevovláknitej dosky v strešnej konštrukcii

– Drevotrieskové dosky

Drevotrieskové dosky je výrobok EWP zložený z drevených triesok, pilín, drevenej múky (vzniká pri rezaní dreva) a/alebo iných lignocelulóзовých vlákien. Do niektorých drevotrieskových dosiek sa pridáva cement a iné anorganické látky. Napriek tomu, že základné stavebné časti drevotrieskových dosiek sú väčšie ako vlákna, sú tieto výrobky zaradené do tejto kategórie. Na výrobu drevotrieskových dosiek je uprednostňované mäkké drevo alebo drevo strednej hustoty. Drevotrieskové dosky môžu byť „extrudované“ alebo „plošne lisované“. Pri výrobe sú základné stavebné časti miešané so syntetickými lepidlami a prímiesami (pre zmenšenie vplyvu zmeny vlhkosti, ako ochrana pred hubami a hmyzom, pre zlepšenie odolnosti voči požiaru). V ďalšom kroku je zmes nanosená v troch (niekedy v piatich) vrstvách a kontinuálne lisovaná pri pôsobení vysokej teploty. Jednotlivé vrstvy môžu mať rôzne vlastnosti. Potom sa prebrúsi povrch a výrobok je rezaný na potrebné dĺžky.

Mechanické vlastnosti drevotrieskových dosiek sú veľmi ovplyvnené geometriou základných častíc (veľkosť a tvar), ich orientáciou, počtom rovín, typom použitého lepidla a procesom lisovania. V priečnom reze je dobre pozorovateľné zhutnenie materiálu po výške prierezu.



Typické hrúbky sú medzi 8 a 50 mm (až do 80 mm), dĺžka prvku do 14 m a šírka do 3 m.

Drevotrieskové dosky sa používajú v stavebníctve (ako nosné aj nenosné prvky, napr. izolácie stien a stropov, atď.) a v nábytkárskom priemysle.



Obr. 2 Drevotriesková doska

2.3 Výrobky zložené z triesok

Na eliminovanie jednotlivých chýb v EWP sa drevo rozdeľuje na malé častice a následne lepi pomocou lepidiel na výrobky požadovaných rozmerov, spravidla na plošné prvky, ale tiež na prútové prvky. Pri príprave základných komponentov vznikajú rôzne veľkosti komponentov – dĺžka od 1 do 10 cm, šírka 10 – 30 mm, hrúbka 0,4 – 4 mm. Tieto komponenty sa označujú ako „triesky“.

Typickou vlastnosťou tejto skupiny výrobkov je orientované uloženie základných komponentov vzhľadom na dĺžku vznikajúceho elementu.

Najdôležitejšie výrobky tejto skupiny:

– Orientovaná drevotriesková doska (angl. Oriented Strand Board (OSB))

Orientované drevotrieskové dosky (OSB) boli pôvodne vyvinuté ako náhrada drevotrieskových dosiek nižšej kvality. Na ich výrobu sa používajú pomerne veľké častice – triesky s typickými rozmermi: 60 – 150 mm dĺžka, 10 – 35 mm šírka a 0,4 – 1,0 mm hrúbka, ktoré sa vyrábajú na „ring flakers“ (rotujúcich bubnoch s vnútri osadenými nožmi) z guľatiny nízkej kvality a malého polomeru (väčšinou z ihličnatých drevín). Po vysušení triesok sa tieto triedia a následne miešajú s lepidlom. Nasleduje nanášanie zmesi v troch vrstvách, pričom triesky hornej a spodnej vrstvy sú orientované v smere výroby (pozdĺžny smer) a stredná vrstva má priečnu orientáciu triesok. Z celkového objemu tvorí stredná vrstva asi 50 %. Takto pripravená doska je lisovaná na kontinuálnych lisočoch. Nasleduje úprava povrchu – brúsenie a natieranie parafínom. Potom sa dosky režu na požadované rozmery.

V dôsledku vyššie uvedenej stavby OSB-dosky sú mechanické vlastnosti v smere výroby (v pozdĺžnom smere) výrazne vyššie ako v priečnom smere, čo je potrebné pri používaní OSB-dosiek zohľadniť. Podobne ako pri drevotrieskových doskách je aj pri OSB-doskách v rámci priečneho rezu iná hustota materiálu, čím sú ovplyvnené jej mechanické vlastnosti. Z toho vyplýva, že dosky menšej hrúbky majú lepšie mechanické vlastnosti, ako dosky hrubšie.



Trojvrstvovou výrobou sa dosahuje vyššia stabilita tvaru v pozdĺžnom smere. V prípade priameho pôsobenia vlhkosti možno očakávať napučíavanie OSB-dosky. Do vlhkého prostredia sú vhodné iba OSB/3 alebo OSB/4. Hrúbka nosnej dosky by nemala byť menšia ako 8 mm.

OSB sa často používa ako obkladový a výstužný prvok v obytných budovách a tiež pri viacpodlažných stavbách.



Obr. 3 OSB a jej použitie ako nosný obkladový materiál v stĺpkovej konštrukcii

- Intrallam (angl. Laminated Strand Lumber (LSL), nem. Langspanholz)

LSL sa vyrába z triesok, ktoré sú veľmi podobné trieskam pre výrobu OSB. Rozdiel je v dĺžke triesok – na výrobu LSL sa používajú triesky dĺžky až do 300 mm. Ich šírka je 30 mm a hrúbka približne 1 mm. Triesky sú zmiešané s polyuretánovým lepidlom, usporiadané pozdĺžne a následne lisované vysokým tlakom vyvolaným parou. Používanou drevinou je prevažne jaseň, je možné použiť aj iné dreveniny.

LSL sa vyrába ako prúťový prvok, ale tiež ako doskový prvok do dĺžky 14,63 m, šírky 1220 mm a hrúbky do 140 mm. Počas výroby nastáva silná homogenizácia materiálu, čo má za následok veľmi dobré mechanické vlastnosti a odolnosť voči vlhkosti.

LSL sa používa pre prvky, od ktorých požadujeme veľmi dobré mechanické vlastnosti (napr. ako nosníky, väznice, atď.), ale tiež ako plošné prvky. V kombinácii s inými materiálmi (EWP's) sa používa napríklad ako stena I- nosníkov. Vďaka zaujímavému povrchu sa ponecháva často ako opticky priznaný prvok (s náterom alebo bez náteru).



Obr. 4 LSL a jeho použitie ako nosník

– Parallam (angl. Parallam, nem. Parallelsphanholz)

Parallam je výrobok určený na prúťové prvky, podobne ako LSL a LVL (pozri nižšie) s pozdĺžne usporiadanými komponentami. Parallam sa vyrába z vysušených dýh (vlhkosť 2-3 %), ktoré sú rezané na prúžky, premiešané s vodovzdorným lepidlom a pod tlakom lisované pri súčasnom pôsobení mikrovlnného žiarenia. Mikrovlnným žiarením sa výrobok opätovne vysušuje. Výsledkom je prierez maximálnych rozmerov 275 x 475 mm, dĺžka môže byť až do 20 m. Usporiadanie komponentov v pozdĺžnom smere zabezpečuje rovnomerné vlastnosti prvku v smere pozdĺžnej osi tak, ako je to u reziva.



Obr. 5 Parallam a jeho použitie ako ťahaný prút priehradového väzníka

2.4 Výrobky zložené dých

Výrobky tejto kategórie sú zložené z dých (alebo vrstiev) hrúbky 2 až 4 mm, ktoré sú získavané rotačnými kruhovými nožmi z kmeňov. Po vysušení, triedení a rezaní sú vrstvy lepené paralelne alebo v rôznych smeroch (spravidla vzájomne kolmých).

V závislosti od tvaru a veľkosti použitých častí sa výrobky rozdeľujú na:

– Preglejka

Pri výrobe preglejok sú vzájomne spájané minimálne tri vrstvy, pričom počet vrstiev je vždy nepárny. Vrstvy sú lepené pod uhlom 90 stupňov.

Mechanické vlastnosti sú ovplyvnené geometrickými faktormi (počet a hrúbka vrstiev), materiálnymi faktormi (druh dreveniny a vlhkosť) a zaťažovacími faktormi (druh napätia, smer napätia vzhľadom na smer vlákien jednotlivých vrstiev, dĺžka trvania zaťaženia). Musí byť tiež zohľadnené, či je výrobok zaťažovaný v rovine dosky alebo kolmo na rovinu dosky.

Odolnosť voči vonkajším faktorom je závislá aj od druhu použitej dreveniny. Túto odolnosť je možné zvýšiť chemickými úpravami výrobku.

Preglejka je najstarším výrobkom EWP. Používa sa ako nosný a obkladový prvok v ľahkej výstavbe, podlahách a strešných konštrukciách. Používa sa tiež ako stena I- nosníkov v kombinácii s ďalšími výrobkami EWP.



Obr. 6 9-vrstvová agátová preglejka a použitie preglejok ako výstužných prvkov drevostavby

– Latovka

Prierez latovky má sendvičovú konfiguráciu – jednu alebo dve preglejkové vonkajšie vrstvy a kolmo na ne orientovanú jadrovú vrstvu z rôznych materiálov. Podľa jadrovej vrstvy sa rozlišujú rôzne výrobky.

Veľkou výhodou latoviek je skutočnosť, že ako jadrová vrstva môžu byť použité rôzne materiály. Pri navrhovaní musí byť typ jadra zohľadnený.

Latovky majú rozsiahlu škálu použitia. Môže byť použitá ako nosný a aj ako nenosný element, môže ostať v konštrukcii ako pohľadový prvok, môže byť použitá v kombinácii s ďalšími výrobkami EWP. Napríklad latovka môže byť použitá ako obklad priehradových konštrukcií kvôli schopnosti vlhkostnej regulácie.



Obr. 7 Príklady latoviek

– Vrstvené drevo z dýhových pásov (angl. Laminated Veneer Lumber (LVL), nem. Schichtweises Furnierholz)

Vo vrstvenom dreve z dýhových pásov sú jednotlivé pásy orientované rovnobežne s pozdĺžnou osou. To má za následok podobné (anizotropné) správanie ako je tomu pri rezive, avšak materiál je homogénnejší, čím je jeho pevnosť a tuhosť vyššia. Na výrobu LVL sú

používané dýhy dobrej kvality, ktoré sú spájané vo vonkajších vrstvách preplátovaním a vo vnútorných vrstvách natupo.

Niektoré LVL obsahujú aj dýhové pláty (napr. každá piata rovina) orientované kolmo na pozdĺžny smer, čím sa zlepšia pevnostné vlastnosti výrobku v tomto smere.

LVL sa používa ako doskový alebo stenový prvok, je však možné použitie aj ako prúťový prvok. Dosahuje dĺžky do 23 m, šírku do 1,80 m a hrúbku od 21 do 75 mm. V kombinácii s rezivom a/alebo inými EWP výrobkami je LVL vysoko únosný a ekonomický výrobok.



Obr. 8 LVL a LVL s vrstvami v priečnom smere

2.5 Výrobky zložené z dosiek

Základnými komponentami týchto výrobkov sú dosky hrúbky 6 až 40 mm, šírky viac ako 60 mm a dĺžky spravidla od 1,5 do 5,0 m (dĺžka 4,0 m je považovaná za štandardnú). Pre použitie dosiek je potrebné ich triedenie podľa príslušných predpisov a noriem. Za normálnych okolností sú dosky vysušené na vlhkosť 12 až 18 % a pred ďalším použitím sú ohobľované. Podľa spôsobu použitia môžu byť dosky spájané klinovými spojmi. V takomto prípade sa doska označuje pojmom „lamela“.

– Výrobky s výrazným dĺžkovým rozmerom (nosníky)

Ak sú zlepené viac ako štyri vrstvy rovnobežne s pozdĺžnou osou, vzniká zrejme najdôležitejší technický výrobok z dreva – lepené lamelové drevo. Tento produkt je podrobnejšie spracovaný v kapitole 5 tejto príručky.

– Výrobky s dvoma hlavnými rozmermi

• Dosky s jednou rovinou

Dosky s jednou rovinou vznikajú vzájomným lepením jednotlivých dosiek na úzkych stranách. Takéto výrobky sú na nosné účely používané veľmi zriedkavo. Používajú sa hlavne v nábytkárskom priemysle. Na ich výrobu sú vyžívané rôzne dreviny.

- Dosky osadené „nastojato“ a mechanicky spájané (BRESTA) a priečne predpäté drevené prvky

Výrobok BRESTA vzniká z dosák uložených nastojato, ktoré sú vzájomne klinčované alebo skrutkované. Používajú sa väčšinou pre stropné konštrukcie, ale aj pre stenové a strešné konštrukcie. Do tejto skupiny patria aj lepené lamelové prvky, ktoré sú zaťažené priečne. Pri návrhu takýchto konštrukcií je potrebné zohľadniť možné napučívanie a zosychanie vplyvom vlhkostných zmien.

Elementy, ktoré vzniknú priečnym predpätím nastojato uložených dosák, sa využívajú ako mostovky drevených mostov.



Obr. 9 Nastojato uložené dosky spojené mechanickými spojovacími prostriedkami (BRESTA); priečne predpätá drevená mostovka

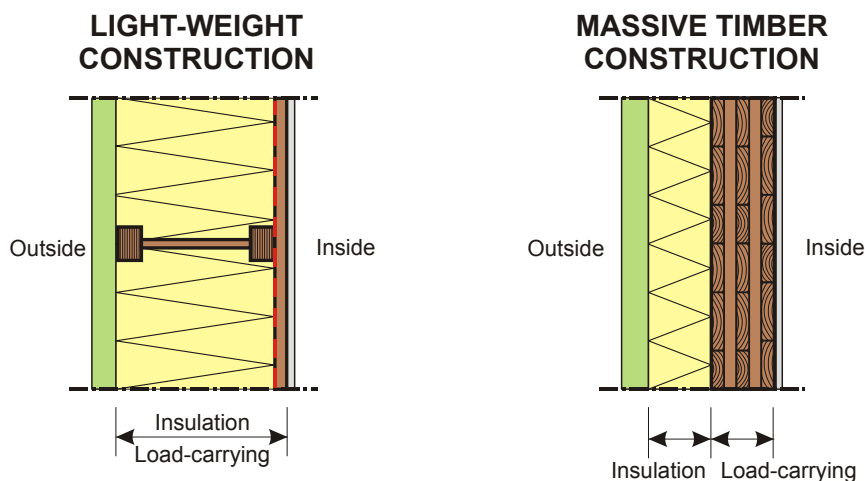
- Škárovka (angl. Cross Laminated Timber (CLT), nem. Brettsperholz)

Škárovka (CLT) je zložená z rovín tvorených doskami. Ich ortogonálne usporiadanie umožňuje výrobu elementov veľkých rozmerov. Očakáva sa, že tento produkt bude v budúcnosti zohrávať dôležitú úlohu z hľadiska použitia dreva pre viacpodlažné budovy. Z tohoto dôvodu je CLT popísaná podrobnejšie v nasledujúcich odstavcoch.

3 Detailný popis: Škárovka

3.1 „Masívne stavby z dreva“ vs. „ľahké stavby z dreva“

V tejto časti kapitoly bude prezentovaný spôsob výstavby drevostavieb - tzv. „masívne stavby“ (angl. MTC – Massive Timber Construction, nem. Holz-Massivbauweise). Bude predstavená nielen alternatíva ľahkých drevostavieb (angl. LWC – Light Weight Construction, nem. Holz-Leichtbauweise), ale aj rozdiely medzi porovnateľnými systémami z muriva a betónu. Ďalej budú predstavené špeciálne vlastnosti pomerne nového stavebného systému s použitím škárovkových elementov, ktorý bude využiteľný na stavbu viacpodlažných a priemyselných budov.



Obr. 10 Porovnanie drevených konštrukcií - ľahká výstavba a masívna výstavba

Najdôležitejším rozdielom medzi oboma systémami je skutočnosť, že pri MTC je jasné rozdelenie nosnej a izolačnej funkcie jednotlivých vrstiev. Pre MTC a LWC sa používajú iné skupiny materiálov. Zatiaľ čo pri LWC sú využívané prúťové prvky s opláštením, pri MTC sú to veľkoplošné elementy.

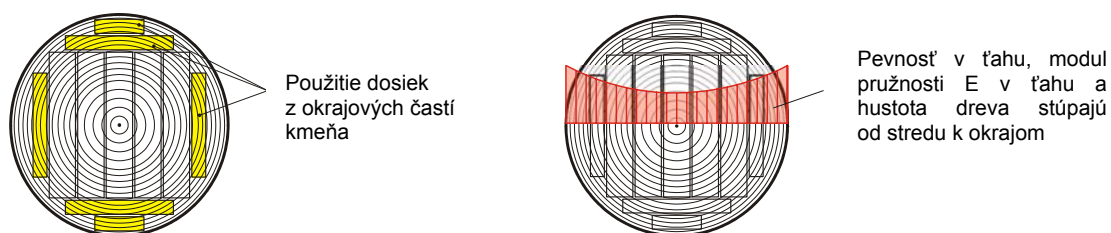
Ďalšou výhodou MTC-systému je skutočnosť, že nepotrebuje žiadne parozábrany a v porovnaní s LWC-systémami vykazuje vyššiu tepelnú kapacitu. Pre oba systémy existujú viaceré spôsoby zhotovenia fasády.

V systéme MTC sa používajú masívne, veľké, nosné elementy (napr. CLT – elementy), čím sa dá pri dodržaní pravidiel spájania dosiahnuť vysoká tuhosť konštrukcie. To je dôležitou skutočnosťou na využitie systému v budovách s veľkým dynamickým zaťažením.

Možnou aplikáciou MTC-systému sú aj kľincované dosky. Sú to konštrukcie, kde sú dosky kladené nastojato a sú vzájomne spájané kľincami, skrutkami alebo kolíkmi z tvrdého dreva. Na zvýšenie tuhosti sú tieto elementy spojené s vonkajšou vrstvou na báze EWP. Používajú sa ako stropné konštrukcie obytných budov.

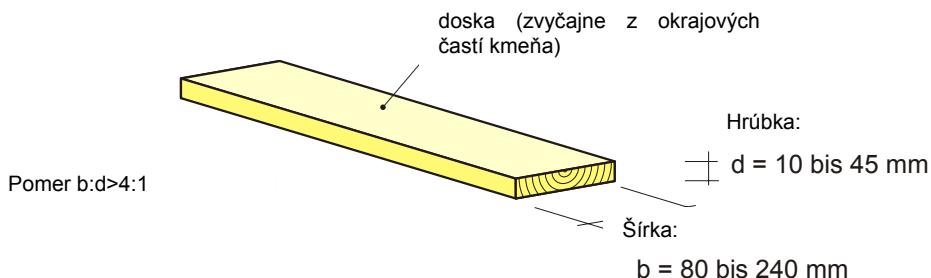
3.2 Od dosiek k elementom – výroba CLT- elementov

Základným materiálom pre výrobu CLT-elementov sú (neopracované) dosky z okrajových častí kmeňa. Tento materiál má za normálnych okolností nízku cenu, ale zároveň dobré mechanické vlastnosti z hľadiska pevnosti a tuhosti.



Obr. 11 Dosky s okrajových častí kmeňa, rozdelenie mechanických vlastností v priereze kmeňa

Šírka jednotlivých dosiek v škárovke sa pohybuje od 80 do 240 mm, hrúbka od 10 do 45 mm (závisí od výrobcov – niekedy až do 100 mm). Pomer šírky a hrúbky by mal byť $b:d = 4:1$. V súčasnosti je používané ihličnaté drevo (smrek, borovica, jedľa), v budúcnosti sa uvažuje s používaním listnatých drevín (agát, buk).



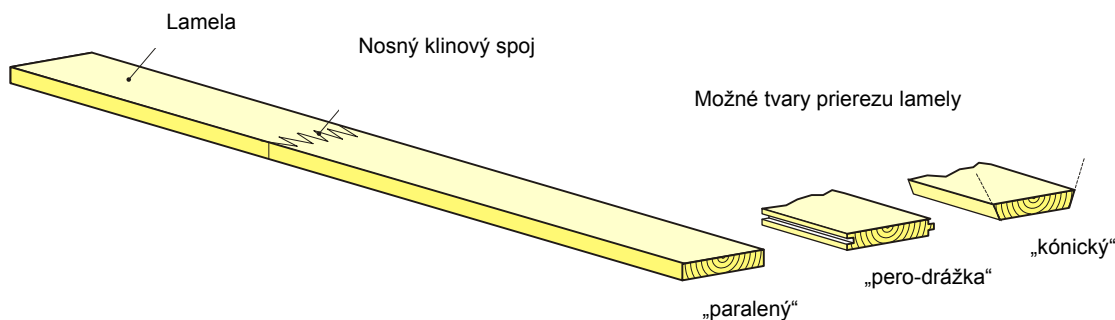
Obr. 12 Doska (z okrajovej časti kmeňa) ako základný materiál pre výrobu škárovky

Charakteristickými vlastnosťami jednotlivých dosiek je pevnosť v ťahu, modul pružnosti a hustota.

Na vonkajšie vrstvy sa používajú dosky prepísanej triedy pevnosti. Dosky musia byť spájané klinovými spojmi. Odporúča sa, aby aj dosky vo vnútorných vrstvách boli spájané klinovými spojmi.

Na lepenie klinových spojov a vzájomné lepenie vrstiev musia byť používané iba predpísané lepidlá. Bežne sú používané polykondenzátové, fenolické a melamínové lepidlá. Podľa triedy použitia vyrábaného prvku sa určuje potrebná vlhkosť dosiek.

V ďalšom kroku sú lamely hobľované zo všetkých štyroch strán. Bočné strany sú paralelné alebo tvarované kónicky alebo sú frézované pero – drážka.

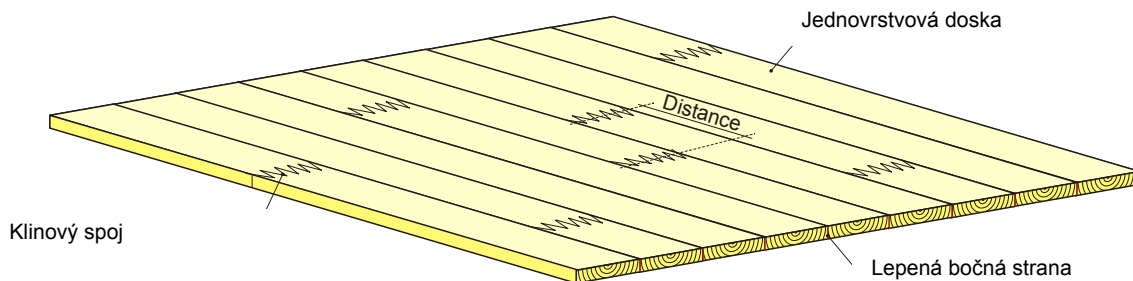


Obr. 13 Lamely s paralelnými, profilovanými alebo kónickými bočnými stranami

Klinové spoje musia byť zhotovené podľa EN 385. V spoji musí byť dosiahnutá tá istá kvalita, akú má spájaný materiál. Podľa EN 1194:1999-09 je nutné, aby charakteristická pevnosť spoja v ťahu ($f_{t,0,l,k}$) bola vyššia o 5 N/mm², než je pevnosť príslušnej dosky.

Výsledky testov ukazujú, že pre CLT- elementy sa dá dosiahnuť minimálne trieda pevnosti GL24h. Pri návrhu CLT-elementu sa dá využiť „systémový efekt“, ktorý je podrobne popísaný v [10] a [11].

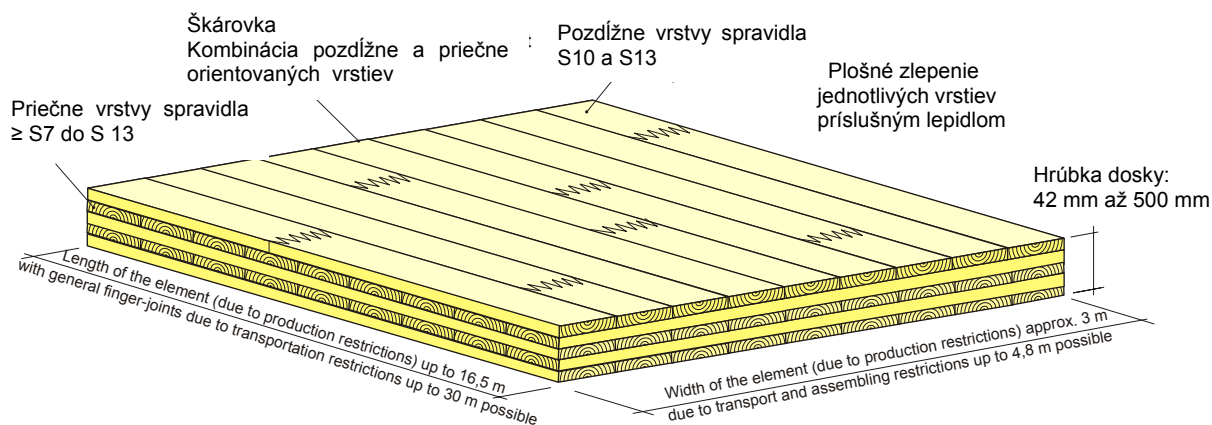
Ďalším krokom vo výrobe je bočné spájanie jednotlivých lamiel, čím vzniká jedna vrstva. Na to, aby sa dosiahli lepšie mechanické a stavebnofyzikálne vlastnosti a zároveň priaznivejší estetický vzhľad, sú lamely po stranách vzájomne lepené. Klinové spoje v jednotlivých lamelách by mali byť v rámci susedných lamiel odsadené. Podľa EN 386:1995 (platná pre výrobu lepeného lamelového dreva) má byť vzájomný posun (odsadenie) susedných klinových spojov minimálne jedna tretina šírky lamely. Odporúčame odsadenie minimálne na šírku lamely.



Obr. 14 Samostatná vrstva, lamely sú lepené na bočných stranách

Typická stavba jednotlivých vrstiev v škárovke je ortogonálna. Vrstvy však môžu byť ukladané aj pod iným uhlom (napr. 45°). Kvázi tuhé spojenie jednotlivých vrstiev sa dosiahne

celoplošným zlepením vrstiev. Je dôležité, aby lepidlo bolo nanosené na celú plochu rovnomerne. Pri lisovaní elementu je potrebné dodržať všetky predpisy tohoto procesu.



Obr. 15 Zloženie CLT- elementu (5- vrstvový)

Veľkosť a tvar CLT-Elementov sú dané obmedzením výroby, prepravy a montážnych možností. V súčasnosti sú nasledovné rozmery pre rovinné a mierne zakrivené elementy označované ako štandardné: dĺžka 16,5 m, šírka 3,0 m a hrúbka do 0,5 m. Väčšie dĺžky (do 30 m) sa dajú dosiahnuť spájaním klinovými spojmi. Pre zakrivené prvky musia byť dodržané zásady hrúbky vrstiev a polomeru zakrivenia – pozri napr. EN 386:1995.



Obr. 16 Rovinné a zakrivené CLT-elementy v procese výroby

Pri výrobe CLT-elementov sa na dosiahnutie požadovaných pevnostných a požiarnych vlastností používajú rôzne konfigurácie pozdĺžnych a priečných vrstiev.

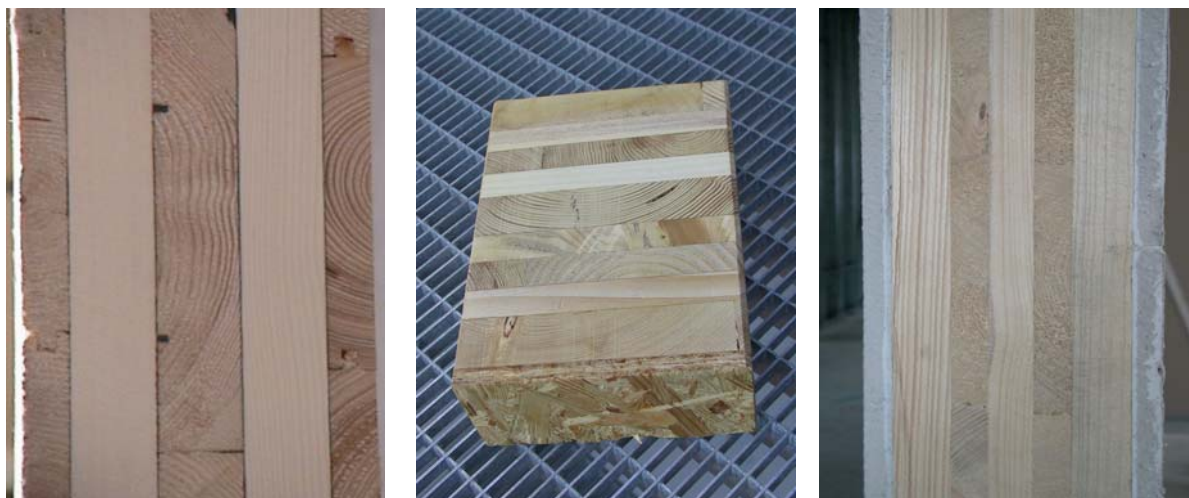
Troj (päť) – vrstvové elementy majú hrúbku približne 100 mm (170 mm). Pri stavbe mostov sa používajú hrubšie elementy.



V súčasnosti neexistuje norma pre výrobu CLT-elementov, avšak viaceré firmy majú už pre svoje výrobky technické osvedčenia. Pre navrhovanie sú známe európske a národné normy.

CLT – elementy sa predávajú s neopracovaným povrchom vonkajších vrstiev, opracovaný povrch (pohľadová úprava) sa robí na objednávku. V takomto prípade je potrebné opracovať obe vonkajšie plochy, aby prierez ostal symetrický. Vonkajšie vrstvy sa potom spájajú napr. na pero a drážku alebo sa používajú laminátové dosky, LVL alebo OSB.

Niektoré používané typy vonkajších vrstiev sú nenosné. Vtedy sú použité kvôli estetickým požiadavkám, stavebno-fyzikálnym požiadavkám (zvuková nepriezvučnosť) a kvôli zlepšeniu požiarnej odolnosti. Tieto vrstvy sú k CLT-elementu skrutkované, kľincované alebo lepené.



Obr. 17 Rôzne povrchové vrstvy CLT- elementov (pero a drážka, OSB, sádrová doska)

3.3 Modelovanie CLT- elementov

3.3.1 Všeobecné aspekty

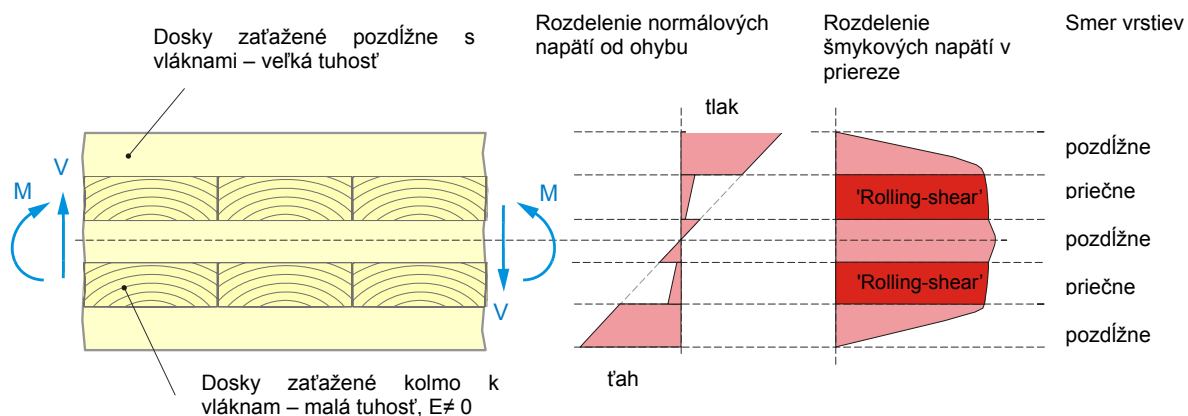
Pri navrhovaní konštrukcie musia byť splnené všetky požiadavky jednak pre konštrukciu ako celok a jednak pre jednotlivé časti konštrukcie (napr. CLT-elementy). Únosnosť a používateľnosť CLT – elementov je ovplyvnená veľkosťou elementu, otvormi v elemente (dvere, okná, komíny, schodiská, svetlíky), skladbou priečného rezu (počet a hrúbka vrstiev, pevnostná trieda vrstiev, typ dreveniny, usporiadanie vrstiev).

3.3.2 Krížom usporiadané vrstvy – „Valivý šmyk“

Pevnostné a tuhostné vlastnosti (ihličnatého) dreva sú v smere kolmo na vlákna výrazne menšie, ako paralelne s vláknami. Určité vrstvy prierezu prenášajú zaťaženie šmykom v radiálnej a tangenciálnej rovine (angl. „Rolling-shear“, nem. „Rollschub“), čím sa svojou malou únosnosťou stávajú pri navrhovaní rozhodujúcimi.

(Odľahčovacia) drážka v doske a voľná úzka strana dosky v rámci jednej vrstvy ešte dodatočne ovplyvňujú ohraničenú šmykovú únosnosť.

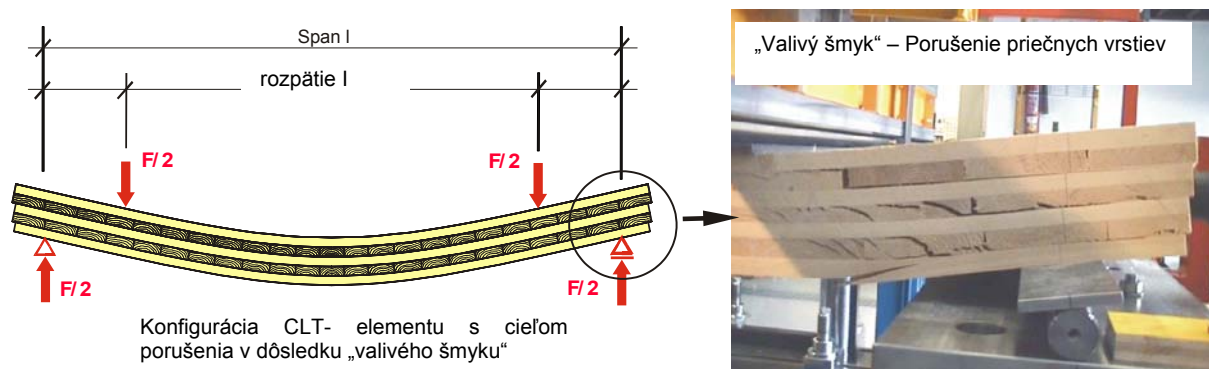
Komplexné správanie sa priečne orientovaných vrstiev sa v praxi redukuje na jednoduché posúdenie nosníka na šmyk. Použité modely sa zameriavajú na jednotlivé homogénne vrstvy, ktoré sú reprezentované svojou hrúbkou, tuhosťami a pevnosťami vlastnosťami.



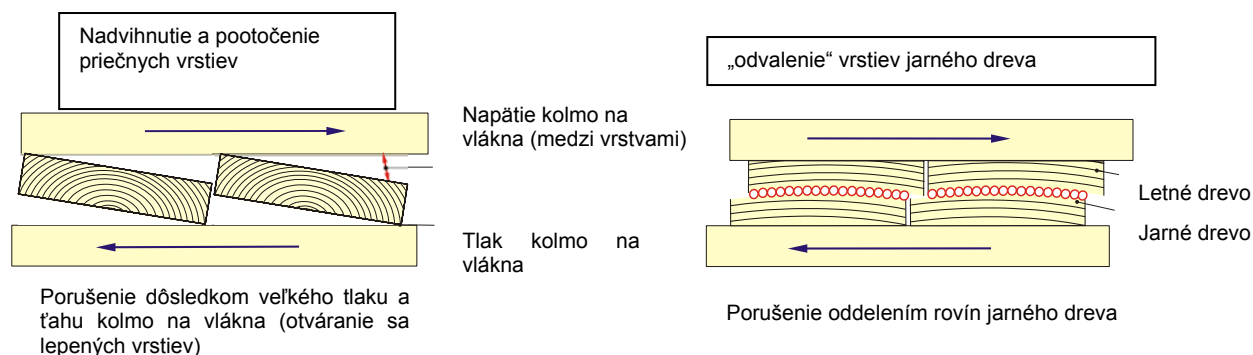
Obr. 18 Rozdelenie napätí CLT- elementu s lepenými úzkymi stranami dosiek, zaťaženie momentom a priečnou silou

Šmykové napätia, ktoré vyvoláva napätie v ploche kolmo na vlákna, sú pomenované ako „napätia valivého šmyku“ (napr. DIN 1052:2004-08).

Z ohybových skúšok CLT-elementov s cieľom dosiahnuť porušenie šmykom je známe, že porušenie nastáva v priečných vrstvách. Z analýzy mechanizmu porušenia je zrejmé, že porušenie je spôsobené kombináciou dvoch foriem porušenia – rotáciou priečnej vrstvy a „odvalenia“ častí jarného dreva, čo je uvedené na obrázkoch 19 a 20.



Obr. 19 Porušenie priečnej vrstvy CLT- elementu počas skúšky ohybom (elementy bez zlepenia kratších strán dosiek)



Obr. 20 Mechanizmy porušenia v priečne orientovanej vrstve CLT-elementu (makroskopicky)

Numerická analýza ukazuje, že šmyková tuhosť pri zaťažení v rovine kolmo na vlákna nie je materiálový parameter. Je to „zmiešaná“ šmyková tuhosť, ovplyvnená viacerými parametrami, uvedenými v tabuľke 2.

Parametre ovplyvňujúce vlastnosti „valivého šmyku“	pozitívne → negatívne
Rozmery dosiek v priečnej vrstve	
Poloha dosky v kmeni	
Šírka letokruhu (Podiel jarné drevo:letné drevo)	
Výroba Tlak Typ lepidla	
Typ zaťaženia	

Tab. 2 Zmenšujúce a zväčšujúce parametre "valivého šmyku"

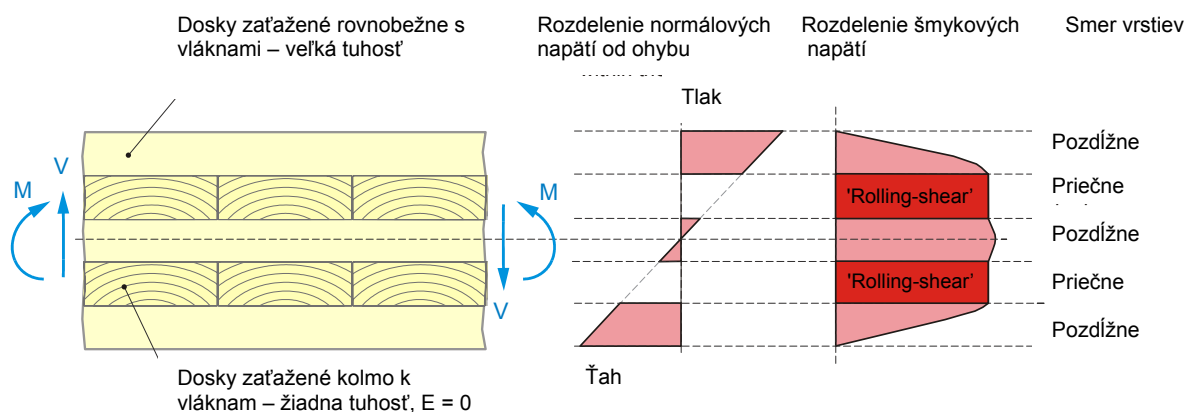
Pri navrhovaní je potrebné zohľadniť skutočnosť, že rôzne predpisy a normy uvádzajú rôzne prístupy pre určovanie parametrov pre navrhovanie viacvrstvových elementov.

3.4 Normy

V súčasnosti nie sú (okrem DIN 1052:2004) v európskych normách uvedené postupy navrhovania CLT-elementov. Jednotliví výrobcovia používajú pre výrobu, navrhovanie a použitie CLT-elementov národné technické predpisy.

Mechanické parametre CLT-elementov môžu byť stanovené na základe vlastností jednotlivých vrstiev a jednotlivých dosiek vo vrstve. Výpočtový model bol publikovaný napr. v [10].

Pre stanovenie napätí v priereze a v jednotlivých vrstvách sa zväčša predpokladá tuhé spojenie jednotlivých vrstiev. Takýto model poskytuje akceptovateľnú presnosť výpočtu napätí. Na výpočet MSÚ a MSP musí byť zohľadnená poddajnosť kolmo uložených vrstiev. Elastické deformácie sa dajú určiť z modelu s tuhým spojením - sú zväčšené približne o 20%. Na získanie presnejších výsledkov je potrebné použiť iný, presnejší model, v ktorom sú zohľadnené šmykové poddajnosti vrstiev.

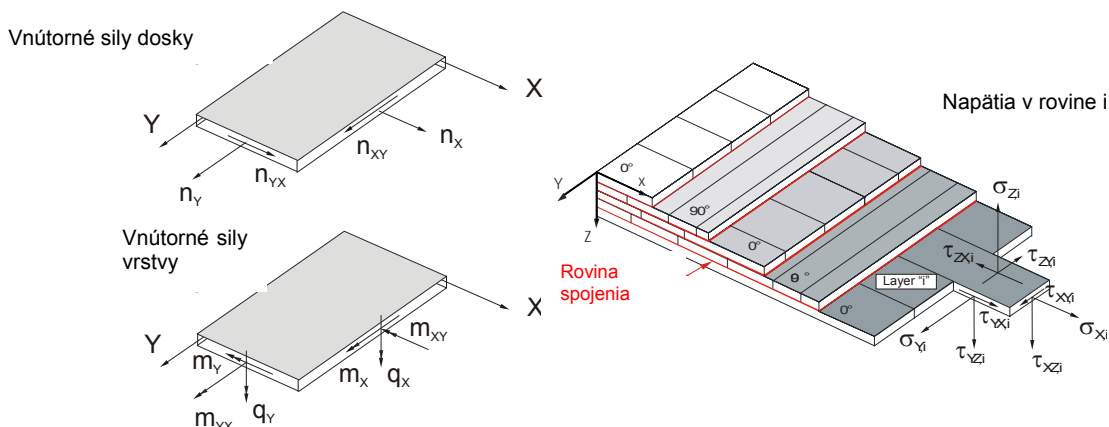


Obr. 21 Rozdelenie napätí CLT- elementu **bez** zlepenia úzkych strán, zaťaženie momentom a priečnou silou

Pre elementy, ktoré sú zložené z jednotlivých „tuhých“ vrstiev – napr. CLT – sa pri navrhovaní postupuje podľa klasickej teórie, uvedenej v DIN 1052:2004. Táto metóda obsahuje posúdenie pretvoreni vplyvom šmyku.

Súhrn pravidiel navrhovania:

- Konštrukcie s prevládajúcimi rozmermi v dvoch smeroch môžu byť posudzované ako dosky, ak je element zaťažovaný kolmo na svoju rovinu a ako steny, ak je element zaťažovaný vo svojej rovine.

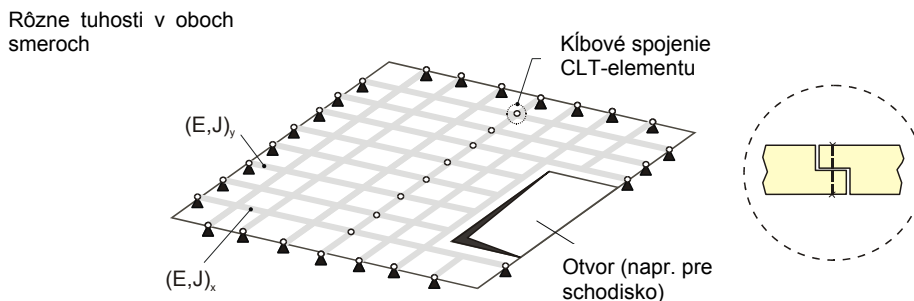


Obr. 22 Označenie vnútorných síl vo vrstvách ako aj napätí v rovine i

- Tuhosti a napätia sa počítajú podľa teórie pre spriahnuté prvky s tuhým spriahnutím (stredná plocha = vzťažná plocha). Musia byť zohľadnené namáhania v smere kolmo na vlákna a tiež valivý šmyk.
- Tuhostné parametre sa určujú v smere hlavných osí. Pri usporiadaní dosiek tesne vedľa seba bez vzájomného zlepenia na susediacich stranách sa dosadzuje hodnota modulu pružnosti v smere kolmom na vlákna rovná nule.
- Zohľadňuje sa vplyv šmykových pretvorení.

3.5 Modelovanie CLT-elementu ako dosky

V závislosti od rozmerov elementu (od pomeru dĺžky a šírky $l:b$) a od spôsobu uloženia, sa uvažuje pôsobenie zaťaženia v jednom alebo dvoch smeroch. CLT-dosky sú uvažované ako prostý nosník alebo viacpoľový nosník. Ak sa predpokladá ohyb v dvoch smeroch, musí sa uvažovať s jednoduchým spojením jednotlivých dosák vo vrstve.



Obr. 23 Modelovanie dosky s dvoma osami, prenos zaťaženia roštom (so zohľadnením okrajov elementu a otvorov)

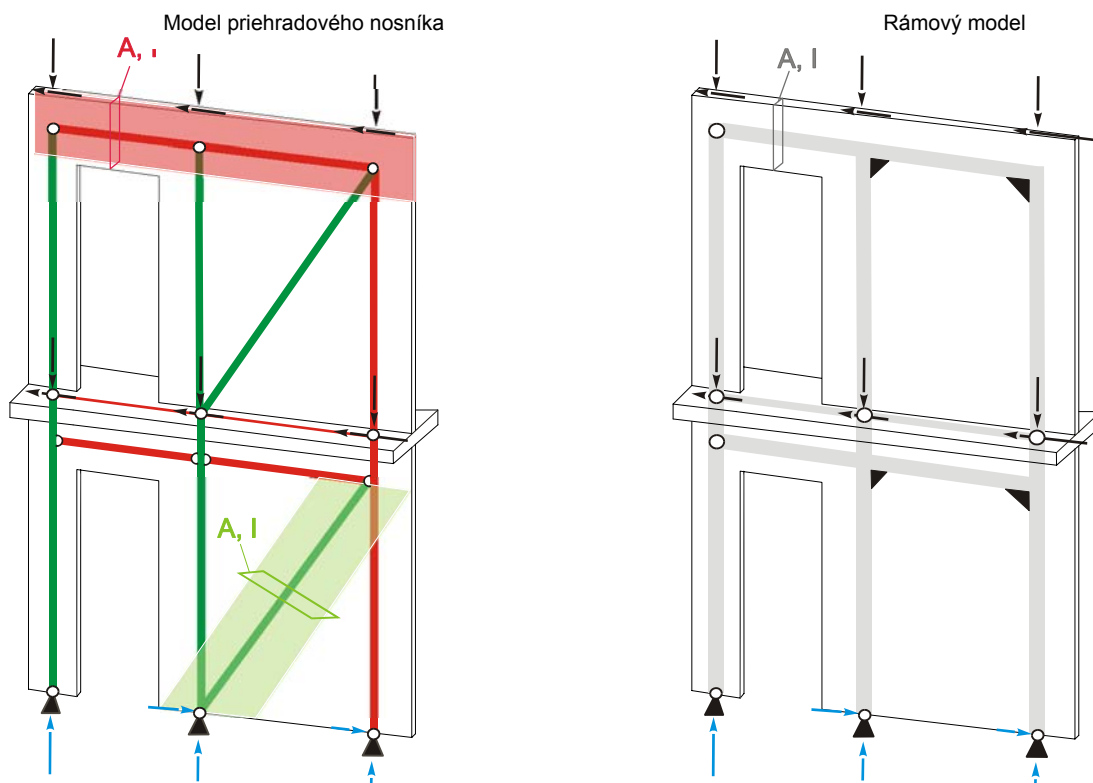
Masívne CLT-stropy sa posudzujú ako tuhé dosky (ak zaťaženia pôsobia plošne), ktoré môžu prenášať zároveň horizontálne zaťaženia (od vetra, seizmicity, atď...). Pri dodržaní bežných konštrukčných pravidiel nie sú potrebné pre tieto zaťaženia žiadne ďalšie posúdenia.

Pri posudzovaní podľa medzného stavu použiteľnosti sa zohľadňujú aj deformácie v dôsledku valivého šmyku ($G_{90,mean} \sim 50 \text{ N/mm}^2$).

Aby sa zabránilo nepríjemným dynamickým deformačným efektom v dôsledku pôsobenia stálych zaťažení, musia byť tieto menšie ako 5 mm. Ak sa veľkosť deformácie nedá garantovať, musí sa urobiť presnejší výpočet (napr. Metódou konečných prvkov).

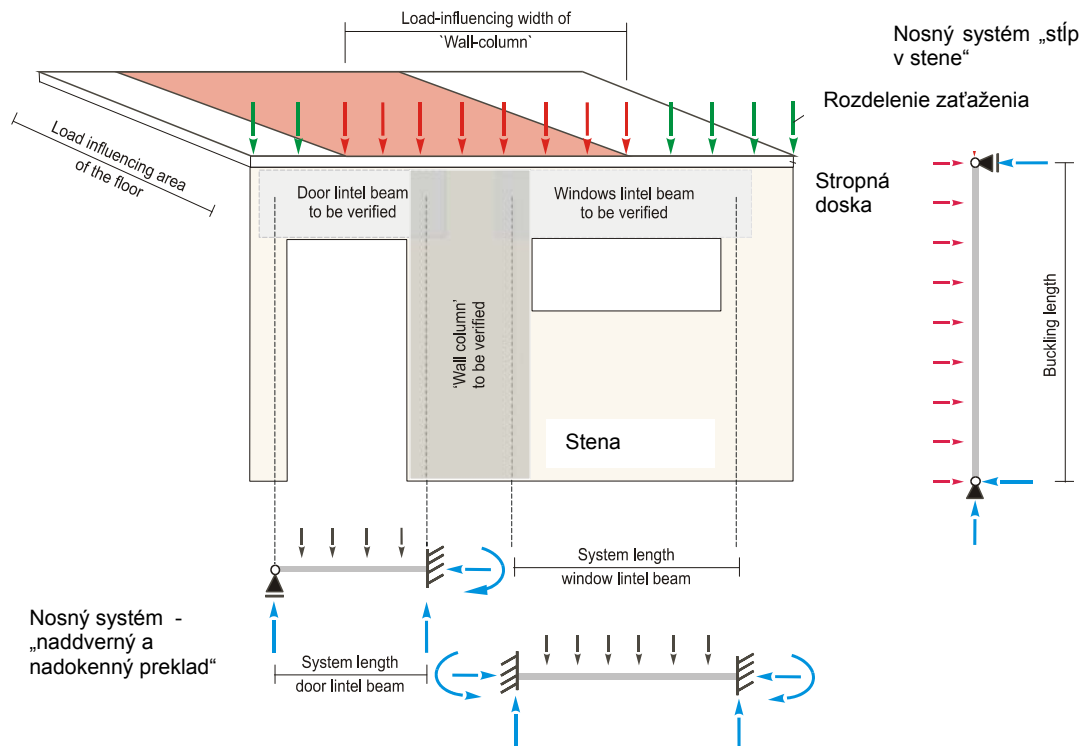
3.6 Modelovanie CLT-elementu ako steny

Na modelovanie CLT-elementov ako stien sa môže použiť model priehradovej konštrukcie alebo rámový model – obr. 24. Pri presnejšom výpočte možno použiť metódu konečných prvkov.



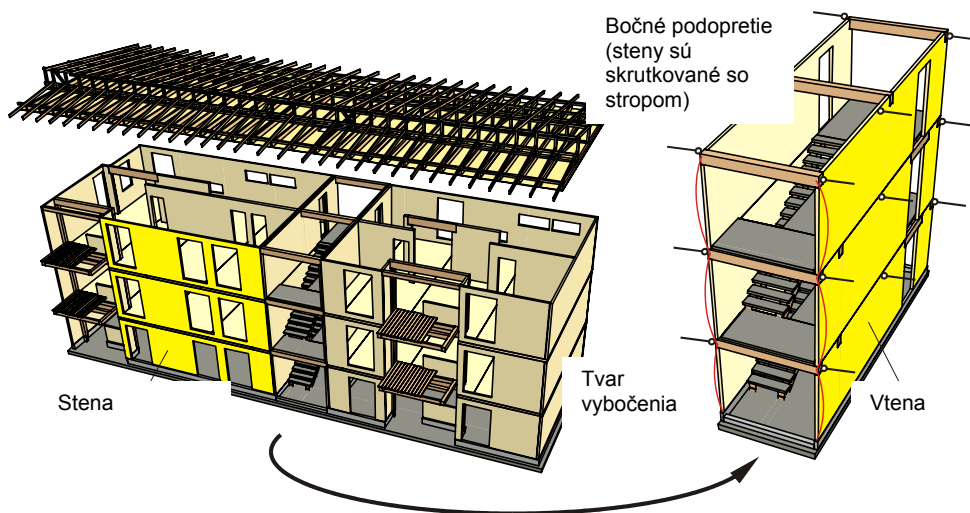
Obr. 24 Modelovanie stenového prvku na dve podlažia. Prvok je zaťažený vertikálnymi a horizontálnymi silami.

Na zohľadnenie dverných a okenných otvorov musia byť vytvorené príslušné modely. Jednoduchý model je uvedený na obr. 25.



Obr. 25 Modelovanie rohu strop-stena, stĺpa v stena a naddverného a nadokenného prekladu

Vzperná únosnosť stien je závislá nielen od štíhlosti (parametre: vzperná dĺžka, efektívna tuhosť), ale aj od spôsobu zaťaženia (excentricita sily, spôsob podopretia). Vo viacpodlažných budovách musia byť steny zohľadnené po celej výške – obr. 26.

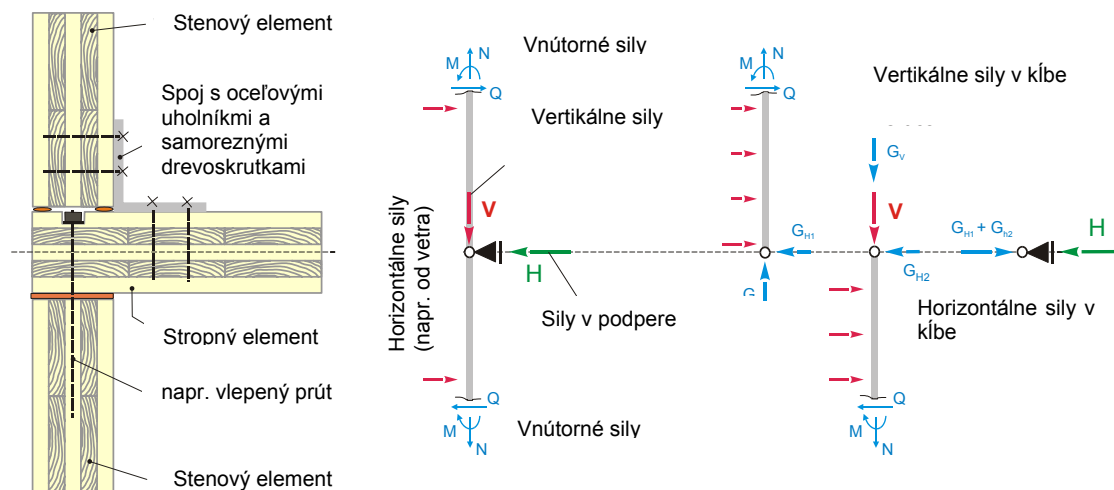


Obr. 26 Modelovanie schodiska ako samostatného prvku

3.7 Modelovanie spojov

Modelovanie spojov musí zohľadňovať zloženie CLT-elementu.

Na modelovanie spojov musia byť vyvinuté príslušné modely, ktoré zohľadňujú konkrétny typ spojovacieho prostriedku (napr. samorezné skrutky, vlepané tyče, kolíky, atď.).

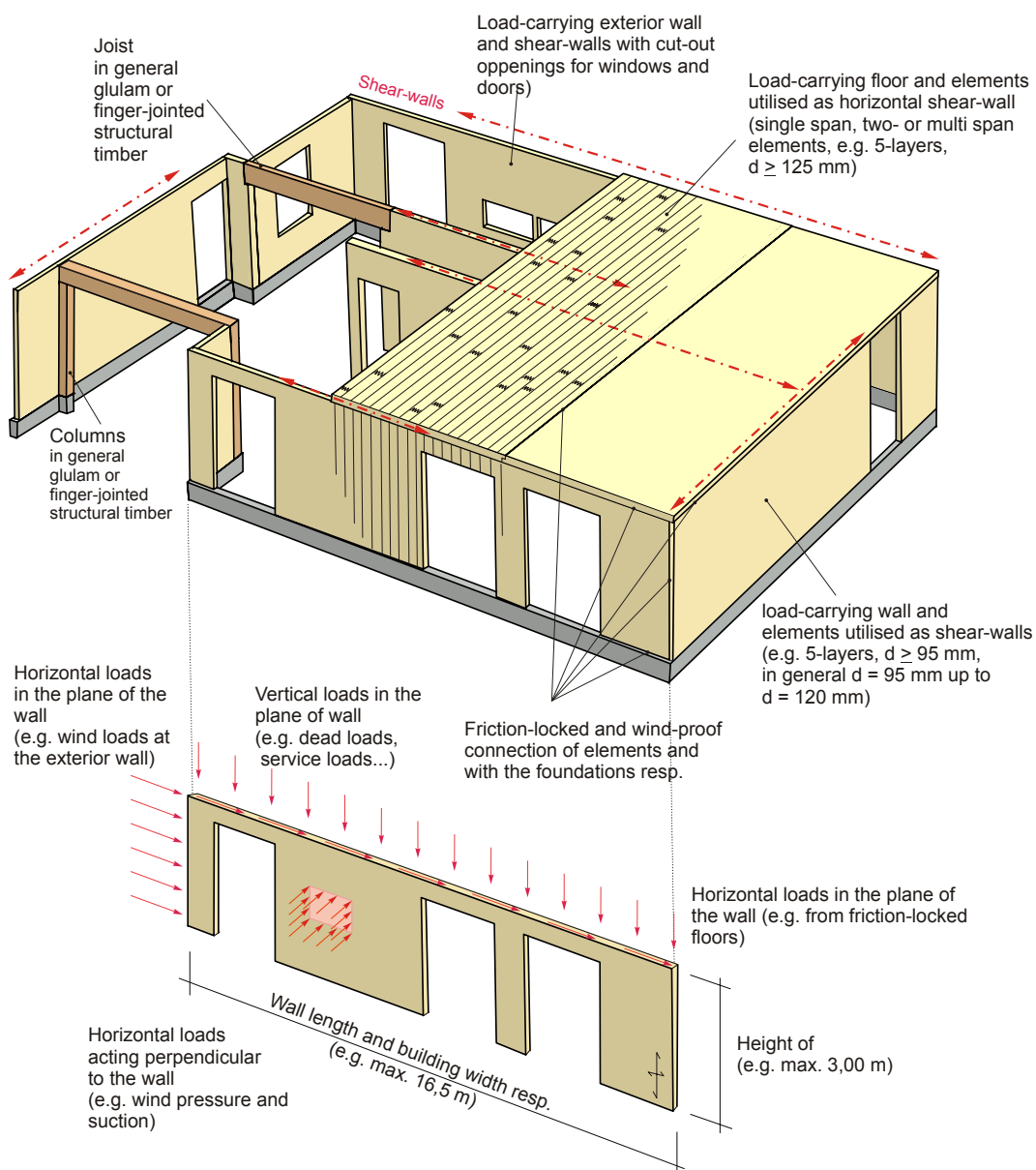


Obr. 27 Modelovanie spoja strop-stena

3.8 Použitie CLT- elementov v jedno- a viac-podlažnom objekte

3.8.1 Všeobecne

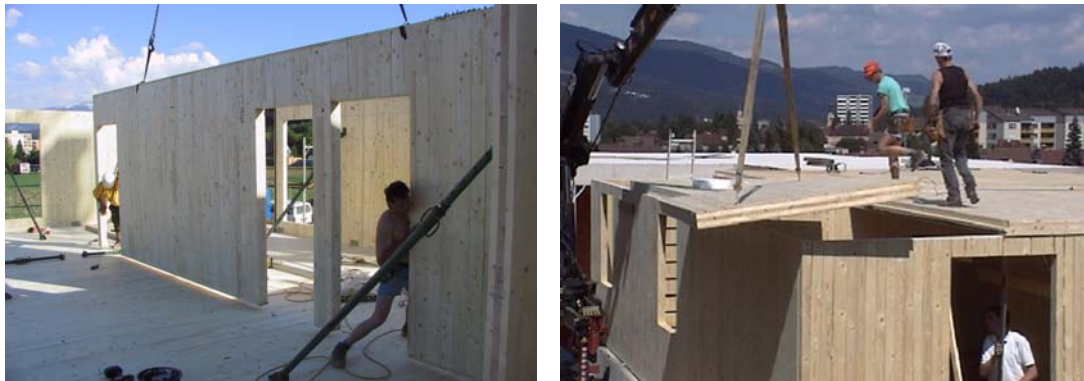
Systém masívnej výstavby z dreva (systém MTC) je charakterizovaný použitím CLT- elementov. Vzhľadom na rozmery prvkov a pomer výšky resp. dĺžky elementov k ich hrúbke sa elementy dajú klasifikovať ako plošné prvky (steny, dosky) resp. 2D-elementy.



Obr. 28 Použitie nosných a výstužných CLT- elementov v konštrukcii domu



Na príklade použitia CLT – elementov pre obytné jednopodlažné a viacpodlažné objekty je ukázaná variabilita výrobkov a dielcov. Použitie je vhodné nielen na veľké vonkajšie a vnútorné steny, stropy a strechy, ale sú možné aj kombinácie s prúťovými prvkami – prievlakmi a stĺpmi.



Obr. 29 Montáž stien a stropov

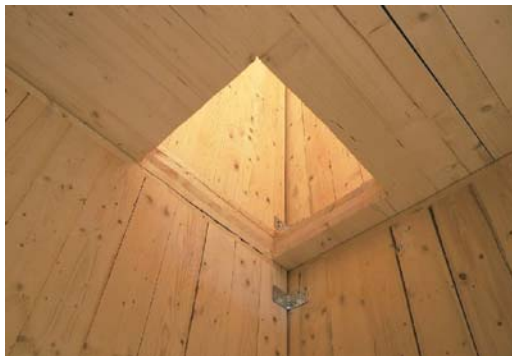


Obr. 30 Nosné a výstužné steny a stropy vo viacpodlažnom objekte



Obr. 31 Schodisková doska

Steny s otvormi (okná a dvere), stropy s otvormi (schodiská, komíny) a strešné elementy s otvormi (svetlíky) sa dajú realizovať spravidla bez ďalšej dodatočnej práce a ďalších dodatočných zosilnení.



Obr. 32 Otvor pre komín a trámový CLT- element so svetlíkmi

CLT- elementy sa používajú tiež ako konzolové alebo bodovo podopreté balkónové dosky.



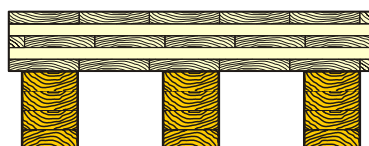
Obr. 33 Balkónové dosky – konzola (vľavo) a bodovo podopretá doska (vpravo)

Zo skúseností je známe, že hrúbka 5-vrstvového stropného elementu vo viacpodlažnom objekte (do troch podlaží) je približne 95 mm. Minimálna hrúbka stenového prvku je závislá od rozpätia a typu použitého výrobku. Vo všeobecnosti sa neodporúča menšia hrúbka ako 75 mm.

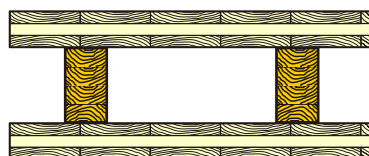
V závislosti od usporiadania stropu, tiaže podlahových vrstiev a úžitkového zaťaženia sa dajú hospodárne realizovať stropy s rozpätím 4,0 až 5,0 m pomocou 5-vrstvových elementov hrúbky 125 mm až 160 mm. Pre väčšie rozpätia stropu a vyššie stenové prvky sa môžu použiť trámové alebo komôrkové stropné konštrukcie so stenami z nosníkov z lepeného lamelového dreva.



Trámový strop
CLT, 5 vrstiev + LLD (GL24 až GI36)



Komôrkový prierez
CLT, 3 vrstvy + LLD (GL24 až GI36) + CLT 3 vrstvy



Obr. 34 Trámový strop s použitím CLT- elementov

Masívne steny, stropy a strešné elementy sa dajú vyrábať spolu s predpripravenými prípojami veľmi presne. Dá sa tak usporiť čas a náklady spojené s korigovaním nepresností výroby na stavbe. Izolácie, debnenia, obklady a fasádne elementy sa dajú pripojiť jednoducho a rýchlo.

Je možná tiež kombinácia s inými stavebnými systémami (napr. murovanými konštrukciami).

3.8.2 Realizácia stenových prvkov

Vystuženie budov, ktoré sú montované z CLT – elementov, je realizované kombináciou stenových a stropných prvkov, pričom vzniká tuhá trojdimenzionálna konštrukcia. Väčšinou vznikne tuhá konštrukcia priamo spájaním prvkov, takže nie je potrebné ďalšie vystužovanie. Potrebný počet výstužných prvkov vyplýva z geometrie budovy, prierezu použitých elementov, geometrie jednotlivých elementov a tiež od veľkosti a typu zaťaženia.

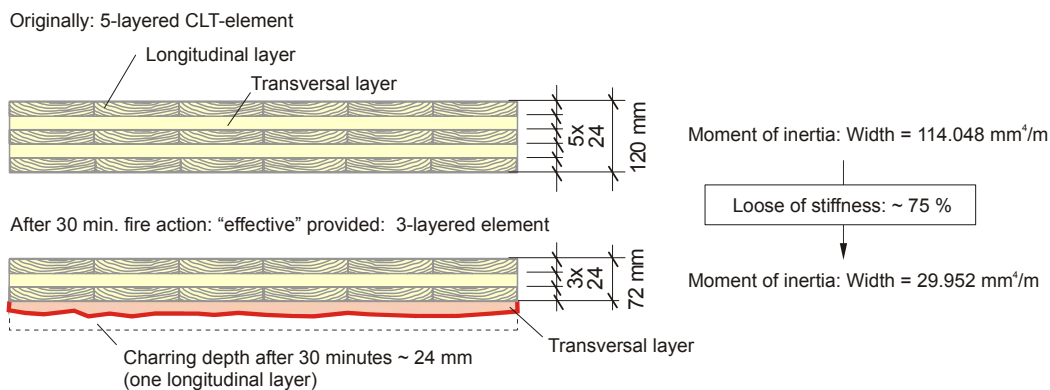
Na prenos vodorovného zaťaženia je okrem typu spojovacích prostriedkov dôležitá aj dĺžka stien, ktoré môžu preberať horizontálne zaťaženie. Pri návrhu je potrebné zohľadniť počet a veľkosť otvorov v stenách.

Masívne steny sú v porovnaní so stenami v stĺpikových konštrukciách tuhšie. Z tohoto dôvodu môže byť ich počet (účinná dĺžka) výrazne redukovaný.

3.8.3 Požiarna odolnosť konštrukcií s použitím CLT- elementov

CLT- elementy sú zložené z rôznych rovín, z organického dreva a z materiálov drevu podobných, ktoré môžu horieť. Napriek tejto skutočnosti sa správanie dreva v prípade požiaru považuje za vhodné. V prípade požiaru vytvoria vonkajšie zhorené vrstvy ochrannú izolačnú vrstvu („rovina pyrolýzy“), čím sú ďalšie vrstvy pred požiarom chránené. Teplo sa rozširuje pomalšie a horenie sa spomalí. Zmenšenie únosnosti prvku je spôsobené zmenšením prierezu.

V rámci požiarnych skúšok musí byť zohľadnená strata vonkajšej vrstvy. To znamená, že v 5-vrstvovom elemente v prípade 30-minútového požiaru zhorí najmenej jedna vrstva. Z pôvodného elementu s tromi pozdĺžnymi a dvomi priečnymi vrstvami sa po 20 minútach pôsobenia požiaru stane element s tromi vrstvami. Tento však pôsobí ďalších tridsať minút ako element s tromi vrstvami (horí vlastne druhá, nenosná (priečna) vrstva).



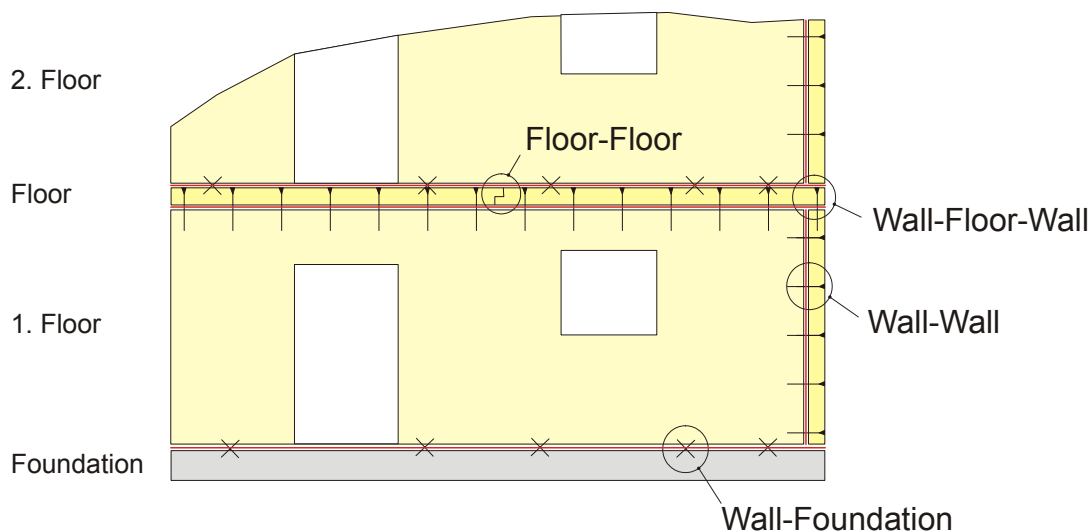
Obr. 35 Strata tuhosti CLT-elementu namáhaného požiarom z jednej strany

Experiment so 120 mm hrubým 5-vrstvovým CLT-elementom ukázal, že sa dá dosiahnuť 60-minútová odolnosť voči požiaru. Pri určitej skladbe vonkajšej roviny a/alebo opláštením elementu dodatočnou vrstvou (napr. sádkartónom) sa dá dosiahnuť ešte vyššia požiarna odolnosť.

3.9 Spojovacia technika pre CLT- elementy

3.9.1 Všeobecne

Použitím veľkých elementov v masívnej výstavbe vzniká iba málo spojov. Tieto sú rozdelené podľa spájaných prvkov na spoje stena-stena, stena-základ, stena-strop a strop-strop. Spoje sú zväčša realizované (konvenčnými) mechanickými spojovacími prostriedkami.



Obr. 36 Poloha spojov rovín vo viacpodlažnej budove

Zhotovenie spojov CLT-elementov v uvedených miestach a ich dimenzovanie prebieha väčšinou rozdelením spoja do jednotlivých bodov. Používanými spojovacími prostriedkami sú samorezné drevoskrutky, vlepované tyče do dreva, kolíky a svorníky. Môžu byť použité aj spojovacie systémy s príslušným technickým povolením.

V spoji stena-strop a stena-základ sa vyskytujú prevažne tlakové napätia vznikajúce od vlastnej tiaže konštrukcie. Ťahové sily vznikajú zriedkavo – napr. v prípade montáže a /alebo určitej geometrie jednotlivých dielcov. Ťahové sily musia byť zachytené vhodnými spojmi.

Pre umiestnenie spojov sa a ich dostatočnú únosnosť sa vyžaduje:

- Na vonkajšej ploche elementu musí byť zohľadnená poloha spojovacích prostriedkov
- Musia byť dodržané pravidlá pre vzdialenosti spojovacích prostriedkov, pre predvrtanie otvorov, pre lepené dĺžky, atď. Pri vzniknutej medzere medzi jednotlivými doskami (môže vzniknúť pri výrobe) je potrebné túto pri návrhu spoja zohľadniť.
- V dôsledku kolmej orientácie vrstiev ($0^\circ, 90^\circ, 0^\circ \dots$) možno očakávať iné pevnostné a tuhostné pomery spoja, ako pri navrhovaní prútových prvkov. Pre spojovacie prostriedky používané v súčasnosti (samorezné drevoskrutky, vlepované tyče, kolíky a svorníky) je dôležité predpokladať určitý model pôsobenia spoja. Teito modely sú v súčasnosti vyvíjané. Pred použitím novovyvinutého spoja je nutné jeho experimentálne skúšanie.



3.9.2 Drevoskrutky

Priečne zaťažené drevoskrutky musia mať menovitý priemer d_s minimálne 4 mm. Zároveň musia byť aspoň štyri strihové plochy. Ak je priemer skrutky väčší ako 10 mm, vyžadujú sa aspoň dve strihové plochy. Skrutky sa môžu použiť v CLT-elementoch aj do čelných plôch, ak sú dodržané príslušné predpisy.

Ak vo vnútorných vrstvách existujú medzi spájanými doskami medzery, tak sa za nosnú vrstvu pre spojovacie prostriedky považuje iba vonkajšia vrstva. Kvôli tejto skutočnosti je výhodnejšie, ak sú dosky jednotlivých vrstiev spájané na kratších stranách lepením.

Veľmi dobrým spojovacím prostriedkom s vysokou únosnosťou sú samorezné drevoskrutky, ktoré sú zároveň hospodárnym riešením. Vyrábané sú priemery 8 mm, 10 mm a 12 mm, dĺžky až do 600 mm. Môžu sa použiť bez predvrtania pod rôznymi uhlami vzhľadom na vlákna dreva. Väčšinou sú tieto skrutky zaťažené osovo, čo umožňuje prenos pomerne veľkých síl.

3.9.3 Vlepované tyče

Vlepované tyče sú primeraným spojovacím systémom CLT-elementov. Umožňujú spojenie úzkych strán a prenos veľkých síl v prípade pôsobenia zaťaženia priečne a pozdĺžne vzhľadom na os.

V prípade, že dosky elementu nie sú lepené na užších stranách, môže vlepovaná tyč prechádzať cez nezlepenú medzeru, čím sa jej únosnosť výrazne zmenší.

3.9.4 Kolíky a svorníky

Kolíky a svorníky sa môžu používať na spájanie CLT-elementov, sú zaťažené priečne. Musí byť zohľadnený smer rovín priečného rezu elementu. V prípade, že dosky elementu nie sú lepené na užších stranách, môže kolík alebo svorník prechádzať cez nezlepenú medzeru, čím sa jeho únosnosť výrazne zmenší.

3.9.5 Klince, kruhové záchytky a klinové dosky

Tieto spojovacie prostriedky sa ešte prednedávnom nepoužívali na spájanie CLT-elementov.

Použitie klincov – špeciálne ryhovaných a špirálových – väčšinou v kombinácii s oceľovými uholníkmi je pri dodržaní vyššie uvedených požiadaviek možné. Klinové spoje na úzkych stranách elementov nie sú podľa nám dostupných informácií dovolené.

Kruhové záchytky a klinové dosky sa na spájanie CLT-elementov môžu používať, musí byť však zohľadnená skutočnosť, že ich únosnosť je veľmi ovplyvnená polohou spojovacieho prostriedku.



3.10 Detaily spojov

3.10.1 Všeobecné požiadavky

Všetky prípoje musia byť uzavreté vhodným spôsobom (tesniace pásy, gumové profily, atď.), aby boli pripájané hrany vzduchotesné a prachotesné. Tiež musia byť zohľadnené požiadavky na zvukovú nepriezvučnosť. Zhotovenie spojov musí byť urobené podľa technologických predpisov pre použité výrobky. Väčšina spojov potrebuje pre svoju funkčnosť určitú prítlačnú silu. Nie je dovolené, aby spojovací prostriedok ovplyvňoval tesnosť spájanej hrany.

Vo všetkých kontaktných miestach môžu vznikať deformácie tesnení a deformácie vplyvom zosychania a napučievania CLT-elementov. Špeciálne kolmo na rovinu CLT-elementov (radiálne napučievanie) môžu dosahovať pomerne veľké hodnoty. Tieto pohyby súvisiace so zmenou vlhkosti musia byť zohľadnené pri návrhu tesnení. Projektant musí pri návrhu zohľadniť správanie sa spájaných prvkov a taktiež tesnení.

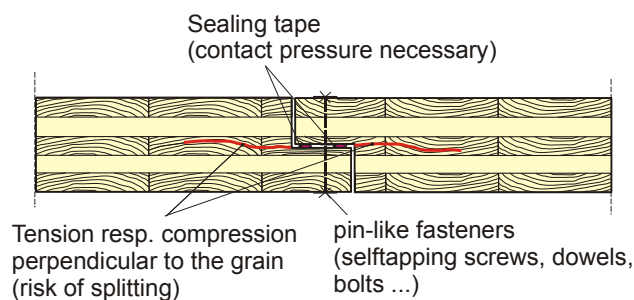
V dôsledku tolerancií pri výrobe CLT-elementov, nepresností montáže, sadania konštrukcie a ostaných deformácií sú hodnoty koeficientov trenia μ často neznáme. Pozitívny efekt trenia v spojoch medzi elementami sa preto nemôže využívať.

Nasledujúce obrázky ukazujú tzv. „hlavné detaily“ pre najdôležitejšie spájané hrany CLT-elementov v bytovej výstavbe (použitie pre elementy s výškou podlažia). Viac prípojov je uvedených na stránke <http://www.bauphysik.tugraz.at/aktuelles/pdf/bph5.pdf>.

Väčšina návrhov je použiteľná pre elementy, v ktorých sú úzke hrany dosák lepené. Ak nie je možné použiť takýto element, musia byť urobené ďalšie opatrenia (napr. použitie membrán a fólií). Poloha spojovacích prostriedkov musí byť prispôbená stavebnofyzikálnym požiadavkám.

3.10.2 Spoj stropná doska-stropná doska

Kvôli výrobným a transportným možnostiam sa elementy vyrábajú s obmedzenými šírkovými rozmermi (v závislosti od výroby 3,0 až 4,0 m). Pre stropy s väčšími rozmermi sú dôležité spoje jednotlivých elementov. Jednou z možností je preplátovanie v kombinácii so skrutkami. Tento prípoj môže prenášať normálové a priečne sily, ale nie je to momentový spoj. Tento spoj je bežne používaný na spojenie pozdĺžnych strán elementov. V prípade nerovnomerných zaťažení jednotlivých elementov vzniká nebezpečenstvo rozštípenia prierezu v dôsledku veľkých ťahových alebo tlakových napätí v smere kolmom na vlákna. V takomto prípade je potrebné použiť svorníkový spoj.

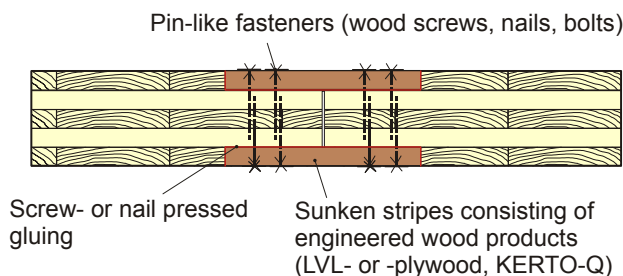


Obr. 37 Spoj stropná doska – stropná doska (nulová momentová únosnosť)



Obr. 38 Spoj stropná doska – stropná doska

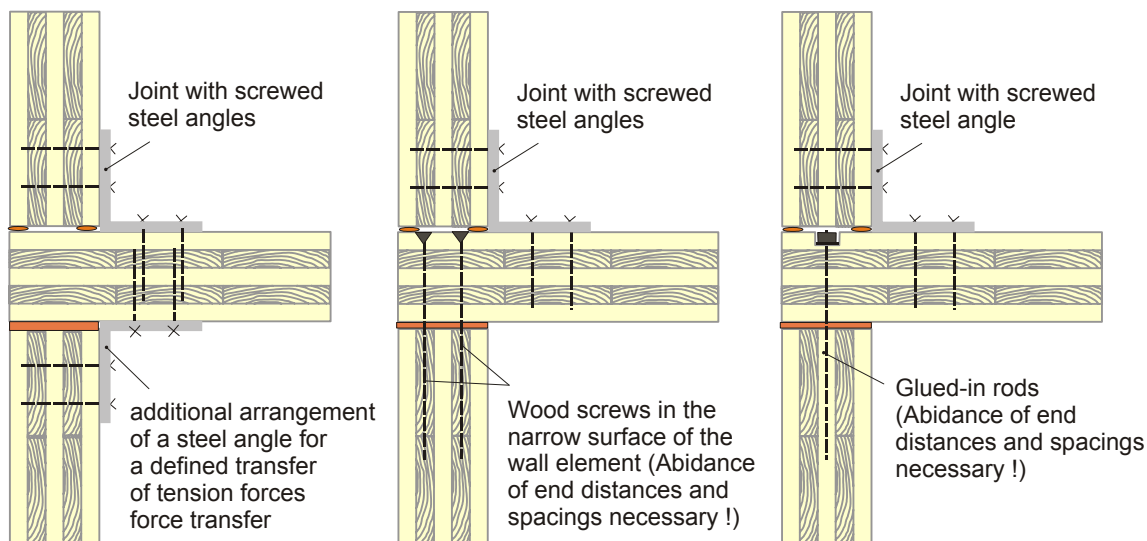
Pri použití príložiek z technických výrobkov z dreva (napr. troj – alebo viacvrstvomá doska, KERTO-Q) sa dá vytvoriť aj momentový spoj. Príložky sú spojené skrutkami alebo lepením s vyvodením príťažnej sily klincami alebo drevoskrutkami – obr. 39.



Obr. 39 Spoj stropná doska – stropná doska (momentový spoj)

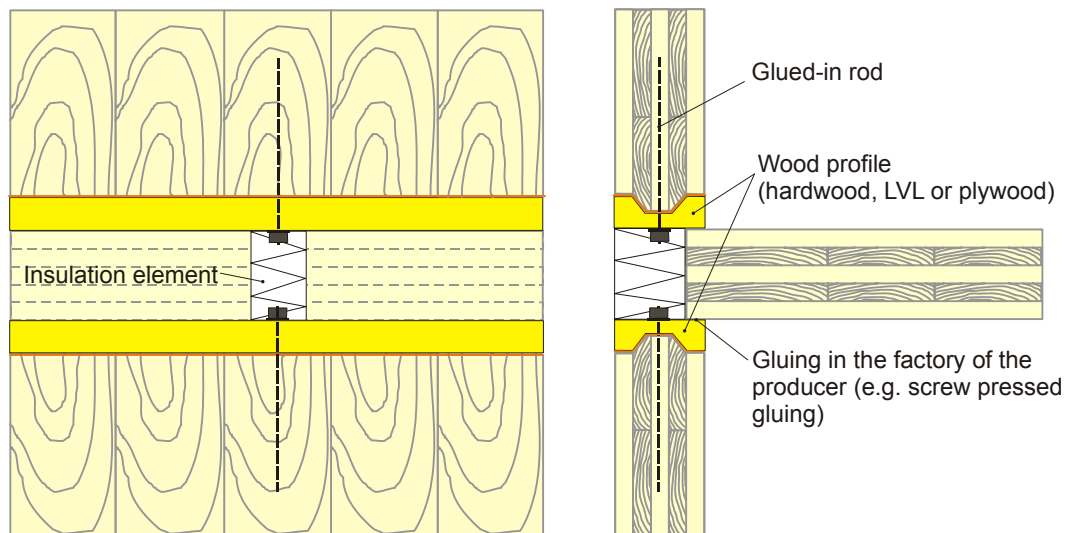
3.10.3 Spoje stena- stropná doska

Pre spojenie steny a stropu sa používajú oceľové uholníky, samorezné skrutky a vlepované tyče. Týmito spojovacími systémami sa môžu do stropu prenášať horizontálne sily (napr. od vetra). Stenové elementy môžu prenášať sily, ktoré spôsobujú namáhanie stropu na nadvihnutie.



Obr. 40 Spoj stena – stropná doska

Spoj elementov stena – stropná doska môže byť vytvorený aj pomocou drevených profilov. Ako materiál sa používa LVL, dubové alebo agátové profily. Lokálne otvory v doske dovoľujú aj použitie vlepovaných tyčí.

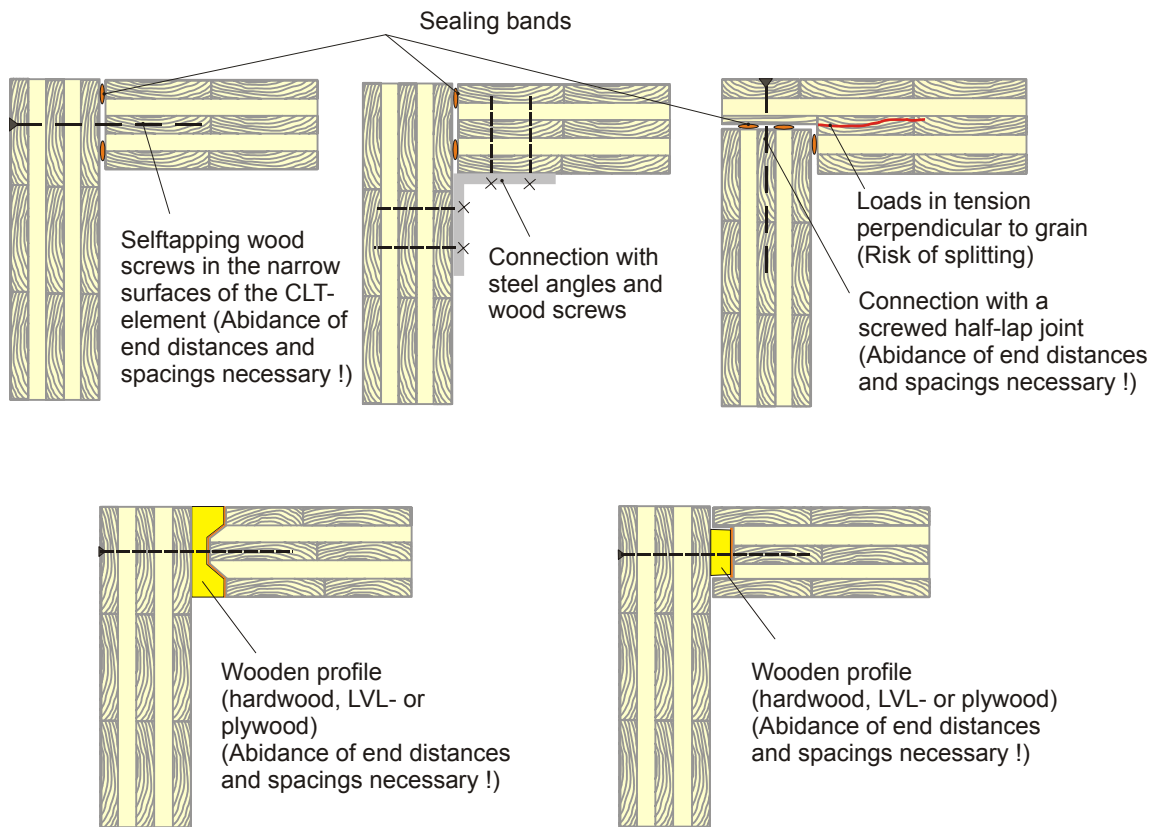


Obr. 41 Spojie stena – stropná doska pomocou vlepovaných tyčí

Je potrebné vyhnúť sa priamemu spoju stropnej dosky so spodným stenovým elementom pomocou skrutiek, pretože tieto by boli osadené do čelnej strany elementu, čo je nevhodné umiestnenie. Pre nosné spoje je potrebné použiť spojovacie prostriedky priemeru $d_s < 10\text{mm}$ a spájať najmenej štyri šmykové roviny.

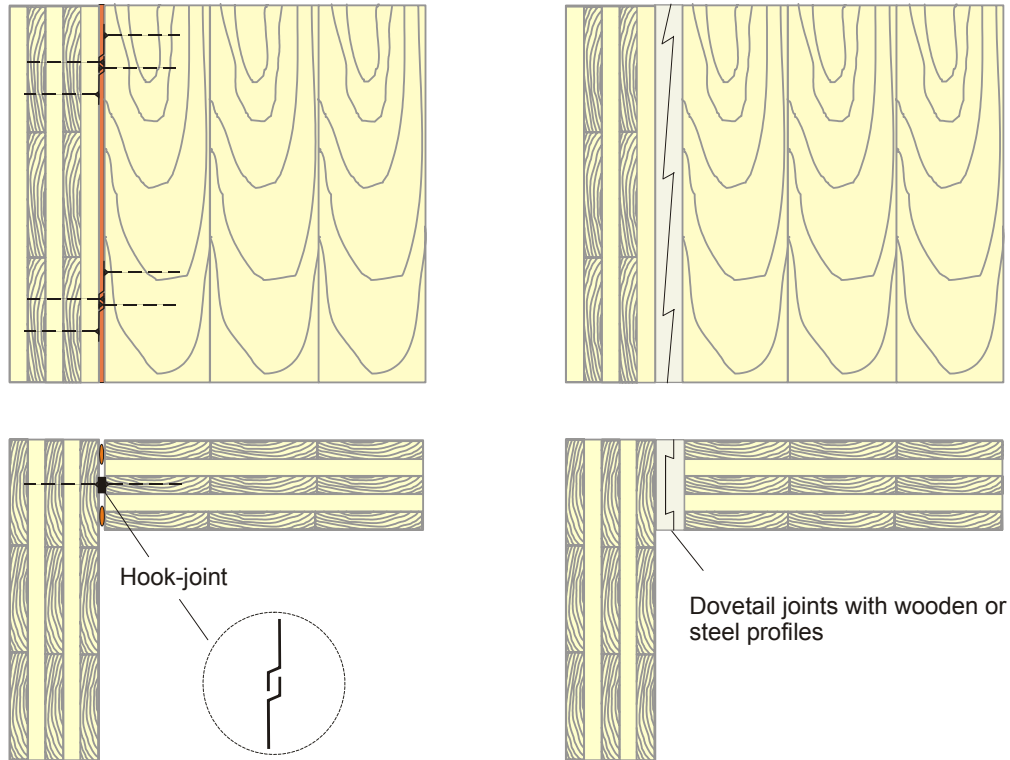
3.10.4 Spoje stena – stena v rohoch

Tento spoj môže byť zhotovený v rôznych variantoch, spravidla s použitím samorezných drevoskrutiek – obr. 42.



Obr. 42 Možnosti spoja stena – stena v rohoch

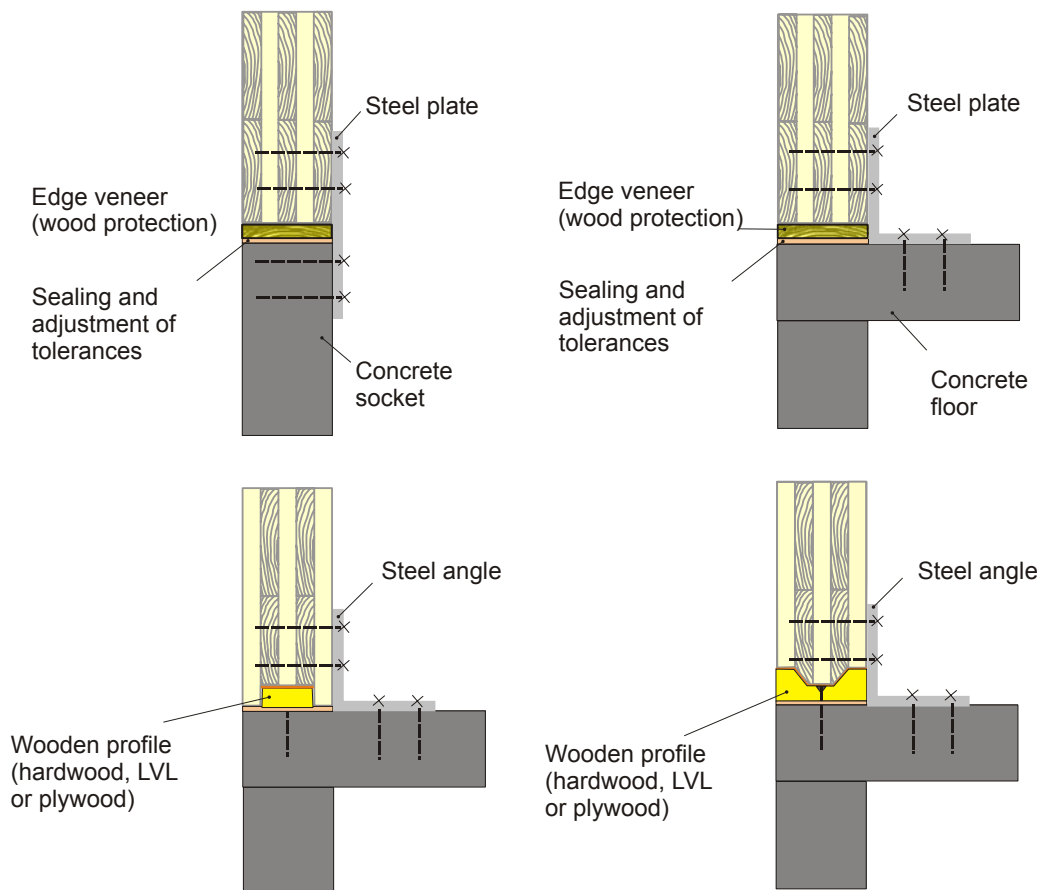
Ďalšou možnosťou tohoto spoja je použitie špeciálnych profilov, ktoré sú kombináciou dreva a ocele a vytvárajú spojovací systém, obdobný ako v nábytkárskom priemysle. Pri primeranej príprave spoja v dielni je potom montáž spoja na stavbe veľmi jednoduchá – obr. 43.



Obr. 43 Spojie stena –stena v rohu

3.10.5 Spoj stena – základ a stena – hrana betónovej dosky

Na spojenie stenových CLT-elementov so základom a betónovou stropnou doskou existuje viacero spôsobov. Vo väčšine prípadov sa jedná o spoj pomocou ocelevej dosky a/alebo oceleového uholníka a drevoskrutiek ako spojovacích prostriedkov do CLT-elementu. Z dôvodu ochrany dreva pred vlhkosťou a výrobných tolerancií dreva aj betónu sa používajú drevené profily (z tvrdého dreva) alebo profily z technických výrobkov z dreva – obr. 44.



Obr. 44 Rôzne možnosti vytvorenia spojov stena – základ a stena – betónová doska

3.10.6 Špeciálne spojovacie prostriedky pre CLT-elementy

Spoje stena – stropná doska – stena môžu byť realizované aj vlepovanými oceľovými tyčami, ktoré sú vlepované už vo výrobnej dielni. Počas montáže budovy sa CLT-elementy spájajú oceľovými prstencami, ktorými sú elementy fixované. Tento spôsob spájania je v súčasnosti ešte vo vývoji.

Na spájanie sa používajú tiež systémy podobné z nábytkárskeho priemyslu, prirodzene adaptované na veľkosť pôsobiacich síl. Takýmto spôsobom sa dá doceliť vysoký stupeň predprípravy konštrukcie.



4 Literatúra

- [1] Ranta-Maunus, A.;
“Laminated veneer lumber and other structural sections“,
Kapitel A9 von “STEP 1 – Timber Engineering“; Erste Ausgabe, Zentrum Hout,
Niederlande, 1995
- [2] Steck, G.;
“Wood-based panels – Plywood“,
Kapitel A10 von “STEP 1 – Timber Engineering“; Erste Ausgabe, Zentrum Hout,
Niederlande, 1995
- [3] Griffiths, R.;
“Wood-based panels – Fibreboard, particleboard and OSB“,
Kapitel A11 von “STEP 1 – Timber Engineering, Erste Ausgabe, Zentrum Hout,
Niederlande, 1995
- [4] Schickhofer, G.; et.al.
“Holzbau – Der Roh- und Werkstoff Holz, Part A“,
Skriptum, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz,
Graz/Österreich, 2004 (in Deutsch)
- [5] Porteous, J.; Kermani, A.;
“Structural design to Eurocode 5“,
Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK, 2007
- [6] McKensie, W.M.C.; Zhang, B.;
“Design of Structural Timber to Eurocode 5“,
Zweite Ausgabe, Palgrave Macmillan, UK, 2007
- [7] Tsoumis, G.;
“Science and Technology of Wood – Structure, Properties, Utilization“,
Van Nostrand Reinhold, New York, USA, 1991
- [8] Kollmann, F.F.P.; Kuenzi, E.W.; Stamm, A.J.;
“Principles of Wood Science and Technology, Volume II: Wood Based Materials“,
Springer, Berlin-Heidelberg, Deutschland, 1975
- [9] pro:Holz Austria (Ed.);
“Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich, Holzskelett- und Holzmassivbauweise“,
ISSN 1680-4252, pro:Holz Austria, Wien, Österreich, 2002 (in Deutschland)
- [10] Jöbstl, R.A.; et.al.
“A Contribution to the Design and System Effects of Cross Laminated Timber (CLT)“,
Paper 39-12-4, Proceedings of CIB-W18, Florenz, Italien, 2006
- [11] Jöbstl, R.A.; Schickhofer, G.;
“Comparative Examination of Creep of GLT- and CLT-slabs in bending“,
Paper 40-12-3, Proceedings of CIB-W18, Bled, Slovenien, 2007



- [11] Schickhofer, G.; Moosbrugger, T.; (Ed.)
“Brettsper Holz – Ein Blick auf Forschung und Praxis“,
Proceedings, Technische Universität Graz, Institute für Holzbau und Holztechnologie,
Graz, Österreich, 2006

- [12] Guggenberger, W.; Moosbrugger, T.;
“Mechanics of Cross-Laminated Timber Plates under Uniaxial Bending“,
Paper, Proceedings of the 9th World Conference on Timber Engineering, Portland,
Oregon, USA, 2006

- [13] Moosbrugger, T.; Guggenberger, W.; Bogensperger, T.;
“Cross-Laminated Timber Wall Segments under homogeneous Shear – with and
without openings“,
Paper, Proceedings of the 9th World Conference on Timber Engineering, Portland,
Oregon, USA, 2006

Kapitola 6 spracoval DI Manfred AUGUSTIN, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Graz,
Technische Universität Graz, Rakúsko.



Kapitola č. 7

NAVRHOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

Úvod

Kapitola pojednává o filozofii navrhování a posuzování spolehlivosti dřevěných konstrukcí. Jsou zde vysvětleny pojmy, jako např.: spolehlivost konstrukcí, mezní stavy, účinky zatížení, výpočtové modely, referenční úrovně a metody ověření spolehlivosti konstrukcí.

Navrhování konstrukcí

Navrhování stavebních konstrukcí je proces založený na racionálních úvahách vycházejících z požadavků kladených na navrhované konstrukce. Je to mnohastupňový proces. Jednou z nejdůležitějších částí tohoto procesu je stanovení spolehlivosti navrhované konstrukce.

Všeobecně se spolehlivostí konstrukce rozumí schopnost nosného systému plnit zadané požadavky po předpokládanou dobu technické životnosti (= provozuschopnost). Porucha je stav, kdy konstrukce přestává plnit požadované funkce. **Porucha** je tedy ztráta požadovaných vlastností.

Metody návrhu a posuzování spolehlivosti konstrukcí odpovídají úrovni znalostí a technické (počítačové) podpory v době jejich vzniku. Od 19. století se zvyšuje kvalita těchto metod spolu s množstvím a hloubkou znalostí o struktuře materiálů, jejich chování v různých (často mezních) situacích, o účincích zatížení a v neposlední řadě s vývojem stále dokonalejších výpočetních metod, popisujících stavy napětí a deformace konstrukcí. Tento trend je navíc v poslední době umocňován rozvojem výpočetní techniky.

Navrhování podle mezních stavů

Proces posuzování spolehlivosti konstrukcí lze rozdělit do dvou oblastí řešení. Ve smyslu filozofie mezních stavů jsou vyšetřovány dvě charakteristiky – **účinek zatížení** a **odolnost konstrukce**. Následně je vyšetřována jejich interakce. Je nutné ověřit, že účinky zatížení nepřekročí odolnost konstrukce v mezním stavu únosnosti a rovněž účinky zatížení nepřekročí návrhová kritéria v mezních stavech použitelnosti.

V průběhu vyšetřování účinků zatížení je nezbytně nutné:

- a) určit všechna **zatížení** působící na konstrukci a jejich kombinace po celou dobu předpokládané životnosti konstrukce,
- b) vybrat vhodný **výpočtový model** pro určení odezvy konstrukce,



c) určit **odezvu** konstrukce na účinky zatížení v čase.

V průběhu vyšetřování odolnosti konstrukce je nezbytně nutné:

a) určit materiálové charakteristiky,

b) určit geometrické a průřezové charakteristiky konstrukce,

c) určit referenční hodnoty, ke kterým se bude vztahovat posouzení spolehlivosti.

V procesu posuzování spolehlivosti je obvykle nutné uvažovat rovněž s reologickými vlastnostmi materiálů, s účinky geometrických a materiálových imperfekcí, s degradačními činiteli, atd.

Posuzování spolehlivosti konstrukcí lze rozdělit na:

posuzování **bezpečnosti** (únosnosti);

posuzování **použitelnosti**.

1.1 Účinky zatížení na konstrukce

Zatížení stavebních konstrukcí je fyzikální povahy, působí na konstrukce a vyvolává změny stavu napětí a deformace stavebních konstrukcí. Zatížení se na konstrukcích objevuje ve formě **silové** (síly a momenty) nebo **deformační** (v podobě vynucených zatížení způsobených teplotou, účinky poddolování, záplavami, atp.).

Účinky zatížení lze rozlišovat podle různých kritérií. Příslušná kritéria jsou vztahována k uvažovaným situacím. Jedním z kritérií je takové, které dělí zatížení na přímá a nepřímá. Dalšími kritérii dělení jsou:

podle proměnlivosti zatížení v čase: konstantní, proměnná a nehodová;

podle proměnlivosti v prostoru: pevná nebo pohyblivá;

podle charakteru odezvy konstrukce: statická nebo dynamická.

Některé druhy účinků zatížení se nazývají vlivy prostředí.

1.1.1 Účinky zatížení a jejich proměnlivost v čase

Nejdůležitější kritérium pro rozlišení účinků zatížení je doba působení zatížení vzhledem k době předpokládané životnosti konstrukce. Účinky zatížení jsou klasifikovány jako:

Stálá zatížení (G): zatížení, která působí na konstrukci po celou předpokládanou životnost a jejichž změna velikosti v čase je nevýznamná nebo je tato změna monotónní a vykazuje nárůst až po určitou mezní hodnotu, jako např.: vlastní hmotnost konstrukce, pevně připojené příslušenství, vrstvy vozovky a nepřímá zatížení způsobená poklesy a nerovnoměrným sedáním.

Proměnná zatížení (Q): zatížení jejichž velikost se významně mění v čase, např.: užitná zatížení stropů a střeš, zatížení větrem a sněhem.



Mimořádná zatížení (A): zatížení obvykle krátkého trvání, jehož výskyt na konstrukci bývá málo pravděpodobný, ale jeho následky mají katastrofický charakter, jako např.: zemětřesení, požár, výbuch nebo náraz vozidla.

Referenční doba (perioda) je časový úsek používaný při statistickém vyhodnocení zatížení a časově proměnné odolnosti konstrukcí. To znamená, že zatížení působící na konstrukci v průběhu její životnosti, mohou být rozdělena do určitých referenčních period stejné nebo rozdílné (často náhodné) délky, ve kterých se zatížení mění podle přibližně stejného modelu, tzn. pro všechny referenční periody může být zvolena stejná nezávislá distribuční funkce. Maximum v každé periodě tedy odpovídá realizaci distribuční funkce maxima v této periodě.

Odpovídající referenční perioda závisí na druhu zatížení. Pro klimatická zatížení (sněhem, větrem atd.) je odpovídající periodou jeden rok, přičemž maximum v každém roce je chápáno jako nezávislé na maximum v předchozím i následujícím roce.

Pro jiná proměnná zatížení (např. užitná zatížení) je nutné zvolit periodu odpovídající změně užívání či vlastníka (uživatele). V tomto případě je účinek zatížení reprezentován Poissonovým rozdělením, v němž jsou délka referenční periody a hodnoty v každé periodě náhodnými proměnnými. Průměrná doba změny se pohybuje mezi 5 a 10 lety v závislosti na charakteru užívání budovy.

Referenční doba pro stálé zatížení se většinou uvažuje shodná s celkovou dobou života konstrukce. Obdobně je to stanoveno v EN 1990 pro vlastní tíhu konstrukce. Avšak, pokud se v EN 1990 používá termín stálé zatížení, rozlišuje se mezi referenční periodou a dobou života (užívání) konstrukce z hlediska vlastní tíhy.

Tento rozdíl musí umožnit, aby se někdy a pro některé typy zatížení (např.: vlastní tíha strojního vybavení nebo přiček) mohla tato zatížení uvažovat jako stálá pro dobu kratší, než jaká odpovídá životnosti konstrukce a bylo možno měnit hodnoty v jiných referenčních periodách odpovídajících změnám užívání a/nebo vlastníka. Předpokládá se, že změny v rámci každé referenční periody jsou malé, ale odchylky mezi jednotlivými periodami jsou významné.

Klasifikace některých zatížení do kategorie proměnné nebo mimořádné závisí na regionu a zaznamenané intenzitě. Například seizmické zatížení lze na většině území Evropy považovat za mimořádné zatížení, existují však seizmicky aktivní oblasti, jako Japonsko, Kalifornie a některé části Evropy, kde lze seizmické zatížení do určité intenzity považovat za proměnné zatížení a pouze extrémní případy seizmického zatížení lze považovat za mimořádné účinky zatížení. Obdobný přístup lze aplikovat i na jiné druhy zatížení (sníh a vítr) – viz EN 1991 a EN 1998.

1.1.2 Charakter zatížení podle původu

Zatížení lze rozdělit do dvou základních tříd: *přímá* zatížení – silová, působící na konstrukci a *nepřímá* zatížení – vynucené deformace nebo zrychlení způsobená např. teplotními změnami, kolísáním vlhkosti, nerovnoměrným sedáním nebo zemětřesením.

Pevná zatížení se vyznačují neměnným umístěním na konstrukci nebo konstrukčním prvku a jednoznačným určením velikosti a směru působení tohoto zatížení, zatímco *pohyblivá* zatížení se vyznačují proměnlivým prostorovým působením na konstrukci.



1.1.3 Charakter zatížení podle odezvy konstrukce

Statická zatížení jsou taková, která v konstrukci, ani v jednotlivých prvcích nevyvolají významná zrychlení, zatímco *dynamická zatížení* taková významná zrychlení vyvolávají. V mnoha případech je u dynamických zatížení uvažována pouze jeho statická složka, která je násobena součinitelem vyjadřujícím dynamický účinek.

Mezní stavy únosnosti se vztahují k únosnosti, v některých případech k dosažení krajních mezí a vztahují se tedy na všechny situace, kdy může dojít k ohrožení zdraví a bezpečnosti lidí i bezpečnosti samotné konstrukce.

Mezní stavy použitelnosti se vztahují ke kritériím zajišťujícím funkčnost konstrukce, požadovanou trvanlivost při běžném provozu, uživatelský komfort a vzhled konstrukce. V mezním stavu použitelnosti se posuzují tři rozdílné aspekty: deformace, vibrace a poškození.

1.2 Výpočtové modely

Výpočtové modely slouží k určení odezvy konstrukce na zatížení (tj. k vyšetření účinků zatížení). Zvolené modely by měly co nejlépe vystihovat vlastnosti a chování konstrukce. Při volbě modelu je třeba vzít v úvahu kromě hlavních veličin, jako jsou geometrické, materiálové a průřezové charakteristiky, také výrobní a montážní imperfekce, vlivy prostředí apod.

Fyzikální modely slouží experimentálnímu určení únosnosti, použitelnosti, případně životnosti konstrukce. Tyto experimenty slouží jednak k ověření věrohodnosti teoretických modelů, jednak mohou v určitých případech nahradit teoretické modely.

Výsledky experimentů mohou být využity pro navrhování výjimečných konstrukcí nebo mohou sloužit pro navrhování konstrukcí v širším měřítku, včetně tvorby pravidel v normách pro navrhování konstrukcí.

Teoretické modely jsou základními modely při navrhování konstrukcí. Dělí se na analytické a numerické. Analytické modely jsou běžně používány v projekční praxi i v předpisech pro projektování. Numerické modely slouží zpravidla k vystižení vlastností komplikovanějších konstrukcí a jejich chování v různých situacích.

Základem **analytických modelů** je formulace problému systémem rovnic a jejich řešení v uzavřeném tvaru. Analytickými modely lze řešit poměrně široký okruh problémů – od jednorozměrných (prutové konstrukce), přes dvojrozměrné (stěny, desky), až po trojrozměrné konstrukční prvky a detaily. Je však potřeba si uvědomit, že analytické řešení je pro svoji matematickou exaktnost poměrně náročné na teoretické znalosti a je výhodné pouze pro jednodušší případy zatížení, tvaru a podepření konstrukcí. Nalézt přesné analytické řešení v obecném složitějším případě bývá velice náročné, někdy dokonce nemožné. V těchto případech se dostávají ke slovu metody numerické, které jsou průběžně propracovávány a zdokonalovány.

Základem **numerických modelů** je formulace problému pomocí systému diferenciálních rovnic, které však nejsou řešeny v uzavřeném tvaru. Řešení je hledáno pomocí různých numerických metod (variační metody, diferenční metody, atp.). Moderní numerické metody (nejrozšířenějším představitelem je metoda konečných prvků) jsou převážně metodami „energetickými“ – tzn. metodami založenými na hledání extrému celkové potenciální energie



konstrukce. Tyto metody jsou založeny na idealizaci spojitě konstrukce diskrétními prvky s určitými geometrickými a fyzikálními vlastnostmi.

Dalším možným způsobem dělení transformačních modelů je dělení na:

a) Statické modely – zatížení působící na konstrukci vyvolává v konstrukci *zanedbatelné zrychlení*. Rozlišujeme statické modely s časově nezávislým nebo časově závislým zatížením.

b) Dynamické modely – tyto modely používáme v případech, kdy zatížení vyvolá odezvu charakterizovanou *nezanedbatelným zrychlením*. Ve většině případů zatížení v čase rychle mění svoji velikost, umístění nebo směr.

c) Komplexní modely – používají se v případech, že se ke statické nebo dynamické odezvě konstrukce přidruží navíc **časově závislé jevy** – např. **požár, akumulace poškození a dotvarování** u materiálů na bázi dřeva.

Na výpočtové modely se může rovněž pohlížet z hlediska pracovních diagramů konstrukčních materiálů. Rozlišují se tak v zásadě:

a) Pružné modely – jsou podmnožinou obecnějších modelů pružně-plastických, používají se u modelů, kde zatížení vyvolává nižší hladinu zatížení a odezva nevyvolává žádné plastické (tj. nevratné) deformace.

b) Pružně-plastické modely – tyto obecnější modely připouštějí plastické chování materiálu v určitých částech konstrukce. Je však třeba mít na zřeteli, že únosnost i deformace v plastické oblasti se musí pohybovat v určitých tolerovatelných mezích a referenčních úrovních, které jsou předmětem normativních předpisů.

Je třeba důsledně rozlišovat také, zda jsou výpočtové modely založeny na vyšetřování nedeformované konstrukce – podle teorie malých deformací (**teorie 1. řádu**) nebo na vyšetřování konstrukce, u níž jsou zohledněny počáteční deformace a podmínky rovnováhy jsou sestavovány na deformované konstrukci (**teorie 2. řádu**).

1.3 Materiálové a geometrické charakteristiky

Tyto charakteristiky tvoří základ pro stanovení odolnosti dřevěné konstrukce. Je nutné respektovat a co nejlépe vystihnout variabilitu vlastností konstrukčních materiálů i geometrických charakteristik. Variabilita vzniká vlivem různých imperfekcí přírodního původu, ale i v procesu zpracování, zabudování materiálu do konstrukce a působením vnějších vlivů během života konstrukce. Různé metodiky navrhování konstrukcí tyto jevy zohledňovaly odlišnými způsoby.

1.4 Referenční úrovně

V procesu pravděpodobnostního návrhu a posudku spolehlivosti konstrukce je nutné stanovit **referenční úrovně**, tj. hodnoty napětí, přetvoření nebo deformací. Po překročení této referenční úrovně přestane příslušný prvek plnit návrhová kritéria a konstrukce se stává nefunkční nebo dokonce nebezpečnou.



1.5 Vlivy reologie, prostředí a technologie výroby

Vlivy reologické, např. dotvarování, smršťování, bobtnání, vliv prostředí, např. atmosférická koroze, chemická koroze, biokoroze, kvalita výroby, montáže a údržby atd., je nutné, pokud možno co nejvýstižněji, zahrnout do transformačních modelů. Tyto vlivy jsou zpravidla **funkcí času**.

1.6 Posuzování spolehlivosti

Metody posuzování spolehlivosti konstrukcí mohou být členěny podle mnoha aspektů: historických, matematických, atd. V zásadě lze metody posuzování spolehlivosti konstrukcí rozdělit na **deterministické** metody (založené na součinitelích bezpečnosti) a **polo- nebo plněpravděpodobnostní** metody (založené na matematické statistice a teorii pravděpodobnosti).

Historicky nejstarší metoda navrhování a posuzování spolehlivosti dřevěných konstrukcí pochází z 19. století. Je nazývána **metodou dovolených namáhání**. Tato klasická metoda je založena na deterministickém přístupu k posuzování spolehlivosti konstrukcí.

Základní princip, na kterém je založena filosofie **dovolených namáhání**, lze vyjádřit následujícími vztahy:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{allow} \quad (7.1)$$

a současně

$$\sigma_{allow} = \sigma_{crit} / k \quad (7.2)$$

Podle (7.1), maximální napětí od zatížení (σ_{max}) musí být menší, nanejvýš rovno dovolenému napětí (σ_{allow}). Napětí σ_{crit} je napětí určené na základě zkoušek a k je součinitel, který zahrnuje veškeré nejistoty jak na straně zatížení, tak na straně únosnosti prvků. Jeho účelem je zajistit dostatečnou bezpečnost celé konstrukce. Metoda dovolených namáhání však vykazuje některé závažné nedostatky a omezení.

Zatížení, materiály a průřezové charakteristiky jsou stanoveny deterministickým způsobem. Odezva konstrukce je vyšetřována na základě teorie pružnosti. Nejistoty systému nejsou explicitně vyjádřeny. Jsou uvažovány implicitně v konzervativních předpokladech o rozdělení napětí, ve způsobu stanovení zatížení a dovolených namáhání.

Metoda dovolených namáhání byla v uplynulých 150 letech součástí norem pro navrhování dřevěných konstrukcí v převážné většině zemí. V rámci této metody docházelo k postupnému vývoji jak v oblasti teorie konstrukcí, tak v oblasti pevnosti materiálů.

Ve druhé polovině dvacátého století začal v oblasti posuzování spolehlivosti konstrukcí, včetně konstrukcí dřevěných, postupný přechod od plně deterministických a nadměrně zjednodušených metod k **metodě dílčích součinitelů**. K přechodu na tuto metodu existovalo několik důvodů. Metoda dílčích součinitelů má umožnit důslednější posudek v případě aplikace teorie 2. řádu, využití plastických rezerv a přesnější vystižení zatížení. V této metodě jsou nejistoty (rozptyl náhodně proměnných veličin ovlivňujících výsledek) rozděleny jak na stranu zatížení, tak i odolnosti konstrukce.

Současné evropské normy pro navrhování dřevěných konstrukcí (Eurokód 5), jejichž příprava začala v 80. letech dvacátého století, jsou již založeny na metodě dílčích součinitelů, tj. na zjednodušené aplikaci filosofie mezních stavů, kde charakteristické hodnoty účinků zatížení, vlastností materiálů a geometrických veličin jsou upravovány dílčími součiniteli.

Posudek spolehlivosti konstrukce je podle metody dílčích součinitelů založen na filozofii tzv. **mezních stavů**, při jejichž překročení konstrukce nevyhovuje návrhovým požadavkům. Rozlišují se dvě skupiny mezních stavů:

1) Mezní stavy únosnosti (bezpečnosti a trvanlivosti) - vztahující se k zabránění vzniku poruchy konstrukce, které by ohrozila bezpečnost lidí a zapříčinila vznik škod na majetku.

2) Mezní stavy použitelnosti - vztahující se k plnění provozních požadavků specifikovaných uživatelem objektu, určených v hygienických předpisech apod.

Základní podmínku pro posouzení spolehlivosti nosného prvku v mezním stavu únosnosti lze obecně zapsat ve tvaru (viz obr. 7.1):

$$S_d \leq R_d \quad (7.3)$$

S_d je návrhová hodnota účinku zatížení (vyjádřená vnitřními silami, napětím apod.);

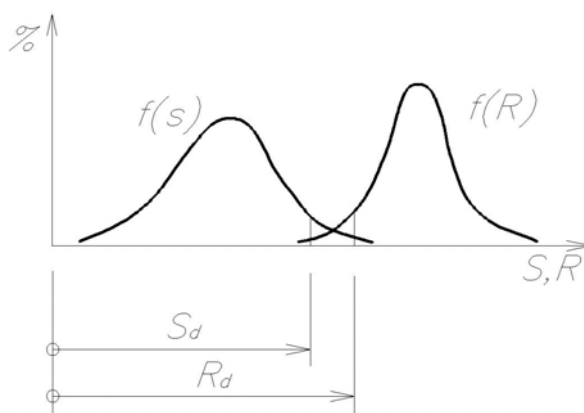
R_d je odpovídající návrhová hodnota odolnosti (u dřevěných konstrukcí je tato hodnota vztahována převážně k návrhové pevnosti dřeva).

Základní podmínku pro posouzení spolehlivosti nosného prvku v mezním stavu použitelnosti lze obecně zapsat ve tvaru:

$$S_d \leq C_d \quad (7.4)$$

S_d je návrhová hodnota účinku zatížení (vyjádřená deformací, zrychlením apod.);

C_d je nominální hodnota odpovídajících vlastností konstrukce.



Obr. 7.1 Filozofie metody dílčích součinitelů



4 Závěry

Navrhování a posuzování spolehlivosti dřevěných konstrukcí se v současnosti provádí podle stejných principů jako u nosných konstrukcí z jiných materiálů (ocel, beton, kompozitní materiály), založených na filozofii mezních stavů a metodě dílčích součinitelů.

5 Literatura

- [1] MAREK, P., BROZETTI, J., GUŠTAR, M., AND TIKALSKI, P. (EDITORS): *Probabilistic Assessment of Structures using Monte Carlo Simulation – Background, Exercises and Software – 2nd Edition*, ITAM CAS Praha, 2003, 472 pp.
- [2] EN 1990 Eurocode - Basis of structural design. CEN 2002.
- [3] EN 1991 Eurocode 1 Actions on structures, CEN 2002
- [4] KUKLÍK, P. : *Timber Structures 10*, ČVUT, Praha, 2002
- [5] *Handbook 1 – Basis of structural design*, Leonardo da Vinci Pilot project CZ/02/B/F/PP-134007, Garston, Watford, UK, 2004

Kapitolu č. 7 zpracovali Alois Materna a Antonín Lokaj.



Kapitola 8

MEDZNÉ STAVY POUŽÍVATEĽNOSTI**1 Úvod**

Pri návrhu drevených konštrukcií podľa súčasných noriem je nutné splniť nielen požiadavky na únosnosť, ale aj požiadavky na použiteľnosť konštrukcie. V Eurokóde 5 [1] sú uvedené dve požiadavky použiteľnosti, ktoré musia byť splnené:

- maximálny priehyb jednotlivých prvkov má byť menší ako sú predpísané hodnoty
- kmitanie častí drevenej konštrukcie musia ostať v akceptovateľnom rozsahu, aby užívateľovi nespôsobovalo nepríjemné pocity

2 Priehyb nosníkov

Medzné stavy použiteľnosti (SLS) požadujú, aby deformácie na začiatku ($t = 0$) na konci ($t = \infty$) ostali v predpísanom intervale, ako je uvedené v Tab. 2.

2.1 Okamžitý priehyb

Z klasickej teórie nosníkov vieme, že okamžité pružné priehyby ($w_{inst,0}$) sa dajú vypočítať ako suma priehybov od ohybových momentov ($w_{inst,M}$), priečnych síl ($w_{inst,V}$) a osových síl ($w_{inst,N}$):

$$w_{inst,0} = \int_S \frac{M_{yd}(x) \cdot M_{yI}(x)}{EI_y} \cdot dx + \int_S \frac{V_{zd}(x) \cdot V_{zI}(x)}{GA_s} \cdot dx + \int_S \frac{N_{xd}(x) \cdot N_{xI}(x)}{EA} \cdot dx \quad (1)$$



kde:

$M_{y,d}(x)$ je návrhová hodnota ohybového momentu

$V_{z,d}(x)$ je návrhová hodnota šmykovej sily

$N_{x,d}(x)$ je návrhová hodnota normálovej sily

EI_y je ohybová tuhosť

GA_s je šmyková tuhosť

EA je normálová tuhosť

Kvôli malému pomeru G/E (približne 1/16) sa druhý člen rovnice pri návrhu drevených konštrukcií nemôže zanedbať tak, ako sa bežne zanedbáva pri návrhu oceľových alebo železobetónových konštrukcií.

Pre výpočet medzných stavov použiteľnosti sa podľa Eurokódu [2] používajú zaťažovacie kombinácie vrátane vlastnej tiaže (G_{kj}) a premenných zaťažovacích účinkov (Q_{ki}):

a.) charakteristická kombinácia účinkov

$$S = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad (2)$$

b.) časté kombinácie účinkov

$$S = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (3)$$

c.) kvázistále kombinácie účinkov

$$S = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (4)$$

Premenné zaťažovacie účinky pre pozemné stavby môžu byť redukované koeficientami $\psi_{0,i}$, $\psi_{1,i}$ a $\psi_{2,i}$, uvedenými v Tab. 1.

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1. Užitkové zaťaženie v budovách			
Kategória A: Bytové domy	0.7	0.5	0.3
Kategória B: Administratíva	0.7	0.5	0.3
Kategória C: Zhromažďovacie priestory	0.7	0.7	0.6
Kategória D: Obchody	0.7	0.7	0.6
Kategória E: Sklady	1.0	0.9	0.8
2. Zaťaženie dopravou			
Kategória F: Vozidlá; zaťaženie do 30 kN	0.7	0.7	0.6
Kategória G: Vozidlá; zaťaženie medzi 30 kN a 160 kN	0.7	0.5	0.3
Kategória H: Strechy	0	0	0
3. Klimatické zaťaženia			
Zaťaženie snehom (Fínsko, Island, Nórsko, Švédsko)	0.7	0.5	0.2
Zaťaženie snehom (členské štáty CEN, $H \geq 1000$ m n.m.)	0.7	0.5	0.2
Zaťaženie snehom (členské štáty CEN $H < 1000$ m n.m.)	0.5	0.2	0
Zaťaženie vetrom	0.6	0.2	0
Zaťaženie zmenou teploty	0.6	0.5	0

Tab. 1 Hodnoty súčiniteľov kombinácie $\psi_{0,i}$, $\psi_{1,i}$ in $\psi_{2,i}$ pre budovy; Eurokód 0 [2]

Keďže jednotlivé hodnoty súčiniteľov v rámci riadku klesajú $\psi_{0,i} \geq \psi_{1,i} \geq \psi_{2,i}$, získavajú sa maximálne hodnoty vnútorných síl väčšinou z charakteristickej kombinácie, ktorá sa dá zjednodušiť nasledovne:

$$S_d \approx \sum_{j \geq 1} G_{kj} + 0.9 \cdot \sum_{i \geq 1} Q_{ki} \quad (5)$$

Hlavný rozdiel výpočtu priehybu drevených konštrukcií v porovnaní s výpočtom priehybu oceľových alebo železobetónových konštrukcií je v tom, že pri drevených konštrukciách musí byť zohľadnená dodatočná deformácia jednotlivých elementov. Mechanické spojovacie porstriedky nie sú v drevených konštrukciách tak tuhé ako v oceľových konštrukciách, sú však duktilné. Z tohoto dôvodu je v drevených konštrukciách takmer nemožné vytvoriť tuhý rámový roh. Preto musí byť zohľadnený dodatočný priehyb ($w_{inst,1}$):

$$w_{inst} = w_{inst,0} + w_{inst,1} \quad (6)$$

Priehyb $w_{inst,0}$ reprezentuje teda priehyb, pri ktorom nie je zaručená flexibilita spojovacieho prostriedku. Druhý člen ($w_{inst,1}$) vyjadruje priehyb vplyvom poddajnosti všetkých spojovacích prostriedkov. Veľkosť druhého člena v uvedenom vzťahu stúpa teda s počtom spojov v konštrukcii. Hlavne pri priehradových konštrukciách je preto potrebné si uvedomiť, že hodnoty $w_{inst,1}$ môžu dosahovať až 50 % z hodnôt $w_{inst,0}$ (pozri príklad Steck [3] alebo Šilih [4]). Tuhosť priehradových konštrukcií s poddajnými spojmi klesá. Pri analýze konštrukcie metódou konečných prvkov sa môže flexibilita spoja nahradiť tak, že prierezová plocha prútvov A_m je nahradená fiktívne zmenšenou plochou A_m^* :

$$A_m^* = \frac{A_m}{1 + \frac{E_{m,mean} \cdot A_m}{L_m} \cdot \left(\frac{1}{K_{ser} \cdot k_{m,1}} + \frac{1}{K_{ser} \cdot k_{m,2}} \right)} \quad (7)$$

kde $k_{m,1}$ a $k_{m,2}$ sú počty spojovacích prostriedkov na oboch koncoch počítaného prvku m a K_{ser} vyjadruje popustenie daného spoja. V *Eurokóde 5* [1] sú uvedené hodnoty modulu popustenia pre rôzne typy spojovacích prostriedkov.

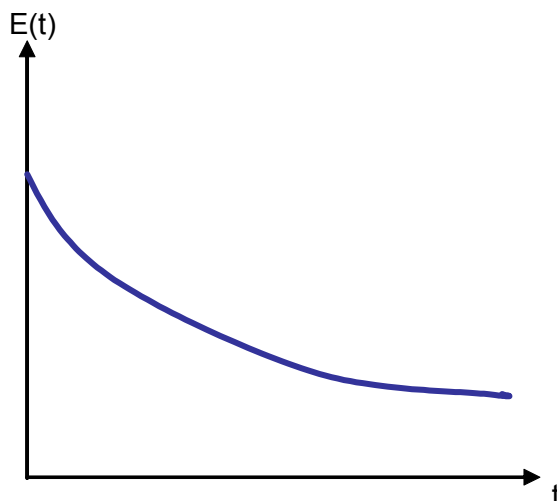
Okamžitá deformácia, ktorá je definovaná v rovnici (6) by nemala prekročiť medzné hodnoty. Medzné hodnoty okamžitej deformácie pre prosté nosníky sú uvedené v *Eurokóde 5* [1], ich odporúčané hodnoty sú v intervale $L/300$ do $L/500$. Pre konzoly sú hodnoty v porovnaní s prostým nosníkom dvojnásobné (pozri Tab. 2).

	w_{inst}	$w_{net,fin}$	w_{fin}
Prostý nosník	$L/300$ do $L/500$	$L/250$ do $L/350$	$L/150$ do $L/300$
Konzola	$L/150$ do $L/250$	$L/125$ do $L/175$	$L/75$ do $L/150$

Tab. 2 Príklady medzných hodnôt priehybov nosníkov

2.2 Celkový prieťah

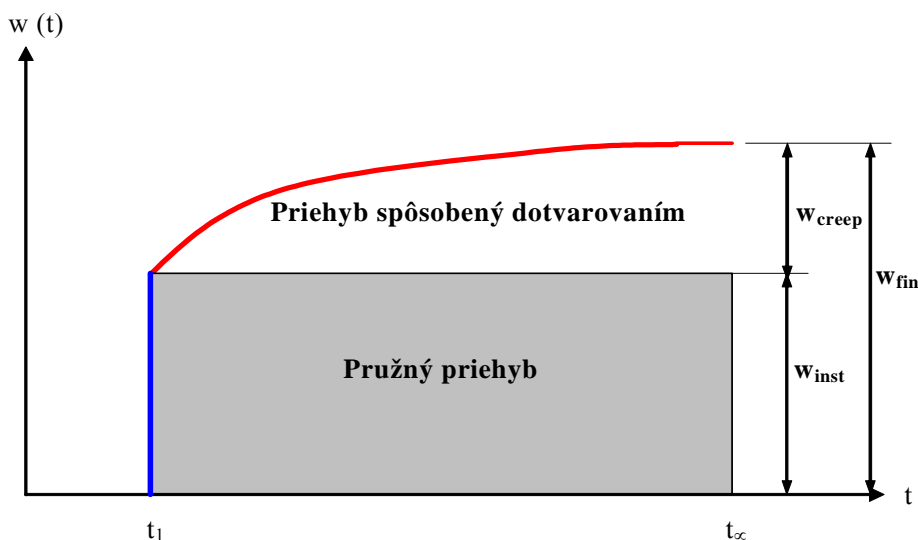
Vplyvom dlhodobého zaťaženia na drevený prvok klesajú hodnoty modulu pružnosti (E), ako je znázornené na obr. 1.



Obr. 1 Schematické znázornenie funkcie dotvarovania

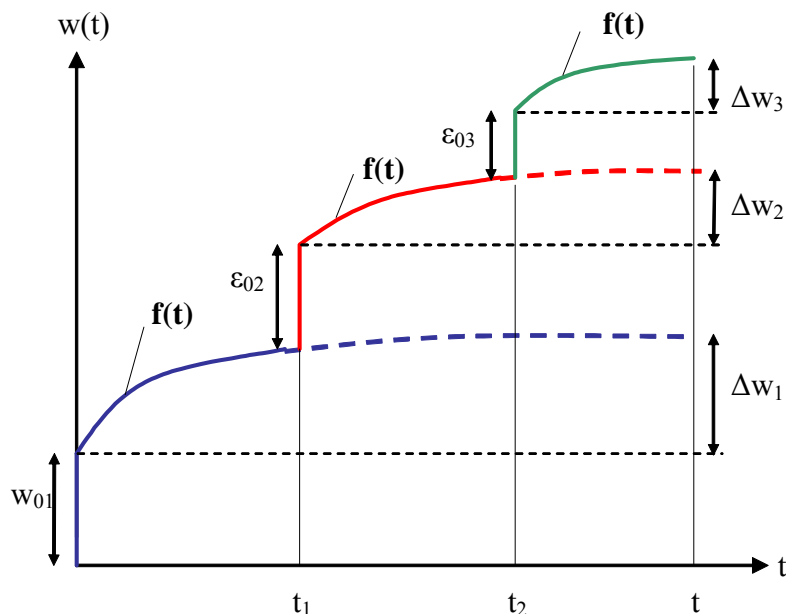
Vplyvom poklesu hodnôt modulu pružnosti (E) vzniká dodatočná deformácia, tzv. deformácia vplyvom dotvarovania (w_{creep}). Celkový prieťah (w_{fin}) v tomto čase ($t = \infty$) sa určí ako súčet okamžitého prieťahu (w_{inst}) a prieťahu vplyvom dotvarovania, ako je znázornené na obr. 2. (Pozn.: elastische Verformung – pružná deformácia, Kriechverformung – deformácia vplyvom dotvarovania)

$$w_{fin} = w_{inst} + w_{creep} \quad (8)$$



Obr. 2 Schematické znázornenie celkového prieťahu

Definovanie funkcie dotvarovania nie je analyticky jednoduché, ako ukazuje obr. 1. *Eurokód 5 [1]* definuje vplyv viacerých zaťažení pomocou Boltzmannovho kritéria, pri ktorom sú vplyvy všetkých zaťažení definované tou istou funkciou, avšak v iných časoch, ako je znázornené na obr. 3.



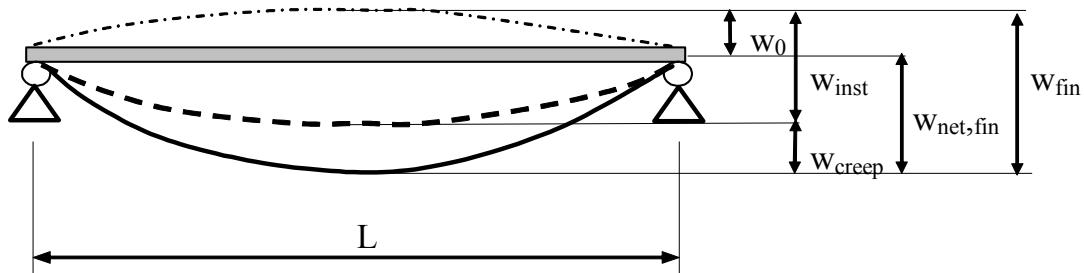
Obr. 3 Boltzmannovo kritérium superpozície

Vplyv dotvarovania od viacerých zaťažení sa dá popísať koeficientami (k_{def}), ktorých hodnoty sú závislé od triedy dreva (S1, S2, S3) a od vlhkosti dreva. Dĺžka trvania zaťažení sa môže zohľadniť koeficientami Ψ_2 z *Tabuľky 1*. Potom je rovnica (8) upravená nasledovne:

$$w_{fin} = w_{inst} + w_{creep} = w_{inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) \quad (9)$$

Ak má prvok nadvýšenie (w_0), určuje sa celková deformácia ($w_{net,fin}$) nasledovne (pozri obr. 4):

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_0 = w_{inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) - w_0 \quad (10)$$



Obr. 4 Zložky priehybu

Pre medzný stav použiteľnosti majú byť potom dodržané tieto podmienky:

1. $w_{inst} \leq w_{inst,lim}$
 2. $w_{fin} \leq w_{fin,lim}$
 3. $w_{net,fin} \leq w_{net,fin,lim}$
- (11)

Predpísané medzné hodnoty sú uvedené v *Eurokóde 5 [1]* v Tab. 2.

3 Kmitanie

V *Eurokóde 5 [1]* sa uvádza, že očakávané kmitania vyvolané strojmi alebo inými zariadeniami pre najnepriaznivejšiu kombináciu stálych a premenných zaťažení musia byť v predpísaných intervaloch. Pre stropy obytných budov s frekvenciami vyššími ako 8 Hz ($f_1 > 8$ Hz) musia byť splnené nasledovné požiadavky:

1. $\frac{w}{F} \leq a \quad [mm / kN]$ (12a)

a

2. $v \leq b^{(f_1 \cdot \zeta - 1)} \quad [m / (Ns^2)]$ (12b)

kde:

w je okamžitý maximálny priehyb vyvolaný vertikálnou silou F pôsobiacou v ľubovoľnom mieste stropu

v je jednotkový rýchlostný impulz, napr. maximálna počiatočná hodnota rýchlosti kmitania stropu (v m/s), vyvolaný ideálnym impulzom (1 Ns) pôsobiacim v mieste maximálnej odozvy stropu. Zložky nad 40 Hz sa nezohľadňujú.

ζ je modálna konštanta útlmu.

Odporúčaná oblasť medzných hodnôt sa nachádza v intervale od „a“ do „b“ a odporúčaný pomer medzi „a“ a „b“ je uvedený na obr. 5. Pre strop obdĺžnikového pôdorysu s rozmermi l x b prsto podopretý po celom obvode a drevenými nosníkmi rozpätia l sa dá základná frekvencia f_1 vypočítať nasledovne:

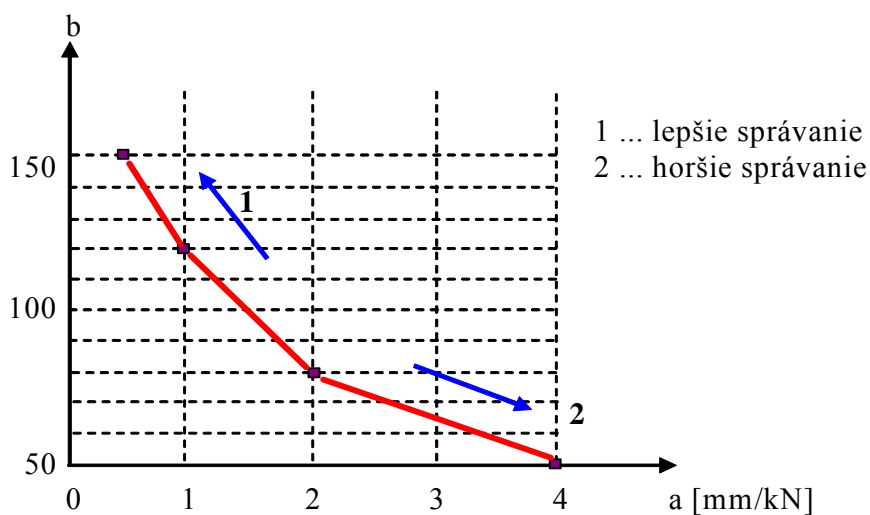
$$f_1 = \frac{\pi}{2\ell^2} \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}} \quad (13)$$

kde:

m hmotnosť stropu v kg/m^2 ;

l rozpätie stropu v m;

$(EI)_\ell$ ekvivalentná ohybová dosková tuhosť stropu v Nm^2/m .



Obr. 5 Odporúčaná oblasť a vzťah medzi „a“ a „b“



Pre strop obdĺžnikového pôdorysu s rozmermi $l \times b$ prasto podopretý po celom obvode sa približná hodnota v vypočíta nasledovne:

$$v = \frac{4(0,4 + 0,6 n_{40})}{mb\ell + 200} \quad (14)$$

kde:

v je rýchlostný impulz $m/(Ns^2)$;

n_{40} je počet vlastných tvarov prvého rádu s vlastnými frekvenciami menšími ako 40 Hz,

b je šírka stropu v m;

l rozpätie stropu v m;

m je hmotnosť stropu v kg/m^2 .

Hodnota n_{40} sa vypočíta nasledovne:

$$n_{40} = \left\{ \left[\left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{b}{\ell} \right)^4 \frac{(EI)_\ell}{(EI)_b} \right] \right\}^{0,25} \quad (15)$$

kde $(EI)_b$ je ekvivalentná ohybová dosková tuhosť stropu (in Nm^2/m), pričom $(EI)_b < (EI)_\ell$.

4 Literatúra

- [1] CEN/TC 250/SC5 N173. EN 1995-1-1:2004, Eurocode 5: Design of Timber Structures, Part 1-1 General rules and rules for buildings; Brüssel, 2004.
- [2] CEN/TC 250. EN 1990:2002 E, Eurocode: Basis of structural design; Brüssel 2002.
- [3] Steck G. Fachwerkbinde aus Brettschichtholz und Vollholz, Holzbauwerke: Bauteile Step 2, Konstruktionen, Details nach Eurocode 5, Düsseldorf: Fachverlag Holz; 1995.
- [4] Šilih S., Premrov M., Kravanja S. Optimum Design of Plane Timber Trusses Considering Joint Flexibility, Engineering Structures 27(1), pp.; 2005.

Kapitolu 8 spracoval Assoc.Prof.Dr. Miroslav Premrov, Univerzita v Mariboru, Fakulta stavebná, Slovinsko.



Kapitola č. 9

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – KONSTRUKČNÍ PRVKY

1 Úvod

Obsahem kapitoly je posouzení únosnosti dřevěných konstrukčních prvků, vystavených základním způsobům namáhání (tah, tlak, smyk, ohyb a kroucení) a jejich kombinacím.

2 Všeobecně

Většina dřevěných konstrukcí je analyzována v mezních stavech únosnosti a použitelnosti s využitím teorie pružnosti. Dřevěné konstrukční prvky v mezním stavu únosnosti jsou vystaveny extrémním účinkům zatížení a modely porušení musí vyjadřovat všechny specifické vlastnosti rostlého dřeva, lepeného lamelového dřeva a materiálů na bázi dřeva, jako např. vliv teploty, vlhkosti a historie zatěžování na pevnost, atd.

2.1 Kriteria v mezním stavu únosnosti

Při navrhování a posuzování spolehlivosti dřevěných konstrukčních prvků v mezním stavu únosnosti podle současných evropských norem (Eurokód 5) musí každý prvek vyhovovat základní podmínce ve tvaru:

$$S_d \leq R_d, \quad (1)$$

kde R_d představuje návrhovou hodnotu odolnosti konstrukčního prvku (únosnost) a S_d představuje návrhovou hodnotu kombinace účinků zatížení.

Návrhovou hodnotu (f_d) pevnosti dřevěného konstrukčního prvku lze vyjádřit ve tvaru:

$$f_d = \frac{k_{mod} \cdot f_k}{\gamma_M}, \quad (2)$$

kde f_k představuje charakteristickou hodnotu pevnosti (podle norem), k_{mod} je modifikační součinitel vyjadřující vliv doby trvání zatížení a vlhkosti na pevnost a γ_M je dílčí součinitel materiálových vlastností.

Zatížení jsou vyjádřena kombinacemi podle charakteristických kombinačních situací.

Pro trvalé a dočasné návrhové situace:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \oplus \gamma_P P \oplus \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3)$$

Pro mimořádné návrhové situace:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_K \oplus A_d \oplus (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (4)$$

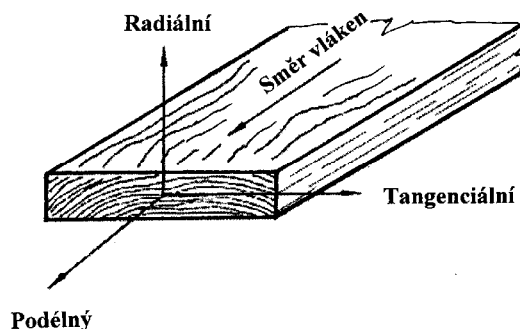
Pro seizmické návrhové situace:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_K \oplus A_{Ed} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (5)$$

kde G jsou stálá zatížení, P je předpětí, Q jsou proměnná zatížení (Q_1 je dominantní proměnné zatížení, Q_i jsou ostatní proměnná zatížení), A je mimořádné nebo seizmické zatížení, γ jsou dílčí součinitele a ψ jsou kombinační součinitele.

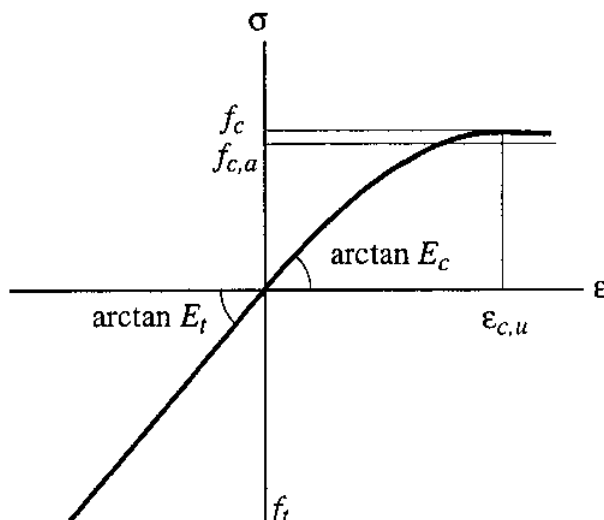
3 Návrh průřezu vystaveného namáhání ve směru jedné hlavní osy

Dřevěné prvky konstantního průřezu, jejichž vlákna probíhají rovnoběžně s délkou prvku, jsou vystaveny namáhání ve směru jedné hlavní osy (viz obr. 1).



Obr. 1 Hlavní směry prvku z rostlého dřeva

Rostlé dřevo vykazuje rozdílné chování při namáhání ve srovnání s ocelí nebo betonem, viz obr. 2.



Obr. 2 Rostlé dřevo: diagram napětí - deformace (Glos, 1978)

3.1 Dřevěné prvky namáhané tahem

3.1.1 Tah rovnoběžně s vlákny

Bezvadé dřevo vykazuje největší pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny (přes 100 N/mm²). Díky existenci přirozených imperfekcí v konstrukčním dřevě a v materiálech na bázi dřeva (např. suky, trhliny, odklon vláken atd.), které bývají nazývány defekty, pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny u konstrukčního dřeva nízké kvality klesá na méně než 10 N/mm².

Pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny je také ovlivňována velikostí prvku. V Eurokódu 5 je charakteristická hodnota pevnosti rostlého dřeva v tahu rovnoběžně s vlákny vztažena k referenční výšce průřezu 150 mm, u lepeného lamelového dřeva k výšce 600 mm. Pro výšky průřezu menší než 150 mm u rostlého dřeva, resp. 600 mm u lepeného lamelového dřeva, charakteristická hodnota v tahu smí být zvýšena součinitelem k_f .

Základní vztah pro posouzení pevnosti v tahu rovnoběžně s vlákny je:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}, \quad (6)$$

kde

$\sigma_{t,0,d}$ je návrhové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny;

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

3.1.2 Tah kolmo k vláknům

Pevnost v tahu kolmo k vláknům je nejmenší pevností dřeva. U dřevěných prvků by se mělo napětí v tahu kolmo k vláknům pokud možno předcházet nebo alespoň snižovat na nejnižší možnou míru. Do posouzení musí být zahrnut rovněž vliv velikosti prvku.



Základní vztah pro posouzení v tahu kolmo k vláknům je:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{vol} f_{t,90,d}, \quad (7)$$

kde

$k_{vol} = 1$ pro rostlé dřevo;

$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.2}$ pro lepené lamelové dřevo a LVL s lamelami rovnoběžnými s osou trámu;

V_0 je referenční objem 0,01 m³;

V je objem vystavený napětí v m³;

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

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

3.2 Dřevěné prvky namáhané tlakem

V mezním stavu únosnosti je dosaženo únosnosti prvku v tlaku, pokud dochází k drčení a boulení (viz obr. 3). Oproti křehkému a rychlému porušení prvků v tahu je porušení v tlaku klidné a postupné. Boulení je docela tiché, pokud není spojeno s celkovým porušením materiálu. Drčení je doprovázeno "skřípáním a praskáním", avšak každé, tedy i tiché porušení prvků vede k částečnému nebo úplnému kolapsu konstrukce a tedy i k ohrožení lidských životů. Porušení v tlaku je stejně závažné, jako mnohem dramatičtější porušení v tahu nebo v ohybu.

3.2.1 Tlak rovnoběžně s vlákny

Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny je díky přirozeným defektům dřeva redukována na hodnoty $f_{c,0} = 25$ až 40 N/mm². Krátký dřevěný prvek vystavený tlaku rovnoběžně s vlákny vykazuje lokální poškození vláken pod úhlem 50° až 65° – viz obr. 3.

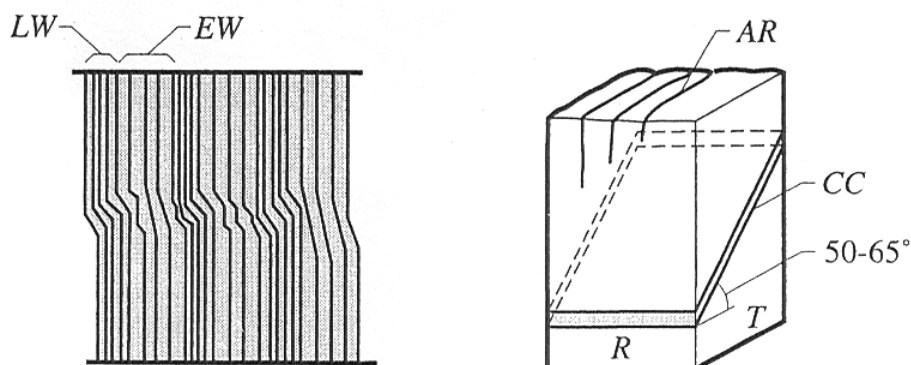
Základní vztah pro posouzení v tlaku rovnoběžně s vlákny je:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}, \quad (8)$$

kde

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

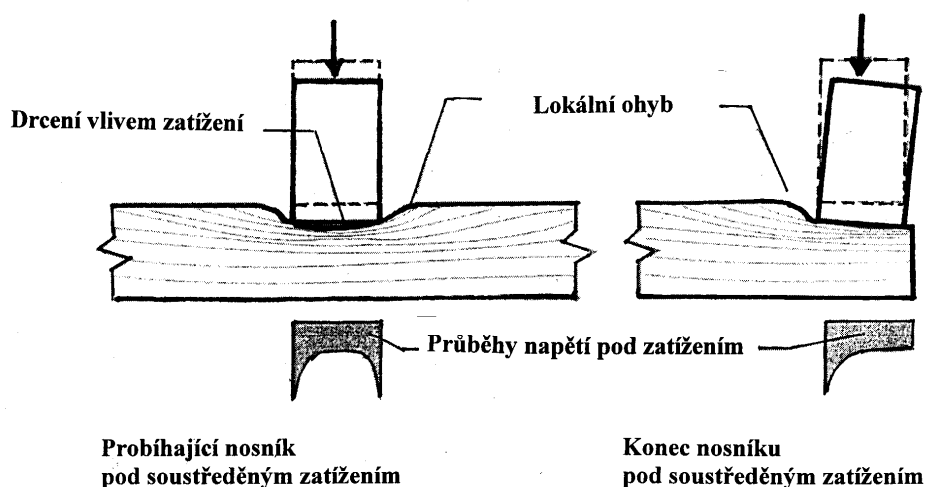
$f_{c,0,d}$ je návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny.



Obr. 3 Způsob porušení dřevěného prvku v tlaku rovnoběžně s vlákny

3.2.2 Tlak kolmo k vláknům

Únosnost dřevěného prvku v tlaku kolmo k vláknům je závislá na pevnosti dřevěných vláken v tlaku kolmo k jejich podélné ose. Pokud je tato únosnost překročena, objeví se typické lokální deformace od drcení vláken (viz obr. 4). Vliv přirozených defektů dřeva na únosnost v tlaku kolmo k vláknům je malý.



Obr. 4 Vliv koncentrovaného zatížení v tlaku kolmo k vláknům na dřevěný prvek

Základní vztah pro posouzení v tlaku kolmo k vláknům je:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (9)$$

kde:

$\sigma_{c,90,d}$ je návrhová hodnota napětí v tlaku kolmo k vláknům;

$f_{c,90,d}$ je návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům;

$k_{c,90}$ je součinitel zahrnující vliv umístění zatížení, možnost drcení vláken a míru deformace v tlaku.

3.3 Dřevěné prvky namáhané ohybem

Prvky namáhané převážně ohybem se nazývají nosníky (na obr. 5 je ohybová zkouška nosníku z rostlého dřeva). Nosníky jsou většinou horizontální prvky uložené na dvou podporách a přenášející zatížení hlavně ohybem do těchto podpor. Ohybové momenty vznikají od zatížení působícího v rovině ohybu nosníku.



Obr. 5 Ohybová zkouška nosníku z rostlého dřeva

Nosník namáhaný dvojosým ohybem musí splňovat následující podmínky:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (10)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (11)$$

kde:

$\sigma_{m,y,d}$ a $\sigma_{m,z,d}$ jsou návrhové hodnoty napětí v ohybu vzhledem k hlavním osám;

$f_{m,y,d}$ a $f_{m,z,d}$ jsou odpovídající návrhové pevnosti v ohybu;

k_m je součinitel zohledňující redistribuci napětí a vliv nehomogenit materiálu po průřezu.

Hodnota součinitele k_m je následující:

Pro rostlé dřevo, LLD, LVL: $k_m = 0,7$ (pro pravoúhlé průřezy)

$k_m = 1,0$ (pro ostatní průřezy)

Pro ostatní materiály na bázi dřeva všech průřezů: $k_m = 1,0$.



3.4 Dřevěné prvky namáhané smykem

U dřevěných prvků namáhaných příčným zatížením se předpokládá smykové napětí podle teorie pružnosti. Smykové napětí kolmo k ose nosníku je doprovázeno stejným smykovým napětím rovnoběžně s osou nosníku.

Základní vztah pro posouzení ve smyku je:

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d}, \quad (12)$$

kde:

$\tau_{v,d}$ je návrhová hodnota napětí ve smyku;

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

Maximální napětí ve smyku pro pravoúhlé průřezy:

$$\tau_{v,d} = \frac{3 V_d}{2 A} \quad (13)$$

Maximální napětí ve smyku pro kruhové průřezy:

$$\tau_{v,d} = \frac{4 V_d}{3 A}, \quad (14)$$

kde A je průřezová plocha a V_d je maximální smyková síla.

3.5 Dřevěné prvky namáhané kroucením

Napětí v kroucení se vyskytuje u prvků, které jsou namáhány excentrickým zatížením vzhledem k hlavním osám. Podle teorie pružnosti, maximální napětí v kroucení tuhých prvků lze vyjádřit vztahem:

$$\tau_{tor} \leq k_{shape} f_{v,d}, \quad (15)$$

kde

$k_{shape} = 1,2$ pro kruhové průřezy;

$$k_{shape} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,15 \frac{h}{b} \\ 2,0 \end{array} \right\} \quad \text{pro pravoúhlé průřezy;}$$

$\tau_{tor,d}$ je návrhová hodnota napětí v kroucení;

$f_{v,d}$ je návrhová pevnost ve smyku;



k_{shape} je součinitel závislý na tvaru průřezu;

h je větší rozměr průřezu;

b je menší rozměr průřezu.

Maximální napětí v kroucení kruhového průřezu:

$$\tau_{tor} \leq \frac{2 M_T}{\pi r^3}, \quad (16)$$

kde r je poloměr průřezu.

Maximální napětí v kroucení obdélníkového průřezu:

$$\tau_{tor} \leq \frac{M_T}{\alpha h b^2}, \quad (17)$$

kde:

M_T je maximální hodnota momentu v kroucení;

h je výška průřezu;

b je šířka průřezu;

α je součinitel závislý na poměru h/b (podle Timošenka).



4 Návrh průřezu vystaveného kombinovaným namáháním

4.1 Napětí v tlaku pod úhlem k vláknům

Tato napjatost se vyskytuje zejména u tesařských spojů (viz obr. 6).



Obr. 6 Tesařské spoje

Napětí v tlaku pod úhlem k vláknům musí splňovat následující podmínku (Hankinsonova formule – viz obr. 7):

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}, \quad (18)$$

kde:

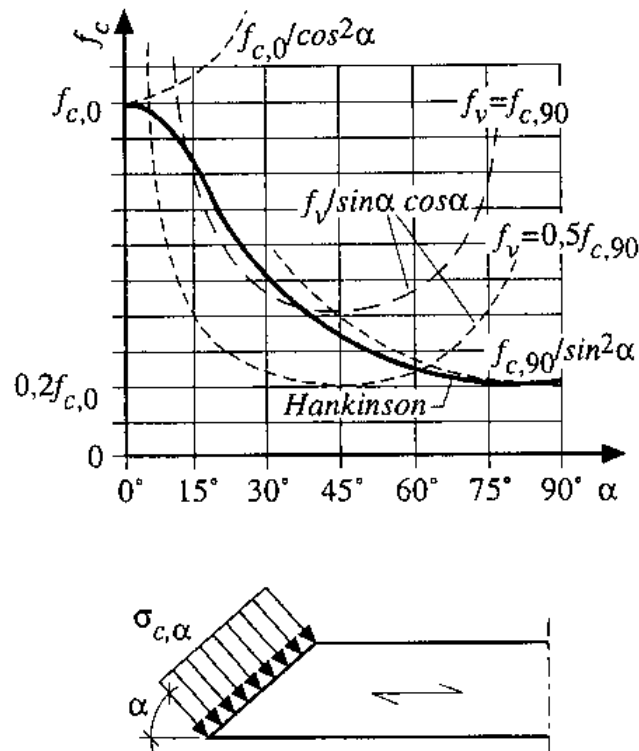
$\sigma_{c,\alpha,d}$ je napětí v tlaku pod úhlem α vzhledem ke směru vláken;

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

$f_{c,90,d}$ je návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům;

$k_{c,90}$ je součinitel zohledňující namáhání v tlaku kolmo k vláknům;

α je úhel mezi směrem síly a směrem vláken,



Obr. 7 Pevnost dřeva v tlaku pod úhlem k vláknům

4.2 Kombinace ohybu a osového tahu

Musí být splněny následující vztahy:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (19)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (20)$$

4.3 Kombinace ohybu a osového tlaku

Musí být splněny následující vztahy:

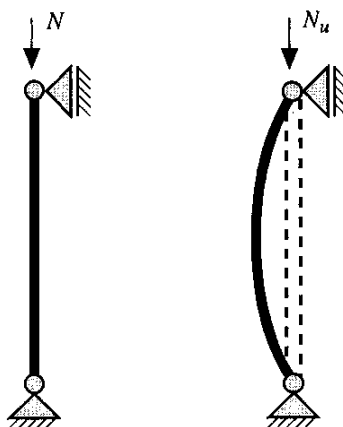
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (21)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (22)$$

4.4 Stabilita prvků

4.4.1 Vzpěrný tlak prutů

Osově zatížené štíhlé pruty vykazují tendenci k vybočení ve směru největší štíhlosti (viz obr. 8). Tento typ nestability se nazývá vybočení vzpěrem. Únosnost štíhlých prutů tedy závisí jak na jejich pevnosti v tlaku a ohybu, tak i na jejich modulu pružnosti. Únosnost štíhlých prutů závisí na mnoha faktorech, které mohou být rozděleny do dvou skupin.



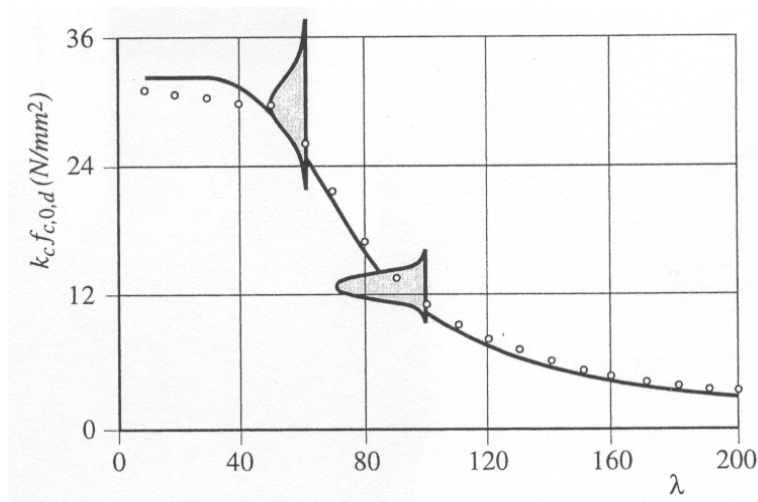
Obr. 8 Schéma průhybu osově zatíženého prutu

První skupina obsahuje geometrické charakteristiky tlačенého prutu, jako je průřez, délka, způsob uložení a materiálové vlastnosti, které jsou určeny výběrem třídy pevnosti, prostředím a třídou trvání zatížení. Tyto faktory jsou buď zadány nebo jsou projektantovi známy a ten pak může ovlivnit únosnost tlačенého prutu nastavením těchto faktorů.

Druhá skupina faktorů ovlivňující únosnost štíhlého sloupu zahrnuje geometrické a materiálové proměnné a imperfekce. Tyto faktory musí být během návrhu sloupu vzaty do úvahy, protože neexistuje dokonalá bezvadá konstrukce. Projektanti nemají dostatek informací o těchto faktorech, proto je nutné zahrnout vliv těchto faktorů implicitně do normativních předpisů (např. EC5). Mezi nejdůležitější geometrické imperfekce tlačенých dřevěných sloupů patří počáteční zakřivení, natočení os a odchylka průřezových rozměrů od nominálních hodnot. Materiálové imperfekce zahrnují růstové nehomogenity (suky, odklon vláken atp.) a další faktory, které ovlivňují chování dřeva při namáhání v tlaku a tahu (viz obr. 2). Všeobecně lze tvrdit, že závislost napětí a deformace má lineárně pružný charakter do porušení, pokud je dřevěný prvek namáhán tahem a má nelineární charakter s plastickými deformacemi u prvků namáhaných tlakem. Tvar křivky napětí-deformace evropského jehličnatého řeziva závisí zejména na hustotě, velikosti suků, obsahu tlakového dřeva a na vlhkosti.

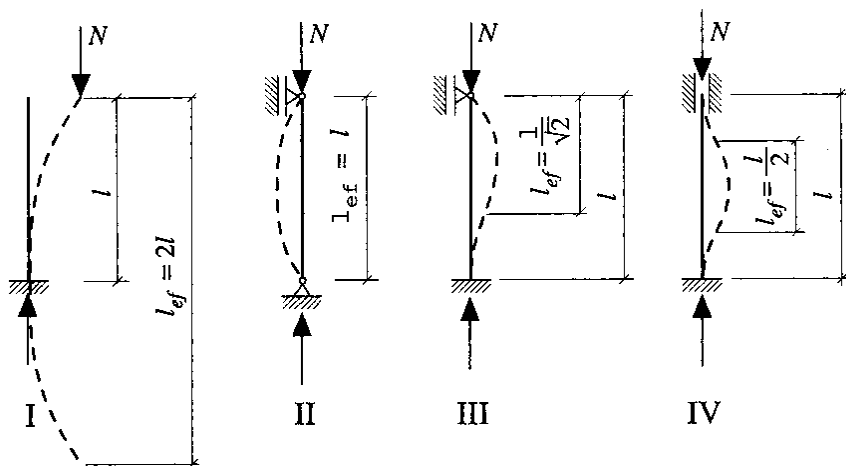
Návrh štíhlého tlačенého sloupu lze provést dvěma způsoby. První způsob je založen na analýze podle teorie druhého řádu, kde je rovnováha momentů a sil určena s uvažováním deformovaného tvaru sloupu. Druhý přístup je založen na použití křivek vzpěrnosti pro určení snížení pevnosti v tlaku skutečného sloupu v poměru k tlačенému sloupu o nekonečné tuhosti v ohybu. Stabilitní návrh je převeden na návrh pevnostní se sníženou pevností v tlaku.

Podle Eurokódu 5 vzpěrnostní křivky vyjadřují vliv štíhlosti na charakteristickou únosnost sloupu. Každá hodnota křivky vzpěrnosti představuje charakteristickou únosnost sloupu s odpovídajícím štíhlostním poměrem λ (viz obr. 9). Štíhlostní poměr λ je definován jako poměr vzpěrné délky a poloměru setrvačnosti.



Obr. 9 Křivka vzpěrnosti podle EC5

Efektivní nebo vzpěrná délka tlačенého prvku je definována jako délka pomyslného oboustranně kloubově uloženého prutu se stejným kritickým vzpěrným zatížením jako navrhovaný prut. Vzpěrná délka je vzdálenost dvou sousedních inflexních bodů křivky vybočení navrhovaného tlačенého prutu. Obr. 10 zobrazuje čtyři Eulerovy případy vybočení ideálně přímého tlačенého prutu pro různé způsoby uložení.



Obr. 10 Vzpěrná délka ideálního přímého prutu pro různé způsoby uložení (Eulerovy případy I až IV)



Základní vztah pro posouzení osově tlačeneho štíhlého prutu je:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c f_{c,0,d} \quad (23)$$

kde:

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

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

k_c je součinitel vyjadřující snížení pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny v důsledku vzpěru:

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} \quad (24)$$

$$k = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right] \quad (25)$$

kde:

β_c je součinitel vyjadřující přímot prvku ($\beta_c = 0,2$ pro rostlé dřevo, $\beta_c = 0,1$ lepené lamelové dřevo a LVL).

Relativní štíhlostní poměr je definován vztahem:

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} \quad (26)$$

kde:

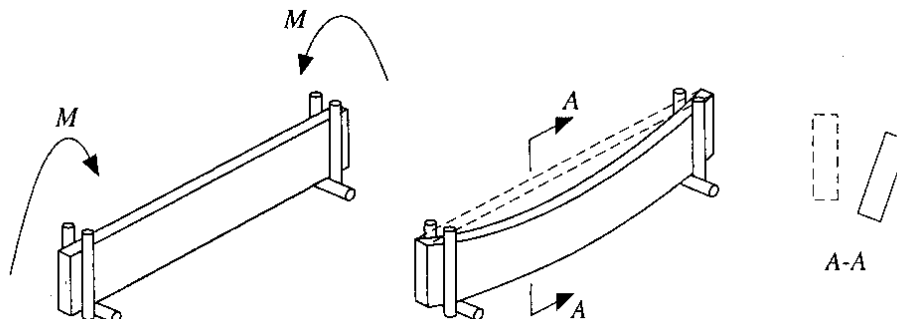
$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 \frac{E_{0,05}}{\lambda^2} \quad (27)$$

Štíhlostní poměr: $\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$.

4.4.2 Příčná-torznní stabilita nosníků

Při návrhu nosníku je třeba v první řadě zajistit odpovídající únosnost v ohybu a tuhost vzhledem k namáhání ve směru hlavní osy, obvykle ve svislé rovině. Z toho vyplývá tvar průřezu nosníku, který má ve svislé rovině mnohem vyšší tuhost než ve vodorovné rovině. Obr. 11 zachycuje odezvu štíhlého prostě podepřeného nosníku namáhaného ohybovými momenty ve svislé rovině. Příčný průhyb a zkroucení nosníku se nazývá příčnou torzní nestabilitou. Tento typ nestability je podobný vzpěrnému vybočení osově tlačeneých sloupů,

kdy namáhání nosníku ve svislé rovině jeho vyšší tuhosti vyvolává porušení vybočením ve směru nižší tuhosti.



Obr. 11 Příčná torzní nestabilita prostě podepřeného nosníku

Základní vztah pro posouzení prostě podepřeného nosníku s příčně torzní nestabilitou podle EC5:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}, \quad (28)$$

kde:

$\sigma_{m,d}$ je návrhová hodnota napětí v ohybu;

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

k_{crit} je součinitel, který vyjadřuje snížení pevnosti v ohybu v důsledku příčné torzní nestability. Součinitel k_{crit} je funkcí relativní štíhlosti v ohybu $\lambda_{rel,m}$:

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

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

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

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (29)$$

Kritické napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{l_{ef} W_y} \quad (30)$$



5 Závěry

Dřevo a materiály na bázi dřeva jsou materiály přírodního původu obsahující mnoho různých nehomogenit, imperfekcí a defektů, které v kombinaci s historií zatěžování a vlivy prostředí výrazně ovlivňují mechanické a fyzikální vlastnosti. Všechny tyto faktory vyžadují zvláštní přístup při návrhu a posuzování dřevěných prvků vzhledem k ostatním stavebním materiálům.

6 Literatura

1. BLASS, H. J. et al. (1995), "Timber Engineering STEP 1", Centrum Hout, The Netherlands.
2. KUKLÍK, P. (2002) "Timber Structures 10". CTU Prague, ISBN 80-01-02639-6.
3. Forest Products Laboratory, (1999), "Wood handbook – Wood as an engineering material", Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.

Kapitolu č. 9 připravili Alois Materna a Antonín Lokaj.



Kapitola 10

MEDZNÉ STAVY - SPOJE

1 Úvod

Pole pôsobnosti drevených konštrukcií je obmedzené dvoma javmi – jednak prirodzenými hranicami dĺžky nosníkov a veľkosťami ich prierezov a jednak schopnosťou spojovacích prostriedkov resp. možnosťami spojovacej techniky. V mnohých praktických prípadoch sú dimenzie nosných častí určené možnosťami spoja a nie možnosťami prierezu alebo stabilitnými problémami. V procese navrhovania sa musí brať špeciálny zreteľ na návrh spoja, na únosnosť spojovacích prostriedkov, na tuhosť spoja a na jeho duktilitu.

Vedľa technických otázok ako sú napr. dynamické správanie alebo odolnosť voči účinkom požiaru je potrebné brať do úvahy zhotovovanie a montážne náklady na výrobu konkrétneho spoja. Výsledkom je výber najvhodnejšieho spoja a tento aspekt častokrát rozhoduje o konkurencieschopnosti drevenej konštrukcie. V konštrukcii by sa malo nachádzať podľa možnosti čo najmenej spojov a veľkosti jednotlivých dielcov by mali byť prispôsobené možnostiam výroby, prepravy a montáže dielcov. Napriek skutočnosti, že v jednom objekte môžu byť použité rôzne systémy spájania, malo by sa používať podľa možnosti čo najviac rovnakých parametrov (napr. priemer svorníkov, hrúbka ocelových platní, atď.). Vo všeobecnosti by mal byť návrh spoja čo najjednoduchší a najkompaktnejší.

V neposlednom rade – už v prvých štádiách návrhu konštrukcie musia architekti a inžinieri dbať na skutočnosť, že vybrané typy spojov ovplyvňujú aj architektonickú úroveň celej konštrukcie.

2 Typy spojov a spojovacích prostriedkov

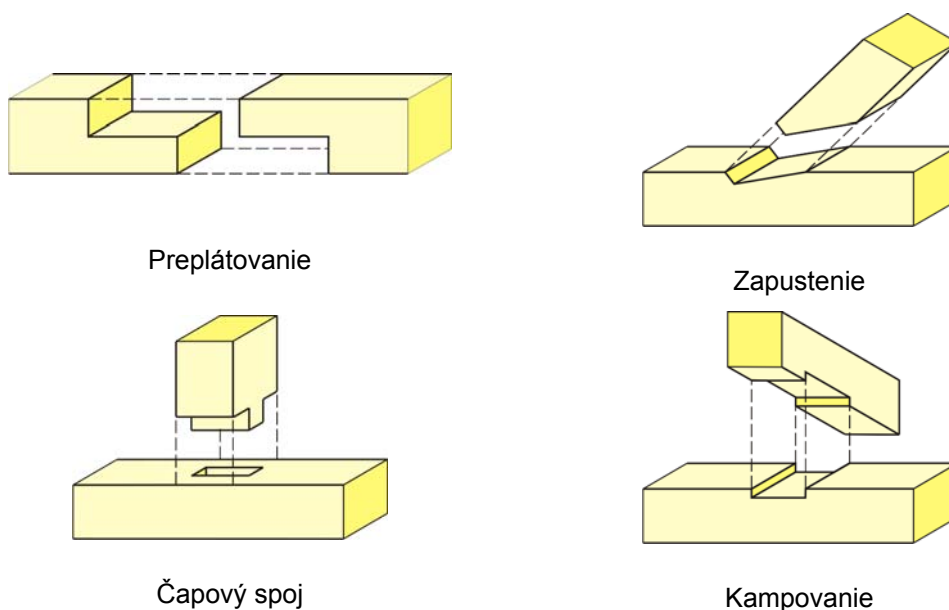
V priebehu času boli vyvinuté mnohé spojovacie systémy. Vo všeobecnosti sú tieto odvodené od:

- spôsobu namáhania (tlak, ťah, ohyb,...),
- druhu dreveniny / vlhkosti dreva,
- geometrických okrajových podmienok spoja a od veľkosti spájaných častí
- spôsobu výroby a montáže konštrukcie.

Podľa týchto parametrov boli definované rôzne systémy klasifikácie spojovacích prostriedkov a spojov, ktoré sú uvedené v nasledujúcich kapitolách:

2.1 Tesárske (tradičné) spoje

Vo všeobecnosti sú sily prenášané kontaktným tlakom v mieste spoja a trením. (Mechanické) spojovacie prostriedky sú použité iba na zaistenie polohy spájaných častí alebo na prenos dodatočných síl. Tieto spoje boli často navrhované len na základe skúseností tesárov a konštrukčných predpisov a zriedkakedy boli spoje navrhované (alebo počítané) inžiniermi. Napriek skutočnosti, že je známy veľký počet typov spojov, sú v dnešnej dobe používané iba niektoré z nich (základné spoje sú na obr. 1). Približne pred dvadsiatimi rokmi boli vyvinuté CNC-stroje, na ktorých sa dajú tesárske spoje efektívne vyrobiť. Odvtedy sa záujem o tieto typy spojov opäť zvýšil.



Obr. 1 Základné typy tesárskych spojov

2.2 Inžinierske spoje

V protiklade s tesárskymi spojmi sú tieto typy spojov navrhované (počítané a optimalizované) inžiniermi. Ako ďalšia vlastnosť pribudlo preberanie síl mechanickými spojovacími prostriedkami a lepidlami. V závislosti od spôsobu prenosu síl medzi spájanými časťami je možné rozdeliť inžinierske spoje do štyroch skupín:

2.2.1 Spoje so spojovacími prostriedkami kolíkového typu

Spoje so spojovacími prostriedkami kolíkového typu sú najdôležitejšou skupinou spojov v inžinierskych drevených konštrukciách. V závislosti od mechanizmu prenosu síl sa táto skupina rozdeľuje na dve podskupiny:

- kolíkové spojovacie prostriedky namáhané predovšetkým priečne k osi

Táto skupina spojovacích prostriedkov prenáša zaťaženie svojou ohybovou tuhosťou. Do tejto skupiny patria sponky, klince, skrutky, kolíky a svorníky, ale tiež vlepene tyče, namáhané priečne k ich pozdĺžnej osi (pozri obr. 2).

- kolíkové spojovacie prostriedky namáhané predovšetkým pozdĺžne vzhľadom na ich os

Táto skupina spojovacích prostriedkov prenáša zaťaženie svojím odporom proti vytiahnutiu. Typickými predstaviteľmi tejto skupiny sú vlepené tyče namáhané v smere ich pozdĺžnej osi, šikmé samorezné skrutky, ale tiež špeciálne klince (pozri obr. 3).

- kolíkové spojovacie prostriedky namáhané kombináciou – v priečnom a aj pozdĺžnom smere

Niektoré spojovacie prostriedky môžu byť zaťažované oboma smermi – kolmo na ich pozdĺžnu os a zároveň rovnobežne s pozdĺžnou osou. Únosnosť spojovacieho prostriedka sa v takom prípade určuje podľa jednotlivých čiastkových komponentov v dvoch smeroch.



Sponky (s nastreľovacou pištoľou)



Klince



Skrutky



Svorníky



Kolíky

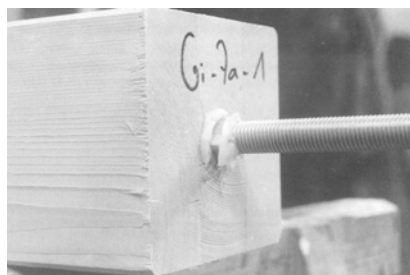


Vlepené tyče (zaťažované priečne k osi)

Obr. 2 Spojovacie prostriedky kolíkového typu, namáhané predovšetkým priečne k ich osi



Samorezné (drevo-) skrutky



Vlepené tyče (zaťažené pozdĺžne k osi)

Obr. 3 Spojovacie prostriedky kolíkoveho typu, namáhané predovšetkým pozdĺžne k ich osi

2.2.2 Zvláštne spojovacie prostriedky (záchytky)

Prenos zaťaženia je sústredený na vonkajšie plochy spájaných častí. Do tejto skupiny patria prstencové záchytky, jedno- a dvojstranné ozubené záchytky, šmykové platne, vlisované oceľové dosky s prelisovanými hrotmi (pozri obr. 4).



Prstencová záchytká



Šmyková platňa



Jedno- a dvojstranné ozubené záchytky

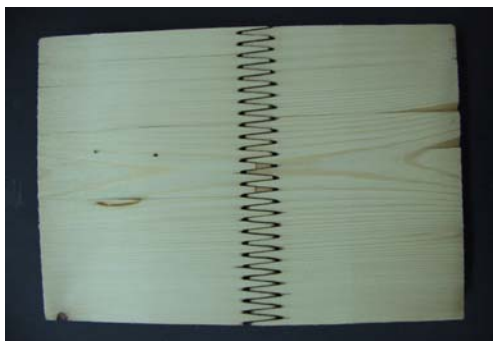


Vlisované oceľové dosky

Obr. 4 Záchytky

2.2.3 Lepené spoje

Dielce sú spájané lepením. Na výrobu je potrebná určitá kontrola kvality. Tento typ spoja sa používa pre klinové spoje pri výrobe lepeného lamelového dreva, pre klinové spoje vkladných rohových rámových konštrukcií, atď.



Obr. 5 Klinový spoj lamiel v LLD a vlepovaný rámový roh

Ďalším použitím lepených spojov sú väčšie plochy spojov drevo-drevo a spájanie lamiel pri lepených lamelových nosníkoch väčšej šírky, než je šírka jednej lamely (pozri obr. 5).

Novou možnosťou sa javí „zváranie“ dreva (zatiaľ v laboratórnych podmienkach) pomocou „prirodzeného lepidla“ – lignínu. Keďže princíp je rovnaký, patrí tento spoj do tejto skupiny.

2.2.4 Tvarované (oceľové) prípravky a „spojovacie systémy“

Na dosiahnutie rýchlejšej montáže sa používajú rôzne tvarované (oceľové) prípravky. Sú vyrábané na rôzne účely a majú rôzne tvary. Od nedávnej doby sú používané „spojovacie systémy“ v podobnom zmysle, ako je to v nábytkárskom priemysle (pozri obr. 6).



Tvarované (oceľové) dielce



Spojovacie systémy

Obr. 6 Tvarované (oceľové) dielce a „spojovacie systémy“

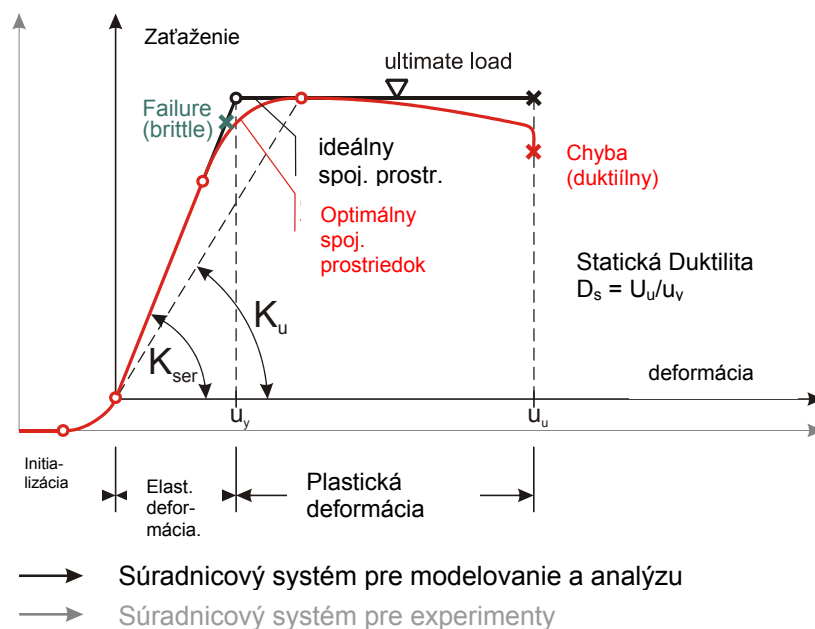
3 Návrh spojov

V nasledujúcom budú popísané všeobecné poznatky potrebné pre návrh spojov – rozdelené na technické a ekonomické opatrenia – jednak pre spojovacie prostriedky a jednak pre spoj ako celok.

3.1 Technické aspekty

3.1.1 Pracovný diagram spojovacích prostriedkov/spojov

Na obr. 7 je znázornený typický pracovný diagram, ktorý vysvetľuje technické pomery spoja. Znáznornený vzťah je vo všeobecnosti aj hodnotou pre mechanické vlastnosti spojovacieho prostriedku



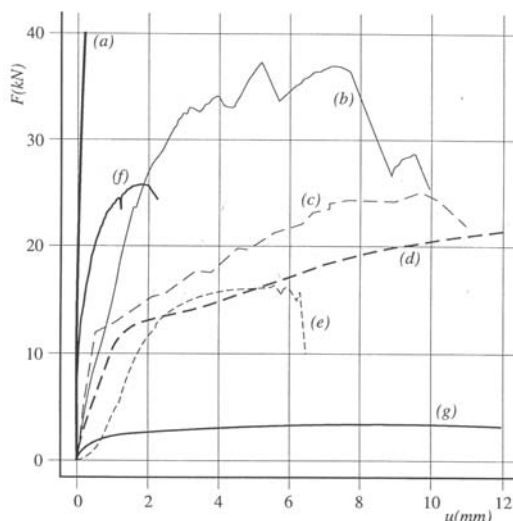
Obr. 7 Typický pracovný diagram s definíciou dôležitých parametrov v spoji

U niektorých spojovacích prostriedkov sa môže vyskytovať „počiatočné popustenie“. To je deformácia, ktorá je nezávislá od veľkosti zaťaženia. Keď je spojovací prostriedok zaťažený, prichádza do kontaktu s vyvrtanou dierou až dovtedy, kým na celú otláčovanú plochu netlačí kontinuálne. Keď zaťaženie narastá, je pozorovaná vo všeobecnosti viacmenej lineárna závislosť medzi zaťažením a deformáciou. Keď je správanie sa spoja „krehké“, napr. keď má spoj iba malú deformačnú kapacitu, nastáva pri určitej hodnote zaťaženia zlyhanie spoja. Opačne sa správajú „duktálne“ (duktilita = možnosť plastickej deformácie) spoje, ktoré sú charakterizované značnými deformáciami až do dosiahnutia únosnosti spoja. Pri dobre navrhnutých spojoch by malo mať zlyhanie spoja práve tento charakter.

Charakteristikami, ktorými sa popisuje mechanické správanie spojovacích prostriedkov, sú okrem únosnosti aj statická duktilita D_s (definovaná ako pomer medzi pretvorením pri hodnote únosnosti u_u a pretvorením na hornej hranici lineárnej elastickej oblasti u_y). Na popisovanie tuhostí sa používa sklon krivky pracovného diagramu v lineárno-elastickej oblasti (modul popustenia K_{ser}) pre výpočet podľa medzného stavu použiteľnosti sečnicový modul na

určenie únosnosti spojovacieho prostriedku (okamžitý modul popustenia pri medznom stave únosnosti K_u).

V závislosti od typu spojovacieho prostriedku je mechanické správanie rôzne. Na obr. 8 je uvedený pracovný diagram pre niektoré spojovacie prostriedky pri namáhaní ťahom rovnobežne s vláknami.

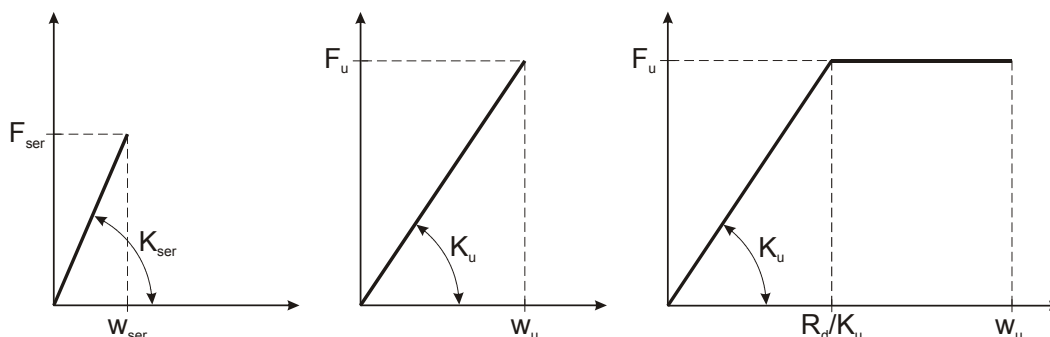


Obr. 8 Experimentami určené pracovné diagramy pre spoje s namáhaním spojovacích prostriedkov rovnobežne s vláknami,

(a) lepené spoje, (b) prstencové záchytky (100 mm), (c) obojstranné ozubené záchytky (62 mm), (d) kolíky (14 mm), (e) svorníky (14 mm), (f) zapustená platňa (104 mm²), (g) klince (4,4 mm); podľa [1]

3.1.2 Modely mechanického správania sa spojov

Mechanické správanie sa spojovacích prostriedkov v navrhovaných spojoch možno zohľadniť podľa nižšie uvedených modelov (obr. 9).



Obr. 9 Modely na popisovanie správania sa spojovacích prostriedkov vo vybraných spojoch
vľavo: Medzný stav použiteľnosti: elastický model;
v strede: medzný stav – krehký lom: elastický model;
vpravo: medzný stav – duktilné správanie sa: ideálne elastický - ideálne plastický model



3.1.3 Najdôležitešie faktory pre návrh spojov: Únosnosť, tuhosť a duktilita

Z technického hľadiska majú spoje spĺňať tri dôležité požiadavky, ktoré musia byť pri návrhu spojov zohľadnené:

– Vysoká únosnosť a efektívnosť

Únosnosť a efektívnosť každého spoja je ohraničená únosnosťou spájaných drevených častí a spôsobom prenosu síl v spoji.

Účinnosť spoja η je daná pomerom únosnosti spájaných častí a kapacitou spoja. V nasledujúcej tabuľke je uvedená efektívnosť niektorých systémov spájania:

(Maximálny) Faktor efektivity η	teoreticky	prakticky
Lepené spoje - preplátovanie - klinové spoje	$\approx 1,00$ $\approx 0,85$	$\approx 0,90$ $\approx 0,80$
Spoje oceľ-drevo	$\approx 0,75$	$\approx 0,60$
Spoje drevo-drevo	$\approx 0,60$	$\approx 0,50$

Tab. 1 Stupeň efektivity niektorých systémov spájania

– Vysoká tuhosť

Tuhosť spojov ovplyvňuje vo všeobecnosti celkovú deformáciu drevenej stavby. V prípade staticky neurčitých sústav a možných stabilitných problémoch musia byť konštrukcie navrhované podľa teórie druhého rádu. Flexibilita spojov ovplyvňuje aj vnútorné sily v konštrukciách.

Podľa svojej tuhosti sa spoje rozdeľujú do nasledovných kategórií:

- „veľmi tuhý“ spoj s krehkým charakterom porušenia ($\eta \approx 1,0$)

Pre tento typ musí byť únosnosť spoja najvyšším cieľom. Pre známe rastečné drevo a lepené lamelové drevo môže byť dosiahnutá kapacita danej pevnostnej triedy, napr. medzný stav je obmedzený mechanickými vlastnosťami spájaných častí. Typickým príkladom tejto skupiny sú klinové spoje.

- „tuhý“ spoj ($\eta \approx 0,6 - 0,8$)

Cieľom takéhoto typu spoja je plastické správanie sa. Príkladom tejto skupiny sú prstencové záchytky a kľincované oceľové dosky, vlepované tyče, osovo zaťažované (drevo-)skrutky a „kompaktné“ kolíky a svorníky.



- „flexibilný“ spoj ($\eta < 0,6$)

Tento typ spojov umožňuje pohyb podpôr atď., ale tuhostné pomery konštrukcie sú ovplyvnené. Typickým predstaviteľom tejto skupiny sú „úzke“ kolíky a svorníky, stranovo zaťažené drevoskrutky a klince.

Podľa sklonu pracovného diagramu sa môže definovať takzvaný „modul pretvorenia“ spojovacieho prostriedku a môže sa zohľadniť pri navrhovaní spoja. Z mechanického hľadiska sú spojovacie prostriedky zohľadnené v analýze konštrukcie ako pružiny s určitým modulom pretvorenia, ktorý je ich parametrom.

Pri dosiahnutí medzného stavu prevorenia (SLS) sa musí modul popustenia K_{ser} zohľadniť podľa sklonu krivky pracovného diagramu v elastickej oblasti. Pre niektoré typy spojov sú hodnoty K_{ser} [N/mm²] definované (pre jeden spojovací prostriedok) v EN 1995-1-1.

V návrhových situáciách, pri ktorých flexibilita spoja ovplyvňuje rozdelenie vnútorných síl v konštrukcii (napr. staticky neurčité sústavy atď.), sa musí použiť Verformungsmodul K_u . V rámci európskych noriem je hodnota tohoto parametra pre všetky spojovacie prostriedky navrhovaná ako:

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser}$$

kde

K_{ser} modul popustenia [N/mm]

K_u okamžitý modul popustenia pri medznom stave únosnosti [N/mm]

Podľa typu navrhovaných konštrukcií musia byť zohľadnené aj dotvarovanie a zmrašťovanie, takže vnútorné sily musia byť určované pre rôzne časy ($t = 0$ a $t = \infty$).

– Vysoká duktilita

Drevo a technické výrobky z dreva sú ako materiál charakteristický svojim krehkým mechanickým správaním, napr. pred poruchou niektorého prvku môžu byť odmerané iba relatívne malé deformácie. Tento jav nie je pri návrhu konštrukcií žiadúci. V praxi je uvažovanie duktilných spojov jediná cesta, ako získať dostatočne duktilnú drevenú konštrukciu.

Pri návrhu je žiadúci vysoký stupeň pretvárnosti spojov. Duktilita ovplyvňuje:

- únosnosť konštrukcie a spojov,
- únosnosť jednej skupiny spojov.

Ak sa nedá dosiahnuť požadovaná duktilita spojov, môže nastať rozštiepenie pripájaných častí a tzv. „zipsový efekt“. To znamená, že po rozštiepení dreva pri jednom spojovacom prostriedku môže nastať postupné rozštiepenie aj pri ostatných spojovacích prostriedkoch.



Obr. 10 Rozštiepenie skúšobnej vzorky v mieste otláčená diery spojovacím prostriedkom a „zipsový efekt“ v skupine spojovacích prostriedkov

3.1.4 Iné technické požiadavky

– Dynamické zaťaženie

Popri vyššie uvedených požiadavkách musia byť v niektorých prípadoch posudzované spojovacie prostriedky aj na dynamické namáhanie a na opakované namáhanie (únavu).

Niektoré spojovacie prostriedky (klince, klincované dosky, prstencové záchytky) nie sú vhodné ako spojovacie prostriedky drevených mostov, ktoré sú zaťažované dopravou.

Detaily tejto tematiky sú uvedené v špeciálnej literatúre.

– Odolnosť voči požiaru

Pri návrhu spojov je potrebné brať na zreteľ, že požiaru odolnosť spojov výrazne ovplyvňuje požiaru odolnosť konštrukcie ako celku. Nechránené oceľové časti spojov spôsobujú zníženie celkovej odolnosti konštrukcie voči požiaru. Ak je to potrebné, musia byť navrhnuté príslušné opatrenia na zvýšenie požiarnej odolnosti.



3.2 Ekonomické aspekty

Pri návrhu konkurencieschopnej drevenej konštrukcie musia byť popri technických aspektoch zohľadnené aj ekonomické aspekty:

3.2.1 Efektívna výroba

– Efektívnosť nákladov

Okrem nákladov na samotné spojovacie prostriedky vznikajú pri výrobe spojov aj náklady pri zhotovovaní spoja. Aby mohli byť drevené konštrukcie konkurencieschopné, je potrebné navrhovať čo najmenší počet spojov a používať čo najmenší počet rôznych systémov spájania. Štandardné spojovacie prostriedky a spojovacie systémy by mali používať v jednej konštrukcii čo najviac rovnakých parametrov (napr. priemer svorníkov, hrúbka ocelových platní, atď.). Okrem redukcie výrobných nákladov je rovnako dôležitá kontrola kvality spojov.

– Výrobné tolerancie

Výrobné tolerancie ovplyvňujú flexibilitu a duktilitu drevených konštrukcií. Z tohoto dôvodu by mali byť povolené tolerancie čo najmenšie. V protiklade k tomu je skutočnosť, že príliš malé tolerancie majú za následok zdraženie výroby. Je preto potrebné nájsť správny kompromis medzi oboma požiadavkami.

Obhájiteľné výrobné tolerancie sú dosiahnuteľné použitím inovatívnych spojovacích systémov (napr. samorezné drevoskrutky).

– Skúšky (Kontrola kvality)

Kontrolné činnosti získavajú pri výrobe drevených konštrukcií čoraz väčší význam. Na potvrdenie perfektnej kvality spojov sú prevádzané overovacie skúšky. Skúšky in situ priamo na konštrukcii sú zriedkakedy možné, preto ako dôsledok tejto skutočnosti je venovaná zvýšená pozornosť kontrole jednotlivých komponentov spoja, kontrole schopností obsluhujúceho personálu, atď.

3.2.2 Jednoduchý návrh a výpočet

– Oddelený výpočet spojov od ich návrhu

Návrh spojov ovplyvňuje tok síl v spoji a tiež únosnosť konštrukcie. Je preto dôležité, aby výpočet spoja prebehol oddelene od jeho návrhu.

– Jednoduché modely navrhovania

Pravidlá pre navrhovanie spojov drevených konštrukcií sú uvedené v normách a mali by byť definované čo najjednoduchšie pri dodržaní všetkých požiadaviek kladených na spoľahlivosť návrhu konštrukcie.

4 „Toky síl“ v spojoch

4.1 Podklady

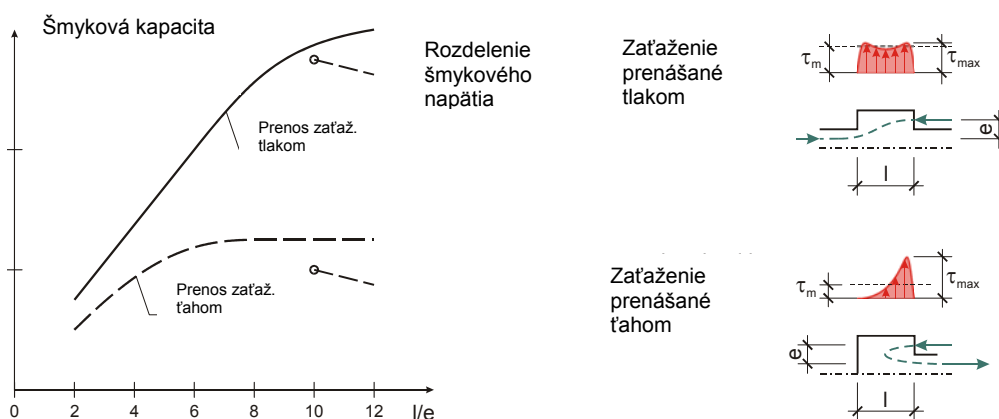
Tok síl v spoji výrazne ovplyvňuje únosnosť spoja a celej konštrukcie. V dôsledku krehkého mechanického správania sa dreva sa požadovaná únosnosť spoja dá dosiahnuť iba v takom prípade, ak je zabránené vzniku veľkých lokálnych napätí. V takýchto miestach môžu vzniknúť lokálne pretvorenia, ktoré sú často zodpovedné za zlyhanie spoja.

Vizualizácia toku síl je pomocným prostriedkom, na ktorom sa dá porozumieť prenosu zaťaženia v spoji. Preto je v nasledujúcich kapitolách táto problematika uvádzaná jednak pre tesárske spoje a tiež pre inžinierske spoje.

4.2 „Tok síl“ v tradičných spojoch

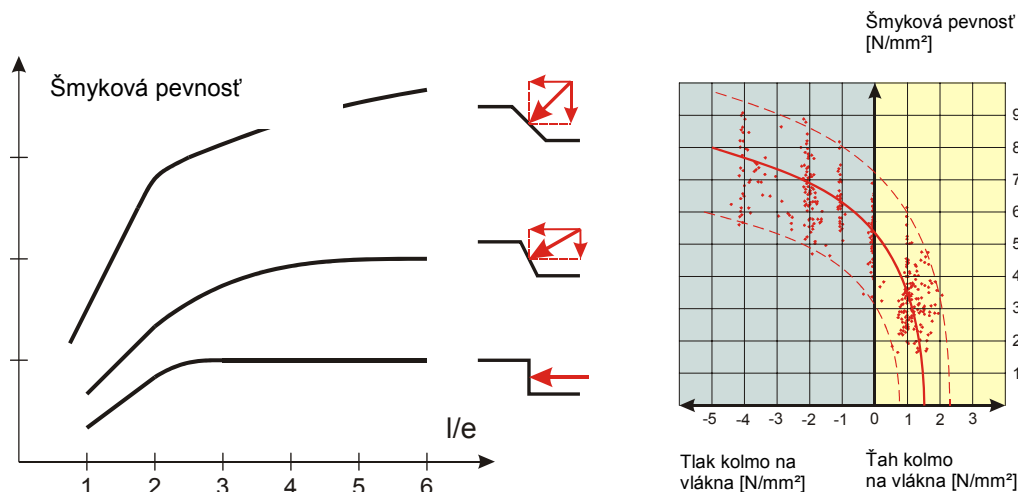
V tradičných (tesárskych) spojoch sú sily vo väčšine prípadov prenášané tlakom cez kontaktné plochy (väčšinou v kombinácii so šmykovými silami). Spoje drevo-drevo majú väčšinou malú únosnosť, ktorá sa dá zvýšiť použitím kolíkov z tvrdého dreva alebo ocelovými kolíkmi.

V kontaktných plochách vznikajú v závislosti od pôsobiacej sily (tlak alebo ťah) rôzne rozdelenia šmykových napätí. Zatiaľ čo pri namáhaní tlakom je rozdelenie napätia viacmenej rovnomerné, pri namáhaní ťahom vznikajú lokálne maximá (pozri obr. 11). Keďže návrh spoja musí pokryť maximálnu hodnotu, je únosnosť spoja malá. Je potrebné uviesť, že napätia kolmo k smeru vlákien nie sú na obr. 11 vyznačené.



Obr. 11 Šmyková kapacita a rozdelenie šmykových napätí v tradičných spojoch závislé od typu prenosu zaťaženia

Väčšina spojov je zaťažená kombináciou šmykových a ťahových napätí, čo vedie k značnému zníženiu únosnosti spoja. Kombinácia šmykového a tlakového namáhania v spoji zasa vedie k miernemu zvýšeniu únosnosti spoja. Táto dobre známa skutočnosť je využívaná v tesárskej praxi napríklad pri návrhu rybinových spojov.



Obr. 12 Šmyková pevnosť dreva v prípade pôsobenia tlaku a ťahu kolmo na vlákna

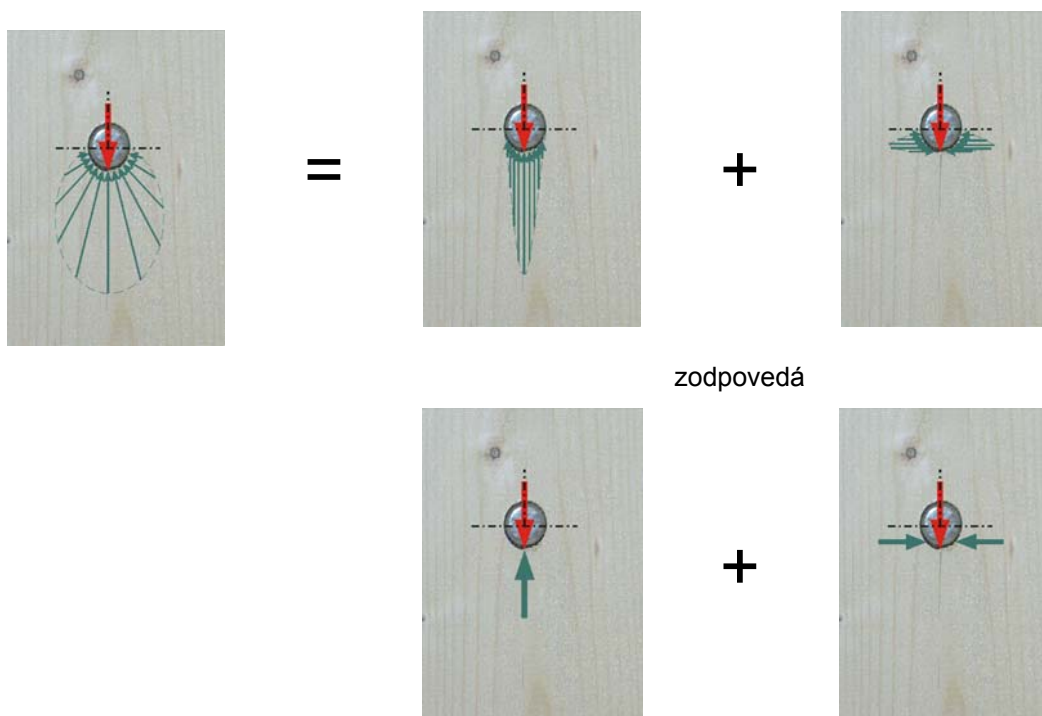
4.3 „Tok síl“ v inžinierskych spojoch

V porovnaní s tradičnými spojmi je možné dosiahnuť markantné zvýšenie únosnosti spoja v prípade, ak je spojovací prostriedok namáhaný priečne k jeho pozdĺžnej osi (napr. kolíky, svorníky, klnice, skrutky, atď.), čo je jedným z dôvodov, prečo sa spojovacie prostriedky kombinujú s oceľovými plechmi. Ak budeme detailne sledovať takýto spoj zistíme, že zaťaženie je prenášané na jednotlivé plochy tlakom a ťahom. Pričom v porovnaní s tradičnými tesárskymi spojmi majú tieto typy spojov veľkú výhodu: vďaka použitiu pretvoriteľných spojovacích prostriedkov sa dá dosiahnuť duktilné správanie sa spoja, čo vedie k zvýšeniu jeho únosnosti. Podmienkou dosiahnutia tejto možnosti je dodržanie vzdialeností medzi spojovacími prostriedkami, čo musí byť zohľadnené pri návrhu spoja.

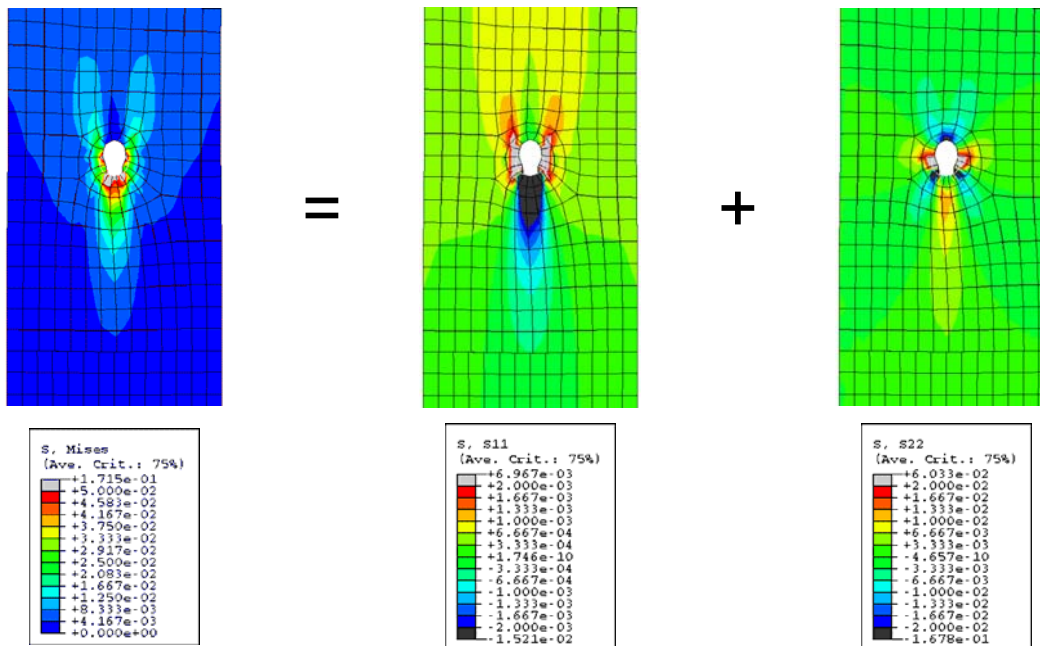
Ak zanedbáme trecie sily medzi dierou a spojovacím prostriedkom, tak pri skúmaní pôsobenia spojovacích prostriedkov kolíkového typu s malou štihlosťou (štihlosť je pomer medzi hrúbkou spájaného prvku a priemerom spojovacieho prostriedku), vznikajú radiálne orientované napätia, ktoré možno rozdeliť na napätia rovnobežné s vláknami a napätia kolmé na vlákna. Zatiaľ čo drevené spájané časti majú pomerne veľký odpor v smere rovnobežnom s vláknami, ich odpor v smere kolmom na vlákna je nepatrný. Táto zložka namáha spájané časti ťahovými napätiami kolmo na vlákna a vzniká nebezpečenstvo rozštípenia dreva (obr. 13 a 14). V dôsledku anizotropných mechanických vlastností dreva je ťahová pevnosť kolmo na vlákna malá a zároveň má veľmi veľký rozptyl hodnôt. To vedie k malej únosnosti spoja a tiež k možnosti nežiadúceho náhleho zlyhania spoja.

Ak je štihlosť spojovacieho prostriedku malá, môže sa tento deformovať (ohýbať). To je spojené s výrazne redukovanou možnosťou rozštípenia spájaných prvkov a má za následok vyššiu únosnosť spoja spojenú s vyššou (požadovanou) duktilitou spojovacieho prostriedku.

Za normálnych okolností sú pri návrhu spoja zohľadňované iba napätia rovnobežne s vláknami, zatiaľ čo napätia kolmo na vlákna sú zohľadnené v konštrukčných pravidlách pre umiestnenie spojovacích prostriedkov. Schopnosť deformácie spojovacieho prostriedku je prirodzene zohľadnená tiež. Teória vychádza z plastických hodnôt a plastický moment bol publikovaný v roku 1949 Johansenom. Johansenova teória sa stala základom pre tie časti EN 1995-1-1, ktoré sa týkajú navrhovania spojov.



Obr. 13 Rozdelenie napätí v diere na zložky rovnobežné a kolmé k vláknam dreva



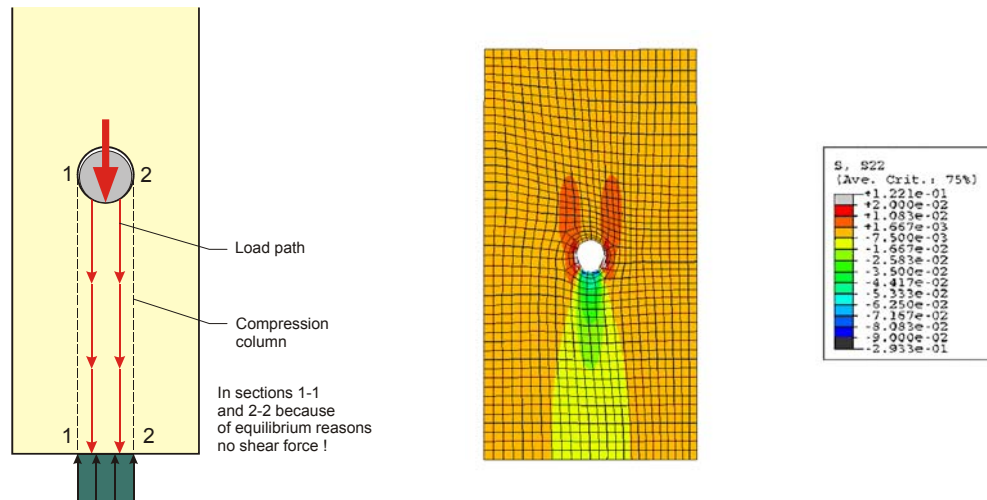
Obr. 14 Rozdelenie napätí pri výpočte MKP pre prípad na obr. 13

V prípade zaťaženia kolmo na vlákna je rozdelenie komponentov napätí podobné, avšak v protiklade so zaťažením rovnobežne s vláknami je tendencia rozštiepenia oveľa menšia. Navyše je únosnosť v dôsledku anizotropie kolmo na vlákna tiež menšia. Možnosť zlyhania spoja rozštiepením musí byť pri návrhu spoja zohľadnená.

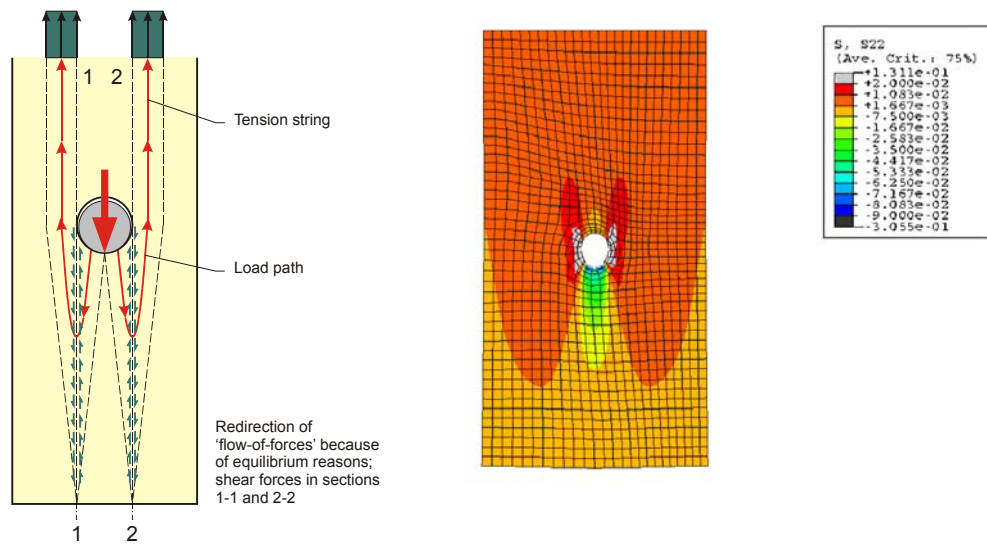
Analogicky sa postupuje pri pôsobení zaťaženia pod iným uhlom.

Z hľadiska vnášania zaťaženia musí byť zohľadnené:

- pri pôsobení tlakového namáhania je zaťažovaná plocha približne rovnako veľká ako je priemer kolíka
- v prípade ťahového namáhania je oblasť okolo spojovacieho prostriedku namáhaná nerovnakými šmykovými napätiami. V dôsledku prerozdelenia namáhania do vyznačených prierezov 1-1 a 2-2 sa šmykové napätia zvyšujú. Následne vznikajú ťahové napätia kolmo na vlákna pod spojovacím prostriedkom. Kombinácia ťahových a šmykových napätí kolmo na vlákna dreva zvyšuje možnosť rozštiepenia dreva a znižuje únosnosť spoja. V dôsledku tohoto javu sú potrebné väčšie vzdialenosti spojovacích prostriedkov od okrajov spájaných prvkov.



Obr. 15 Namáhanie kolíkového spoja tlakom



Obr. 16 Namáhanie kolíkového spoja ťahom



5 Rozostupy a vzdialenosti spojovacích prostriedkov

Pre určenie únosnosti spojovacích prostriedkov v stavebníctve slúžia štandardy a normy, v ktorých sú definované vzdialenosti spojovacích prostriedkov medzi sebou a vzdialenosti od okrajov spájaných častí. Tieto sú definované tak, aby nedošlo v spoji k štiepeniu dreva. Okrem možnosti štiepenia môžu vzniknúť ďalšie nežiadúce javy, ktorým sa dá zabrániť presne definovanými pravidlami. V definovaní rozostupov a vzdialeností sú zahrnuté aj:

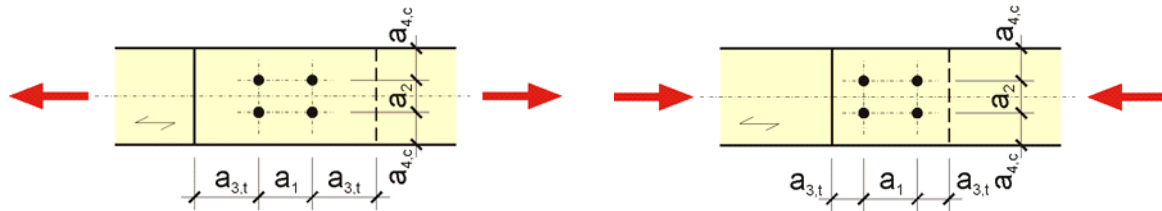
- Ustihnutie spoja
- Vplyv nepredvrtania diery na možnosť rozštiepenia
- Vplyv vysušovania na možnosť rozštiepenia

V európskych normách sú jednotlivé rozostupy a vzdialenosti spojovacích prostriedkov označené nasledovnými skratkami:

Vzdialenosti spojovacích prostriedkov	Smer rozostupov a vzdialeností	Skratka
Vzdialenosti medzi spojovacími prostriedkami	- vzdialenosť rovnobežne s vláknami - vzdialenosť kolmo na vlákna	a_1 a_2
Vzdialenosti od okrajov v pozdĺžnom smere	- vzdialenosť od namáhaného okraja - vzdialenosť od nenamáhaného okraja	$a_{3,t}$ $a_{3,c}$
Vzdialenosti od okrajov v priečnom smere	- vzdialenosť od namáhaného okraja - vzdialenosť od nenamáhaného okraja	$a_{4,t}$ $a_{4,c}$

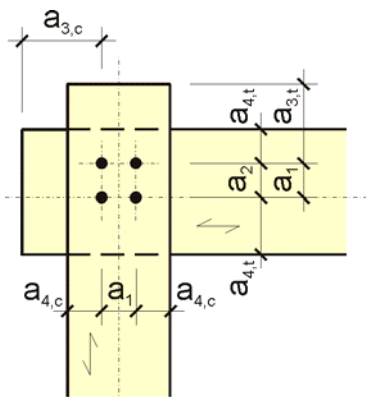
Tab. 2 Skratky pre jednotlivé rozostupy a vzdialenosti spojovacích prostriedkov

Pre lepšie pochopenie vyššie uvedených rozstupov a vzdialeností slúžia nasledovné obrázky:

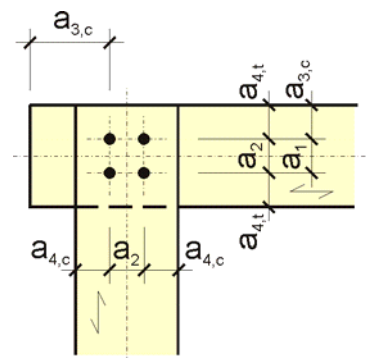


Ťahový spoj

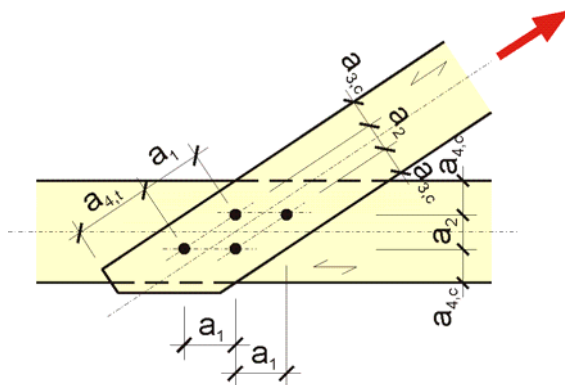
Tlakový spoj



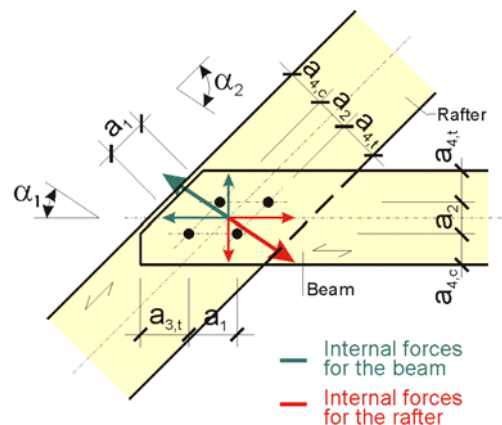
Spoj s kolmými spájanými časťami, ktoré sú namáhané ťahom



Spoj s kolmými spájanými časťami, ktoré sú namáhané tlakom



Spoj namáhaný ťahom pod určitým uhlom



Spoj namáhaný tlakom pod určitým uhlom

Obr. 17 Rozstupy a vzdialenosti spojovacích prostriedkov v praktických príkladoch



6 Spojovacie prostriedky

Posúdenia rôznych konfigurácií (napr. priemer kolíka, geometrická poloha spojovacieho prostriedku, zmeny kvality dreva, atď.) by si vyžadovali veľký počet experimentov. Z ekonomických dôvodov je koncept pre výpočet únosnosti spoja v MSÚ zameraný na výpočet JEDNÉHO spojovacieho prostriedku, pričom únosnosť spoja ako celku sa získa pre násobením únosnosti jedného spojovacieho prostriedku počtom spojovacích prostriedkov v spoji. Rovnako postupujú aj súčasné moderné normy.

Z hľadiska technicko-dimenzačného a z mechanického hľadiska musia byť zohľadnené dva aspekty:

6.1 'Skupinový efekt'

Pri výpočte únosnosti skupiny spojovacích prostriedkov a určitého spoja sa vplyvom nezabrániteľných neistôt vo výrobe (tolerancie výroby, geometrické tolerancie spájaných častí) prenáša jednotlivými spojovacími prostriedkami v spoji nerované zaťaženie. Dôsledkom tohoto javu sa únosnosť spoja nedá stanoviť súčtom únosností jednotlivých spojovacích prostriedkov. Tento tzv. „skupinový efekt“ musí byť pri návrhu spoja zohľadnený zmenšovacím súčiniteľom (n_{ef}).

6.2 Rôzna flexibilita spojovacích prostriedkov

Vo všeobecnosti sa v spoji môžu použiť spojovacie prostriedky s rôznymi parametrami (napr. priemer kolíka). Pritom však treba myslieť na to, že ich flexibilita nesmie byť veľmi odlišná, pretože je známe, že „tuhšie“ prvky preberajú väčšie sily a menej tuhé by mohli ostať nezaťažené.

6.3 Dimenzovanie spojovacích prostriedkov

Pri dimenzovaní spojov je potrebné urobiť čiastkové posúdenia spojovacieho prostriedku, spájaných drevených častí a ocelových častí (ak sa v spoji nachádzajú).

7 Súhrn – Konceptia vysokoúčinných spojov v inžinierskych drevených konštrukciách

Vysoká únosnosť spojov v inžinierskych konštrukciách môže byť dosiahnutá iba vtedy, ak sa v spoji nenachádzajú miesta, ktoré pôsobia rušivo na „tok síl“ v spoji. Na nasledujúcich troch príkladoch spojov namáhaných na ťah sú vysvetlené praktické vyhotovenia spojov s vysvetlením „toku síl“.

7.1 Relevantnosť „toku síl“

Typ prenosu zaťaženia	Oslabená plocha A_{net}	„Tok síl“	Rozdelenie deformácií
Priamo - vlákno k vláknu 	100 %	optimálny „tok síl“ - kontinuálny, neoslabený prerez - žiadne geometrické rozdelenie (Zaťaženie až po najvyššiu hodnotu napätia a predĺženia) - lokálne rozdelenie v dôsledku štruktúry dreva (jarné drevo, letokruhy, sklon vlákien)	
Nepriamo- rovnobežne s vláknami prostredníctvom šmykových síl 	80 až 85 %	dobrý „tok síl“ je možný - kontinuálny prenos síl z dreva do spojovacieho prostriedku (nastavenie tuhosti vhodným pomerom A a E) - malé odchýlky medzi silou a vláknami	
Nepriamo- kolmo na vlákna, prostredníctvom lokálneho tlaku paralelne s vláknami 	60 až 65 %	nepriaznivý „tok síl“ - pomerne vysoké špičky deformácií v dôsledku nerovnomerného lokálneho rozdelenia zaťaženia - nutné výrazné presmerovanie zaťaženia s tendenciami rozštiepenia, tlak so šmykovými silami vyvoláva ťahové sily v oslabenom priereze)	

Obr. 18 Vplyv „toku síl“ na rozdelenie deformácií spojov



7.2 Význam použitého dreva a technických výrobkov z dreva

Poruchy „toku síl“ sú spôsobené aj prirodzenými nehomogenitami spájaného materiálu (hrče, šikmosť vlákien, špirálovitosť vlákien atď.). Umiestnenie spoja mimo takýchto oblastí môže viesť k zvýšenej únosnosti spoja.

Hoci je táto skutočnosť zohľadnená iba pri výrobe zubovitých spojov, sú zásady definované aj v normách.

7.3 Význam duktility

Spoj je väčšinou zložený z viacerých spojovacích prostriedkov. Ich kontinuálne zaťaženie v MSÚ predpokladá dostatočnú duktilitu spoja. Faktor duktility musí byť definovaný ako funkcia požadovanej únosnosti konštrukcie.

Požadovaná duktilita spoja musí byť dosiahnutá plastickými deformáciami spájaných častí (napr. oceľových plechov) v spoji, ktoré musia byť na príslušné zaťaženie dimenzované.

Musí byť zabránené vzniku lokálnych chýb (napr. štiepenie spájaných častí). Až v takomto prípade sa dá dosiahnuť požadovaná duktilita.

– Lokálne chyby spájaných častí („štiepenie“)

Drevo má v smere kolmo na vlákna veľmi malú pevnosť v ťahu a pri takomto namáhaní môžu vzniknúť náhle poruchy. Ak je to možné, je potrebné eliminovať namáhanie v smere kolmo na vlákna vhodnými opatreniami.

Takýmito opatreniami môžu byť:

- Zväčšenie zaťažovanej plochy

Zväčšením vzdialeností medzi spojovacími prostriedkami sa môže zvýšiť odolnosť voči rozštiepeniu. Uprednostňované sú väčšie počty spojovacích prostriedkov menších rozmerov.

- Zväčšenie odolnosti lokálnymi zosilneniami

Lokálne zosilnenia sa spravidla realizujú lepením príložiek na obe strany spoja. Rovnaký efekt sa dá dosiahnuť oceľovými doskami s prelisovanými hrotmi alebo použitím samorezných drevoskrutiek alebo vlepovaných prúťov. Navyše takéto opatrenia zvyšujú únosnosť v otláčení.

- Použitie vhodných technických výrobkov v mieste spoja

V takomto prípade má celá oblasť spoja vyššie mechanické vlastnosti z hľadiska otláčenia, únosnosti kolmo na vlákna atď. Ako príklad môže byť použitá vysokopevnostná preglejka so špeciálnym vrstvením alebo tvrdé drevo.



8 Literatúra

- [1] N.N.
'STEP 1 – Timber Engineering';
Kapitel C1 – C17, Erste Auflage, Centrum Hout, Niederlande, 1995
- [2] Madsen, B.;
'Behaviour of Timber Connections',
Holz Ingenieurwesen Ltd., British, Kanada, 2000
- [3] Schweizerische Arbeitsgemeinschaft for Holzforschung, Kursleitung: E. Gehri,
'Verbindungstechnik im Holzbau',
Tagungsband zum 32. SAH-Fortbildungskurs, Weinfelden/Schweiz, 2000
- [3] Schickhofer, G.; et.al.
'Holzbau – Nachweisführungen für Konstruktionen aus Holz, Part B',
Skript, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz,
Graz/Österreich, 2004 (in Deutsch)
- [4] Thelanderson, S.; Larsen, H.-J. (Publisher);
'Timber Engineering - Part Three: Joints and Structural Assemblies',
John Wiley & Sohns, West Sussex, UK, 2003
- [5] Mischler, A.;
'Bedeutung der Duktilität von Stahl-Holz-Verbindungen',
Dissertation, Professur für Holztechnologie, ETH Zürich, Zurich/Schweiz, 1998
(in Deutsch)
- [6] McKenzie, W.M.C.; Zhang, Binsheng;
'Design of Structural Timber to Eurocode 5 – Second Edition',
Palgrave macmillan, New York, USA (2007)

Kapitolu 10 spracoval DI Manfred AUGUSTIN, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Technische Universität Graz, Rakúsko.



Kapitola 11

ROVINNÉ SÚSTAVY**1 Úvod**

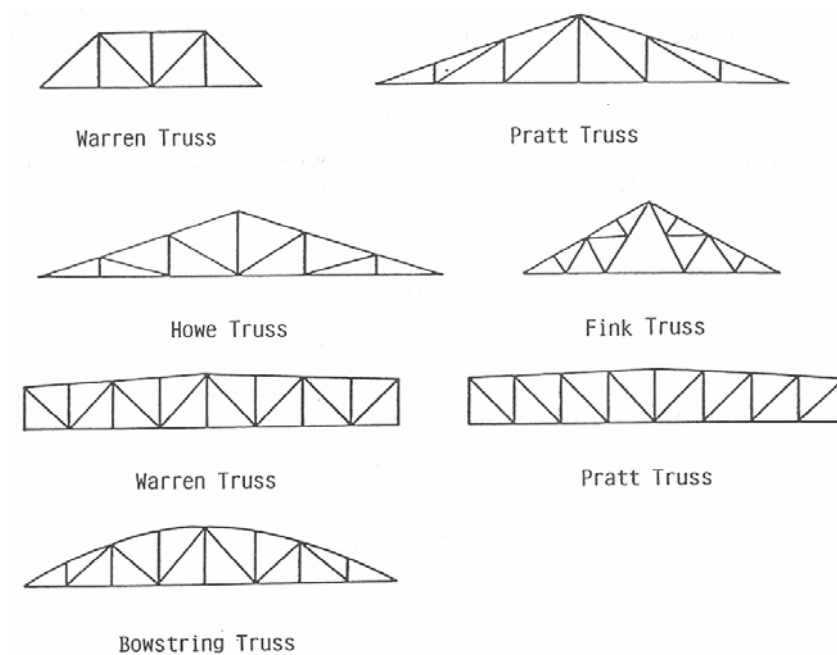
Táto kapitola je zameraná na najznámejšie drevené rovinné sústavy ako sú priehradové sústavy, nosníky a oblúky. Drevené priehradové väzníky majú v porovnaní s nosníkmi a oblúkmi svoje špecifiká, týkajúce sa dimenzovania prierezov a návrhu spojov. Z tohoto dôvodu je kapitola rozdelená na tri hlavné časti: drevené priehradové väzníky, drevené nosníky a oblúky.

2 Drevené priehradové väzníky

V ostatných desaťročiach sa drevené priehradové väzníky používali ako nosné konštrukcie mnohých rôznorodých objektov. Drevené priehradové väzníky boli známe svojím príjemným architektonickým výrazom, svojou ľahkosťou a jednoduchosťou výroby. Ich využitie na konštrukcie mostov veľkých rozpätí s malým počtom podpier (alebo žiadnymi medzipodperami) ešte stále narastá. Priehradové nosníky sú ľahšie ako plnostenné nosníky pre to isté rozpätie. Vo svete bolo postavených veľa rovinných a priestorových priehradových konštrukcií rôznych typov. Sú použité v konštrukciách hál, štadiónov, výstavných centier a mnohých ďalších objektov. Konštrukcie styčníc sú vo väčších objektoch zhotovované ako kombinácia dreva a oceľových spojovacích prostriedkov [1].

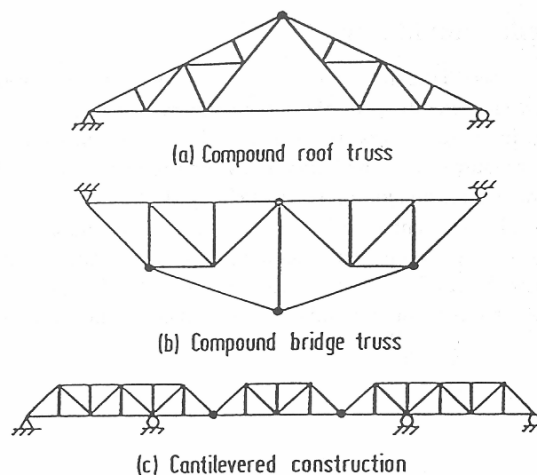
2.1 Definícia a analýza priehradových sústav

Konštrukcia, v ktorej sú prúty na svojich koncoch pospájané kĺbovo a vyvárajú stabilnú sieť, sa označuje ako priehradová konštrukcia. Ak sú všetky prúty v jednej rovine, jedná sa o rovinnú priehradovú konštrukciu. Predpokladá sa, že zaťaženia pôsobia v uzloch (styčníc) priehradového nosníka. Osi jednotlivých prútov sú priame, spoje sú umiestnené v priesečníkoch osí. V mnohých prípadoch – napr. pri mostných konštrukciách a pri jednoduchých strešných konštrukciách sa dajú priestorové sústavy analyzovať ako jednotlivé rovinné sústavy bez toho, aby presnosť výpočtu bola neprimerane znížená. Na obr. 1 sú uvedené typické, idealizované rovinné priehradové sústavy. Stabilná a staticky určitá priehradová konštrukcia je zložená minimálne z troch prútov, troch uzlov a troch podpôr. Na výpočet vnútorných síl v priehradovom nosníku sa používa uzlová metóda alebo priesečná metóda [2].



Obr. 1 Typické, idealizované rovinné priehradové sústavy [2]

Kombinovaný priehradový nosník vznikne spojením dvoch alebo viacerých priehradových nosníkov. Príklady kombinovaných priehradových nosníkov sú na obr. 2.



Obr. 2 Kombinované priehradové sústavy [2]



2.2 História, technológia výroby a navrhovanie priehradových nosníkov

Priehradové nosníky so styčníkmi s oceľovými doskami s prelisovanými hrotmi sa stali najznámejšou formou drevených priehradových nosníkov v ostatných 35 rokoch. Používané sú najmä sedlové a paralelné priehradové nosníky s rozpätím 6 – 20 m a s osovými vzdialenosťami väzníkov 0,6 – 3,0m.

Ďalším príkladom efektívnej kombinácie oboch materiálov sú väzníky s oceľovými diagonálami uzatvoreného prierezu. Drevené pásové prúty si vyžadujú veľké prierezy kvôli priečnej stabilite a celkovej stabilite väzníka, zatiaľ čo oceľové uzavreté profily znižujú deformácie väzníka z hľadiska poddajnosti prípojov. Ťažké priehradové väzníky so svorníkmi a kolíkmi, ako aj kruhovými záchytkami, ktoré používajú v prípoji oceľové plechy, sa používajú pre rozpätia 15 – 30 m. Tieto konštrukcie boli používané už dlhé roky. Vývoj modernej spojovacej techniky, lepeného lamelového dreva a nových výrobkov na báze dreva pomohol týmto konštrukciám získať nové postavenie na trhu.

Základné typy priehradových nosníkov sú ploché, šikmé (sedlové alebo pultové) a zakrivené. Väzník so šikmým horným alebo spodným pásom je najefektívnejší typ z hľadiska prenosu zaťaženia. Jeho použitie súvisí spravidla s potrebou odvieť zrážkovú vodu na okraj strechy. Väzníky so šikmým horným alebo spodným pásom sa používajú na prenos rovnomerného zaťaženia pôsobiaceho po dĺžke väzníka. Používajú sa v bytovej výstavbe, v priemyselných, v poľnohospodárskych a skladových objektoch.

Väzníky s paralelnými pásmi by boli typy s nepriaznivým využitím, pokiaľ by nebolo možné použiť v rámci väzníka materiál s rôznymi triedami pevnosti a rôznych prierezov. Takýmito opatreniami sa aj paralelné väzníky môžu stať efektívnymi. Väzníky so zakriveným horným pásom alebo primeraným sklonom horného pásu kvôli odvodneniu strechy sú vhodné pre mnohé architektonické zámery. Špeciálny typ použitia priamopásových väzníkov predstavuje bytová výstavba. Z užívateľského pohľadu ponúka priamopásový väzník ako stropný prvok v porovnaní s konvenčnými stropnými nosníkmi atraktívne vlastnosti: väčšie rozpätie je výhodné pri pohybe ľudí, zariaďovaní priestoru či už na bývanie alebo na skladovanie, priestor medzi pásmi sa dá využiť na vedenie inštalácií (voda, elektrina, kúrenie, vzduchotechnika,...) a zhotovenie podhľadovej konštrukcie je s pripravenými nosnými prvkami jednoduché, takže podhľad si môže zhotoviť aj investor (aj dodatočne). Typické rozpätia pre stropné systémy s použitím väzníkov sú 7 – 10 m, výška väzníkov 300 – 350 mm.

Zakrivený väzník zaťažený rovnomerným zaťažením je najefektívnejší z hľadiska využitia materiálu. Takéto väzníky sú zvyčajne používané na mostné konštrukcie. Spravidla sa jedná o väzníky s tlačeným horným pásom. Horný pás má zvyčajne tvar paraboly. Pri rovnomernom zaťažení sú potom vertikálne zložky sily v hornom páse teoreticky v každom bode rovnaké a zhodné s priečnou silou v náhradnom prúte. V tomto prípade by neboli nutné medzipásové prúty. V praxi však zaťaženie nie je rozdelené rovnomerne, takže medzipásové prúty (diagonály a príp. zvislice) sú potrebné. Väzníky so zakriveným horným pásom nie sú zvyčajne vyrobené ako parabolické oblúky, ale majú formu kružnicového oblúka buď s polomerom veľkosti rozpätia väzníka alebo s nižšie uvedeným zakrivením.

Pre určité typy väzníkov a oblúkov sú odporúčané hodnoty pomeru výšky väzníka (vzopätia oblúka) k jeho rozpätiu. Pre oblúkové väzníky je tento pomer 1:6 až 1:8, pre sedlové a pultové väzníky je tento pomer 1:5 až 1:6 a pre priamopásové väzníky je tento pomer 1:8 až 1:12. Tieto hodnoty sú orientačné a sú závislé od konkrétneho využitia konštrukcie



a konkrétnych použitých materiálov (triedy pevnosti dreva, systém spojovacích prostriedkov,...). Vyššie väzníky sa prehýbajú menej a vyžadujú si menšie prierezy pásových prútov. Minimalizácia počtu styčníc redukuje výrobné náklady, pracnosť výroby a spotrebu materiálu. Zo staticko-konštrukčného hľadiska sa odporúča navrhovať konštrukcie tak, aby zaťaženia v priečnom smere boli do väzníkov vnášané symetricky.

Konštruktér a statik, ktorý navrhuje väzníky so styčnicovými doskami s prelisovanými hrotmi, musí zohľadniť pri návrhu všetky ovplyvňujúce okolnosti. Výrobcovia týchto konštrukcií majú väčšinou svoje výrobky certifikované a ponúkajú zároveň softvér pre navrhovanie. Pri návrhu väzníkov je nutné zjednotiť predpoklady výpočtu (najmä definovanie okrajových podmienok) a konštrukčné riešenie jednotlivých uzlov a uložení. Klincované dosky sa umiestňujú symetricky na obe strany styčníc. Musia byť zohľadnené možné oslabenia prútov (diery pre spojovacie prostriedky, ...). Prenos tlakových síl v styčnici sa do určitej miery môže uskutočniť cez kontaktné plochy prútov.

Asi 50 % havárií priehradových strešných konštrukcií bolo spôsobených nedostatočným a/alebo nesprávnym vystužením konštrukcie. Montážne vystuženie je rovnako dôležité ako trvalé vystuženie konštrukcie. Vo viacerých prípadoch boli zaznamenané havárie konštrukcií pri zaťažení vetrom. Osadenie vhodných vystužovadiel je kľúčom k štrukturálnej integrite priehradových konštrukcií [3].

3 Drevené rámy a oblúky

Rámové konštrukcie sú zrejme najstaším typom nosných konštrukcií s použitím dreva ako nosného materiálu. V ostatných rokoch sa začali uplatňovať na novovzniknutých obytných domoch. Popularitu získali taktiež prefabrikované plošné elementy (často už so zabudovanou tepelnou izoláciou). Drevené rámové konštrukcie sa využívajú aj v skladových a priemyselných stavbách. V mnohých krajinách sú to nosné konštrukcie objektov obchodných reťazcov, skladov, výrobných priestorov. Rámové konštrukcie sú používané tiež pre cirkevné stavby, požiarne zbrojnice, dielne a parkovacie domy. S využitím rámov boli postavené početné zaujímavé bytové domy a objekty na športovanie a kultúru [3].

3.1 Definícia a analýza rámov

Rámy sú spravidla staticky neurčité sústavy, preto sú na ich analyzovanie potrebné špeciálne metódy. Pri „ručných“ výpočtoch sa používa metóda pootočení [2]. Táto metóda zohľadňuje tuhosť pružných pretvorení (pootočenia uzlov a prútov) a jej použitie vedie k presným výsledkom.

3.2 Navrhovanie drevených rámových a oblúkových konštrukcií

Drevené rámové konštrukcie sú v ostatných rokoch dobre akceptované v rozmanitých tvaroch. Pri návrhu treba venovať zvláštnu pozornosť (rohovým) spojom priečle a stojky. Spoj sa dá realizovať dvoma rôznymi variantmi – staticko-konštrukčným a materiálovo-technologickým.

Prvý variant pozostáva zo zhotovenia stojky členeného prierezu, ktorá je schopná prenášať ťahové aj tlakové sily. V druhom variante je medzi stojkou a priečlou vytvorený tuhý rámový

roh, prípadne je prút v rohu zakrivený a v oblúku prechádza zo stojky do priečle – vytvorí sa zakrivený dielec z lepeného lamelového dreva. Pri návrhu rámu sa navrhujú jednak prieřezy a jednak spojovacie prostriedky, resp. sa posudzuje zakrivená časť, v ktorej vznikajú aj napätia kolmo k vláknam dreva. Priečla môže mať konštantný prierez alebo premenlivý prierez – v tomto prípade výška prieřezu klesá smerom ku stredu rámu. Všetky väčšie rámové konštrukcie sú zhotovené ako dvojklbové alebo trojklbové konštrukcie s použitím lepeného lamelového dreva (homogénny alebo kombinovaný prierez). Hospodárne rámové konštrukcie majú rozpätie od 15 m do 60 m, oblúkové konštrukcie od 20 m do 100 m.

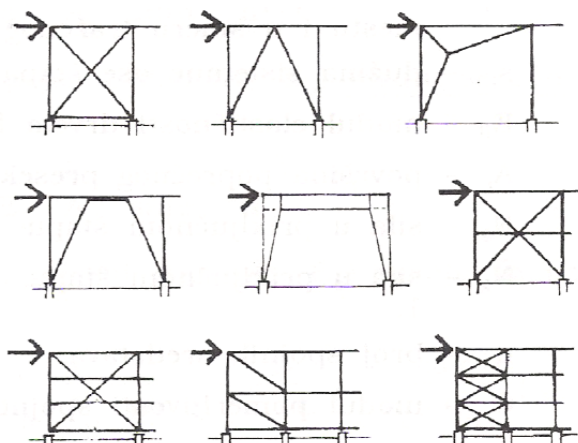


Obr. 3 Príklad rámu z lepeného lamelového dreva so zakriveným rohom

Zaťaženie vetrom je prenášané vystužovadlami (príp. celoplošným debnením z veľkoplošných prvkov). Vážnice tvoria nosnú konštrukciu strešného plášťa (oceľové plechy alebo fólie na celoplošnom záklope). Osové vzdialenosti väzníc sú od 1 m do cca 4 m. Vnútorň obklad pre obchodné alebo kancelárske priestory je väčšinou zo sádkartónových dosiek alebo veľkoplošných dosiek na báze dreva.

Tuhý rám by mal vo svojej rovine preniesť zaťaženie bez dodatočného vystuženia. V praxi pôsobia spoje často ako polotuhé a ich tuhé pôsobenie je iba idealizácia vo výpočte. Výstužné systémy sú v pozemnom staviteľstve bežne riešené pomocou výťahových šacht a schodiskových priestorov. Hlavná funkcia vystužovadla je preberanie zaťaženia pôsobiaceho kolmo na rovinu rámu (najmä síl od vetra). Vystužovadlá sa rozdeľujú na priečne a pozdĺžne (obr. 4). V niektorých prípadoch preberá zvislé vystužovadlo aj horizontálne sily.

Pri návrhu viacpodlažných rámov sa môžu samostatne navrhovať stojky a priečle rámu [2]. Vystužovadlá nesmú vnášať ohybové momenty do priehradových väzníkov (ak sa v konštrukcii priehradové väzníky nachádzajú).



Obr. 4 Výstužné systémy drevených rámov [6]

Pri použití oceľových strešných prvkov (napr. trapézový plech) ako krytiny, je možné využiť šmykovú tuhosť takýchto prvkov. Celková šmyková tuhosť sa potom dosiahne kombináciou tuhostí krytiny, krokiev (väzníc) a prípojov. Tuhosť plechov sa určuje experimentálnymi meraniami na konkrétnych výrobkoch [3].

4 Navrhovanie nosníkov, rámov a oblúkov

Kritériá pre navrhovanie drevených nosníkov, rámov a oblúkov sú rovnaké, ako pre jednoduché drevené prvky. Postupuje sa podľa požiadaviek návrhu na Medzný stav únosnosti (MSÚ, angl. ULS) a Medzný stav použiteľnosti (MSP, angl. SLS).

4.1 Medzný stav únosnosti pre priehradové väzníky a nosníky (MSÚ)

Kritériá pre navrhovanie drevených väzníkov sú podobné ako pre navrhovanie jednoduchých prvkov. Veľkosti napätí od ohybu, krútenia, tlaku a šmykových napätí sú limitované voľbou triedy pevnosti použitého materiálu, prostredím a dobou trvania zaťaženia. Musí byť posúdený aj tlak kolmo na vlákna v miestach uloženia nosníkov. Prípoje v uložení nosníkov musia byť posúdené aj na možné nadvihnutie nosníka, ktoré môže nastať zvyčajne pri zaťažení vetrom (sanie vetra). Vlastná tiaž sa pri posudzovaní na nadvihnutie uvažuje s príslušnými súčiniteľmi spoľahlivosti zaťaženia.

Prierezy pásových prútov, medzipásových a výstužných prútov musia byť posúdené na MSÚ podľa Eurokódu 5 [4], kap. 6. Tlakové a ťahové sily (a niekedy aj ohybové momenty) sú ohrozené voľbou kvality dreva a jeho návrhovou pevnosťou. Pôsobenie lokálnych ohybových momentov sa zvyčajne môže zanedbať. Odporúča sa, aby pri jednoduchom návrhu väzníka boli prierezy využité na približne 70 %. Pri väzníkoch, ktorých prvky sú namáhané kombináciou osovej sily a ohybového momentu, sa odporúča využitie prierezov na maximálne 90 %. Všetky ostatné podmienky sú definované v Eurokóde 5, odsek 9.2.1.

Vzperná dĺžka tlačенých prútov v rovine sa určuje ako vzdialenosť inflexných bodov vybočenia prúta.

4.2 Medzný stav únosnosti pre rámy a oblúky

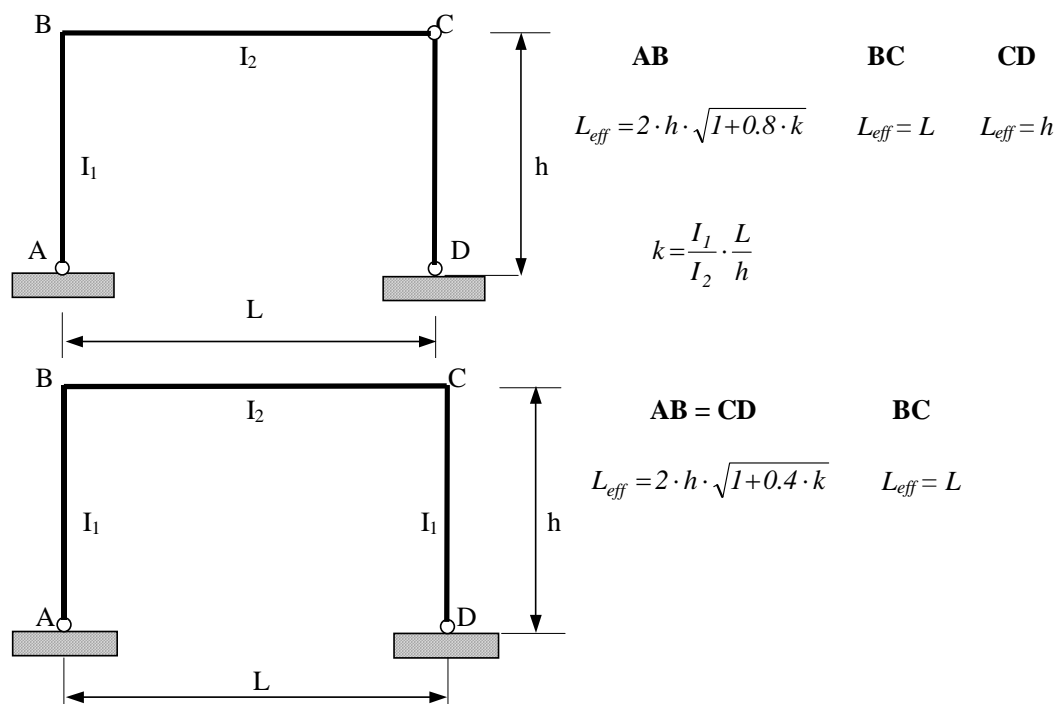
Napätostné kritériá prvkov namáhaných kombináciou osovej sily a ohybového momentu sú uvedené v Eurokóde 5 [3], kap. 6.2.3 a 6.2.4 a zohľadnenie stabilitných problémov v kapitolách 6.3.2 a 6.3.3. Ak niektoré zaťaženia v danej kombinácii nepôsobia, dosadzujú sa v danom posúdení nulovými hodnotami. Prvky je potrebné posúdiť aj na šmyk, ktorý môže vzniknúť pri pôsobení priečnej sily, krútiaceho momentu alebo kombináciou oboch namáhaní.

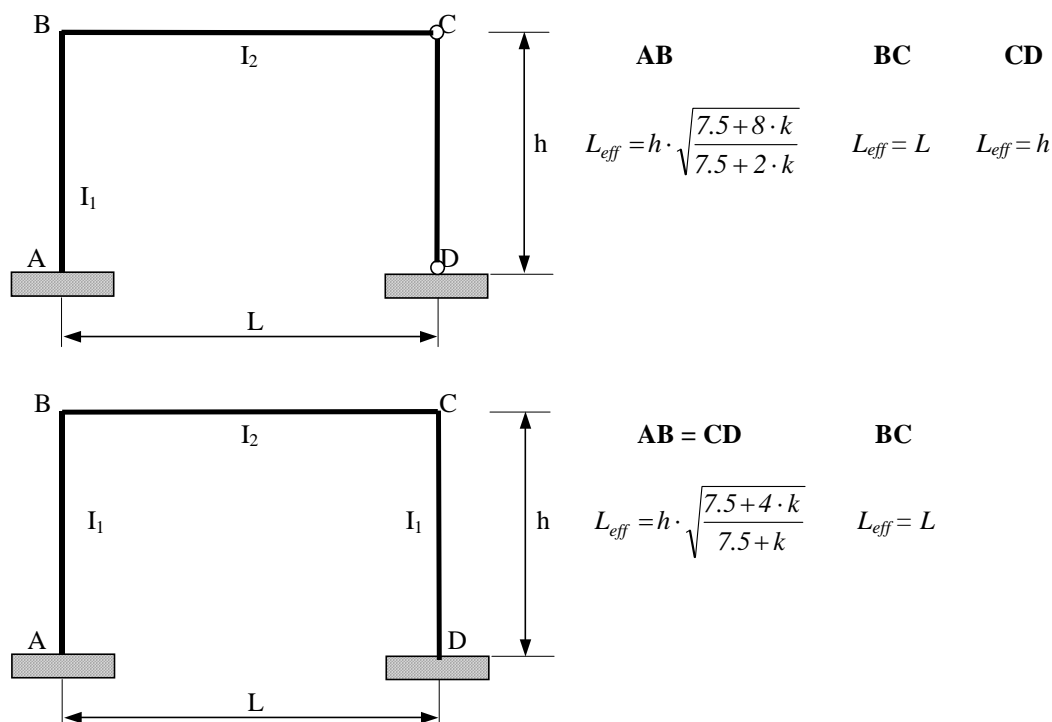
Torzná stabilita oblúka alebo rámu z ich roviny sa posudzuje podľa Eurokódu 5, kap. 6.3.3.

Vzperné dĺžky tlačéných prútov v rovine rámov sa určujú ako vzdialenosti dvoch inflexných bodov. Pre posuvné drevené rámy sa môžu použiť vzťahy z obr. 5 (jednoduché drevené rámové konštrukcie bez vystužovadiel alebo stabilizačných konštrukcií sú vo všeobecnosti považované za posuvné).

Súčiniteľ k označuje tuhosť votknutia na koncoch jednotlivých prútov a je definovaný nasledovne:

$$k = \frac{E_1 \cdot I_1 \cdot l}{E_2 \cdot I_2 \cdot h} \quad (1)$$

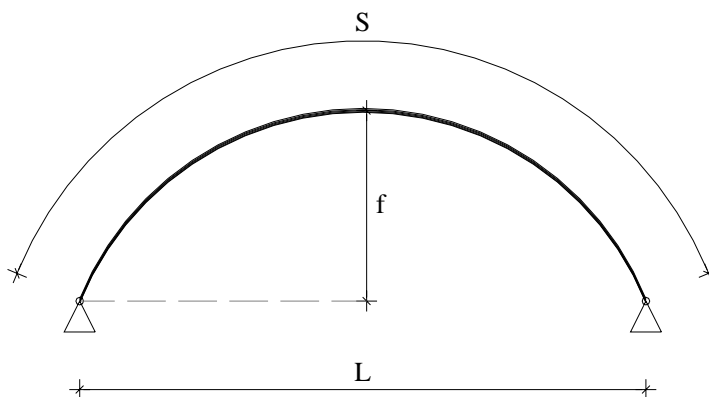




Obr. 5 Efektívne (vzperné) dĺžky rámových konštrukcií

Vo vystužených neposuvných rámoch je vzperná dĺžka definovaná ako dĺžka samostatnej časti rámu a môže byť preto posudzovaná ako samostatný prút. Vzperné dĺžky drevených prvkov sa určujú nasledovne: obojstranne votknutý prút $L_{eff} = 0.65 \cdot L$; obojstranne kĺbovo uložený prút $L_{eff} = 1.0 \cdot L$; prút na jednom konci uložený kĺbovo a na druhom konci votknutý $L_{eff} = 0.8 \cdot L$ a konzola $L_{eff} = 2.0 \cdot L$, kde L je (geometrická) dĺžka prúta. Zároveň musí byť urobené posúdenie pre možnosť vybočenia rámu v priechom smere (z roviny rámu).

Vzperné dĺžky drevených oblúkov v rovine oblúka sa určujú nasledovne: obojstranne votknutý oblúk so symetrickým zaťažením $L_{eff} = 0.5 \cdot s$; dvojkĺbový oblúk so symetrickým zaťažením $L_{eff} = 0.625 \cdot s$; trojkĺbový oblúk so symetrickým zaťažením $L_{eff} = 0.7 \cdot s$; dvojkĺbový oblúk alebo trojkĺbový oblúk s nesymetrickým zaťažením $L_{eff} = 0.7 \cdot s$. Definícia s je na obr. 6.



Obr. 6 Definícia rozmerov oblúka

Pre väčšie oblúky platia nasledovné vzťahy (parametre pozri na obr. 6):

$$L_{ef} = 0.5 \cdot l \cdot \sqrt{1 + 6.15 \cdot k} \quad k = \frac{f}{l} \quad \text{dvojkĺbový oblúk} \quad (2)$$

$$L_{ef} = \frac{l}{1.75} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot k} \quad k = \frac{f}{l} \quad \text{trojkĺbový oblúk} \quad (3)$$

Musí byť urobené posúdenie pre možnosť vybočenia oblúka v priečnom smere (z roviny oblúka).

4.3 Spoje

Vplyv poddajnosti spojov sa má zohľadniť ich tuhosťou príp. modulom popustenia (napr. pružinovým modelom spoja) alebo predpísaným modulom popustenia. Spoje musia spĺňať požiadavky Eurokódu 5, kap. 8. Vo výpočtoch rámových konštrukcií musia byť použité zodpovedajúce tuhosti jednotlivých prútov. V tuhosti „ideálneho“ prvku musí byť zohľadnená aj príslušná tuhosť jemu zodpovedajúceho prípoja.

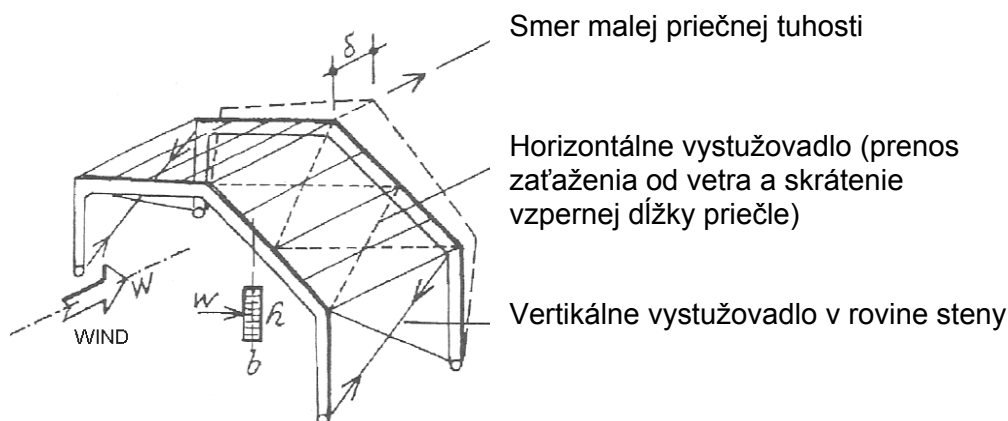
Spoje musia byť schopné preniesť zaťaženia vznikajúce počas transportu a montáže konštrukcie (pozri Eurokód 5, kap. 9.2.1). Vo všeobecnosti sa môže predpokladať, že styčníky priehradových nosníkov sú zhotovené pomocou oceľových plechov alebo klincovaných dosiek, pretože lepené styčníky sú v súčasnosti zriedkavosťou. Predpokladá sa, že všetky styčníky v priehradových nosníkoch sú zhotovené symetricky, takže v prípoji nevznikajú excentrické namáhania z roviny väzníka. Priehradové väzníky so styčníkmi s oceľovými doskami s prelisovanými hrotmi musia mať v rámci celého väzníka použitý ten istý typ oceľovej dosky (hrúbka a tvar prelisovaných hrotov). Oceľové dosky s prelisovanými hrotmi sa navrhujú podľa Eurokódu 5, kap. 8.8. Spojovacie príložky jednotlivých prútov alebo konštrukcií sa môžu modelovať ako tuhé v prípade, že ich prípadné pootočením nemá vplyv

na veľkosti vnútorných síl v konštrukcii. Táto podmienka je splnená, ak sú dodržané podmienky uvedené v Eurokóde 5, kap. 5.4.2.

4.4 Vystužovadlá rámov a oblúkov

Pre jednotlivé tlačené prvky (prúty, rámy alebo ich časti), ktoré si vyžadujú priečne podopretie v intervaloch „ a “, majú byť počiatočné amplitúdy zakrivenia menšie ako $a/500$ pre lepené lamelové prvky alebo prvky z materiálu LVL a menšie ako $a/300$ pre ostatné prvky. Každá medzipodpera (výstužný prvok) má mať minimálnu pružnú tuhosť „ C “, ktorá je popísaná v Eurokóde 5, kap. 9.2.5.2 a musí byť vhodná na prenos stabilizačných síl (F_d), uvedených v Eurokóde 5, kap. 9.2.5.2. Nebezpečenstvu vybočenia z roviny konštrukcie sa dá úspešne zabrániť navrhnutím účinného vystuženia podľa Eurokódu 5, kap. 9.2.5.2.

Priečne vystužovadlo pre skupinu n rovnobežných nosníkových, rámových alebo oblúkových sústav, má okrem prenosu účinkov vodorovného zaťaženia od vetra byť schopné preniesť zaťaženie q_d na jednotku dĺžky podľa Eurokódu 5, kap. 9.2. Horizontálna deformácia výstužného systému od zaťaženia q_d a akéhokoľvek iného zaťaženia nemá prekročiť hodnotu $l/500$. Príklad vystužovadla pre rámové a oblúkové sústavy (platí aj pre nosníky na votknutých stĺpoch) je na obr. 7.



Obr. 7 Systém vystužovadiel rámu [6]

4.5 Posúdenie drevených nosníkov, rámov a oblúkov podľa medzného stavu použiteľnosti

Pri posudzovaní konštrukcie podľa medzného stavu použiteľnosti sa vypočítajú okamžité a konečné pretvorenia konštrukcie, ktoré nesmú prekročiť odporúčané resp. predpísané hodnoty. Pružné okamžité pretvorenie sa vypočíta podľa vzťahu:

$$u_{\text{inst}} = u_{\text{inst},M} + u_{\text{inst},V} + u_{\text{inst},N} = \int_S \frac{M_{y(x)} \cdot \bar{M}_{y(x)}}{E_{\text{mean}} \cdot I_{y(x)}} dx + \int_S \frac{V_{z(x)} \cdot \bar{V}_{z(x)}}{G_{\text{mean}} \cdot A_{S(x)}} dx + \int_S \frac{N_{x(x)} \cdot \bar{N}_{x(x)}}{E_{\text{mean}} \cdot A_{(x)}} dx \quad (4)$$



Keďže jednotlivé prvky konštrukcie sú spájané poddajnými spojmi, je celková tuhosť konštrukcie menšia v porovnaní s konštrukciou s tuhými spojmi. Napr. pre priehradové nosníky sú prierezové plochy A_m všetkých poddajne pripojených prútov nahradené „ideálnymi“ prierezovými plochami A_m^* podľa Stecka [5]. Pripomíname, že plocha A_m^* môže byť použitá tiež pre výpočet vnútorných síl v medznom stave únosnosti so zohľadnením redukovaného modulu popustenia spojovacích prostriedkov. V tomto prípade sa používa modul popustenia $K_u = 2/3 \cdot K_{ser}$ namiesto hodnoty K_{ser} podľa Eurokódu 5 [4], kap. 7.

Celkové pretvorenie nemá byť väčšie, ako sú hodnoty pretvorenia uvedené v Eurokóde 5. Okamžité a konečné pretvorenia by mali byť menšie, ako sú odporúčané hodnoty podľa Eurokódu 5 v tabuľke 7.2.

Sústavy s prvkami a spojmi, ktoré majú rovnaké správanie pri dlhodobopôsobiacom zaťažení a platí pre ne lineárna závislosť medzi zaťažením a pretvorením, sa môže konečné pretvorenie (priehyb) u_{fin} určiť podľa Eurokódu 5, kap. 2.2.3.

5 Literatúra

- [1] Šilih S, Premrov M, Kravanja S, Optimum design of plane timber trusses considering joint flexibility, *Engineering Structures*, 27 : 145-154, 2005.
- [2] Chen W.F., *Handbook of structural engineering*, New York, Boca Raton: CRC Press, 1997.
- [3] Hoyle R.J., Woeste F.E., *Wood Technology in the Design of Structures*, Ames, Iowa: Iowa State University Press, 1989.
- [4] CEN/TC 250/SC5 N173, *Eurocode 5: Design of Timber Structures, Part 1-1 General rules and rules for buildings*, EN 1995-1-1, Brüssel, 2004.
- [5] Steck G, *Fachwerkbinder aus Brettschichtholz und Vollholz, Stufe 2, Bauteile Konstruktionen Details*, Düsseldorf, pp. E7/1-12, 1995.
- [6] Gojkovič M, Stojič D. *Drvene konstrukcije*, Belgrad, Fakultät für Bauingenieurwesen, Groknjiga, 1996.

Kapitolu 11 spracovali Assoc.Prof.Dr. Miroslav Premrov a asistent Matjaž Tajnik, Univerzita Maribor, Stavebná fakulta, Slovinsko.



Kapitola č. 12

PROSTOROVÉ KONSTRUKCE

1 Úvod

Kapitola pojednává o prostorových, zejména střešních, konstrukcích z materiálů na bázi dřeva. Tyto konstrukce představují technicky a ekonomicky efektivní a architektonicky působivé řešení zastřešení o velkém rozpětí.

2 Specifikace prostorových konstrukcí

Pojmem prostorová konstrukce lze nazývat konstrukční systém, který je schopen přenášet všechna působící zatížení přímo do podpor a základů. Prostorová konstrukce vypadá jako jednoduše – prostorový objekt. Při návrhu prostorových konstrukcí je nutné respektovat vzájemné spolupůsobení jednotlivých nosných částí. Není možné prostorovou konstrukci rozdělit na několik vzájemně nezávislých částí, protože by to neodpovídalo skutečnému chování konstrukce.

V přírodě lze nalézt mnoho inspirativních příkladů “prostorových konstrukcí”, jako např. skořápka vajíčka nebo kokosového ořechu, pavoučí síť, mýdlová bublina, mušle, hlemýžďí ulita atp.

Ve stavitelství lze také nalézt řadu příkladů prostorových konstrukcí realizovaných už v období antiky. Římský Pantheon postavený Agrippou v roce 27 př. Kr. se pyšnil největší kopulí s průměrem 43 m prakticky až do novověku. Dalším příkladem zdařilé prostorové konstrukce může být stan – jurta asijských stepních nomádů.

Velký rozvoj prostorových konstrukcí nastal v posledních 50 letech, zejména v souvislosti s rozvojem výpočetní techniky a výkonného softwaru. Tento rozvoj lze zaznamenat také u dřevěných prostorových konstrukcí.

Použití prostorových konstrukcí přináší určité výhody vzhledem k rovinným konstrukcím:

- Všechny konstrukční prvky se podílejí na celkové únosnosti konstrukce, což vede často k úsporám materiálů.
- Zatížení je přenášeno do podpor mnohem rovnoměrněji.
- Prostorové konstrukce nabízejí větší rozmanitost tvarů a podpor.
- Deformace jsou ve srovnání s plošnými konstrukcemi obdobné hmotnosti nižší.



- Prostorové konstrukce prokazují vysokou rezervu spolehlivosti. Porucha několika nosných prvků prostorové konstrukce nemusí nutně znamenat celkový kolaps konstrukce a proto vykazují i dobrou odolnost vůči poškození požárem, výbuchem nebo zemětřesením.
- Prostorové konstrukce mají často modulární charakter, což umožňuje vysoký stupeň prefabrikace a z toho plynoucí výhody (přesná výroba, snadnější doprava a montáž).
- Provádění instalací je u prostorových nosných konstrukcí snadnější.
- Prostorové konstrukce působí často velmi esteticky a neobvykle.
- Použití prostorových konstrukcí přináší také určité nevýhody, jako např.:
- Prostorové konstrukce jsou v porovnání s jinými nosnými systémy obvykle dražší, zvláště pokud se použijí na kratší rozpětí.
- Počet a složitost spojů v závislosti na zvoleném typu spojů a prostorové síť vede k prodloužení doby montáže na staveništi.
- Požadavek zvýšené požární odolnosti rovněž zvyšuje cenu z důvodu značného počtu prostorových nosných prvků s relativně velkým povrchem.

3 Třídění prostorových konstrukcí

Prostorové konstrukce lze dělit podle mnoha rozličných kritérií. Základní třídění lze provést podle:

- Geometrického tvaru
- Konstrukce
- Struktury povrchu

3.1 Geometrický tvar

Geometrický tvar prostorových konstrukcí může být roztržěn podle různých hledisek. Plocha prostorových konstrukcí může být vytvořena translací nebo rotací přímek nebo křivek podle zásad deskriptivní geometrie. Například válcová plocha může být definována jako rotační plocha vytvořená rotací přímky kolem středu otáčení nebo translací kuželosečky po přímce. Podobně, hyperbolický paraboloid lze definovat jako přímkovou plochu tvořenou systémem přímek spojujících odpovídající body na dvou mimoběžkách nebo jako plochu vytvořenou rotací paraboly po parabole. Geometrický tvar prostorové konstrukce může být definován i z pohledu jejich statického působení a konstrukčního řešení. Největší vliv na statickou efektivitu prostorových konstrukcí má jejich křivost.



Prostorové konstrukce lze dělit na:

- Prostorové deskové konstrukce
- Lomenicové konstrukce
- Skořepinové konstrukce s jednou křivostí
- Skořepinové konstrukce dvojité zakřivené

3.2 Konstrukční řešení

Konstrukční návrh rozhoduje o statickém působení geometrického tvaru. Například válcová plocha může být navržena jako klenba nebo zavěšená konstrukce.

3.3 Struktura plochy

Nosná část plochy prostorové konstrukce (tj. bez hydroizolačních a tepelněizolačních vrstev) může být navržena jako celistvá – určité tloušťky, která se může podle potřeby v určitých částech měnit. Taková struktura se nazývá **spojitá**. **Spojitě vyztužená** struktura vzniká spojením spojitě struktury s výztužnými žebry, které jsou umístovány po celé ploše v určitých vzdálenostech. **Síťová** struktura vzniká vzájemným spojením prutů ve styčnicích, přičemž všechny pruty leží v ploše tvořící prostorovou konstrukci. Pokud pruty neleží v jedné rovině, styčníky jsou prostorové a pruty pak vytvářejí tzv. **mřížovou** strukturu. U velkorozponových konstrukcí, kde je často vyžadována odolnost plochy vůči vyduťi, je možno navrhnout strukturu plochy s **dvojitou skořepinou**.

Z jiného úhlu pohledu lze prostorové konstrukce dělit na **příhradové**, **plnostěnné** a **kombinované**. Příhradové konstrukce tvoří prostorově umístěné a vzájemně propojené příhradové vazníky. Plnostěnné konstrukce (lomenice a skořepiny) tvoří plošné prvky. Kombinované konstrukce vznikají vzájemným spojením prutů a plošných prvků ve styčnicích a podél okrajů.

4 Typy prostorových konstrukcí zastřešení

4.1 Deskové konstrukce

Geometrie deskových konstrukcí je charakterizována rovinnou střednicovou plochou. Nejčastěji se používají u stropních konstrukcí se spojitě vyztuženou nebo síťovou strukturou.

Stropní panely se spojitě vyztuženou strukturou tvoří nosná žebra opláštěná velkoplošnými deskami z materiálů na bázi dřeva.

Panely se síťovou strukturou jsou navrhovány, s ohledem na nosný směr, v ortogonálním nebo diagonálním systému. Technicky nejkomplicovanější detail představuje spojení jednotlivých prvků tak, aby se v co nejvyšší míře eliminovalo vzájemné oslabení prvků v místě spoje.



4.2 Lomenice

Lomenice jsou prostorové nosné konstrukce tvořené vzájemně spojenými tenkými stěnodeskovými prvky. První lomenice z materiálů na bázi dřeva (rostlé dřevo a překližka) byly provedeny v polovině 20. století. Stěny lomenic jsou navrhovány z velkoplošných desek (obvykle z překližek) vzájemně spojených pod úhlem 40° – 50° . K výhodám lomenic patří vysoká konstrukční variabilita a vyšší statická efektivita v porovnání s ostatními plošnými konstrukcemi.

4.3 Skořepiny

Skořepiny jsou tenké a tuhé konstrukce vytvářející jak vlastní plochu, tak i nosnou konstrukci zastřešení. Tloušťka skořepiny je vzhledem k jejím rozměrům velmi malá. Pevnost a tuhost skořepiny závisí na její křivosti. Plocha skořepiny může být jedné nebo dvojí křivosti. Dvojitě zakřivené skořepinové plochy bývají obvykle tužší než skořepinové plochy jedné křivosti. Subtilnost skořepin je umožněna jejich plošným působením, je to však podmíněno kvalitním projekčním návrhem a výrobou a správně navrženými detaily. Plocha skořepiny může být spojitá (provedená ze slepených vrstev vzájemně zkřížených prken), spojitě vyztužená (žebry nebo lamelami) nebo může mít síťovou strukturu.

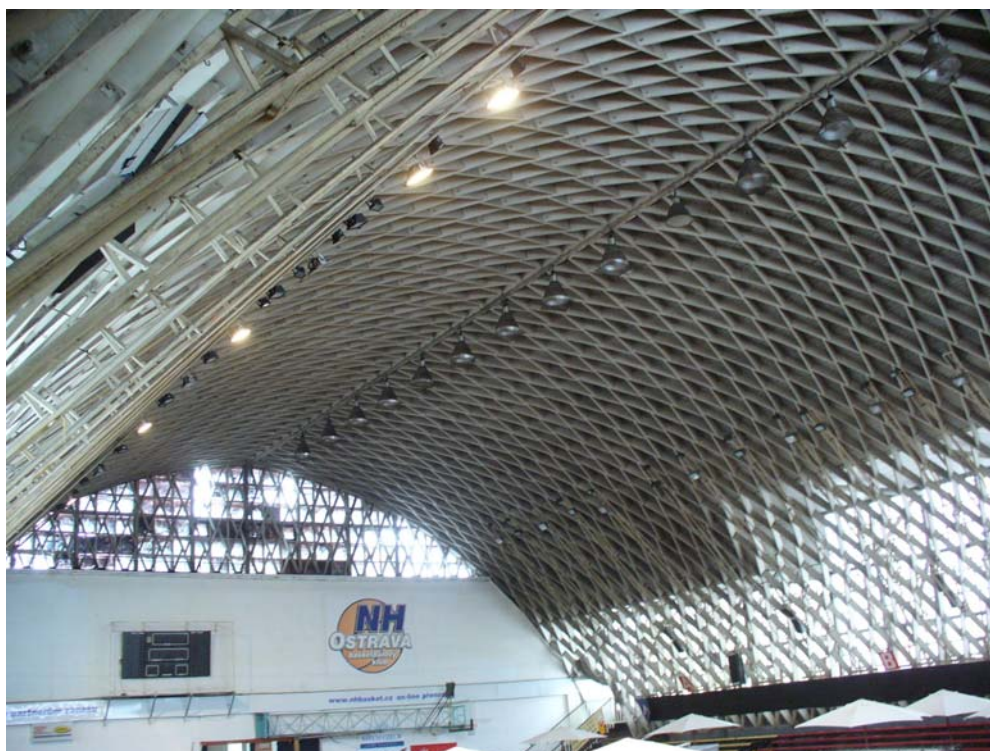
– Skořepiny jedné křivosti

Skořepiny jedné křivosti jsou podepřeny buď na čelních vaznicích a pak působí jako samonosná tělesa daného průřezu, nebo jsou podepřeny po obvodě a pak působí jako tenké klenby.

Tato kategorie zahrnuje válcové plochy a konoidy.

Lamelové klenby jsou obvykle navrhovány jako válcové nosné plochy, které jsou podepřeny hlavně po stranách. Tvořící křivkou bývají kuželosečky (kružnice, elipsy, atp.).

Příklad lamelové klenby o rozpětí 30 m, výšce 17 m a délce 42 m je uveden na obr. 1. Klenba tvoří zastřešení sportovní haly v Ostravě (ČR) a spolehlivě funguje od padesátých let dvacátého století. Nosná lamela klenby je navržena z rostlého dřeva o průřezu 45/270 mm. Vzájemné spojení lamel zajišťují dvojice ocelových svorníků. Na obr. 2 je zobrazen detail spojení lamel ve vrcholu klenby.



Obr. 1 Lamelová klenba zastřešení sportovní haly



Obr. 2 Detail spojení lamel klenby sportovní haly

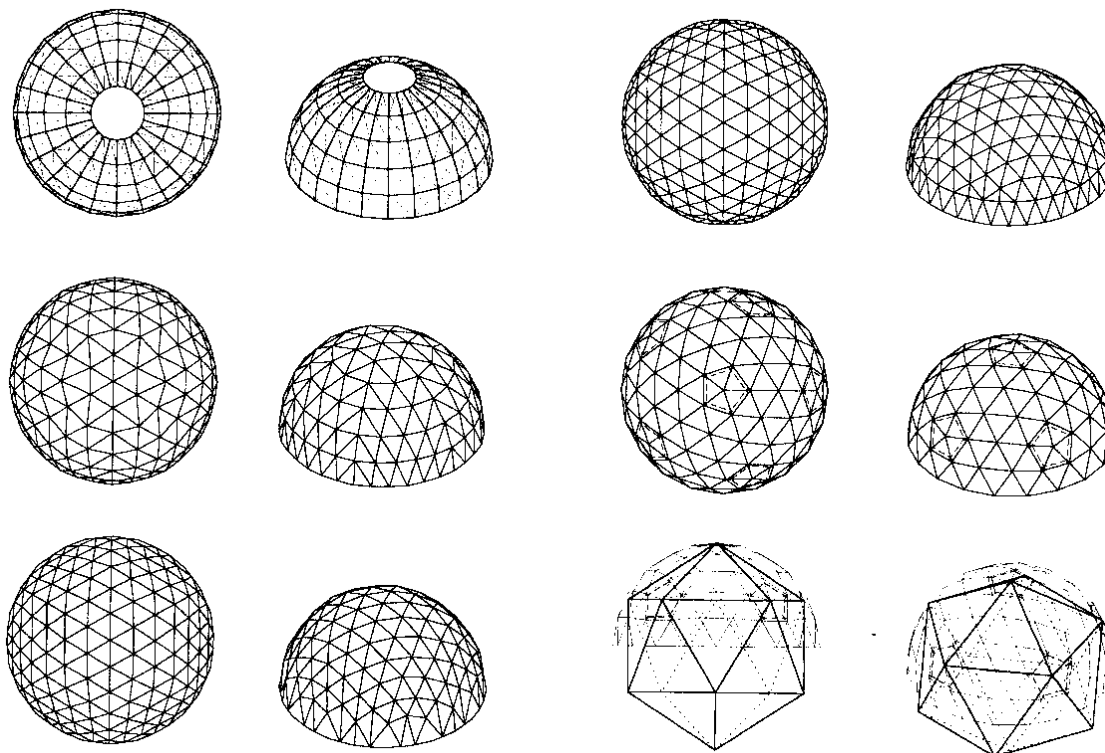
– Skořepiny dvojí křivosti

Tato kategorie zahrnuje jak rotačně symetrické konstrukce na kruhovém nebo polygonálním půdorysu (kopule, báně), tak i translační plochy.

– Rotační plochy – kopule a báně

Kopule jsou skořepiny, které přenášejí účinky zatížení hlavně prostřednictvím membránových sil. Tohoto velice efektivního způsobu přenosu zatížení je dosaženo pomocí měrných tahových, tlakových a posouvajících sil v rovině skořepiny. Napětí jsou roznášena rovnoměrně po průřezu, což umožňuje navrhovat velmi tenké průřezy skořepinové plochy. Tyto štíhlé konstrukce však musí být posouzeny rovněž s ohledem na lokální boulení (tlakové zatížení způsobující nadměrnou deformaci plochy skořepiny).

Tvar kopulí je obvykle geodetický. Kopule se spojitou strukturou jsou realizovány jen zřídka a pro malá rozpětí. Nejčastěji jsou kopule navrhovány se spojitě vyztuženou strukturou (s radiálními žebry) nebo se síťovou strukturou. Kopule se síťovou strukturou jsou oblíbenější než kopule se spojitou strukturou z důvodu snadnější montáže dvojité zakřivené plochy z přímků a prostorových spojů. Příklady kopulí se síťovou strukturou jsou uvedeny na obr. 3.



Obr. 3 Typy kopulí se síťovou strukturou: vlevo nahoře – kopule s radiálními žebry, vlevo ve středu – triangulární kopule, vlevo dole – hexagonální kopule, vpravo nahoře – sférická kopule, vpravo ve středu – geodetická kopule, vpravo dole – zjednodušená geodetická kopule.



Na obr. 4 je uveden příklad kopule sportovní haly s nosnými radiálními žebry. Kopule s rozpětím 105 m má výšku 18,5 m. Poloměr zakřivení žeber kopule je 85 m. Hala byla postavena v Žilině (Slovenská republika) v roce 1982. Nosný systém se skládá ze 44 půloblouků z lepeného lamelového dřeva. Oblouky jsou ukotveny do železobetonových patek spojených patním prstencem. Ve vrcholu jsou oblouky připojeny k otevřené ocelové lucerně o průměru 5 m. Výška průřezu oblouků z lepeného lamelového dřeva je proměnná a pohybuje se od 800 do 1900 mm. Tloušťka oblouků je konstantní (240 mm). Lamely tloušťky 32 mm jsou slepeny lepidlem FR-63.



Obr. 4 Kopule sportovní haly v Žilině (Slovensko)

Na obr. 5 a 6 je zobrazeno zastřešení sportovní haly – Tacoma Dome v USA s rozpětím 160 m. Hala byla zprovozněna v roce 1983 a ve své době představovala dřevěnou halu s jedním z největších rozpětí na světě. Geometrický systém kopule představuje kombinaci hexagonální a triangulární kopule. Nosný systém kopule má síťovou strukturu s prvky z lepeného lamelového dřeva. Vnější prstencem je navržen v triagonálním systému z důvodu vyrovnání nepravidelných rohů hexagonální kopule. Všechny ostatní vnitřní prstence jsou navrženy v hexagonálním systému s nosnými žebry, rovnoběžnými ve třech osách. Hlavní nosné prvky jsou z lepeného lamelového dřeva (douglaska obecná) o šířce průřezu 170 až 220 mm a výšce 750 mm. Spoje jsou navrženy z ocelových desek a svorníků. Opláštění je provedeno z fošen (douglaska obecná) tloušťky 50 mm spojených na pero a drážku. Základ kopule tvoří prstencem z předpjatého betonu. Montáž zastřešení haly trvala dva měsíce.



Obr. 5 Tacoma Dome v USA (zdroj: Internet)



Obr. 6 Nosná konstrukce zastřešení Tacoma Dome v USA (zdroj: Internet)

– Translační skořepinové plochy – membránové skořepiny

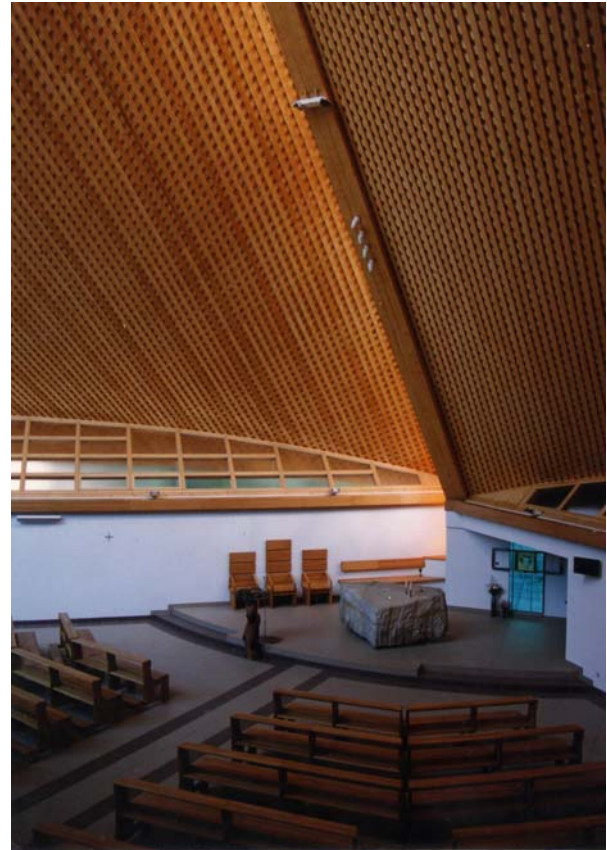
Membránové skořepiny jsou zvláštním typem skořepin, které jsou předepnuty tahovým napětím v jejich vlastní ploše. Z důvodu zajištění stability tvaru, zejména při namáhání sáním od větru a při vytváření potřebného předpětí, mají tyto skořepiny dvojí křivost. V provedení ze dřeva mají tyto skořepiny spojitou strukturu vyztuženou žebry.

Příkladem takové membránové skořepiny je zastřešení na EXPO 2000 v Hannoveru (obr. 7). Zastřešení o značném rozpětí je tvořeno čtvercovými baldachýny o straně 39 m, které sestávají z konzol a spojitě vyztužených skořepin uložených na sloupech výšky 18 m. Sloupy kónického průřezu jsou složeny ze čtyř částí. Při návrhu zastřešení bylo třeba vzít do úvahy nesymetrické zatížení sněhem a větrem.



Obr. 7 Zastřešení pavilonu - EXPO 2000 v Hannoveru (zdroj: Internet)

Dalším příkladem je zastřešení kostela Neposkvrněného početí Panny Marie v Praze – Strašnicích (obr. 8). Dřevěná konstrukce kostela ve tvaru čtyřboké pyramidy je uložena na železobetonovém čtvercovém základu (30×30 m). Pyramida má výšku 23,5 m. Hlavní nosný systém tvoří rohové nosníky uložené na centrálním sloupu z lepeného lamelového dřeva. Spoje jsou navrženy z ocelových plechů a kolíků. Zastřešení je provedeno jako dřevěná skořepina ve tvaru hyperbolického paraboloidu. Skořepina je složena ze čtyř vrstev vzájemně zkřížených lamel. Horní dvě vrstvy lamel jsou provedeny na sraz, spodní dvě vrstvy lamel jsou provedeny s mezerami a tvoří podhled. Všechny vrstvy o celkové tloušťce 68 mm jsou navzájem spojeny hřebíky a lepením. Návrh skořepiny byl proveden podle membránové teorie bez použití výpočetní techniky.



Obr. 8 Kostel neposkvrněného početí Panny Marie v Praze - Strašnicích

5 Závěry

Prostorové konstrukce tvoří rozsáhlou a rozmanitou skupinu konstrukcí, které jsou schopny plnit požadavky architektů a projektantů na zastřešení prakticky jakékoli stavby. Navíc téměř vždy se jedná o originální a estetickým dojmem působící konstrukce.



6 Literatura

- [1] Herzog T. et al, Timber Construction Manual, Birkhäuser – Publisher for Architecture, Basel, 2004, ISBN 3-7643-7025-4
- [2] Müller Ch., Laminated Timber Construction, Birkhäuser – Publisher for Architecture, Basel, 2000, ISBN 3-7643-6267-7
- [3] Straka B., Pechalová J., Timber Structures (in Czech), CERM s.r.o., Brno, 1996, ISBN 80-7204-017-0
- [4] Kuklík P., Timber Structures 1, Nakladatelství ČVUT, Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03614-3
- [5] Hřčka I. a kol., Design of Timber Structures (in Slovak), ES TU Zvolen, 1994, ISBN 80-228-0332-4

Kapitolu č. 12 zpracovali Alois Materna a Antonín Lokaj.



Kapitola č. 13

DREVENÉ KONŠTRUKCIE BUDOV

1 Úvod

V súčasnosti je veľa dobrých dôvodov na výstavbu panelových drevodomov. Nové a vylepšené vlastnosti, ktoré boli využívané už začiatkom 80-tych rokov minulého storočia, priniesli rozšírenie tejto výstavby v celosvetovom meradle. Najdôležitejšie zaznamenané zmeny sú:

- Zmena spôsobu výstavby - od staveniska k prefabrikácii vo výrobnéj hale,
- Zmena fixných rozmerov panelov na modulové rozmery,
- Väčšie nasadenie lepeného lamelového dreva v konštrukcii,
- Prechod od použitia malých dielcov k veľkoformátovým dielcom.

Výrobcom domov je jasné, že dnešné panelové drevodomomy musia spĺňať všetky spoločenské požiadavky a zároveň okrajové podmienky okolitého prostredia. Je veľa dôvodov, prečo sa majú stavať panelové drevené domy. Tými najdôležitejšími sú:

- veľmi dobré stavebnofyzikálne vlastnosti,
- zabudované materiály sú z ekologického hľadiska veľmi cenené,
- menšia spotreba energie pri príprave konštrukcie a tiež počas jej užívania,
- krátka doba výstavby,
- veľmi dobré vlastnosti z hľadiska seizmickej odolnosti (pre oblasti s možnou seizmickou aktivitou).
- Stavebnofyzikálne vlastnosti sú najdôležitejšou prioritou týchto konštrukcií. Netýkajú sa iba dobrej tepelnej izolácie objektu, čím sa usporí značná časť energie, čo je z hľadiska ochrany životného prostredia priaznivé, ale týka sa to aj pocitov ľudí, ktorí takéto objekty užívajú. S touto skutočnosťou súhlasili aj ľudia, ktorí predtým bývali v murovaných domoch.

Výroba materiálov, používaných pri stavbe (drevo, materiály na báze dreva, sádkokartónové dosky,...), spotrebuje menej energie, ako výroba tehál, betónu a iných materiálov, používaných v panelovej výstavbe.

Ďalším dôvodom, prečo stavať objekty tohoto typu, je krátky čas výstavby. Vďaka vysokému stupňu predprípravy panelov (dielcov) vo výrobnom závode, je samotná stavba resp. montáž budovy veľmi rýchla. To znamená, že nechránená konštrukcia je počas výstavby vystavená klimatickému „zaťaženiu“ iba veľmi krátky čas. Ďalej je menšia pravdepodobnosť neskorších sťažností a reklamácií. Ďalším argumentom pre tento spôsob výstavby je skutočnosť, že pri



porovnateľných vonkajšícj rozmeroch objektu sa získa drevenou panelovou výstavbou približne o 10 % väčšia úžitková plocha, než pri murovaných objektoch. Ako bolo uvedené, menšie prevádzkové náklady, vyššia efektivita využitia energie a menšia pravdepodobnosť zlyhania konštrukcie sú všetko dôvody na pozitívne rozhodovanie sa investorov v prospech tohoto spôsobu výstavby.

Doterajšie výskumné práce ukazujú, že domy zhotovené z veľkoplošných drevených panelov sa v prípade seizmického zaťaženia správajú veľmi priaznivo. Dôvodom je veľmi malá hmotnosť konštrukcie a duktilné správanie sa dreva a spojov.

Vo svete zastúpenie drevených panelových domov stále rastie. Percentuálne zastúpenie novostavieb rodinných a bytových domov s použitím drevených panelov je v rôznych častiach sveta nasledovné: Kanada 95 %, USA 65 %, Japonsko 50 %, Škandinávia 70 %, Veľká Británia 10 % (Škótsko 50 %), Nemecko 7 % (Bavorsko 30 %), Rakúsko 8 %, Česká Republika 2 % a južná Európa do 3%. Na základe týchto údajov je zrejmé, že rozdiely sú v jednotlivých častiach sveta obrovské. Poznáme dva spôsoby súčasnej výstavby drevených konštrukcií budov:

- drevené skeletové systémy,
- drevené stípkové systémy.

Oba najčastejšie systémy budú predstavené v druhej podkapitole. V tretej podkapitole sú popísané hlavné nosné prvky drevenej panelovej výstavby. Štvrtá podkapitola sa zaoberá navrhovaním stenových a stropných elementov. V piatej podkapitole sú uvedené opatrenia súvisiace s problematikou horizontálneho zaťaženia väčších objektov s použitím tohoto spôsobu výstavby. V podkapitole 6 sú uvedené a popísané charakteristické prípoje.

2 Drevené konštrukcie budov

Vo svete sú najčastejšie používané dva nasledovné systémy:

- drevené skeletové systémy,
- drevené stípkové systémy.

Drevené skeletové systémy

V Severnej Amerike prevláda klasický skeletový systém výstavby, pri ktorom sú jednotlivé prvky (stĺpy a nosníky) montované priamo na stavbe. Stĺpy sú priebežné cez viacero podlaží (obr. 1). Dĺžka resp. výška stĺpov je ohraničená na cca 8 – 10 m, čo je vhodné pre dvoj – a trojpodlažné stavby.



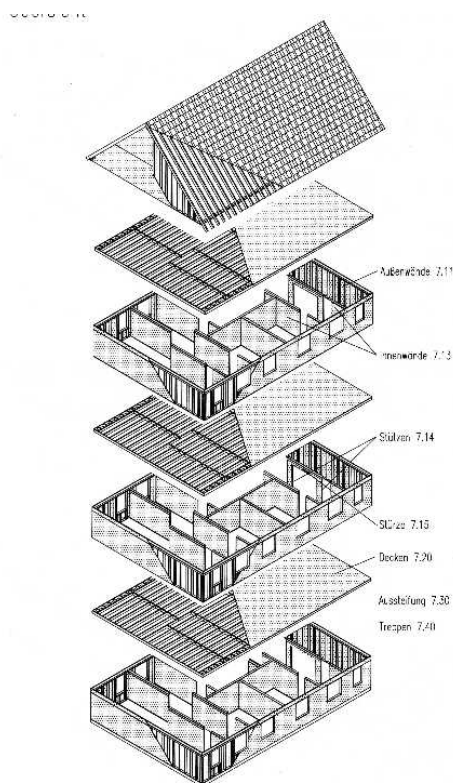
Obr. 1 Systém stĺpov a nosníkov

Drevené stípkové systémy

V tomto systéme sú nosnými prvkami stenové a stropné panely, pozostávajúce z nosných rebier a jednostranného alebo objstranného opláštenia z veľkoplošných dosiek na báze dreva. Panely sú predpripravené v dielni, takže ich montáž je veľmi rýchla a slogan „dvaja muži postaví jeden dom“ je vcelku výstižný. Tento systém je vhodný pre viacpodlažnú výstavbu a preto sa stáva v súčasnosti stále zaujímavejším.

Konštrukcia sa stavia postupne – najskôr steny podlažia, potom stropy, nasledujú steny ďalšieho podlažia (obr. 2), potom stropné panely atď. Z tohoto dôvodu je tento systém výstavby veľmi vhodný pre viacpodlažné budovy.

Podľa rozmerov panelov sa rozdeľujú panely na veľké a malé. Ako príklad je na obr. 2b uvedená 6-podlažná budova s rozmermi 38 m x 18,60 m, postavená systémom veľkých panelov. Prvé dve podlažia hotela Dobrava, Pohorje (Slovinsko) sú postavené zo železobetónu a ďalšie štyri podlažia z prefabrikovaných dielcov (detailne sú popísané v podkapitolách 3 a 4). Podrobnejšie informácie o tejto stavbe možno nájsť v *Premrov [1]*.



Obr. 2

- a.) Schematické znázornenie výstavby z drevených panelov
- b.) 6-podlažná budova z drevených panelov (Hotel Dobrava, Pohorje, Slovinsko)

2.1.1 Stenový systém z malých elementov

V tomto systéme sa stenový element väčšinou skladá z troch stípkov so šírkou steny 100 – 130 cm. Systém je detailne popísaný v podkapitole 3.

2.1.2 Stenový systém z veľkých elementov

Vývoj tohoto systému znamená dôležitý krok vpred pre drevené konštrukcie budov. Cieľom tohoto systému je zhotoviť v dielni celé steny včítane okien a dverí (obr. 3a) a takto predpripravené panely montovať na stavbe (obr. 3b). Zmontovanie takéhoto domu je výrazne rýchlejšie v porovnaní s použitím malých elementov. Systémy s veľkými panelmi nevyžadujú spravidla ďalšie vystuženie a preto aj z tohoto dôvodu je výstavba rýchlejšia. Tento systém sa často využíva najmä v strednej Európe.

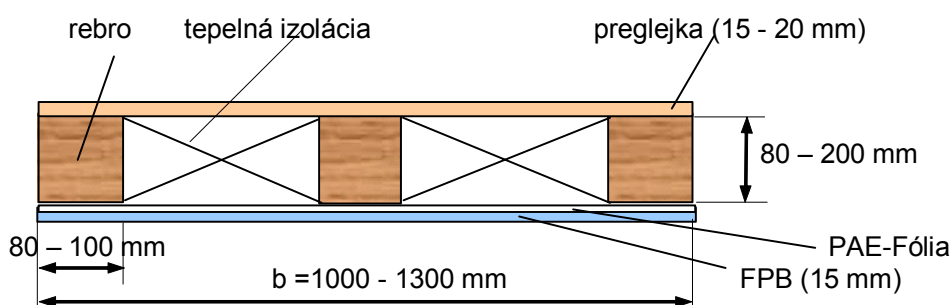


Obr. 3 a.) Príprava stenových panelov vo výrobni b.) Montáž stien na stavbe

3 Únosnosť jednotlivých elementov

Stropné panely

Malé stropné panely šírky od 1000 do 1300 mm sú zložené spravidla z troch rebier šírky 60 – 100 mm a výšky 80 – 200 mm. Rebrá sú spojené na hornej hrane veľkoplošnými doskami z materiálov na báze dreva (preglejka, OSB, ...) a na spodnej hrane väčšinou obkladovou doskou FPB typickej hrúbky 15 mm – obr. 4.

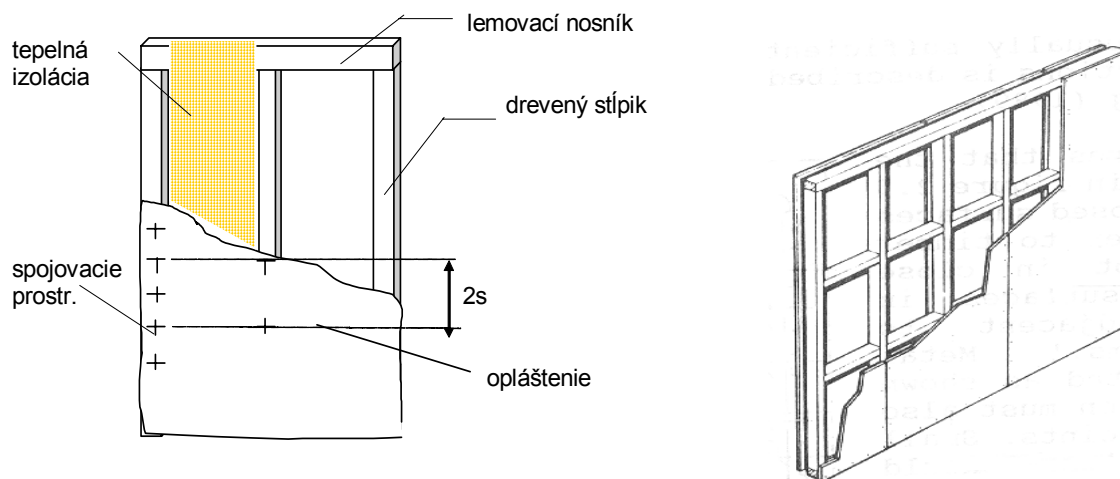


Obr. 4 Skladba malého stropného panelu

Stenové panely

Stenové panely ako vertikálne prvky majú typické rozmery: šírka $b = 1250$ mm a výška $h = 2600$ mm. Sú zložené zo stĺpikov a jednostranného alebo objstranného opláštenia. Opláštenie je pripojené so stĺpikom mechanickými spojovacími prostriedkami (obr. 5). Na opláštenie sa používajú viaceré materiály na báze dreva (vláknité dosky, trieskové dosky) alebo sádrové resp. sádrokartónové dosky. Ich použitie v strednej Európe je veľmi široké.

Medzi stípkami je uložená tepelná izolácia, ktorej hrúbka závisí od rozmerov použitých stípkov. Objstranné opláštenie môže byť napr. z 12,5 mm hrubého sádrokartónu.



Obr. 5 Skladba stenového elementu

Strešné panely

Strechy, ktorých rozmery a osové vzdialenosti závisia od zaťaženia snehom a vetrom, môžu byť zhotovené klasickým štýlom s použitím prvkov z reziva, ktoré sú obojstranne opláštené veľkoformátovými doskami a medzi rebrami (krokvami) je uložená tepelná izolácia. V ostatných rokoch sa použitie strešných panelov veľmi rozšírilo (obr. 6).



a.) Predpripravené strešné nosníky s opláštením vikierov



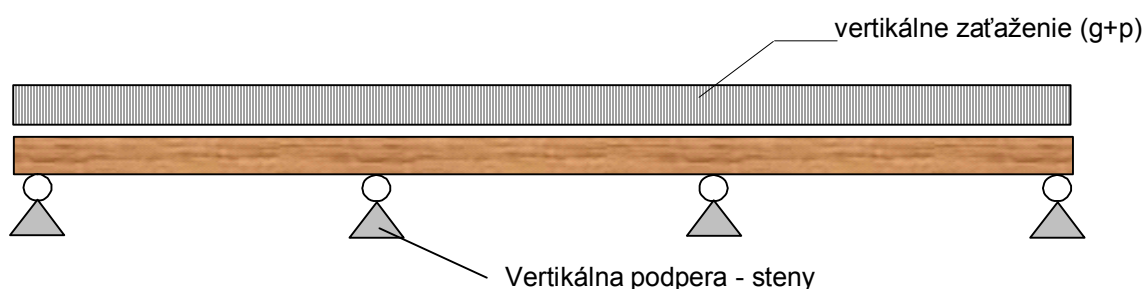
b.) Predpripravené elementy

Obr. 6 Predpripravené strešné elementy

4 Dimenzačné modely a dimenzačné metódy

Dimenzovanie stropných elementov

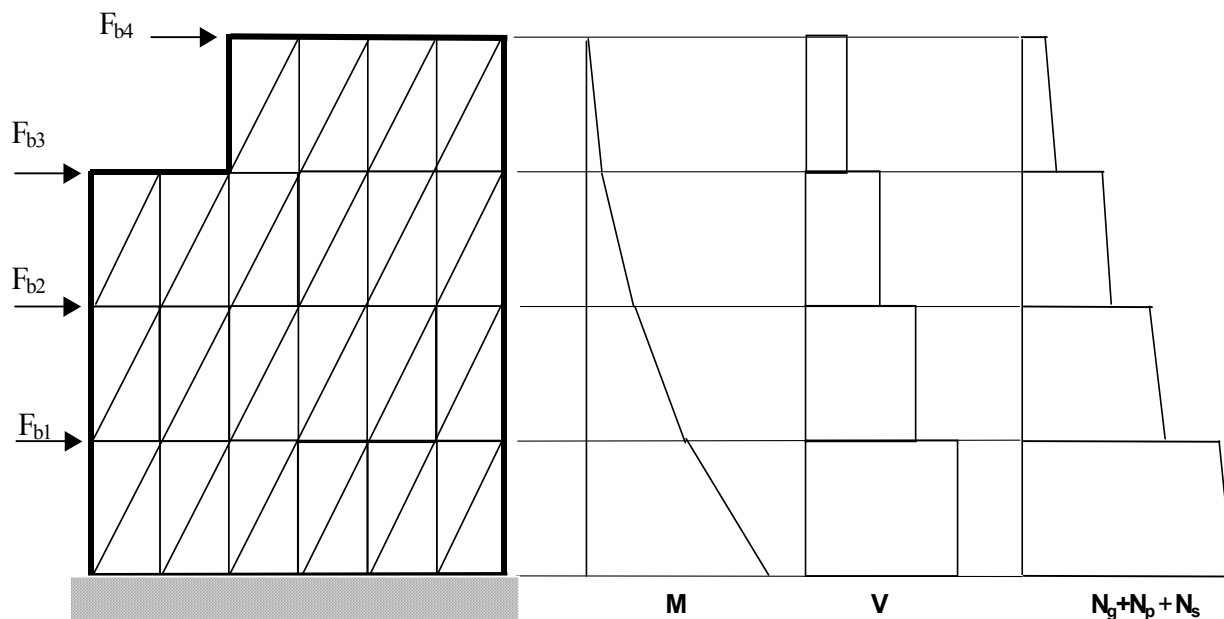
Pri navrhovaní stropných elementov je potrebné poznať stále zaťaženie (vlastná tiaž a tiaž vrstiev stropu) a premenné zaťaženie (úžitkové zaťaženie stropu). Statický systém je prostý nosník alebo viacpoľový nosník (obr. 7). Pre stropy bytov a domov sa používa hodnota premenného zaťaženia podľa EC 1 [2] $p = 2 \text{ kN/m}^2$, hodnoty tiaže stropnej konštrukcie (g) sa pohybujú v intervale 1.2 kN/m^2 až 1.8 kN/m^2 . Nosné steny sú nahradené v modeli tuhými podperami.



Obr. 7 Zjednodušený statický model stropného elementu

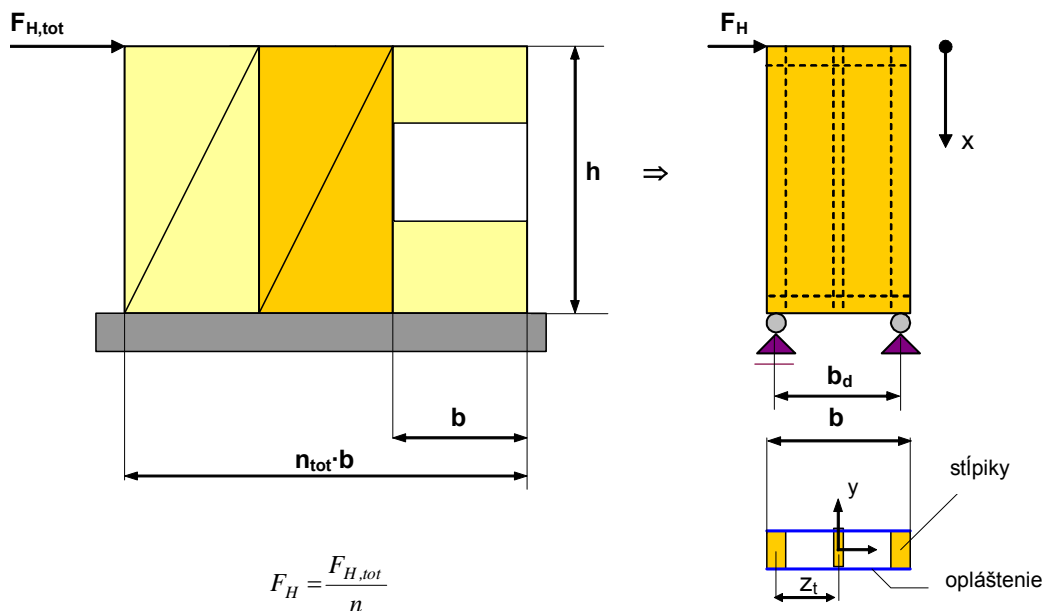
Dimenzovanie stenových elementov

Vertikálne zaťaženia (vlastná tiaž, úžitkové zaťaženia, sneh, atď.) sú prenášané stĺpkmi elementu rovnobežne s vláknami. Prerozdelenie horizontálnych zaťažení je závislé od tuhosti jednotlivých stien. Pre stenu zloženú z viacerých elementov je zjednodušený model znázornený na obr. 8.



Obr. 8 Statický model stenového elementu v hlavnom smere

Rozdelenie zaťaženia na jednotlivé steny v rovine stien je znázornené na obr. 9. V Eurokóde 5 [3] je uvedené, že steny s okennými alebo dvernými otvormi nesmú byť započítané do celkovej únosnosti. Susedné elementy napravo a naľavo od takejto steny s otvorom majú byť uvažované ako separátne časti.



$$F_H = \frac{F_{H,tot}}{n}$$

Obr. 9 Statické dimenzovanie stenového systému v rovine steny

V statickom výpočte a pri dimenzovaní jednotlivých stenových elementov môžu byť tieto uvažované ako vertikálne konzoly s horizontálnym zaťažením ($F_H = F_{H,tot}/n$), ktoré pôsobí v



rohoch elementu (obr. 8) – pozri *Eurokód 5 [3], Faherty a Williamson [4], Hoyle a Woeste [5]*). Podpery jednotlivých elementov sa môžu vzájomne ovplyvňovať.

Pre výpočet únosnosti a predpovedanie správania sa opláštenia z materiálov na báze dreva boli v minulosti vyvinuté viaceré metódy. V poslednom vydaní Eurokódu 5 sú uvedené dve zjednodušené výpočtové metódy na určenie šmykovej únosnosti stenových elementov.

Prvá - **metóda A**, je „Lower bound plastic method“ – autori *Källsner und Lam [6]*, vychádza z nasledovných predpokladov:

Spojovacie prostriedky, spájajúce stĺpiky a opláštenie sa správajú až do zlyhania lineárno-pružne,

Spojenie rámových prvkov (stĺpikov a priečlí) a opláštenia sa považuje za tuhé.

Musí byť dodržané, že:

osové vzdialenosti spojovacích prostriedkov (s) sú po obvode každého elementu konštantné, šírka (b) každého opláštenia je minimálne $h/4$.

Pre stenu zloženú z viacerých elementov sa môže jej celková návrhová únosnosť určiť ako

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} \quad (1)$$

kde $F_{i,v,Rd}$ je únosnosť steny, ktorá sa určí ako suma únosností v strihu všetkých spojovacích prostriedkov ($F_{f,Rd}$) pozdĺž zaťažených okrajov.

$$F_{i,v,Rd} = \sum F_{f,Rd} \cdot \frac{b}{s} \cdot c \quad (2)$$

$$c = \begin{cases} 1 & \text{pre } b \geq b_0 \\ \frac{b}{b_0} & \text{pre } b \leq b_0 \end{cases} \quad \text{kde } b_0 = h/2 \quad (3)$$

Do únosnosti môže byť zahrnutý aj stredový stĺpik, pokiaľ osové vzdialenosti spojovacích prostriedkov na ňom nie sú väčšie, ako je dvojnásobok osovej vzdialenosti na vonkajších stĺpikoch – obr. 5.



Pre obojstranne opláštené steny platí nasledovné:

ak sú opláštenia a spojovacie prostriedky v rámci konštrukcie rovnakého typu a veľkosti, je celková únosnosť steny daná sumou únosností jednotlivých elementov,

ak sú použité rôzne opláštenia, tak sa celková únosnosť steny sa určí ako 75% únosnosti slabšieho opláštenia, pričom spojovacie prostriedky musia mať podobný modul popustenia. V ostatných prípadoch sa môže uvažovať iba 50% únosnosti.

Ak sa ťahové sily musia preniesť do spodnej konštrukcie, musí byť stena kotvená tuhými spojovacími prostriedkami. Možné stabilné zlyhanie stĺpikov sa overuje výpočtom podľa Eurokódu 5, kap. 6.3.2. V miestach pôsobenia vertikálnych prvkov na horizontálne prvky sa musí overiť únosnosť otláčovanej plochy v smere kolmom na vlákna podľa Eurokódu 5, kap. 6.1.5. Vydúvanie stien opláštenia v dôsledku šmykového namáhania sa môže zanedbať, ak $\frac{b_{net}}{t} \leq 100$, kde b_{net} je svetlá vzdialenosť medzi stĺpikmi a t je hrúbka opláštenia.

Druhý zjednodušený model na určenie šmykovej únosnosti panelových stien je označený ako **Metóda B**, ktorá je použiteľná iba pre opláštenia z materiálov na báze dreva. Prípoje musia byť klincované alebo skrutkované a ich vzdialenosti po obvode musia byť rovnaké. Šírka elementu musí byť aspoň $\frac{1}{4}$ jeho výšky. Návrhová únosnosť ($F_{v,Rd}$) sa určí podľa vzťahu (1) v porovnaní s Metódou A s dôležitým rozdielom – súčiniteľ pre materiál opláštenia (k_n), súčiniteľ vzdialeností spojovacích prostriedkov (k_s), súčiniteľ rovnomerne rozdeleného zaťaženia na i – tu stenu ($k_{i,q}$) a súčiniteľ rozmerov steny (k_d) sa zohľadňujú nasledovne:

$$F_{i,v,Rd} = \sum F_{f,Rd} \cdot \frac{b}{s_0} \cdot c \cdot k_d \cdot k_{i,q} \cdot k_s \cdot k_n \quad (4)$$

$$\text{kde } s_0 = \frac{9700 \cdot d}{\rho_k} \quad (5)$$

d priemer spojovacieho prostriedku v mm,

ρ_k charakteristická hustota drevených prvkov rámu v kg/m^3 .



$$k_d = \begin{cases} \frac{b_1}{h} & \text{for } \frac{b_1}{h} \leq 1,0 & \text{(a)} \\ \left(\frac{b_1}{h}\right)^{0,4} & \text{for } \frac{b_1}{h} > 1,0 \text{ and } b_1 \leq 4,8 \text{ m} & \text{(b)} \\ \left(\frac{4,8}{h}\right)^{0,4} & \text{for } \frac{b_1}{h} > 1,0 \text{ and } b_1 > 4,8 \text{ m} & \text{(c)} \end{cases} \quad (6)$$

$$k_{i,q} = 1 + \left(0,083 q_i - 0,0008 q_i^2\right) \left(\frac{2,4}{b_1}\right)^{0,4} \quad (7)$$

kde q_i je ekvivalentné vertikálne rovnomerné zaťaženie pôsobiace na stenu v kN/m.

Toto zaťaženie sa určí zo stálych zaťažení a možných zaťažení vetrom v kombinácii s ekvivalentnými zaťažovacími silami od osamelých síl, vrátane zaťažení v miestach ukotvenia. Do výpočtu sa dosadzujú vertikálne sily pod podmienkou, že stena je tuhé teleso a osamelá sila sa môže rozložiť na rovnomerné zaťaženie (napr. osamelá sila na obr. 10 je prepočítaná na rovnomerné zaťaženie $F_{i,vertEd}$).

$$q_i = \frac{2 a F_{i,vert,Ed}}{b_1^2} \quad (8)$$

kde:

a je horizontálna vzdialenosť sily od rohu namáhaného vetrom,

b je dĺžka steny.

Súčiniteľ vzdialeností spojovacích prostriedkov (k_s) sa určí podľa vzťahu:

$$k_s = \frac{1}{0,86 \frac{s}{s_0} + 0,57} \quad (9)$$

kde s je vzdialenosť spojovacích prostriedkov po obvode elementu - pozri obr. 5.

Súčiniteľ materiálu opláštenia (k_n) sa určí podľa vzťahu:



$$k_n = \begin{cases} 1,0 & \cdot \text{ pre jednostranné opláštenie} & (a) \\ \frac{F_{i,v,Rd,max} + 0,5 F_{i,v,Rd,min}}{F_{i,v,Rd,max}} & \cdot \text{ pre obojstranné opláštenie} & (b) \end{cases} \quad (10)$$

kde:

$F_{i,v,Rd,max}$ je únosnosť v rovine steny opláštenia väčšej hrúbky;

$F_{i,v,Rd,min}$ je únosnosť v rovine steny opláštenia menšej hrúbky.

Vonkajšie sily $F_{i,c,Ed}$ a $F_{i,t,Ed}$ (pozri obr. 10) horizontálneho zaťaženia $F_{i,v,Ed}$ na stenu i sa určia podľa vzťahu:

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_1} \quad (11)$$

Tieto vonkajšie sily môžu byť prenesené buď susedným opláštením cez vertikálne stenové opláštenie alebo konštrukciou horného a spodného lemu elementu (ako je uvedené v odseku 6). Ak je potrebné preniesť ťahové sily ($F_{i,t,Ed}$) do spodnej konštrukcie, musí byť stena kotvená tuhými spojovacími prostriedkami.

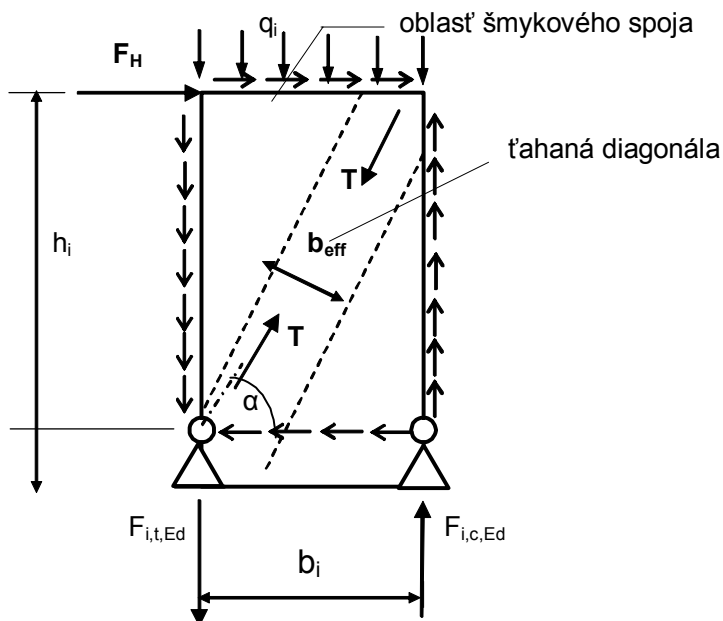
Potrebná hrúbka opláštenia (t) je definovaná pomocou efektívnej šírky (b_{eff}) a pevnosti v ťahu materiálu opláštenia ($f_{t,d}^{(b)}$). Podľa obr. 10 sa návrhová hodnota ťahovej sily (T_d) vypočíta ako:

$$T_d = \frac{F_{Hd,1}}{\cos \alpha} \quad (12)$$

kde $F_{Hd,1}$ je horizontálna sila pôsobiaca na stenu. Hrúbka opláštenia (t) sa vypočíta ako:

$$t \geq \frac{T_d}{b_{eff} \cdot f_{t,d}^{(b)}} \quad (13)$$

Pre b_{eff} sa odporúča v praxi zvoliť hodnotu 500 mm.



Obr. 10 Rozdelenie síl v elemente

Niekedy je nutné vypočítať maximálnu horizontálnu výchylku horného okraja steny. Jednoduchá približná metóda, ktorá zohľadňuje deformáciu konzoly (w_t), šmykovú deformáciu opláštenia (w_b), poddajnosť spojovacích prostriedkov (w_c) a deformáciu vplyvom kotvenia (w_a), je uvedená v [4] alebo v [5] ako:

$$w = w_t + w_b + w_c + w_a = \frac{8 \cdot F_H \cdot h^3}{E_t \cdot A_t \cdot b} + \frac{F_H \cdot h}{G_b \cdot t} + 0.376 \cdot h \cdot e_n + d_a \quad (14)$$

E_t E-modul drevených častí rámu,

A_t prierezová plocha ohraničených vertikálnych častí,

G_b modul tuhosti opláštenia,

t účinná hrúbka opláštenia,

e_n deformácia klincov.

Všetky uvedené metódy z Eurokódu nie sú vhodné pre stenové panely so sádrokartónovými (FPB) oplášteniami, pretože ťahová pevnosť sádrokartónových dosiek je výrazne nižšia ako ich tlaková pevnosť. V ťahaných zónach potom môžu vznikáť trhliny skôr, než je dosiahnutá únosnosť spojovacích prostriedkov. Sádrokartónové dosky nemôžu byť považované za tuhé



telesá (*Dobrila a Premrov [7]*). Ak sú sádrokartónové dosky použité ako opláštenie, prenáša sa časť zaťaženia aj cez tieto dosky. Správajú sa potom ako nosník veľkej výšky prípadne ako doskový element [4] a [7]. Rozdelenie horizontálnej sily „spriahnutého nosníka“ je závislé od pomeru tuhostí častí, z ktorých je zložený. Efektívna ohybová tuhosť $(EI_y)_{eff}$ mechanicky spojených nosníkov so zohľadnením empiricky stanovených súčiniteľov poddajnosti (súčiniteľ γ_y) sa dá podľa Eurokódu 5 vypočítať ako:

$$(EI_y)_{eff} = \sum_{i=1}^n E_i \cdot (I_{yi} + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2) = \sum_{i=1}^{n_{timber}} (E_i \cdot I_{yi} + E_i \cdot \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2)_{timber} + \sum_{j=1}^{n_{board}} (E_j \cdot I_{yj})_{board} \quad (15)$$

kde n je celkový počet častí navrhovaného prierezu steny a a_i je vzdialenosť medzi globálnou osou y celkového prierezu a lokálnou osou y i -teho elementu prierezu A_i (pozri obr. 8). Je zrejmé, že rozdelenie síl v tomto prípade veľmi závisí od tuhostných koeficientov spojovaných plôch (γ_y), čo je predovšetkým závislosť od modulu preklzu spojovacích prostriedkov (K_{ser}) ako aj od typu spoja. Boli uskutočnené viaceré experimentálne práce, v ktorých sú skúmané práve šmykové únosnosti stenových panelov (*Chou a Polensek [8]*, *Polensek a Bastendorff [9]*,) *Van Wyk [10]*, *Kuhta a Premrov [11]*). Semianalytické dimenzačné modely pre kombináciu drevených nosníkov a drevených opláštení boli vyvinuté v *Premrov, Dobrila a Bedenik [12]*. Modely umožňujú súčasné zohľadnenie vplyvu oceľových diagonál, vplyvu poddajnosti spojenia rám-opláštenie a vplyvu trhlín v ťahanej zóne.

Analytické dimenzačné modely boli vyvinuté aj na predpovedanie dynamického správania sa drevených panelov (napr. [12]). *Stewart [13]*, *Dolan [14]* a *Kasal [15]* vyvinuli trojrozmerný model pre metódu konečných prvkov, ktorým sa dajú simulovať odozvy ľahkých drevených konštrukcií.

Metóda experimentov pre stípkové drevené konštrukcie je popísaná v EN 594 [16], predstavuje však kompromisné riešenie a neobjasňuje všetky detailné problémy.

5 Zosiňovanie opláštení zo sádrokartónových dosák

Ako bolo vyššie uvedené, môžu byť steny opláštené sádrokartónovými doskami uvažované ako kombinované konštrukcie. Rozdelenie horizontálnych síl v priereze závisí od pomerov tuhostí jednotlivých častí. Keďže ťahová pevnosť FPB je približne 10-krát menšia než je jeho tlaková pevnosť a zároveň výrazne menšia ako ťahová alebo tlaková pevnosť dreva, predstavujú sádrokartónové opláštenia najslabší článok takéhoto kombinovaného prierezu. Pri viacpodlažných objektoch alebo objektoch v seizmických oblastiach, prípadne vo veterných oblastiach môžu vznikať v sádrokartóne trhliny. V takýchto prípadoch strácajú sádrokartónové dosky svoju tuhosť a ich príspevok k únosnosti panelu sa môže zanedbať. Vzniknuté napätia v paneli od horizontálneho zaťaženia však nie sú väčšinou kritické.



Na zosilnenie šmykovej únosnosti a zabráneniu trhlín v sádrokartóne existujú viaceré možnosti:

- použitie dodatočných vrstiev opláštenia. Dosky opláštenia sú väčšinou dvojité:
 - symetrické (na oboch stranách rámu),
 - asymetrické (na jednej strane rámu),
- zosilnenie opláštenia oceľovými diagonálami,
- zosilnenie opláštenia karbónovými alebo vysokopevnostnými syntetickými vláknami (FRP, CFRP, ...).

Dobrila a Premrov zverejnili v [7] experimentálne výsledky s **dodatočnými sádrokartónovými oplášteniami (FPB)**. Skúšobné vzorky vykazujú vysokú pružnosť, zatiaľ čo únosnosť a obzvlášť duktilita nedosiahli požadované hodnoty.

S cieľom zvýšenia únosnosti a predovšetkým duktility je preto účinnejšie použiť klasické diagonály vo forme tenkých oceľových pásovín, ktoré musia byť pripojené k rámovej konštrukcii. V tomto prípade po vzniku prvých trhlín v sádrokartóne preberajú zaťaženie oceľové diagonály. Z výsledkov meraní vyplýva, že diagonály nezvyšujú výrazne tuhosť steny, avšak v prípade zvyšovania zaťaženia sa ukázalo, že zosilnené steny mali vyššiu únosnosť o 77 % a duktilitu o 39 % [7].

V treťom riešení boli použité uhlíkové vlákna (CRFP), ktoré boli nalepené na sádrokartónové opláštenie do ťahaných oblastí – obr. 11. Toto zosilnenie je koncipované tak, aby uhlíkové lamely zabrali až po dosiahnutí únosnosti sádrokartónovej dosky. Experimenty (*Premrov, Dobrila a Bedeník [17]*) dokázali dôležité skutočnosti, ktoré boli zohľadnené pri modelovaní šmykom namáhaných panelov (*Premrov a Dobrila [18]*):

- a) sily, ktoré spôsobia v sádrokartónovej doske prvú trhlinu, mohli mať pri všetkých vzorkách vyššie hodnoty,
- b) využitie výstužných diagonál z uhlíkových vlákien prinieslo výrazne vyššiu únosnosť panelu,
- c) experimenty ukázali dôležitý rozdiel v správaní sa konštrukcie pri rôznych podmienkach spriahnutia. Ak boli uhlíkové pásy nalepené na drevený rám, bola poddajnosť spojovacích prostriedkov výrazne nižšia a prvá trhlinka nebola širšia ako 1 mm. Z toho sa dá usúdiť, že nebola dosiahnutá únosnosť spojovacích prostriedkov. V prípade, že uhlíkové lamely neboli spojené s rámovou konštrukciou, bola poddajnosť spoja rám-sádrokartón výrazne vyššia a panel mal tendenciu zlyhania z dôvodu dosiahnutia únosnosti spojovacích prostriedkov.

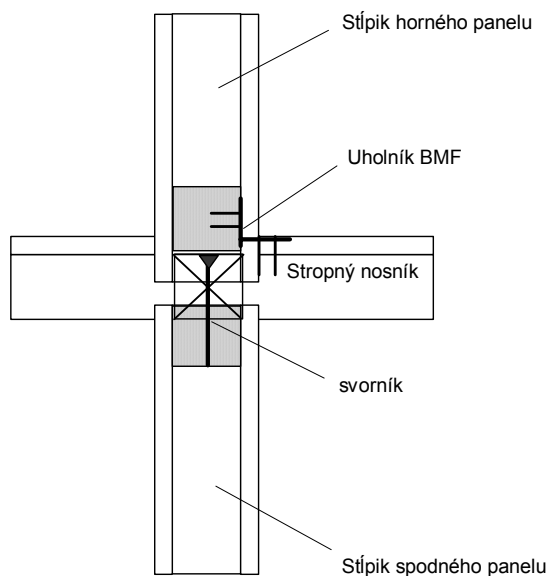


Obr. 11 Skúšanie panelu zosilneného CRFP – lamelami [17], panel je pootočený o 90°

6 Spoje

6.1 Vertikálny spoj medzi stenovými panelmi

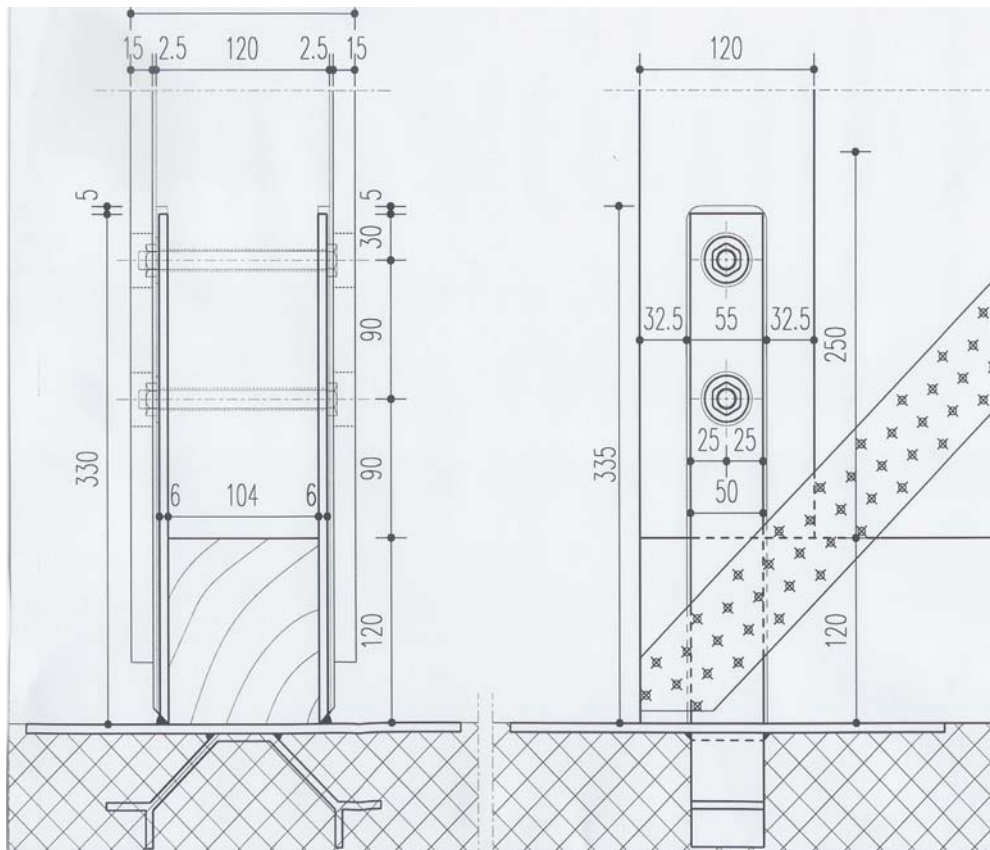
Vertikálny spoj medzi stenovými panelmi je zobrazený na obr. 12. Spojenie horného panelu so stropnými nosníkmi je realizované prostredníctvom uholníkov BMF a hrebienkových klinov. Stropné nosníky sú so spodným stenovým panelom spojené svorníkmi alebo drevoskrutkami.



Obr. 12 Spoj stenových elementov dvoch podlaží

6.2 Spojenie spodného panelu s betónovým základom

Spoj spodného panelu a betónového základu je zvyčajne realizovaný pomocou špeciálnych oceľových plechov a dvoch svorníkov – obr. 13. Na obrázku je ukázaná možnosť dodatočného zosilnenia dreveného rámu oceľovými diagonálami (možné zosilnenie je popísané v odseku 5).



Obr. 13 Spoj stenového elementu s betónovým základom a zosilnenie BMF-diagonálou



7 Literatúra

- [1] Premrov M. Terme Zreče, Hotel Dobrava, Case study no. 8, Educational materials for designing and testing of timber structures - TEMTIS, Case studies, Instruction handbook. Ostrava:VŠB-TU, Fakulta stavební, 2007, http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/Instruction_8_Dobrava.pdf.
- [2] CEN/TC 250. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings, Brussel; 2002.
- [3] CEN/TC 250/SC5 N173. Eurocode 5: Design of Timber Structures, Part 1-1 General rules and rules for buildings, Final draft prEN 1995-1-1; Brussel, 2004.
- [4] Faherty K.F., Williamson T.G. Wood Engineering and Construction Handbook. Mc Graw-Hill Publishing Company; 1989.
- [5] Hoyle R.J., Woeste F.E. Wood Technology in the Design of Structures. Iowa State University Press; Ames, Iowa, 1989.
- [6] Källsner B., Lam F. Diaphragms and shear walls. Holzbauerwerke: Grundlagen, Entwicklungen, Ergänzungen nach Eurocode 5. Stufe 3, pp. 15/1-17, Fachverlag Holz; Düsseldorf, 1995.
- [7] Dobrila P., Premrov M. Reinforcing methods for composite timber frame-fiberboard wall panels. Engineering Structures 25(11), pp. 1369-1376; 2003.
- [8] Chou C., Polensek A. Damping and stiffness of nailed joints: response to drying. Wood and Fiber Science 19(1), pp. 48-58; 1987.
- [9] Polensek A., Bastendorf K.M. Damping in nailed joints of light-frame wood buildings. Wood and Fiber Science 19(2), pp. 110-125; 1987.
- [10] Van Wyk W.J. The strength, stiffness and durability of glued, nail-glued and screw-glued timber joints. South African Forestry Journal 138, pp. 41-44; 1986.
- [11] Kuhta M., Premrov M. Influence of Fasteners Disposition on Behaviour of Timber-Framed Walls with Double Fibre-Plaster Coating Boards. American Journal of Applied Sciences, in press; 2007.
- [12] Premrov M., Dobrila P., Bedenik B.S. Approximate analytical solutions for diagonal reinforced timber-framed walls with fibre-plaster coating material. Constr. build. mater. 18 (10), pp. 727-735; 2004.
- [13] Stewart, W.G. The seismic design of plywood sheathed shearwalls. Thesis submitted in partial fulfilment of a Ph. D. degree. Universität von Canterbury; Neu Seeland, 1987.
- [14] Dolan J.D., Foschi R.O. A numerical model to predict the dynamic response of timber shear walls. Proceedings of the International Timber Engineering Conference; London, 1991.



- [15] Kasal B., Leichti R.J., Itani R.Y. Nonlinear finite-element model of complete light-frame wood structures. J. Struct. Engrg. ASCE 120(1), pp. 100-119; 1994.
- [16] European Committee for Standardization. EN 594: Timber structures – Test methods – Racking strength and stiffness of timber frame wall panels; Brussel, 1995.
- [17] Premrov M., Dobrila P., Bedenik B.S. Analysis of timber-framed walls coated with CFRP strips strengthened fibre-plaster boards. International Journal of Solids and Structures 41 (24/25), pp. 7035–7048; 2004.
- [18] Premrov M., Dobrila P. Modelling of Fastener Flexibility in CFRP Strengthened Timber-Framed Walls Using Modified γ – Method. Engineering Structures, in press.

Kapitolu 13 spracoval Assoc.Prof.Dr. Miroslav Premrov, Stavebná fakulta, Univerzita Maribor, Slovinsko.



Kapitola 14

VYSTUŽOVANIE DREVENÝCH KONŠTRUKCIÍ

1 Úvod

Nosné konštrukcie musia preniesť všetky vonkajšie zaťaženia, ktoré vznikajú od snehu, vetra, všetky mimoriadne zaťaženia a seizmické zaťaženia a všetky sily od žeriavov a iných zariadení spoľahlivo do základových konštrukcií.

Nosné konštrukcie musia preniesť aj vnútorné sily, ktoré vznikajú napríklad vplyvom odchýlok hlavných prvkov od ich plánovanej polohy. Príkladom sú reakcie od prvkov, ktoré nie sú vo vertikálnej polohe, pričom táto bola plánovaná alebo sily od stabilizujúcich prvkov, ktoré sú namáhané tlakom.

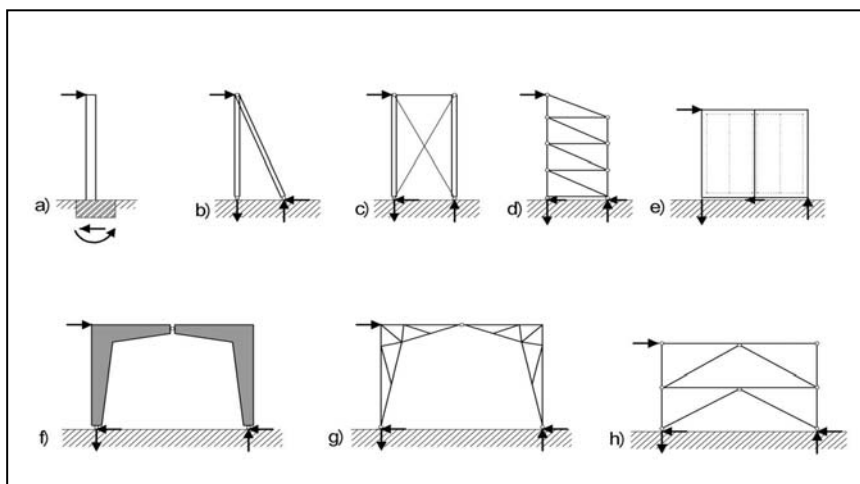
Existuje veľký počet konštrukcií z mnohých krajín, kde boli evidované problémy v dôsledku chýbajúcich vystužovadiel. Je dôležité, aby architekt, projektant a statik už pri prvých návrhoch konštrukcie mali prehľad o požiadavkách prenosu síl od miesta pôsobenia zaťaženia až po základy.

Táto kapitola je venovaná výstužným a stabilizačným systémom pre jednoduché objekty. Z uvedenej literatúry, ako napr. „Timber Construction Manual“ [1] sa dajú získať podrobnejšie informácie o vystužovaní rôznych typov drevených konštrukcií.

V praxi sa pri návrhu výstužného systému objektu s pravouhlým pôdorysom postupuje spravidla nasledovným spôsobom: Najskôr sú uvažované zaťaženia pôsobiace kolmo na pozdĺžnu os, a až potom zaťaženia pôsobiace v pozdĺžnom smere. Je potrebné zdôrazniť, že zaťaženia môžu pôsobiť v oboch smeroch súčasne.

2 Typické spôsoby vystužovania

2.1 Typické vertikálne vystužovadlá



Obr. 1 Typické vertikálne vystužovadlá

Na obr. 1 sú znázornené typické vertikálne vystužovadlá: a) votknutý prvok, b) diagonálny prvok (vzpera alebo ťahadlo) c) prekrížené (ťahané) diagonály, d) priehradové vystužovadlo, e) stenové vystužovadlo, f) rámové vystužovadlo, g) priehradový rám, h) K-systém.

a) Votknutý prvok (konzola)

Votknutie je realizované do nižšie položenej konštrukcie alebo do základu. Prípoj môže byť vytvorený pomocou lepených tyčí, klincov alebo oceľových plechov a svorníkov. Horizontálna deformácia konzoly môže spôsobiť určité problémy, napr. trhliny v stenách. Výhodou tohoto systému je minimálne zabratie priestoru v konštrukcii.

b) Diagonálny prvok (vzpera alebo ťahadlo)

Je jednoduchým riešením na prenos tlakových alebo ťahových síl. Ak je prút tlačенý, jeho prierez je väčší.

c) Prekrížené (ťahané) diagonály

V tomto systéme sa uvažuje s využitím iba ťahaných prvkov, zatiaľ čo tlačené prvky sú vylúčené z prenosu zaťaženia (vybočia). Diagonály majú preto pomerne malé prierezové plochy. Tento systém sa používa veľmi často. Diagonály bývajú niekedy predopnuté, čím sa redukuje deformácia vystužovadla ako celku a odstraňuje sa problém "prehnutých" diagonál.

d) Priehradové vystužovadlo

Pri priehradovom vystužovadle sa v dôsledku zmenšenia vzperných dĺžok tlačných prútov môže dosiahnuť redukcia spotreby materiálu.

e) Stenové vystužovadlo, výstužné steny

Výstužné steny drevostavieb sú väčšinou opláštené stípkové konštrukcie, v ktorých funkciu výstužného prvku preberajú opláštenia z materiálov na báze dreva alebo sádkokartónové dosky. Šmykové sily sú z opláštenia prenášané na drevenú konštrukciu pomocou spojovacích prostriedkov po obvode daného stenového prvku. Výstužné steny sú kotvené svorníkmi a/alebo špeciálnymi kotvami, aby sa zabránilo posunutiu alebo pootočeniu steny.

f) Rámové vystužovadlo

Pri vystužovaní rámmi sa získava pomerne veľký voľný priestor. V praxi sa odporúča kontrolovať horizontálne deformácie, aby sa zabránilo vzniku trhlín v stenách.

g) Priehradový rám

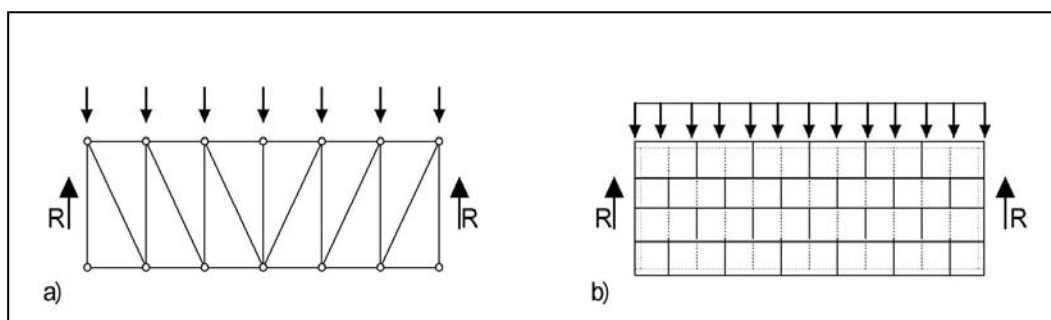
Priehradový rám má tie isté výhody ako plnostenný rám. Na priehradovú konštrukciu sa spotrebuje menej materiálu, avšak za cenu zvýšenia podielu práce na výrobe konštrukcie.

h) K – systém

Osové sily v diagonálach sú pri tomto systéme menšie, zároveň sú menšie aj vzperné dĺžky tlačných prvkov.

V literatúre, napr. „Timber Construction Manual“ [1] sú uvedené podrobnejšie informácie o ďalších možnostiach vystužovania drevených konštrukcií.

2.2 Typické vystužovadlá v rovine stropov a striech



Obr. 2 Schéma typických vystužovadiel v strope a streche

Na obr. 2 sú znázornené typické jednoducho podopreté vystužovadlá stropu a strechy: a) priehradový väzník, b) tuhá doska v rovine stropu príp. strechy.

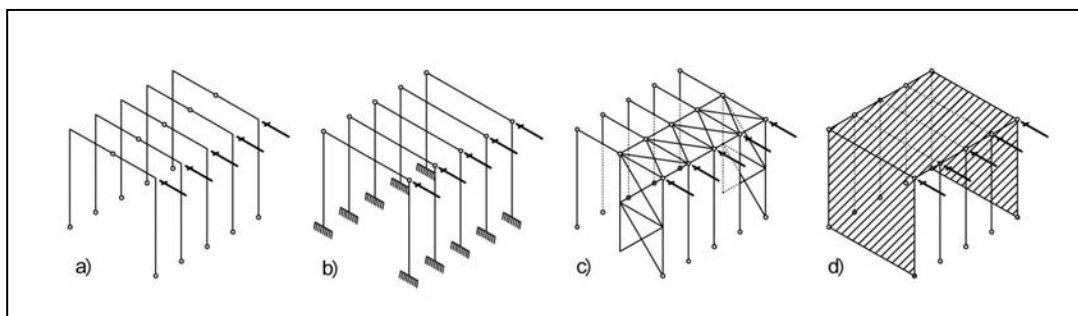
a) Priehradový väzník

Pri vystužovaní stropov a striech sú častokrát súčasťou vystužovadla aj prvky samotnej konštrukcie. Hlavné nosníky môžu byť využité ako horné resp. dolné pásy priehradového vystužovadla, väznice ako zvislice a doplnené sú iba diagonály – častokrát ako prekrížené prúty (Ondrejove kríže).

b) Tuhá doska v rovine stropu príp. strechy

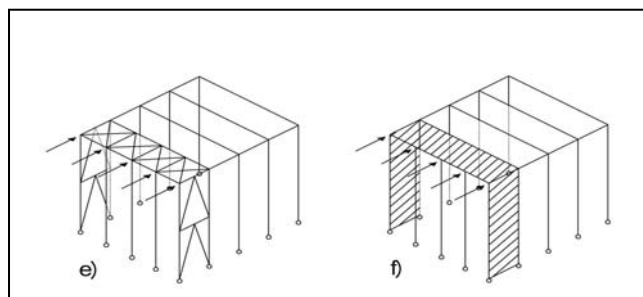
Na vystuženie v horizontálnych rovinách sa využívajú celoplošné záklopy stropu príp. strechy. Tuhá doska je vytvorená pomocou veľkoplošných dosiek vyrobených z materiálov na báze dreva. Spájanie veľkoplošných dosiek je realizované pomocou mechanických spojovacích prostriedkov.

3 Výstužné systémy jednopodlažných objektov - príklady



Obr. 3 Vystuženie pre priečne pôsobiace zaťaženia

Na obr. 3 sú uvedené typické systémy pre priečne pôsobiace zaťaženia: a) rámy, b) votknuté stĺpy a nosníky, c) priehradové nosníky, d) tuhé steny a dosky.

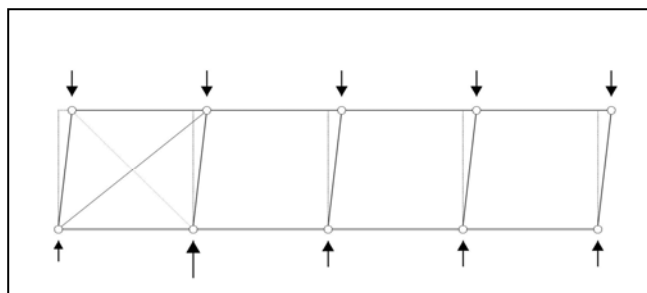


Obr. 4 Vystuženie pre pozdĺžne pôsobiace zaťaženia

Na obr. 4 sú uvedené typické systémy pre pozdĺžne pôsobiace zaťaženia: a) priehradové nosníky, b) tuhé steny a dosky.

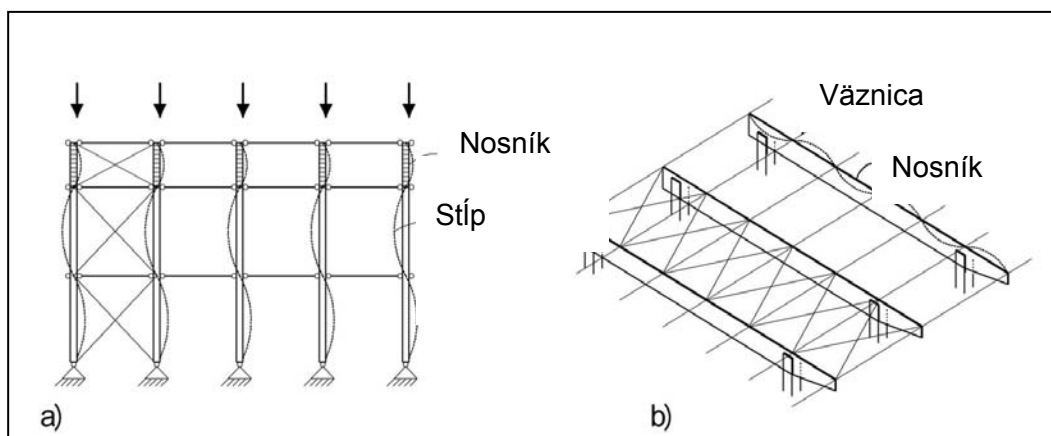
Systémy sú v niektorých prípadoch kombinované, napr. strešné priehradové vystužovadlo s vertikálnym stenovým vystužovadlom.

4 Príklady výstužných systémov



Obr. 5 Reakcie od šikmých stĺpov

Stenové vystužovadlo na obr. 5 podopiera stĺpy vo zvislom smere. V kombinácii so strešným vystužovadlom môžu byť všetky stĺpy schematicky znázornenej budovy pripojené na vystužené pole. V niektorých krajinách, napr. v Dánsku, sa musia zohľadniť aj sily spôsobené nepresnosťou osadenia stĺpov z vertikálneho smeru.



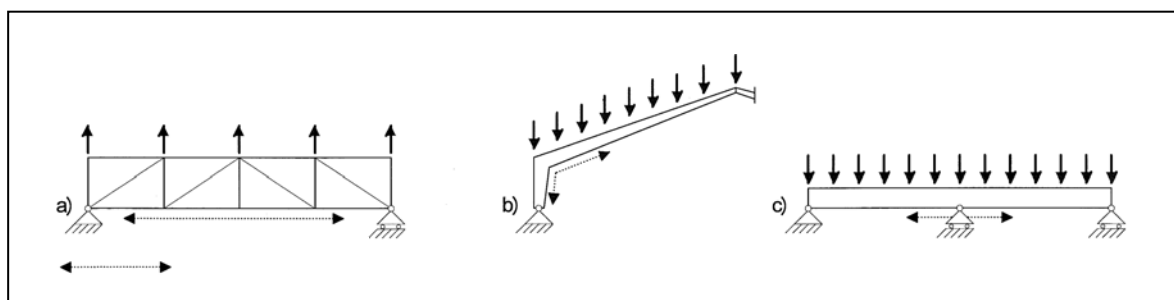
Obr. 6 Vystuženie stĺpov a strešných nosníkov

Výstužovadlá príp. výstužné systémy zároveň zabezpečujú stabilitu tlačенých prvkov a slúžia na skrátenie vzpernej dĺžky tlačéných prvkov. Výstužný systém na obr. 6a znižuje vzpernú dĺžku stĺpa na polovičnú hodnotu. Horné vystužovadlo na obr. 6a zabezpečuje

polohu prípoja strešný nosník-stĺp a zároveň zabezpečuje tuhosť strešných nosníkov v krútení.

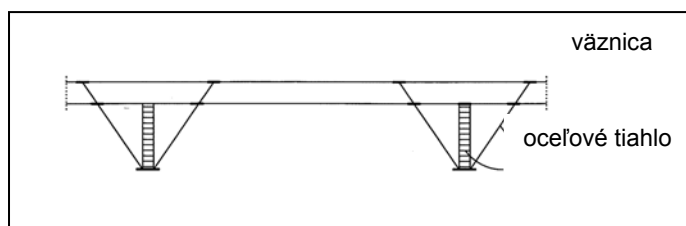
Výstužný systém na obr. 6b znižuje klopiacu dĺžku strešného nosníka, pretože väznice sú pripojené na hornú hranu strešného nosníka.

V ostatných konštrukciách, ako sú priehradové väzníky, nosníky a rámy je výstužný systém často umiestnený v rovine hornej hrany strešnej konštrukcie, v rovine stropu a v rovine fasády.



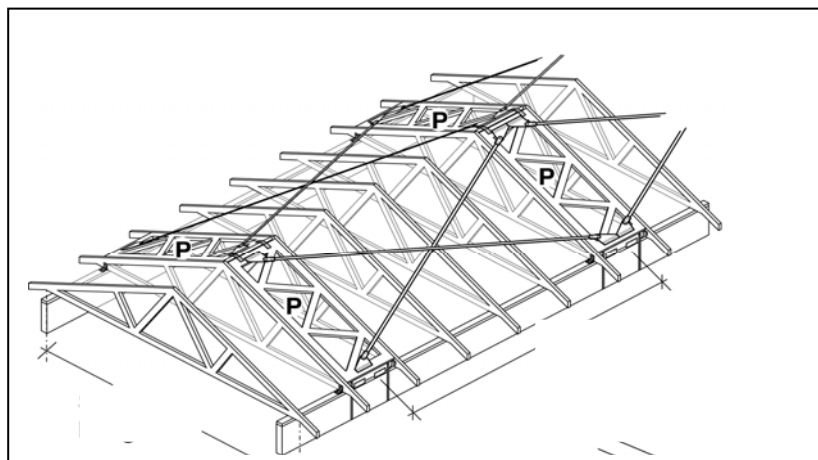
Obr. 7 Tlačené časti (vyznačené šípkami) v: a) priehradovom nosníku, b) ráme, c) dvojpoľovom nosníku

V niektorých prípadoch je potrebné zaistiť polohu spodných častí prvkov, ak sú tieto namáhané tlakom. Na obr. 7 sú uvedené príklady a) strešného priehradového nosníka namáhaného saním vetra, b) tlačených častí rámovej konštrukcie (vnútorná časť rámoveho rohu) a c) spodnej časti viacpoľového nosníka v oblasti nad medziľahlou podperou.



Obr. 8 Zaistenie polohy nosníka pripojením na väznice

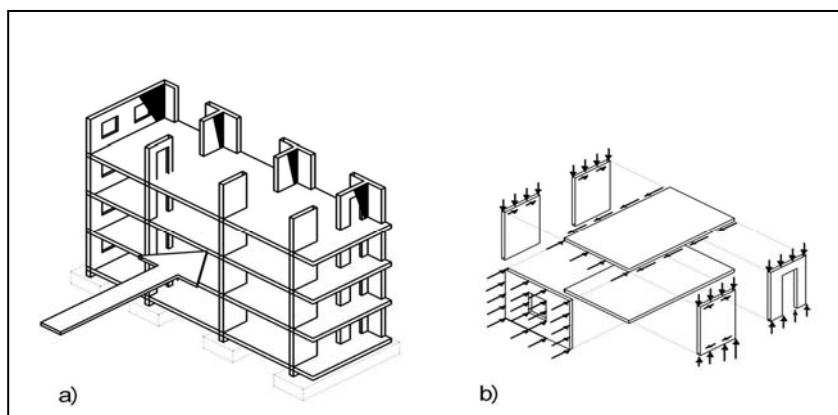
Namiesto nezávislého systému, ktorý je spojený so spodnou časťou nosníka, je často používané spojenie hlavného nosníka a sekundárnych konštrukcií. Na obr. 8 je uvedená táto možnosť – poloha spodnej časti hlavného nosníka je zaistená oceľovými tiahmi do väzníc.



Obr. 9 Vystuženie priehradových väzníkov (Simpson Strong-Tie).

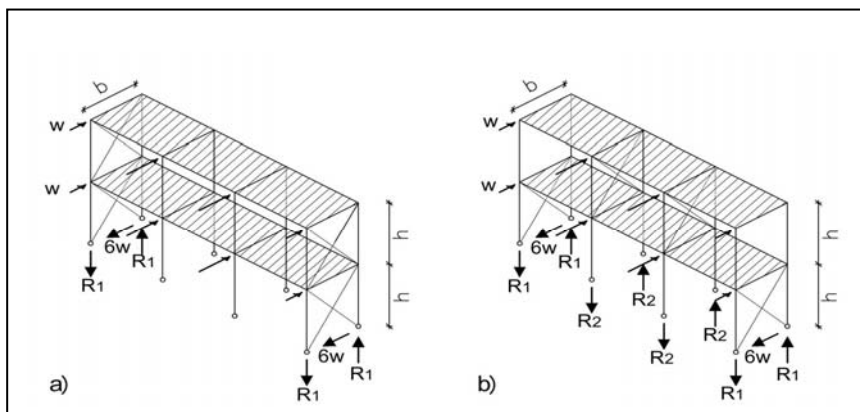
Na obr. 9 je uvedený systém vystužovania priehradových väzníkov. Paralelné vystužovadlá P sú priehradové drevené väzníky umiestnené v rovine strechy. Ich osová vzdialenosť je cca 15 m. Systém vystuženia je doplnený o predopnuté oceľové prekrížené diagonály na hornej hrane horných pásov väzníkov. Diagonály sú zhotovené z dierovaného plechu, pričom na každom väzníku sú priklincované plným počtom klinčov v predpripravených dierach. Výhody tohoto systému spočívajú v tom, že: a) je vystužený každý väzník, b) zaťaženie vetrom sa môže prenášať štítovou stenou, c) je skrátená vzperná dĺžka horného pása priehradového väzníka.

5 Výstužné systémy viacpodlažných budov a kombinované systémy - príklady



Obr. 10 Budova so stenovými a doskovými vystužovadlami

Budova na obr. 10a) je vystužená stenovými a doskovými vystužovadlami. Na obr. 10b) sú vybrané časti výstužných stien a stropov s vyznačením ich zaťaženia. Pri návrhu stien a stropov musí byť toto zaťaženie zohľadnené.



Obr. 11 Budova s vertikálnymi prvkami a doskovými vystužovadlami

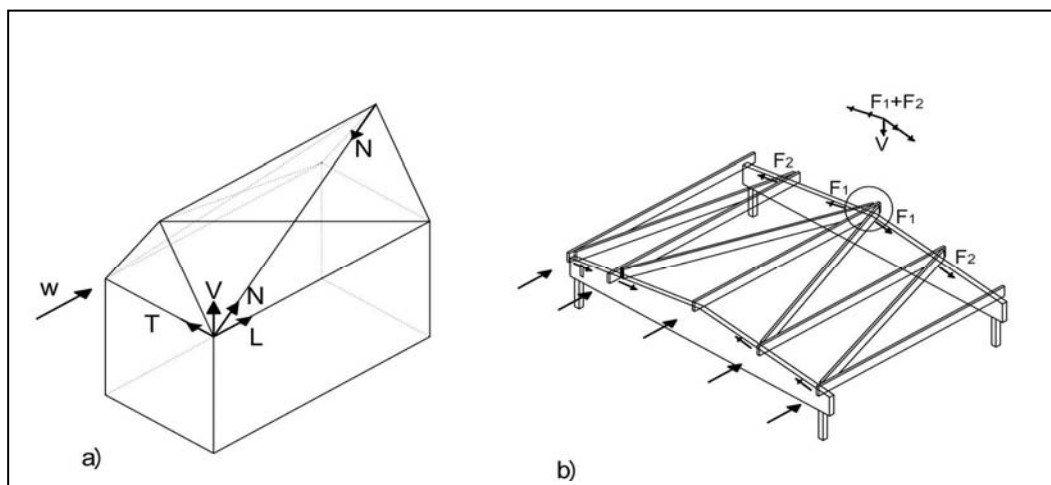
Výstužné steny aj stropy môžu byť nahradené priehradovými konštrukciami – obr. 11a. Na obr. 11b je iné riešenie, pri ktorom je poloha priehradových vystužovadiel zmenená. Takéto riešenie prerozdeľuje zaťaženia do základových konštrukcií (zmenili sa $R_1 = 9w h/b$ na $R_1 = 6w h/b$ a $R_2 = 3w h/b$), ale zároveň zväčšuje zaťaženie stropných konštrukcií.

6 Detaily vystužovadiel - príklady

6.1 Vystuženie v priestore

Pri tvorbe nosného systému objektu sa často vytvorí najskôr hlavný nosný systém, ktorý býva v mnohých prípadoch rovinný. Výstužný systém sa spravidla navrhuje až v druhom kroku. V realite je každý objekt priestorovou konštrukciou a teda je aj zaťažený v troch smeroch. Niektoré výstužné systémy musia preto zohľadniť túto skutočnosť.

Ak sa vrátíme k obr. 4a, kde je znázornené vystuženie rámovej konštrukcie priehradovým vystužovadlom, vidíme, že stojky rámu sú priťažené silami od horizontálneho zaťaženia, pretože sú zároveň pásovými prútmi priehradového výstužného nosníka.



Obr. 12 a) Sily v strešnom vystužovadle b) Vznik vertikálnych síl vo vystužovadle, ktoré sú vyvolané horizontálnym zaťažením

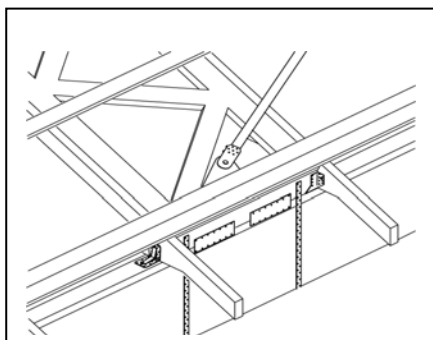
Priestorovo pôsobiaca sila (N) v diagonále strešného vystužovadla na obr. 12a sa môže rozložiť na vertikálne pôsobiacu silu (V) a dve horizontálne zložky (T) a (L).

Vertikálna sila (V) musí byť zachytená konštrukciou budovy resp. kotvením rohu budovy do základov. Pozdĺžna sila (L) je odvedená do základov prostredníctvom vertikálneho stuženia v pozdĺžnej stene. Sila (T), ktorá pôsobí v priečnom smere je kompenzovaná zvyčajne opačne pôsobiacou silou, čo je potrebné zohľadniť pri návrhu konštrukcie steny.

Sily z vystužovadiel sedlových striech (obr. 12b) vyvolávajú namáhanie hlavných nosných prvkov. Výsledná sila ($F_1 + F_2$) je vertikálna sila, ktorá zaťažuje hlavný nosný systém v jeho vrchole – obr. 12b.

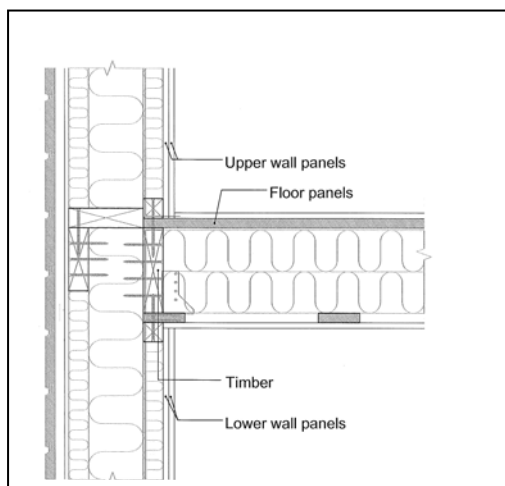
6.2 Spoje

K návrhu vystužovadiel patrí aj podrobný návrh prípojev, ktoré majú zvyčajne obmedzené priestorové možnosti.



Obr. 13 Prípoj strešného vystužovadla a steny (Simpson Strong-Tie)

Prípoj na obr. 13 je z konštrukcie zobrazenej na obr. 9. Rozklad sily (N) v diagonále je uvedený na obr. 12a. Každý z prípojev jednotlivých prútov je navrhovaný na v ňom pôsobiace sily.



Obr. 14 Spoj strop - stena

V detaile na obr. 14 je potrebné vyriešiť prípoj stropu so spodnou stenou a prípoj hornej steny so stropom. Ak je strop uvažovaný ako výstužný prvok v horizontálnom smere, tak v prípoji stropu pôsobia okrem vertikálnych síl (stále zaťaženie + užitkové zaťaženie) aj sily horizontálne, vyvolané vetrom, príp. seizmickým zaťažením.



7 Literatúra

- [1] Thomas Herzog et al., “Timber Construction Manual”, Basel: Birkhäuser, 2004
- [2] H.J. Blass ...et al., “Timber Engineering STEP 2 – Design – Details and structural systems”, Centrum Hout, The Netherlands, 1995

Kapitolu 14 spracoval Senior lecturer, Civil engineer MSc. Anders Søvsø Hansen, VIA University College, School of Technology and Business, Horsens, Dánsko



Kapitola 15

DREVENÉ MOSTY

1 Úvod

V ostatných rokoch stúpol v mnohých krajinách západnej Európy záujem o drevené mosty. Je na to viacero rozličných dôvodov. Rastúci záujem o otázky ekológie a o otázky trvalo udržateľného rozvoja jednoznačne upriamil pozornosť na výraznejšie použitie dreva na stavebné konštrukcie a zároveň na nové a inovatívne použitia dreva. Takými to sú napríklad tlakovo opracované mostovky alebo nové typy spojov. Skutočnosť, že železobetón sa ukázal ako nie večný materiál – mnohé krajiny majú vážne problémy s betónovými mostami, postavenými v 60-tych a 70-tych rokoch, je ďalším dodatočným faktorom. V neposlednom rade je potrebné uznať aj entuziazmus propagátorov drevených konštrukcií.

Skôr, ako začneme predstavovaním najznámejších typov drevených mostov, urobíme krátky návrat do histórie. Potom budeme pojednávať o hlavných nosných systémoch jednak pre nosnú konštrukciu mosta a jednak pre samotnú mostovku. Prípoje a detaily sú pre úspešný návrh dreveného mosta veľmi dôležité, možno dôležitejšie ako pre iné typy drevených konštrukcií. Vo všeobecnosti nie je dynamické namáhanie pre väčšinu drevených mostov vážny problém, avšak niektoré aspekty potrebujú prislúchajúce opatrenia. Zaradili sme aj poznatky z montáže a poznatky o hospodárnosti drevených mostov. Najkritickejšou požiadavkou na konštrukcie drevených mostov je zrejme požiadavka trvanlivosti konštrukcie, čím sa ochrana a trvanlivosť mosta dostáva na prioritné miesto.

Kapitolu uzavrieme poznatkami z projektu „Nordic Timber Bridge“, ktorý mal dokázateľný význam pre oživenie výstavby drevených mostov v severnej Európe.

2 Krátka história

Pred objavením prvej liatiny (železný most pri Coalbrookdale na rieke Severn, bol otvorený v roku 1781), potom ocele (jeden z prvých najvýznamnejších oceľových mostov – most kráľa Alberta cez Labe, otvorený v roku 1893) a železobetónu, boli kameň a drevo jediným materiálom na stavbu mostov. Zatiaľ čo existujú mnohé skvelé príklady veľmi starých kamenných mostov, neexistujú zo známych dôvodov príklady drevených mostov. Hoci v stredoveku bolo postavených veľké množstvo drevených mostov, väčšina z nich sa už nezachovala. Najznámejší doteraz zachovaný je most Kapellbrücke v Luzerne, ktorý bol postavený medzi rokmi 1300-1333. Tento most v roku 1993 vyhořel, bol však rekonštruovaný.

Most cez Rýn, ktorý postavil Caesar (okolo roku 50 p.n.l.) je považovaný za jeden z prvých významných drevených mostov v Európe. Taliansky architekt Andrea Palladio (1508-1580) je často spájaný s drevenými mostami. Jednak ako priekopník navrhovania drevených



priehradových mostov a jednak ako autor niektorých známych mostov, ako napr. Ponte degli Alpini (1567) v Bassano, ktorý doteraz stojí. Ďalším mostom cez Rýn je most v Schaffenhause vo Švajčiarsku, ktorý zhotovil Ulrich Grubenmann v rokoch 1755-58. Most mal navrhnuté rozpätie 119 metrov, avšak mestská rada prikázala doplniť jednu medziľahlú podperu. Priehradovú oblúkovú konštrukciu s názvom "Colossus" s rozpätím 104 metrov zhotovil v roku 1812 Louis Wernwag. Táto konštrukcia bola označovaná ako architektonické a inžinierske majstrovské dielo.

V USA boli postavené na konci 19 – eho storočia nespočetné veľké drevené mosty. Stavba mostov v tej dobe súvisela s rozvojom železnice. Jeden z nich - „Cascade Bridge” – postavil Thomson Brown v roku 1845. Konštrukcia pozostávala z kombinácie priehradových väzníkov a oblúka s rozpätím 90 metrov. Švajčiarski inžinieri, ktorí túto konštrukciu navštívili, ju popisovali ako jednu z najpôsobivejších mostných konštrukcií v USA.

v 20. storočí sa drevené mosty v dôsledku používania ocele a železobetónu na cestné a železničné mosty postupne vytrácajú. Zachované sú drevené mosty pre menšie rozpätia, ktorých je v severnej Amerike a v Austrálii veľmi veľa. Tieto sú však málo významné a častokrát nie sú cestujúcou verejnosťou vôbec vnímané ako mosty. Konštrukcie z dreva, ktoré sa dostávajú do popredia verejnosti v 20-tom storočí, sú drevené mosty pre peších. Okolo roku 1990 však nastáva zmena – počet cestných mostov z dreva výrazne rastie.

3 Typy a veľkosti

Mosty sa rozdeľujú do dvoch hlavných skupín: mosty (lávky) pre peších a cestné mosty (zaťažené dopravou). V ďalšom sa zameriame na cestné mosty, ale začneme s krátkym prehľadom, týkajúcim sa mostov pre peších.

3.1 Mosty (lávky) pre peších

Mosty pre peších zahŕňajú aj mosty pre cyklistov. Tieto mosty majú rôzne tvary a veľkosti. Väčšina z nich sú jednoduché mosty, buď s masívnymi lepenými lamelovými prierezmi alebo s priehradovými nosníkmi s typickými rozpätiami od 15 až do 30 metrov. Existuje aj veľa inovatívnych a spektakulárnych návrhov, ako napríklad 192-metrov dlhý most v Essingene v Nemecku (maximálne rozpätie je 73 metrov) cez kanál Rýn-Mohan-Dunaj. Most bol postavený v roku 1992 a je na obr. 1.

Ďalším zaujímavým mostom je tzv. Leonardov most – obr. 2. Nórsky umelec Vebjørn Sand sa nechal inšpirovať skicami kamenného mosta Leonarda da Vinci cez "Zlatý roh" (Istanbul – Pera). Záujem (a peniaze) architekta boli v roku korunované značne spektakulárnou drevenou mostnou konštrukciou z lepeného lamelového dreva cez štátnu cestu E-18 v Ås, na juhu od mesta Oslo. Most je dlhý 120 metrov a má rozpätie 40 metrov. Je potrebné dodať, že tento most nahradil jeden z najškaredších mostov pre peších v Nórsku.

Na obr. 3 je ďalší z mladších (2001) mostov pre peších v Nórsku, lokalita Lardal. Most je z lepeného lamelového dreva, ktoré je impregnované tégrovým olejom. V strede mosta je konštrukcia zosilnená oceľovými káblami. Rozpätie mosta je 92 metrov, celková dĺžka približne 130 metrov. Tento most má problémy s dynamickým namáhaním, o čom bude hovorené neskôr.



Obr. 1 Most pre peších cez Rhein-Main-Donau-Kanal v Essingene v Nemecku (Foto: J. Sivertsen)



Obr. 2 Leonardo-most, most pre peších v Ås, na juhu od Oslo, Nórsko (Foto: Moelven Limtre AS)



Obr. 3 Most pre peších v Lardal, Nórsko (Foto: A. Rönnquist)



3.2 Cestné mosty

Prevažná väčšina drevených mostov pre bežnú cestnú dopravu sú doskové a trámové typy s malými rozpätiami (5 – 20 m), často sa jedná o drevo-betónové konštrukcie. Pred 20 – 25 rokmi sa stalo drevo zaujímavým aj pre väčšie rozpätia. V Európe a v severnej Amerike je postavených množstvo mostov stredného rozpätia aj na hlavných cestných ťahoch. Obr. 4, 5 a 6 ukazujú typické príklady moderných drevených cestných mostov.

Na obr. 4 je „Wennerbrücke“ cez rieku Mur pri mestečku Murau v Rakúsku. Bol postavený v roku 1993 a je to pravdepodobne najdlhší drevený most v Európe pre danú kategóriu cesty (Brückenklasse I – prejazd 60-tonového vozidla). Hlavnými nosnými prvkami sú štyri paralelné parabolické trojkĺbové oblúky s rozpätím 45 metrov. Oblúky sú z lepeného lamelového dreva a spolu s vertikálnymi prútmi vytvárajú nosnú štruktúru pre hlavné nosníky, ktoré sú takisto z lepeného lamelového dreva. Na hlavných nosníkoch sú uložené železobetónové priečne predpäté prefabrikáty, ktoré sú navyše spriahnuté pomocou oceľových tŕňov s hlavnými nosníkmi. Celková dĺžka mosta je 85 metrov. Na most bolo použitých 300 m³ lepeného lamelového dreva z červeného smreka (modřínu). Po namontovaní bola drevená konštrukcia opatrená ochranným náterom. Dôležitým efektom pri tomto moste je ochranná funkcia betónovej mostovky (strešný efekt), takže hlavné nosníky nie sú vystavené dažďu a snehu.

Na obr. 5 je most Vihantasalmi v Mäntyharju (Fínsko), 180 km severne od mesta Helsinki. Hlavný nosný systém pozostáva z troch vešadiel z lepeného lamelového dreva, každé s rozpätím 42 metrov. Celková dĺžka mosta je 182 m, most bol postavený v roku 1999. Mostovku tvoria pozdĺžniky z lepeného lamelového dreva, vystuženie je realizované oceľovými priehradovými konštrukciami a vozovka je z betónu. Drevo je impregnované térovým olejom.

Most Tynset, ktorý je na obr. 6, je tvorený tromi oblúkovými konštrukciami. Hlavný oblúk je dvojkĺbový, samotná konštrukcia oblúka je priehradová. Jeho rozpätie je 70 m, ďalšie dve oblúkové konštrukcie sú trojkĺbové, sú takisto z lepeného lamelového dreva. Ich rozpätie je 26,5 m. Celá drevená konštrukcia je impregnovaná térovým olejom a horizontálne plochy sú chránené medeným plechom. Oblúky sú nosnými prvkami pre oceľové priečniky, na ktorých je uložená vozovka. Vozovka má hrúbku 223 mm a pozostáva z impregnovaných drevených prvkov. Celková dĺžka mosta je 124 m, most bol postavený v roku 2001.



Obr. 4 “Wennerbrücke” cez rieku Mur pri Murau, Rakúsko
(Foto: Institut für Holzbau und Holztechnologie, TU Graz)



Obr. 5 Most Vihantasalmi v Mäntyharju, Fínsko (Foto: K.Bell)



Obr. 6 Most Tynset, Nórsko (Foto: K.Bell)

4 Nosné systémy

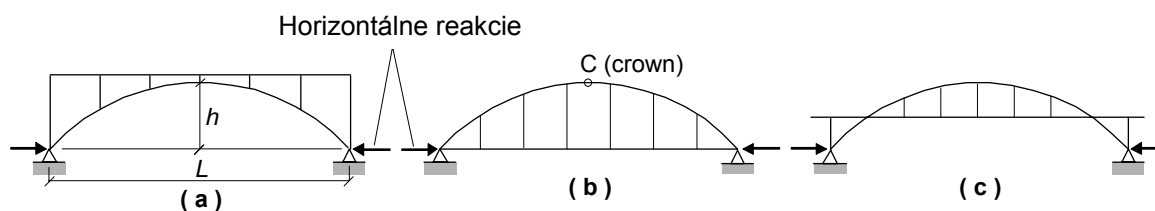
Predchádzajúce príklady sú typické pre moderné mostné staviteľstvo a zároveň poukazujú na možnosti, týkajúce sa vzťahu medzi súčasnými technologickými možnosťami a rozpätím dreveného mosta. Pri vhodných podmienkach by pravdepodobne mohli byť realizované drevené mostné konštrukcie s rozpätím nad 100 m. Zatiaľ sú „bežné“ rozpätia drevených mostov od 5 do 75 m.

4.1 Oblúky

Skutočnosť, polovica vyššie predstavených mostov sú oblúkové konštrukcie, nie je náhodná. Väčšina moderných drevených cestných mostov sú oblúkové konštrukcie rôzneho druhu. Rovnomerne rozdelené zaťaženie prenáša oblúková konštrukcia takmer výhradne osovým tlakom, čím sa táto forma konštrukcie stáva veľmi priaznivou z ekonomického hľadiska.

4.1.1 Geometria, materiál a skladba konštrukcie

Principiálne rozlišujeme tri rôzne návrhy oblúkových mostov – obr. 7. Oblúk má tvar paraboly (Wennerbrücke) alebo kružnice (Tynset). Pomer medzi rozpätím (L) a vzopätím (h) – L/h – má hodnoty od 4 do 8. Materiál je prakticky vo všetkých prípadoch lepené lamelové drevo. Prierez oblúka je obdĺžnik pre rozpätia do 50 m, pri väčších rozpätiach sa používajú priehradové oblúky. Možnosti výroby a možnosti prepravy jednotlivých dielcov limitujú aj samotnú veľkosť jednotlivých častí. Aj z týchto dôvodov sa väčšinou používa systém trojkĺbového oblúka, ako je ukázané na obr. 7b. Výhody trojkĺbového oblúka (staticky určitého systému) sa využívajú v prípadoch zmeny vlhkosti, zmeny teploty a v prípade sadania konštrukcie.



Obr. 7 Typy oblúkových konštrukcií

Na obr. 7a je oblúková konštrukcia s hornou mostovkou (prípád Wennerbrücke). Mostovka je podopretá zvislými prútmi, ktoré prenášajú osové tlakové sily z mostovky do oblúka. Na obr. 7b je oblúk nad mostovkou, ktorá je zavesená pomocou oceľových (alebo drevených) tiahel na oblúku. V poslednom prípade na obr. 7c sa jedná o medziľahlú mostovku. Vo všetkých prípadoch je zvislé zaťaženie – vlastná tiaž konštrukcie, stále a premenné zaťaženia – prenášané do oblúka vertikálnymi prvkami. Oblúk následne prenáša zaťaženia do podpôr mosta spravidla ako osové tlakové sily. V prípadoch a) a c) musí byť horizontálna zložka síl prenesená priamo podperami, čo môže byť v niektorých prípadoch problematické. V prípade b) existujú dve možnosti prenesenia horizontálnych zložiek – buď priamo podperami (ako v prípade a)) alebo vytvorením tiahla v rovine mostovky.

Ak sú podpory mosta umiestnené pod vozovkou, ako je to v prípade 7a, vznikajú tri zreteľné výhody: 1.) Vozovka chráni konštrukciu mosta ako „strecha“, 2.) nie je obmedzený počet (paralelných) oblúkov a 3.) priečna tuhosť podpôr je spravidla jednoducho dosiahnuteľná.

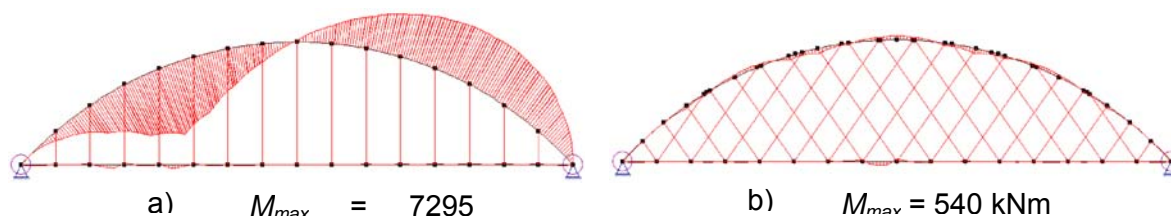
V mnohých prípadoch sa kvôli konfigurácii terénu nedá takéto riešenie použiť a oblúky musia byť umiestnené nad mostovkou – obr. 7b. Toto riešenie a tiež riešenie 7c so sebou prináša možné použitie iba dvoch oblúkov po stranách mosta.

4.1.2 Niektoré problémy oblúkových mostov

Ak sú oblúky umiestnené nad mostovkou, môže vzniknúť problém zabezpečenia tuhosti oblúkov v priečnom smere. Jednoduchým riešením je umiestnenie „vetrového vystužovadla“ medzi oblúky. Vystužovadlo musí byť v dostatočnej výške, aby bola zachovaná plánovaná prejazdna výška. Samotné oblúky tvoria pásy vystužovadla. Príkladom je most Tynset – obr. 6. V takomto prípade je potrebné ešte riešiť relatívne veľkú voľnú dĺžku pásov vystužovadla, čo si vyžaduje dodatočné opatrenia.

Pre kratšie rozpätia nedovoľuje takéto riešenie nízka stavebná výška oblúka. Preto je potrebné hľadať iné možnosti. V oboch menších oblúkoch mosta Tynset (obr. 6), ktoré mali rozpätie $L = 26,5$ m a výšku $h = 5,8$ m, nebol na vytvorenie vystužovadla priestor. Namiesto toho sú oba stredné závesy zhotovené z oceľových profilov s pomerne veľkou ohybovou tuhosťou a sú tuho pripojené na oceľový priečnik mosta. Bol tak vytvorený oceľový polrám, ktorý podopiera oba drevené oblúky v najvyššom mieste.

Vertikálne závesy (a vzpery v prípade oblúkov so spodnou mostovkou) namáhajú oblúk nielen osovými silami, ale aj priečnymi silami a ohybovými momentami. Oba obrázky ohybových momentov (obr. 8), prevzaté z návrhu oblúkového mosta rozpätia 80 m, veľmi zreteľne demonštrujú popísané skutočnosti. Obr. 8a ukazuje priebeh ohybových momentov pri štandardnom riešení s vertikálnymi závesmi. Obr. 8b ukazuje alternatívne riešenie, v ktorom sú závesy umiestnené diagonálne, tzv. mriežkový oblúk.

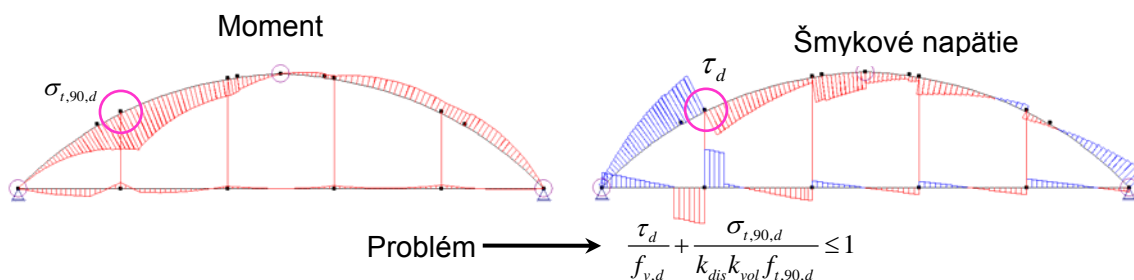


Obr.8 Priebeh ohybových momentov pre dve rôzne usporiadania závesov pri rovnakom zaťažení

Priebehy ohybových momentov sú nakreslené v tej istej mierke. Zaťaženie oboch modelov bolo rovnaké, pričom premenné zaťaženie od dopravy bolo umiestňované do miest, kde vyvolávalo extrémne hodnoty ohybových momentov. Osové sily v oblúku nie sú veľmi rozdielne, pre prípad 8b sú trochu menšie. Je zrejmé, že mriežková konštrukcia odvádza zaťaženie do oblúka oveľa priaznivejšie. Avšak aj tento systém má svoje nedostatky.

Veľké ohybové momenty a priečne sily, ktoré vznikajú od koncentrovaného zaťaženia pôsobiaceho v mieste pripojenia závesov, spôsobujú určité problémy. Jeden zo špeciálnych problémov je namáhanie prierezu ťahom kolmo na vlákna. Na obr. 9 je znázornený priebeh

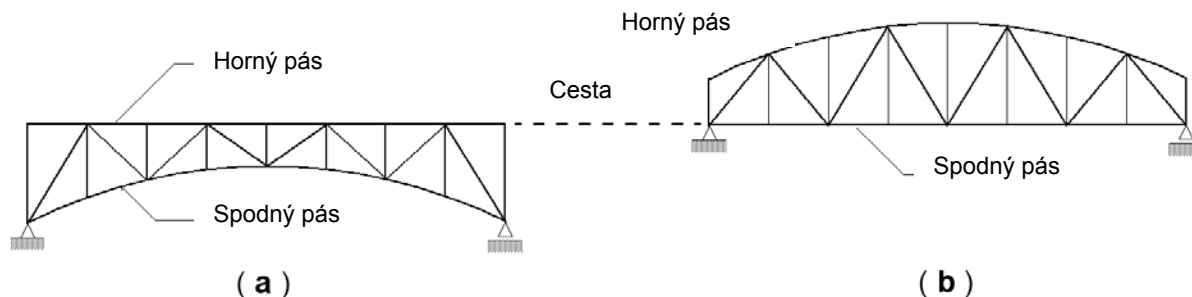
ohybových momentov a priečnych síl na menšom z oblúkov mosta Tynset (obr. 6). Priebek bol získaný analýzou rovinného modelu pri pôsobení zaťaženia v blízkosti vľavo umiestneného závesu. Ohybový moment na ľavej strane oblúka vyvolá ťahové namáhanie na konkávnej strane, čím vzniká ťah kolmo k smeru vlákien. Na mieste maximálneho momentu a maximálneho ťahu kolmo k vláknám ($\sigma_{t,90,d}$) pôsobí aj veľké šmykové napätie (τ_d). Prierez v danom mieste sa posudzuje podľa vzťahov uvedených v EN 1995-1-1 (EC5-1), rovnica (6.53), kombinácia ťahu kolmo k vláknám a šmyku.



Obr.9 Kombinácia ťahu kolmo k vláknám a šmyku – problém oblúčkových konštrukcií s vertikálnymi závesmi

4.2 Priehradové nosníky

Alternatívou cestných oblúčkových mostov s rozpätím väčším ako 20 m sú priehradové konštrukcie. Opäť rozlišujeme tri konfigurácie podľa obr. 7: rovnopásový priehradový väzník môže byť pod úrovňou mostovky – obr.10a, čo umožňuje použiť viac ako dva priehradové väzníky, priehradový väzník so spodnou mostovkou – obr.10b a tretia, trochu nezvyčajná konfigurácia je priehradový väzník s medziľahlou mostovkou. Pri mostoch s veľkými rozpätiami s hornou mostovkou býva zvyčajne spodný pás priehradového väzníka zakrivený – obr.10a. Pri mostoch s veľkými rozpätiami so spodnou mostovkou býva zvyčajne zakrivený horný pás priehradového väzníka – obr.10b. Priehradový väzník má v porovnaní s oblúčkovou konštrukciou výhodu – v miestach uloženia nevznikajú veľké horizontálne reakcie. Z výrobného a dopravného hľadiska sú obmedzenia pre priehradové nosníky o niečo menšie, pretože v rámci priehradového nosníka je spájanie prútov relatívne jednoduché. Pri mostoch so spodnou mostovkou je potrebné venovať pozornosť stabilizácii horného pásu priehradového väzníka, čo býva často neľahká úloha.



Obr. 10 Príklady priehradových konštrukcií pre cestné mosty, a) s hornou mostovkou, b) so spodnou mostovkou



4.3 Iné systémy

Pre cestné mosty s rozpätiami medzi 20 až 25 metrov sa najčastejšie používajú oblúky a priehradové nosníky. Pre veľmi malé rozpätia v intervale 15 až 20 metrov sa používajú rôzne veľkoplošné prvky. Pre ešte menšie rozpätia sa používajú trámové mosty, pričom drevené hlavné nosníky sú častokrát spriahnuté s betónovou doskou.

Pre mosty pre peších je použitie podobné ako pri cestných mostoch, pričom existuje oveľa výraznejšia rôznorodosť kombinovaných systémov, častokrát s oceľovými lanami ako dodatočnými prvkami (visuté a zavesené konštrukcie).

5 Mostovky

Nespočetné množstvo drevených mostov pre peších má mostovku z dreva, od jednoduchých dosiek alebo lát až po vrstvené veľkoplošné dosky, ktorých sortiment je naozaj veľmi široký. V prípade cestných mostov je situácia komplexnejšia. Štandardným stavebným materiálom je železobetón, oceľ a drevo sú používané v rôznych kombináciách – od „čistého“ železobetónu až k „čistému“ drevu. Ponúka sa otázka, koľko dreva má byť použitého v konštrukcii, aby sme mohli most označiť ako „drevený“? Zvyčajne rozhoduje dominujúci materiál hlavného nosného systému. Keďže mostovka je v prevažnej väčšine mostov sekundárnym systémom, nie je jej materiál prioritný na označenie mosta. Preto je Wennerbrücke (Obr. 6) definitívne drevený most, aj keď jeho mostovka je železobetónová.

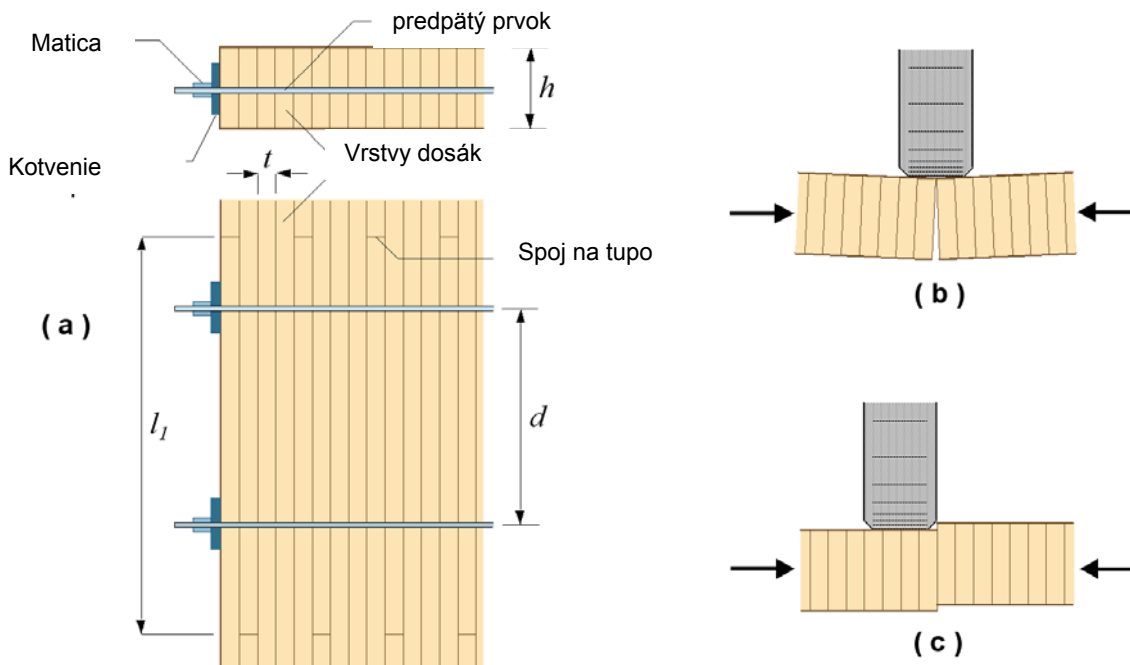
Z dôvodu obmedzeného priestoru pre túto kapitolu sa v ďalšom sústredíme na špeciálny typ mostovky, ktorá je zhotovená z dreva – priečne predpätú mostovku. Myšlienka pochádza z Kanady, kde bola použitá prvýkrát v roku 1976 Ministerstvom dopravy v Ontariu na sanáciu poškodenej drevenej klincovanej mostovky. Metóda bola úspešná a ukázalo sa, že je použiteľná aj na nové mosty. Táto mostovka bola vyvinutá v Kanade a USA, ale veľmi skoro sa začala používať aj v Európe a v Austrálii.

Základná myšlienka je schematicky znázornená na obr. 11. Drevené lamely (dosky alebo lepené lamelové nosníky) sú naskladané tesne vedľa seba po celej šírke mostovky. Následne sú spojené priečnymi oceľovými prútmi, ktoré prechádzajú cez predvrtané diery v pravidelných odstupoch (d). Oceľové prúty sú potom predopnuté. Na obr. 11b vidíme, že priečny ohyb spôsobuje otvorenie škáry na spodnej hrane mostovky. Na obr. 11c je znázornená tendencia vertikálneho posunu medzi jednotlivými doskami vplyvom priečného šmyku. Proti obom efektom pôsobia predpínacie sily. Vo väčšine noriem, taktiež v Eurokóde 5 - EN 1995-2 (EC5-2), je pojednávané o stanovení veľkosti prepínacích síl.

Dĺžka lamiel je obmedzená. Ich nastavovanie je natupo, je znázornené na obr. 11a. EC5-2 odporúča, aby na úseku dĺžky l_1 bolo najviac jedno takéto nastavenie pre štyri rady dosiek. Dĺžka l_1 je definovaná ako minimum z hodnôt:

$$2d, 30t \text{ a } 1,2 \text{ m}$$

pričom t je hrúbka lamely (dosky) a d je vzdialenosť medzi predpínacími prútmi (pozi obr. 11).



Obr. 11 Priečne predpäté drevené dosky – pojmy a princípy

V Nórsku majú takmer všetky drevené cestné mosty, postavené v ostatných desiatich rokoch priečne predpäté mostovky, ktoré sú zložené z lamiel s rozmerami 48x223 mm. Lamely sú z borovicového dreva a sú impregnované térovým olejom. Dĺžka lamiel je okolo 6 m. Predpäté prúty sú rovnaké, ako sa používajú v predpätom betóne (väčšinou Dywidag 15 FW) sú spravidla rozmiestnené vo vzdialenostiach (d) 600 mm. Počiatočné predpätie má hodnotu okolo 1 MPa. Ak sa predpína iba v jednom kroku, vytratí sa väčšia časť predpätia (viac ako 80 %) v dôsledku dotvarovania dreva a v dôsledku zmeny vlhkosti. Správny postup je taký, že po určitom čase (6 – 12 mesiacov) sa predpínacie káble opätovne dopnú. Na obr. 12 je pokládka mostovky na moste Evenstad (1996) a detail predpínacích prvkov na ďalšom nórskom moste (Måsør, 2005). Pokládka mostovky tohoto typu si vyžaduje určitú logistiku. Pri moste Evenstad bolo v konštrukcii mostovky použitých viac ako 40 rôznych predvŕtaných lamiel (most má dĺžku cca 180 m) a každá lamela bola starostlivo popísaná svojím typovým číslom.

Maximálna výška (h) bežne dostupného reziva v Nórsku je 223 mm. S touto sa dá dosiahnuť rozpätie priečne predpätej mostovky drevených cestných mostov asi 5 m. Pre vnútorné polia mostovky je táto hodnota o niečo vyššia a pre krajné polia o niečo nižšia. Použitím lamiel z lepeného dreva sa dá rozpätie zväčšiť.



Obr. 12 Pokládka mostovky mosta Evenstad (Foto: Moelven Limtre) a detail mosta Måsør (Foto: K. Bell)

Je veľmi dôležité, aby dažďová voda neprenikla cez asfaltovú vozovku k drevu. Ako izolačná vrstva medzi asfalt a drevo sa používa špeciálna membrána. Odkedy sa používa tento relatívne nový koncept zhotovovania mostovky, je očakávaná trvanlivosť konštrukcie oveľa vyššia. Správa verejných ciest v Nórsku vynaložila veľké prostriedky na sledovanie drevených mostov s popísanou konštrukciou priečne predpätej drevenej mostovky. Sledovanými vlastnosťami sú predovšetkým vlhkosť dreva a strata predpätia. Je priskoro na silné argumenty, avšak niektoré merania jednoznačne dokazujú, že vlhkosť dreva pod nepriepustnou membránou sa stabilizuje na hodnote približne 10 % nezávisle od vlhkosti okolitého prostredia. Strata predpínacej sily je najvýraznejšia po prvom predpätí, po opakovanom predpätí má tendenciu stabilizovať sa. Predpínacia sily závisí výrazne od zmien teploty.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že priečne predpätá drevená mostovka sa správa ako ortotropná doska. Norma EC5-2 odporúča, aby takáto mostovka bola analyzovaná resp. navrhovaná ako ortotropná doska. Pri zjednodušenom modelovaní je možné mostovku namodelovať ako tuhú dosku alebo pri zložitejších modeloch ako sústavu jednotlivých prútov v smere vrstiev. Norma pevne stanovuje vlastnosti materiálu, ktoré majú byť použité a uvádza odporúčania pre výpočet efektívnej šírky.

Norma zároveň predpisuje postup kontroly ohybovej a šmykovej tuhosti.



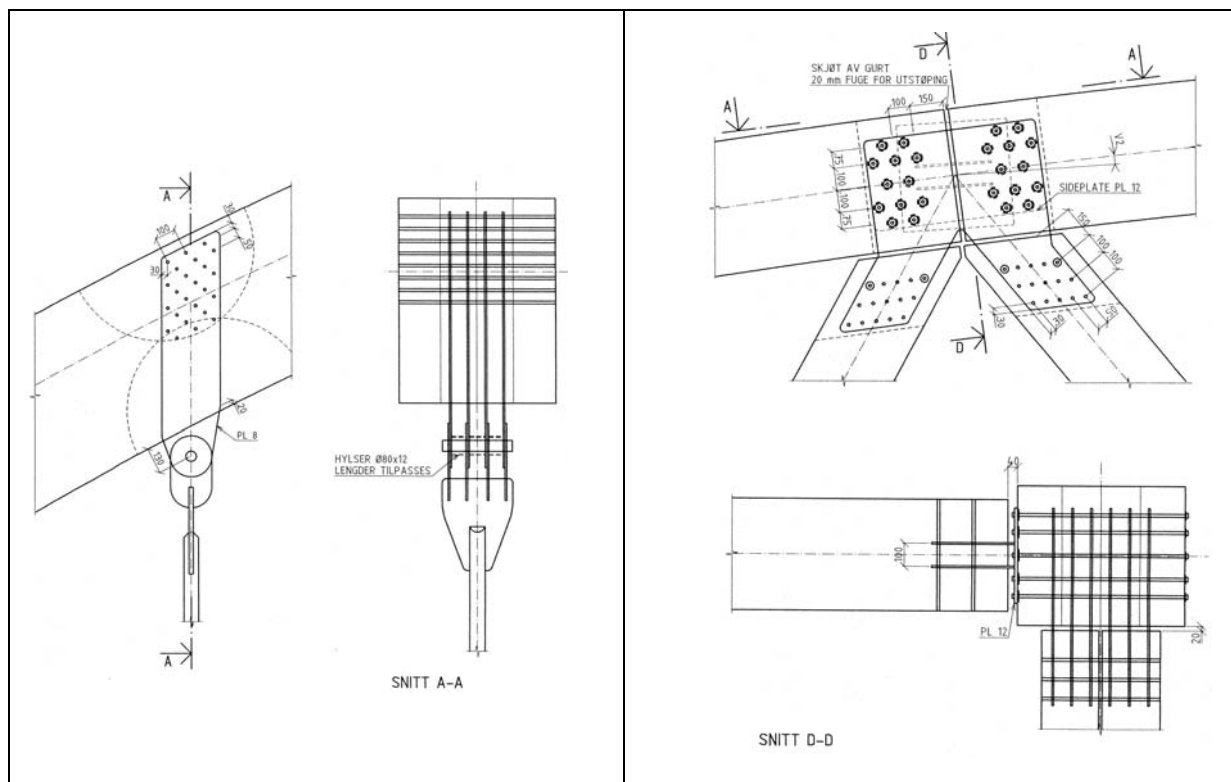
6 Prípoje a detaily

Prípoje hrajú veľmi dôležitú úlohu vo všetkých druhoch nosných drevených konštrukciách každej veľkosti, mosty z toho nevynímajúc. Ich úloha v týchto konštrukciách je ešte zložitejšia, pretože mosty sa nachádzajú v triede použitia 3. Veľké cestné mosty prinášajú so sebou vysoké nároky na vytvorenie správnych detailov.

Kvôli nedostatku miesta v tejto publikácii a nedostatku skúseností autora obmedzíme tento problém na „nórske riešenia“, ktoré podrobne popisuje použitie liatinových koncoviek a svorníkov resp. kolíkov. Tento typ prípoja bol použitý pri veľmi veľkých drevených konštrukciách, postavených firmou Moelven Limtre AS pred olympijskými hrami v Lillehammer 1994. Ak sa tento typ prípoja, vyvinutý pre chránené prostredie, osadí do surových klimatických podmienok Nórska, tak si to bude vyžadovať vážne zamyslenie sa. V konečnom dôsledku boli prípoje použiteľné. Kvalita ocele, rozmery a ochrana proti korózii stáli na popredí záujmu s cieľom dosiahnuť požadovateľnú životnosť konštrukcie, stanovenú na 100 rokov. V závislosti od toho, ako boli jednotlivé prípoje chránené pred dažďom a/alebo striekajúcou vodou, bola na niektoré časti použitá nerezová oceľ.

Na obr. 13 sú niektoré typické príklady, reprodukované s dovoľením Moelven Limtre AS, ktorí v spolupráci s Norconsult AS tieto prípoje vyvinuli. Obidva príklady sú z mosta Tynset (pozri obr. 6 a 9). Na ľavej strane obr. 13 je prípoj ľavého závesu (z obr. 9) na oblúk (prípoj je v kruhu). Musíme pripomenúť, že masívny prierez oblúka pozostáva skutočne zo štyroch vzájomne zlepených prierezov celkovej šírky 710 mm. Drážky pre oceľové plechy sú vyrezané z oboch strán (čiarkovaný krúžok). Oblúk je z hornej strany chránený pred dažďom oplechovaním z medeného plechu. Na pravej strane obr. 13 je prípoj horného pásu hlavného priehradového oblúka. Oblúk je stykovaný v tomto mieste, navyše sú v tomto mieste pripojené aj diagonály vetrového vystužovadla. Za pozornosť stojí 20 mm medzera medzi diagonálami a horným pásom. Táto medzera bola zainjektovaná po namontovaní oblúka špeciálnym lepidlom, ktoré je po vytvrdnutí schopné prenášať väčšie tlakové napätia, ako drevo.

Trvanlivosť drevených konštrukcií v exteriéri je závislá predovšetkým od vlhkosti. Pravidlom číslo jedna je ochrana konštrukcie pred vodou a pravidlo číslo dva je možnosť „ventilácie“ tých miest, ktoré sú vodou zasiahnuté. Správny návrh detailov je v tomto prípade veľmi dôležitý. Inšpekcie mnohých drevených mostov pre peších v Nórsku ukázali, že väčšina objavených poškodení bola spôsobená nesprávnym návrhom detailov, ako napr. nechránené čelné plochy, nedostatok miesta na prevetrávanie konštrukcie, atď. Detaily môžu ovplyvniť aj celkovú estetiku mosta. Obr. 14 ukazuje dva detaily na moste Tynsets (obr. 6) – prvý je vrcholový kĺb dvoch menších oblúkov, na druhom je miesto uloženia oblúkov. V týchto prípadoch dosiahol architekt veľmi pôsobivý efekt.



Obr. 13 Príklady prípojov na moste Tynset (reprodukováné s povolením Moelven Limtre AS)

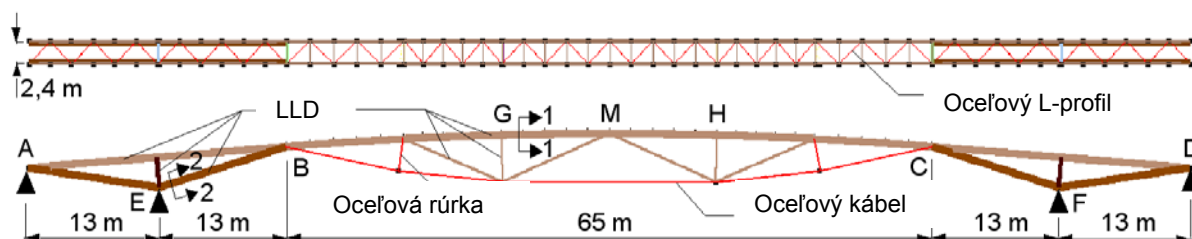


Obr. 14 – Detaily mosta Tynset (Foto: K. Bell)

7 Dynamické efekty

Drevené cestné mosty nie sú zvyčajne štíhle konštrukcie, a preto v nich nevznikajú nejaké vážne dynamické efekty. Okrem seizmického zaťaženia, ktoré ovplyvňuje návrh všetkých konštrukcií v seizmických oblastiach, je únava pravdepodobne najvážnejší dynamický efekt, vyskytujúci sa pri cestných mostoch. V prípade drevených mostov je zaťaženie dopravou v bežných prípadoch väčšie, ako zaťaženie stále (v porovnaní s mostami z iných materiálov). Preto aj napätia vyplývajúce z pôsobenia premenného zaťaženia sú väčšie v porovnaní s napätiami od zaťaženia stáleho. Únava je jav, ktorý sa netýka dreva samotného, ale hlavne prípojov. Experimenty so svorníkovými prípojmi, uskutočnené na viacerých nórskech mostoch, ukázali, že v prípade únavového namáhania zlyhávali konštrukcie v prípochoch. Získané výsledky (spolu s výsledkami z iných krajín) boli využité na stanovenie požiadaviek v norme EC5-2 (Annex A) pre tento typ namáhania.

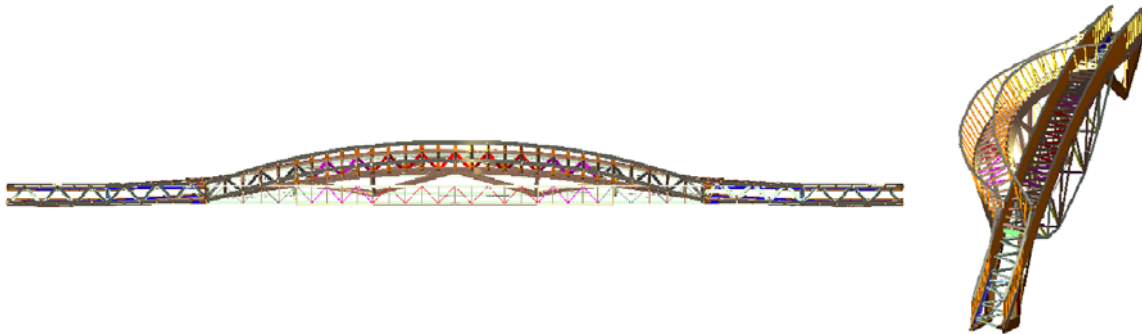
Zatiaľ čo sú vibrácie drevených cestných mostov za normálnych okolností zanedbateľné, nie je tomu tak u mostov pre peších. Mosty pre peších sú často navrhované ako veľmi štíhle konštrukcie. Chodci vyvolávajú vibrácie, ktoré môžu byť v určitom prípade pre konštrukcie problémom. Táto tematika je spracovaná v EC5-2 v prílohe B (Annex B). Ako príklad je možné uviesť most pre peších Lardal (obr. 3), ktorého výpočtový model je znázornený na obr. 15.



Obr. 15 Nosný systém mosta pre peších Lardal (pozri aj obr. 3)

V deň otvorenia mosta prišlo na most množstvo ľudí. Zopakovali sa udalosti z Londýna, tzv. „London Millenium Bridge Syndrom“: ľudia pociťovali malé vibrácie, z obavy pred poruchou konštrukcie sa natlačili k zábradliu. Potom prišlo prekvapenie pre projektantov, pretože pri návrhu mosta neboli skúmané vlastné tvary a frekvencie. Analýza mosta bola predmetom dizertačnej práce [2] a problém (ešte stále nie je doriešený) bol prezentovaný aj na konferencii WCTE 2006 v Portlande [3]. Vlastný tvar konštrukcie, ktorý tieto problémy spôsobil, je ukázaný na obr.16.

Vypočítaná vlastná frekvencia je rovnaká, ako je hodnota aktuálneho merania na moste. Prvé vlastné tvary v krútení a vertikálnom smere s nameranými frekvenciami 1,12 Hz a 1,45 Hz neboli pri bežnom užívaní mosta chodcami dosiahnuté.



Obr. 16 – Prvý horizontálny tvar mosta Lardal – vlastná frekvencia 0,83 Hz

V [3] sú navrhované rôzne bočné vystuženia. Predbežný záver hovorí, že v súčasnosti dosahuje pomer šírky a rozpätia tohoto mosta hraničnú hodnotu. (Stále je to veľmi štíhla konštrukcia.)



8 Ochrana a životnosť

Mostné konštrukcie sú zvyčajne navrhované tak, aby ich životnosť bola 60 až 100 rokov. V Nórsku toto platí aj pre drevené mosty. Je to možné aj bez náročných a drahých opatrení? Odpoveď na túto otázku môže byť rôznorodá, závisí od použitého materiálu a krajiny. Niektoré krajiny sú totiž prísnejšie v otázkach chemickej ochrany dreva.

Moderné drevené mosty nie sú užívané ešte dostatočne dlho na to, aby sa dali urobiť presvedčivé závery o ich životnosti. Keď sa však obzrieme do minulosti, mnohé drevené mosty boli plne funkčné aj viac ako 100 rokov. Zdá sa, že je možné stavať drevené mosty na potrebnú dobu užívania. Hlavným nepriateľom je vlhkosť. Ako bolo v predošlom popísané, je potrebné zabrániť vode, aby prenikala do konštrukcie. To nie je vždy celkom možné. A ak sa aj podarí navrhnuť adekvátnu ochranu proti vode a snehu, má drevo stále tendenciu získavať vlhkosť z okolitého prostredia. Preto je rovnako dôležité zaistiť dostatočné vetranie konštrukcie.

Schopnosť odolávať pôsobeniu vlhkosti je závislá od typu a kvality dreva. V Nórsku je používané takmer výlučne drevo zo smreka a borovice. Sibírsky červený smrek, ktorý veľmi dobre odoláva zmenám vlhkosti, sa používa veľmi zriedkavo v porovnaní s inými krajinami. Experimenty, ktoré boli uskutočnené v Nórsku ukazujú, že odolnosť červeného smreka voči vlhkosti nie je výrazne vyššia, ako je odolnosť jadrového dreva borovice.

Chemické prostriedky môžu odolnosť a životnosť dreva výrazne zvýšiť, predovšetkým, ak sú aplikované tlakovou impregnáciou. V Nórsku je kandidátom vhodným na tlakovú impregnáciu iba borovica. Ochranné látky sú buď soli (napr. medi) alebo térový olej. Pravidlá pre používanie chemickej ochrany sú v rôznych krajinách rôzne. Fínsko a Nórsko boli v otázke chemickej ochrany dreva veľmi liberálne, používanie solí a térového oleja je dodnes pre niektoré typy konštrukcií povolené. Sú to napr. mosty, stĺpy vysokého napätia a stĺpy rôznych iných sietí. Prax v Nórsku používa dvojnásobné množstvá chemických prostriedkov. Ochrana spočíva v tlakovej soľnej impregnácii lamiel ešte pred lepením a následne v tlakovej impregnácii hotových dielcov (napr. polovice oblúka trojkĺbového mosta) térovým olejom. Napriek značne masívnej chemickej ochrane sú horizontálne plochy chránené aj „mechanicky“, napríklad oplechovaním. Ako príklad môže slúžiť most Tynset (obr. 8). Horné hrany oblúkov sú chránené medeným plechom a oplechované sú tiež spodné pásy hlavného priehradového oblúka.

Ďalším príkladom moderného mosta je most Fretheim na obr. 17. Trojkĺbový oblúk má rozpätie asi 40 m. Na obrázkoch je zreteľne vidieť „medené zastrešenie“. Na obrázku sú miesta uloženia oblúka spolu s vodorovnými ocelovými tiahkami v úrovni mostovky. Obe strany oblúka sú chránené tlakovo naimpregnovanými drevenými žalúziami, ktoré chránia oblúky nielen pred dažďom, ale aj pred slnečným žiarením. Predsadením žalúzií sa dosiahla zároveň možnosť prevetrávania hlavných oblúkov. Hlavný oblúk nie je impregnovaný térovým olejom, impregnované boli iba lamely pri výrobe lepeného lamelového prierezu. Pri takomto spôsobe ochrany sa ponúka otázka, či je impregnácia lamiel dôležitá.

Vo väčšine krajín sú predpisy týkajúce sa chemickej ochrany dreva oveľa prísnejšie v porovnaní s aktuálnymi predpismi v Nórsku. Je takmer isté, že aj Nórsko bude musieť postupne prijať prísnejšie podmienky väčšiny európskych štátov. Oblúky mosta Fretheim na obr. 17 sú uvedené ako príklad konštrukcie, ktorá je chemicky chránená iba minimálne. Oblúky by mali vydržať aj bez akejkoľvek chemickej ochrany. „Žalúzie“ po stranách oblúka

mohli byť takisto bez impregnácie. Budú zrejme potrebovať po určitom čase obnovu náteru, pričom obnova náteru sa dá zhotoviť aj na demontovaných prvkoch.



Obr. 17 Most Fretheim, lokalita Flåm na západe Nórska (Foto: R. Abrahamsen, SWECO Grøner AS)

Ak to bude nutné, prichádza do úvahy aj kompletná výmena žalúzií, u ktorej nepredpokladáme nejaké vysoké náklady.

Je zaujímavé, že pre most Wennerbrücke (obr. 4), ktorý je už 15 rokov v prevádzke, sa pripravuje projekt dodatočnej ochrany. Pripravuje sa ochrana vonkajších strán oblúkov a vzpier formou dreveného obkladu. Obklad bude chrániť „vonkajšie plochy“ drevenej konštrukcie proti dažďu v prípade fúkania vetra a proti slnečnému žiareniu. Projekt v čase prípravy tejto publikácie nebol ukončený.

Ak je konštrukcia správne navrhnutá a dostatočne chránená, sú náklady na údržbu dreveného mosta porovnateľné s nákladmi pre oceľové alebo železobetónové mosty. Ak má most drevenú priečne predpätú mostovku, musia byť predpínacie prvky po určitom období dopínané. Doterajšie skúsenosti z Nórska ukazujú, že údržbový interval je pri drevených mostoch asi 15 rokov. Tento typ mostovky nepotrebuje žiadne špeciálne dilatácie. Merania ukázali, že vlhkosť mostovky sa v priebehu roka mení veľmi málo. Zároveň pri usporiadaní lamiel v pozdĺžnom smere mosta je rozťažnosť mostovky (v smere vlákien) vplyvom teplotných zmien veľmi malá. Na moste Evenstad (obr. 12), ktorého priečne predpätá mostovka má dĺžku 180 m, nie sú osadené dilatácie mostovky a na hornej vrstve asfaltu neboli pozorované žiadne výrazné trhliny. Nepatrné trhliny boli objavené nad jednotlivými priečnikmi.



9 Montáž a hospodárnosť

Jeden z najpresvedčivejších argumentov, hovoriacich v prospech drevených mostov, je ich rýchla a relatívne jednoduchá montáž. Jednotlivé segmenty mosta môžu byť zmontované na stavbe a vďaka pomerne malej hmotnosti môžu byť pomocou mobilných žeriavov osadené na podpory. Na obr. 18 vľavo je jedno pole mosta Evenstad, ktorý premostňuje rieku Glomma na juhu Nórska. Na obrázku vpravo je osádzanie mosta na železobetónové podpory. Tento most pozostáva z piatich rovnakých priehradových polí, bolo použité lepené lamelové drevo impregnované térovým olejom. Rozpätia jednotlivých polí sú 36 m. Každé pole bolo montované na stavbe, privezené na dočasnú cestu (rovnobežnú s mostom), postavenú v rieke a potom osadené na podpory. Po osadení celého mosta bola dočasná cesta odstránená. Mostovka je drevená (obr. 12).



Obr. 18 Montáž mosta Evenstad v roku 1996 (Foto: Moelven Limtre AS)

Všetky drevené cestné mosty, ktoré boli v Nórsku postavené za posledných desať rokov, boli dôkladne analyzované podľa rôznych kritérií, pričom hospodárnosť stavby bolo jedným z rozhodujúcich kritérií. Vo väčšine prípadov vyšli zo súťaže víťazne drevené konštrukcie pred konštrukciami zo železobetónu a ocele. Bolo to hlavne v prípadoch oblúkových a priehradových konštrukcií. Pre most Tynset (obr. 6) bola najhospodárnejšia ponuka jednoduchý trámový oceľový most. Obyvatelia Tynset-u však požadovali podobný tvar konštrukcie, aký mal pôvodný most s jedným jazdným pruhom. Oblúkový variant oceľového mosta bol drahší ako vybraný oblúkový variant z dreva.

Pre rozpätia od 5 do 50 m sú drevené alebo drevo-betónové mosty atraktívnymi alternatívami nielen v Nórsku, ale aj vo Švédsku a Fínsku. Poloha mosta môže zohrať pri výbere materiálu a typu konštrukcie významnú úlohu. Ak je vyžadovaná rýchla montáž, tak drevené mosty môžu v konkurencii iných materiálov obstáť veľmi dobre.



10 Projekt „Nordic Timber Bridge“

Oživenie stavby drevených mostov v ostatných rokoch v severských krajinách je výsledkom projektu „Nordic Timber Bridge“, ktorý prebiehal v troch fázach v rokoch 1994 – 2001. Hlavnou úlohou projektu bolo preukázať vhodnosť dreva na stavbu mostov. Konkurencieschopnosť dreva voči betónu a oceli bola dokázaná na mnohých postavených mostoch. Na projekte spolupracovali Nórsko, Fínsko a Švédsko, Dánsko v prvých dvoch fázach a Estónsko figurovalo ako pozorovateľ v prvej fáze projektu.

Celkovú sumu približne 20 miliónov nórskeho korón poskytli: drevársky priemysel a správa ciest a mostov (50 %), nórsky priemyselný fond a „Nórske drevo“ (30 %), štátny výskumný fond (20 %). Celý projekt pozostával asi z dvadsiatich čiastkových projektov, ktoré pokryli celú oblasť problematiky drevených mostov. Počnúc prieskumom trhu, pokračujúc návrhom konštrukcií a končiac určením životnosti konštrukcií. Každý čiastkový projekt bol ukončený záverečnou správou.

Boli zorganizované tri „Nordic Timber Bridge“ konferencie a množstvo národných workshopov a seminárov. Bolo publikovaných množstvo príspevkov v časopisoch a novinách. Dôležitým výsledkom projektu bolo objavenie nadšencov, ktorí prekonalí zakorenený skepticizmus voči dreveným mostom a podieľali sa na vybudovaní pilotných projektov.

Viac podrobností o tomto projekte môžete získať prostredníctvom kontaktných osôb, uvedených v literatúre na konci tejto kapitoly.

11 Závery

Silný nórsky akcent tejto kapitoly neznamená, že Nórsko hrá v stavbe drevených mostov vedúcu úlohu. Je to súhrn skúseností autora. Niektoré uvedené riešenia sú platné špeciálne iba pre Nórsko, hlavne problematika značne liberálnych pravidiel pri posudzovaní chemickej ochrany konštrukcií. Dúfam však, že táto kapitola ponúkla prehľad o modernom mostnom staviteľstve z dreva. Požiadavky na trvalo udržateľný rozvoj aj v oblasti drevených mostov prinesie so sebou prísne obmedzenia, týkajúce sa používania chemických látok na ochranu dreva. Je možné, že budú vyvinuté nové konštrukcie s novými spôsobmi ochrany dreva, ktoré znížia náklady na údržbu konštrukcií.

V Nórsku sú moderné drevené mosty postavené zväčša v blízkosti obcí a ľudí. Obyvatelia vnímajú tieto konštrukcie veľmi pozitívne a zdá sa, že táto skutočnosť je pre drevené mosty veľmi dobrá východisková pozícia.



12 Literatúra

- [1] Malo, K.A., Holmestad, A and Larsen, P.K.:
Fatigue strength of dowel joints in timber structures,
9th World Conference on Timber Engineering, WCTE 2006, Portland, Oregon, August 2006

- [2] Rönquist, A.:
Pedestrian induced lateral vibrations of slender footbridges,
Doctoral Theses 2005:102, Norwegian University of Science and Technology,
Trondheim

- [3] Rönquist, A., Wollebæk, L. and Bell, K.:
Dynamic behavior and analysis of a slender timber footbridge,
Conference on Timber Engineering, WCTE 2006, Portland, Oregon, August 2006

- [4] Nordic Timber Bridge Project – contact persons:
Finland: Arne Jutila / arne.jutila@hut.fi
Norway: Erik Aasheim / erik.aasheim@troteknisk.no
Sweden: Martin Gustafsson / martin.gustafsson@tratek.se

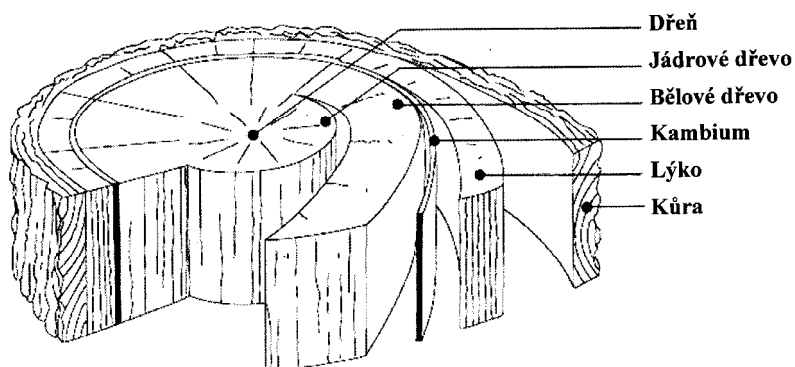
Kapitolu 15 spracoval Profesor Kolbein Bell, NTNU, Nórsko

Kapitola č. 16

TRVANLIVOST DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

1 Úvod

Trvanlivost dřeva lze definovat jako jeho odolnost vůči fyzikálním, chemickým a biologickým degradačním činitelům. Měřítkem trvanlivosti je časový úsek, během kterého si dřevo zachová užité vlastnosti za předpokladu normálních podmínek používání. Trvanlivost je rozdílná pro různé druhy dřevin, ale obecně nezávisí pouze na hustotě, ale zejména na přítomnosti některých činitelů způsobujících poškození, jako například houby a hmyz [2]. To je hlavní důvod, proč je bělové dřevo náchylné k biologickému poškození, přičemž jádrové dřevo je mnohem trvanlivější (obr.1, tab. 3).



Obr. 1 Příčný řez kmenem stromu

2 Přirozená trvanlivost dřeva

Všeobecné dělení dřevin podle trvanlivosti závisí rovněž na podmínkách uložení. Druhy dřevin používané v nechráněném prostředí lze rozdělit na:

- trvanlivé – kaktus, kaštan, ořech, jilm, akát,
- středně trvanlivé – smrk, borovice, jasan, jedle,
- málo trvanlivé – javor, bříza, citrus, vrba, topol, líska, buk, osika.



U dřeva ponořeného ve vodě je klasifikace trvanlivosti spojena s dobou ponoření:

- trvanlivé (více než 500 let) – modřín, borovice, dub, habr, akát, kaštan, jilm,
- částečně trvanlivé (50-100 let) – smrk, jedle, buk, olše,
- málo trvanlivé (méně než 20 let) – bříza, javor, jasan, citrus, topol, vrba.

Trvanlivost dřeva ve slané vodě je nižší než ve sladké vodě. Trvanlivost dřeva v půdě je proměnlivá a závisí zejména na propustnosti půdy. Málo propustné jílovité půdy mnohem více konzervují dřevo, než vysoce propustné písčité půdy. Trvanlivost rovněž závisí na kolísání teploty a vlhkosti.

Trvanlivost dřeva se pohybuje v rozmezí od několika let (např. osika na otevřeném prostranství) až po několik tisíc let (např. dub, modřín – 2500 let, eben byl nalezen ve faraonově hrobce – 4500 let). Dřevo chráněné před vlivy povětrnosti (pod střechou) a za stabilních teplotních podmínek může zachovávat své vlastnosti po dobu více než 1000 až 2000 let. V procesu přirozeného stárnutí dřevo postupně ztrácí své vlastnosti (např. hmotnost) a po přibližně 3000 letech se rozpadá [1].

Vysoká variabilita trvanlivosti dřevin závisí na několika podmínkách chemické povahy. Jednou z nich je přítomnost ligninu, jehož obsah kolísá mezi 20 - 30%. Tento složitý polymer fenolických sloučenin pokrývající celulózové řetězce znesnadňuje působení houbových hyf a zpomaluje růst mnoha druhů hub. Vyšší trvanlivost jehličnanů v porovnání s mnoha listnatými dřevinami je, vedle jiných činitelů, výsledkem vyššího obsahu ligninu.

Ostatní složky, jako třísloviny, kaučuk, pryskyřice, proteiny, cukry, vitamíny a steroly mají velký vliv na trvanlivost dřeva. Přítomnost pryskyřic, kaučuku a tříslovin může zpomalit působení destruktivních činitelů, dokonce i po jejich mechanickém a chemickém působení. Obecně platí, že bělové dřevo má menší obsah výše uvedených látek než jádrové dřevo, což způsobuje nižší odolnost bělového dřeva vůči destruktivním činitelům. Je známou skutečností, že se dřeviny chrání proti houbám a hmyzu vypouštěním pryskyřice.

3 Degradční mechanismy

K hlavním degradačním činitelům patří: houby, hmyz, bakterie, chemikálie a zvětrávání.

3.1 Poškození houbami

Poškození houbami vyžaduje čtyři základní podmínky pro růst, které musí být splněny současně [3]: dřevo jako zdroj živin, kyslík (protože houby jsou aerobní organismy), voda a vhodná teplota. Tyto základní požadavky jsou všechny splněny v lesích, vyjma zimního období. Naštěstí nebývají obvykle tyto podmínky splněny v konstrukcích budov. Někdy výměna části ze dřeva, které je náchylnější k poškození, např. bělové dřevo (francouzsky: aubier, německy: Splintholz, holandsky: spinthout, polsky: biel), napomáhá ke splnění základních požadavků na trvanlivost dřeva. Všeobecně, houby nepůsobí na dřevěné konstrukce, pokud je vlhkost nižší než 22 %. Normy na dřevo obsahují přesné požadavky na obsah vody v konstrukčním dřevě. Nejvhodnější teplotní rozsah pro degradaci dřeva je mezi 19⁰ C a 31⁰ C; teplota 25⁰ C bývá optimální. Houby přežijí teploty pod bodem mrazu, ale hynou při teplotách přesahujících 60⁰ C. Tři typy poškození houbami jsou na obr. 2.



Obr. 2 Poškození houbami: částečné poškození bílou hnilobou (a), plné poškození bílou hnilobou (b), poškození hnědou hnilobou (c) [2].

3.2 Poškození brouky

Hmyz napadající dřevo je létající, klade svá vajíčka do pórů nebo trhlin, z nich se pak vylíhnou larvy, které napadají dřevo. Vyskytují se v celé Evropě. V následujícím textu je popsán pouze hmyz napadající vysušené dřevo. Mezi nejdůležitější druhy patří: tesařík (*Xestobium rufovillosum*), (francouzsky: grosse vrillette, německy: Bunter/Gescheckter Nagekäfer, holandsky: bonte knaagkever of grote houtworm, polsky: tykotek pstry) a červotoč (*Anobium punctatum*), (francouzsky: petite vrillette, německy: Gewöhnlicher oder Gemeiner Nagekäfer, holandsky: meubelkever, polsky: kołatek domowy), obr. 3.



Obr. 3 Červotoč (a,b: dospělý brouk, c: larva)[2]

3.3 Poškození bakteriemi

Bakterie degradují všechny dřeviny v téměř každém prostředí. Jejich produkce enzymů je pomalá a způsobují relativně malé poškození v porovnání s jinými degradačními činiteli. Bakterie jsou schopny degradovat i chráněné dřevo vysoce trvanlivých dřevin v prostředí s nízkým obsahem kyslíku [1].



3.4 Přirozené stárnutí

Přirozené stárnutí dřeva je proces nezvratných změn, které vznikají vlivem dlouhodobého působení vnějších činitelů jako např.: UV záření, ovzduší, změny teploty a vlhkosti, spolu s podmínkami napjatosti. Naneštěstí, současné znalosti o přirozeném stárnutí dřeva jsou velmi omezené (tab. 2).

4 Třídy ohrožení a trvanlivosti

4.1 Třídy ohrožení

Evropská norma EN 335, *Durability of Wood and Wood-Based Products – Definition of Hazard Classes of Biological Attack* určuje třídy ohrožení (francouzsky: classe de risque, německy: Gefährdungsklasse, holandsky: risicoklasse, polsky: klasa zagrożenia) pro dané prostředí použití a zeměpisné umístění. Tato norma má také místní verze (např. PN-EN 335-1:1996 v Polsku). Podle normy EN 335 je definice tříd ohrožení uvedena v tabulce 1.

Třída ohrožení	Prostředí	Výskyt biotických činitelů	Příklady
1	Nad zemí, kryté (suché)	brouci, termiti	Interiérové aplikace, jako dřevěné rámy domů kryté střechou a obklady
2	Nad zemí, kryté	brouci, termiti	Otevřená garážová stání, okenní rámy, kryté mosty
3	Nad zemí, nekryté (riziko častého zvlhnutí)	houby, brouci, termiti	Mostní nosníky a mostovka, stříšky, obklady staveb bez ochrany
4	V kontaktu s půdou nebo sladkou vodou (trvale)	houby, brouci, termiti, bakterie	Ploty, sloupky, štětové stěny, vrata jezu
5	Ve slané vodě (trvale)	houby, brouci, termiti	Sloupky kotviště, pilíře, vlnolamy, mořské ochranné stěny

Tab. 1 Třídy ohrožení a výskyt biotických činitelů podle EN 335-1



4.2 Třídy trvanlivosti

Evropská norma EN 350 *Durability of Wood and Wood-based Products – Natural Durability of Solid Wood* stanoví přirozenou trvanlivost ve vztahu k různým druhům biotických činitelů. Existuje pětistupňové měřítko odolnosti dřeva vůči napadení houbami (tab. 2), dvoustupňové měřítko (citlivé a odolné) pro odolnost vysušeného dřeva vůči poškození brouky a třístupňové měřítko (citlivé, částečně trvanlivé a trvanlivé) pro odolnost vůči termitům. Určení třídy vzorku dřeva vyžaduje zjištění chování dřeva ve standardizovaných testech. Příklady dřevin uvedené v tab. 2 platí pro jádrové dřevo.

Třída trvanlivosti	Popis	Příklady
1	Vysoce trvanlivé	teak, azobe, iroko, blahovičník, bilinga
2	Trvanlivé	Balau/bangkirai, karri, merbau, virginský cedr, evropský dub (francouzsky: chêne rouvre, německy: Eiche, holandsky: eik), akát (francouzsky: robinet faux acacia, německy: Robinie, holandsky: robinia)
3	Částečně trvanlivé	red meranti, douglaska obecná
4	Málo trvanlivé	smrk (francouzsky: epicea, německy: Fichte, holandsky: spar)
5	Netrvanlivé	buk (francouzsky: hêtre, německy: Buche, holandsky: beuk), jasan (francouzsky: frêne, německy: Esche, holandsky: es), topol (French: peuplier, German: Pappel, Dutch: populier)

Tab. 2 Třídy přirozené trvanlivosti dřeva vystaveného působení hub



4.3 Srovnání tříd ohrožení a tříd trvanlivosti

Pro každou aplikaci v určité třídě prostředí a zeměpisné lokalitě je třeba vybrat dřevinu určité minimální třídy trvanlivosti (viz tab. 3).

Třída ohrožení	Třída trvanlivosti				
	1	2	3	4	5
1	S	S	S	S	S
2	S	S	S	(S)	(S)
3	S	S	(P)		(S) – (P)
4	S		(P)	P	P
5	S	P	(P)	P	P

Tab. 3 Třídy ohrožení podle EN-350

Ve výše uvedené tabulce je význam symbolů následující: S: dostatečná přirozená trvanlivost, (S): přirozená trvanlivost v zásadě dostatečná, ale za zvláštních provozních podmínek musí být dřevo chráněno, (S)-(P): přirozená trvanlivost může být dostatečná, ale výběr dřeviny, chemická ochrana dřeva konzervanty a účel použití určují, jestli má být dřevo chráněno, (P): chemická ochrana je aplikována, ale v určitých podmínkách použití může být přirozená trvanlivost dostatečná, P: chemická ochrana je vyžadována.

5 Literatura

- [1] Bijen J.: Durability of engineering structures, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 2003
- [2] Krajewski A., Witomski P.: Timber protection (in Polish), Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2003
- [3] Neuhaus H.: Timber building engineering (in Polish), Polskie Wydawnictwo Techniczne, Rzeszów, 2006

Kapitolu č. 16 zpracoval Andrzej Marynowicz.



Kapitola č. 17

POŽÁRNÍ ODOLNOST DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

1 Úvod

Chování materiálu při požáru není možné jednoduše popsat. Především se rozlišují dvě fáze požáru, vznikající požár a plně rozvinutý požár. Chování materiálu musí být hodnoceno při uvážení obou těchto fází. Vznikající požár zahrnuje řadu různých procesů, jako např. hořlavost materiálu, stupeň zápalnosti, rychlost šíření ohně/plamene na jeho povrchu a míru předávání tepla.

Plně rozvinutý požár představuje fázi po plném vzplanutí, ve které jsou všechny hořlavé materiály zachváceny ohněm. Požadované vlastnosti materiálu během této fáze jsou schopnost zachovat si nosnost a omezovat oheň na oblast jeho vzniku, takže nedochází k šíření ohně nebo kouře a působení příliš vysokých teplot na straně odvrácené ohni, které by mohly vést k nepřímému přenosu požáru na sousední oblasti. Schopnost odolávat plně rozvinutému požáru je obecně označována jako požární odolnost. Tato schopnost však může být obecně přiřazena konstrukčnímu prvku a nikoli materiálu. Působení jednoduchého prvku, jako sloupu nebo nosníku, závisí také na faktorech jako jsou podmínky uložení, velikost zatížení a rozdělení zatížení.

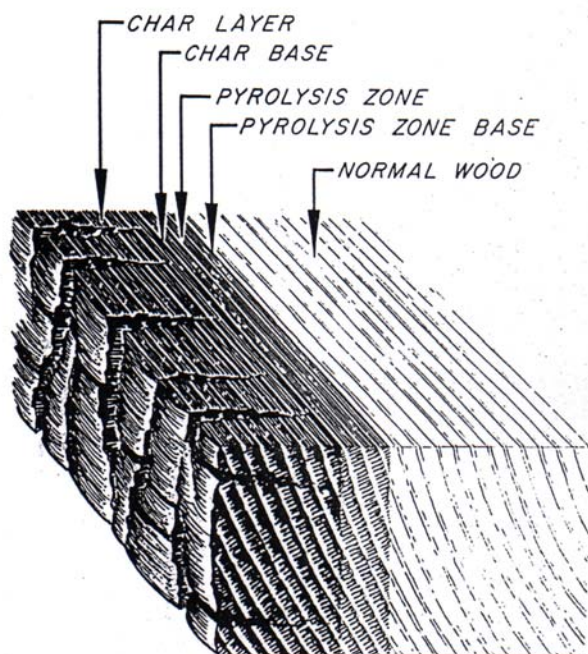
2 Chování dřeva a materiálů na bázi dřeva při požáru

Při sledování chování materiálů na bázi dřeva a rostlého dřeva při vznikajícím požáru se ukazuje, že materiály na bázi dřeva hoří a proto je nutno zařadit je jako hořlavé. Přesto, že tuto hořlavost je možno modifikovat povrchovou úpravou nebo impregnací ohnivzdornými solemi, není možné těmito opatřeními dosáhnout nehořlavosti dřeva nebo materiálů na bázi dřeva, i když energie potřebná pro zapálení materiálu bude větší. Rostlé dřevo je obtížně zápalné a je zaznamenáno velmi málo případů, kdy došlo k zapálení dřeva dříve než jiných materiálů. Rostlé dřevo vyžaduje pro samovznícení, tj. pro zapálení bez přítomnosti zdroje zapálení, povrchovou teplotu více než 400 °C působící v krátkém až středně dlouhém časovém úseku. Dokonce i v přítomnosti zdroje zapálení musí být povrchová teplota po určitou dobu větší než 300 °C, aby došlo k zapálení materiálu. Dřevo je obvykle používáno za srovnávací materiál pro zařazení jiných materiálů, protože je považováno za materiál, který vykazuje ve většině případů použití přijatelné riziko zapálení. Skutečné hodnoty závisí na hustotě, druhu dřeva, vlhkosti a na faktoru tvar/průřez.

Oheň se šíří na povrchu hořlavého dřeva tím, že každé zapálení způsobí v okolí nová zapálení. Protože dřevo je obtížně zápalné, rychlost, kterou se šíří plamen, je pro hořlavý materiál přijatelně nízká. Téměř ve všech zemích se dovoluje v případech s nízkým požárním rizikem používat neošetřené dřevo. Rychlost, kterou dřevo předává teplo, zřejmě závisí na druhu a způsobu ohřevu, na přístupnosti kyslíku, jakož i na hustotě, obvodu a

velikosti uvažovaného dřevěného prvku. Protože pro všechny zmíněné vlastnosti byly v evropských zemích vyvinuty vlastní zkoušky v modelovém měřítku pro stanovení základního chování materiálů, nejsou k dispozici jednotné evropské postupy, kterými by se mohlo vyjádřit chování dřeva v podmínkách vznikajícího požáru. Ve všech zemích je dovoleno používat dřeva v mnoha oblastech a je zřejmé, že chování dřeva není považováno za příliš nebezpečné.

Jsou-li dřevo nebo materiály na bázi dřeva vystaveny plnému požáru, vykazují řadu příznivých vlastností. Je-li tepelný tok dostatečně velký, povrchy se zapálí a nejprve silně hoří, zakrátko se však vytvoří tepelně izolační vrstva dřevěného uhlí, viz obr. 1. Protože dřevo je špatným vodičem tepla, je do zbytkového nespáleného materiálu přiváděno velmi málo tepla, což má za následek řadu výhod.



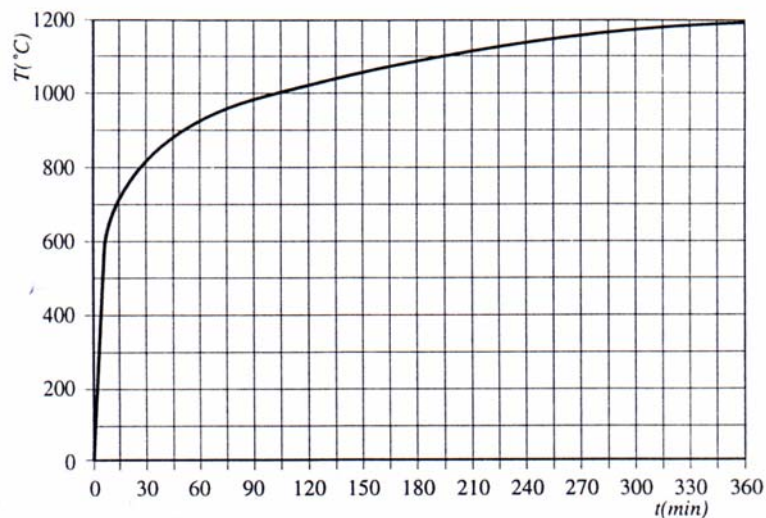
Obr. 1 Změny ve dřevu v důsledku požáru
(char layer - vrstva zuhelnatění, char base - spodek zuhelnatění, pyrolysis zone - zóna pyrolýzy, pyrolysis zone base - spodek zóny pyrolýzy, normal wood – normální dřevo)

U rostlého dřeva zůstává teplota ve zbytkovém průřezu již v malé vzdálenosti od zóny hoření nezměněná. Z tohoto důvodu nevznikají v konstrukcích poruchy účinkem nadměrných tepelných roztažení. Kromě toho prakticky nedochází ke změně fyzikálních vlastností dřeva zbytkového průřezu účinkem ohřevu a úbytek pevnosti vyplývá především z redukce průřezu účinkem zuhelnatění a v menší míře ze změny pevnostních vlastností. Při použití desek na bázi dřeva s nosnou funkcí nebo jako obkladu v prostorově dělicích konstrukcích, nízká tepelná vodivost zabraňuje rychlému přenosu tepla z horké strany konstrukce na studenou stranu.

Plně rozvinutý požár se při zkouškách popisuje normovou teplotní křivkou podle ISO 834 (viz obr.2), nebo podle příslušné národní normy. Rozhodujícími kritérii jsou zachování

- únosnosti (dělicí a nedělicí prvky)
- celistvosti (dělicí prvky)
- izolace (dělicí prvky)

Ke kritériím únosnosti patří zpravidla kritický průhyb a rychlost zvětšování průhybu. Požárně dělicí funkce se obecně zjišťuje na základě vzniku nadměrných trhlin a spár (národní ustanovení) nebo na základě zapálení vnitřní výplně z bavlněných vláken. Tepelně izolační účinek se považuje za ohrožený, zjistí-li se průměrný vzestup teploty o 140 °C nebo je překročen maximální vzestup o 180 °C.



Obr.2 Normová křivka teplota-čas podle ISO

Dřevo ztratí svoji únosnost teprve tehdy, když průřezová plocha zbytkového průřezu dosud neporušeného ohněm je tak malá, že napětí účinkem působícího zatížení dosáhnou pevnost dřeva.

Materiály na bázi dřeva při požáru nepraskají ani nesesychají tak výrazně, že by docházelo k trhlinám, ale tvoří uzavřený povrch dokud není dřevo tak tenké, že dojde k prohoření. Vrstva teploty překročí mezní hodnotu teprve tehdy, dosáhne-li tenká, požárem namáhaná zóna protilehlý povrch bezprostředně před prohořením. Za podmínek plného požáru je možné chování dřeva velmi spolehlivě předvídat.

Početnými zkouškami dřeva a materiálů na bázi dřeva byla zjištěna lineární závislost mezi zuhelnatěním a dobou požáru. Pro výpočet požární odolnosti průřezu se proto může předpokládat stálá rychlost zuhelnatění. Pro jednoduché postupy navrhování na účinky požáru bez uvážení zaoblení hran mohou být použity rychlosti zuhelnatění β_0 podle tab. 1. Zbytkový průřez se pro navrhování na účinky požáru uvažuje jako ostrohranný. Při přesnějším uvážení průřezu se přihlíží k zaoblení hran, takže se smí počítat s menší rychlostí zuhelnatění.



Materiál		β_0 v mm/min
Rostlé dřevo	$s \rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$ a min $a \geq 35 \text{ mm}$	0.8
Lepené lamelové měkké dřevo	$s \rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.7
Dřevěné desky	$s \rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ a $t_p = 20 \text{ mm}$	0.9
Rostlé tvrdé dřevo	$s \rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$	0.5
Lepené lamelové tvrdé dřevo	$s \rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$	0.5
Dub		0.5
Rostlé tvrdé dřevo	$s \rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.7
Lepené lamelové tvrdé dřevo	$s \rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.7
Překližka	$s \rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ a $t_p = 20 \text{ mm}$	1.0
Desky na bázi dřeva	$s \rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ a $t_p = 20 \text{ mm}$	0.9

Tab. 1 Návrhové rychlosti zuhelnatění β_0
(t_p : tloušťka dřeva a desek na bázi dřeva, a : šířka nebo výška průřezu)

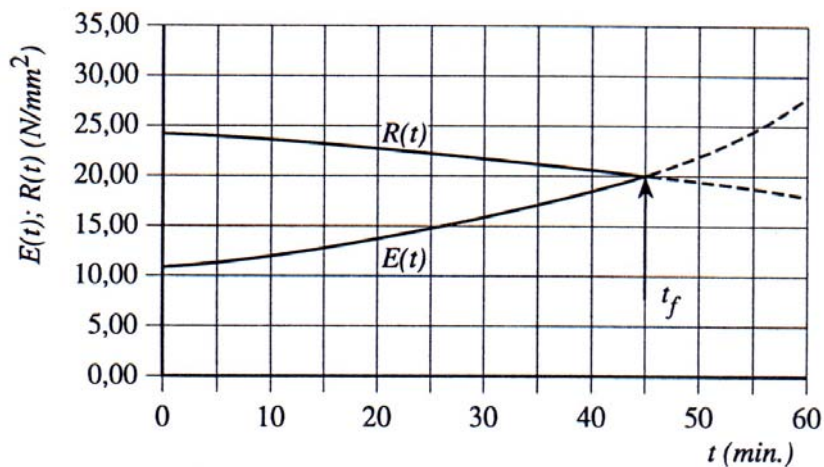
Pro těsně dosedající vícečetné vrstvy se rychlost zuhelnatění může počítat pro celou tloušťku.

3 Požární odolnost dřevěných prvků

Při výpočtu požární odolnosti se všeobecně používají stejné zásady jako při navrhování na běžnou teplotu. Pro zatížení a vlastnosti materiálů se použijí charakteristické hodnoty.

3.1 Ověření

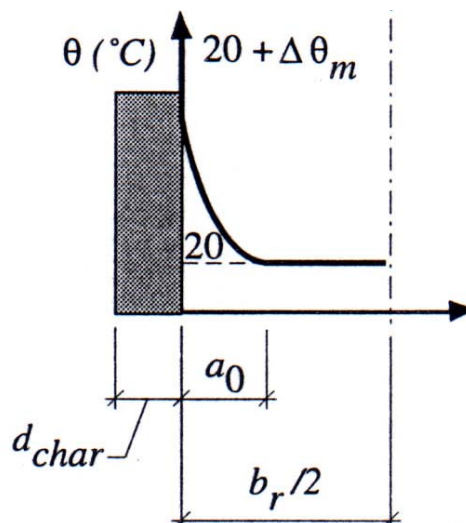
Účinek zatížení $E(t)$ a únosnost dřevěných konstrukčních prvků $R(t)$ během vystavení účinkům požár jsou znázorněny v obecném tvaru na obr.3. Únosnost při požáru bude dosažena v čase t_f , kdy $R(t)$ bude menší než $E(t)$. Ověření na úrovni návrhových hodnot má proto tvar $E_{f,d} < R_{f,d}$.



Obr. 3 Účinek zatížení $E(t)$ a únosnost dřevěných prvků $R(t)$ během vystavení požáru ($E_{f,d}$ je návrhový účinek zatížení během požáru, $R_{f,d}$ je návrhová únosnost během požáru)

3.2 Teplotní profily

Teplota v hraniční čáře zuhelnatění je asi 300 °C. Pro hraniční čáru zuhelnatění vypočtenou pomocí β_0 (β) se může teplota dosadit hodnotou 200 °C při trvání požáru více než 20 min. Vzdálenost mezi hraniční čárou zuhelnatění a místem, kde teplota dřeva vykazuje nezměněnou teplotu okolí (např. 20 °C), zůstává konstantní. Tato vzdálenost je asi 30 mm, popř. pro hraniční čáru zuhelnatění vypočtenou s β_0 (β) asi 25 mm. Na obr. 4 je ukázáno rozdělení teploty.



Obr. 4 Teplotní profil pro $b_r > 2 a_0$



3.3 Požární odolnost spojů

Únosnost spojovacích prostředků z oceli, která není chráněna proti ohni, se účinkem tepla výrazně snižuje. Zakrytí ze všech stran dřevem nebo materiály na bázi dřeva znamená odolnost proti účinku tepla a tím ochranu ocelových částí. Pro chování ocelových spojovacích prostředků při požáru je rozhodující plocha nechráněného povrchu ocelových částí.

Požární odolnost nechráněných spojů dřevo-dřevo, u kterých rozteče, vzdálenosti od okrajů a konců a rozměry bočního prvku vyhovují minimálním požadavkům uvedeným v EC5: Části 1-1 se může brát z tab.2.

	Doba požární odolnosti $t_{fi,d}$ [min]	Opatření*
Hřebíky	15	$d \geq 2.8$ mm
Vruty	15	$d \geq 3.5$ mm
Svorníky	15	$t_1 \geq 45$ mm
Kolíky	20	$t_1 \geq 45$ mm
Hmoždíky podle EN 912	15	$t_1 \geq 45$ mm
*d je průměr spojovacího prostředku a t_1 je tloušťka bočního prvku		

Tab. 2 Požární odolnost nechráněných spojů s bočními prvky ze dřeva

Pro spoje s kolíky, hřebíky nebo vruty s nevyčnívajícimi hlavami, se doba požární odolnosti $t_{d,fi}$ větší než je uvedena v tab. 2, ale nepřekračující 30 minut, může dosáhnout zvětšením:

- tloušťky bočních prvků;
- šířky bočních prvků;
- vzdáleností od konce a okraje ke spojovacím prostředkům;

o vzdálenost a_{fi} (viz obr. 5), danou vztahem:

$$a_{fi} = \beta_0 \cdot k_{flux} \cdot (t_{f,req} - t_{fi,d}) \quad (17.1)$$

kde

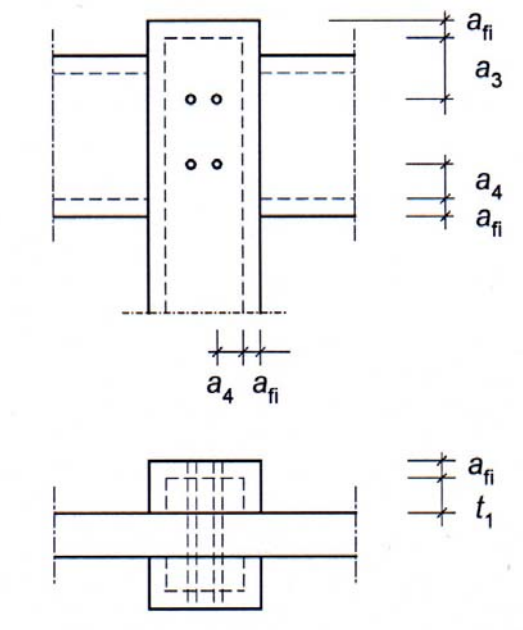
β_0 je rychlost zuhelnatění podle tab. 1,

k_{flux} součinitel zohledňující zvětšený tepelný tok skrz spojovací prostředek,

k_{flux} se má uvažovat $k_{flux} = 1,5$,

$t_{f,req}$ požadovaná doba požární odolnosti,

$t_{fi,d}$ doba požární odolnosti nechráněného spoje uvedená v tab. 2



Obr. 5 Zvláštní tloušťka a zvláštní vzdálenosti spojovacích prostředků od konce a okraje

4 Literatura

- [1] EN 1995-1-2:2004 Design of Timber Structures – Part 1-2: General – Structural fire design
- [2] Hartl, H.: “Fire resistance of timber members“, Chapter B17 from “STEP 1 – Timber Engineering“; First Edition, Centrum Hout, The Netherlands, 1995

Kapitolu č. 17 zpracoval Petr KUKLÍK, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí / Česká republika.



Kapitola č. 18

DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE V AGRESIVNÍM PROSTŘEDÍ

1 Úvod

Povrchy dřevěných prvků, zvláště ve střešních konstrukcích, jsou citlivé vůči chemické korozi vedoucí až k vyluhovacím procesům (*lat.*: maceratio – změkčení). Tento proces má velmi komplexní charakter a značnou závislost na změnách vlhkosti okolního prostředí. Hloubka vyluhování dosahuje v některých případech až 50 mm. V mnoha případech, zvláště u dřevěných konstrukcí v průmyslovém prostředí, lze pozorovat vliv řady chemických látek v kapalném i plynném stavu.

2 Odolnost dřeva vůči kyselinám a zásadám

2.1 Kyselé prostředí

Dřevěné prvky vystavené působení kyselin vykazují vysokou odolnost vůči tomuto agresivnímu prostředí. V rozmezí pH 2 až 7 je vliv kyselin a síranů zanedbatelný. Pouze v prostředí s pH nižším než 2 nastává rychlá koroze dřevěných prvků.

2.2 Zásadité prostředí

Zásady s pH mezi 8 a 10 způsobují intenzivní bobtnání dřeva, při kterém nastává rozpouštění uhlovodíkových sacharidů společně se zmýdelněním pryskyřic. Při vyšší koncentraci zásad nastává rozklad ligninu.

2.3 Plynné látky

Experimentální výzkum vlivu některých plynů [1], např. oxidu siřičitého SO₂, sirovodíku H₂S, čpavku NH₃ a chloru Cl₂, prokázal v mnoha případech negativní dopad na fyzikální vlastnosti dřeva (Tab. 1). Vyšetřované vzorky borovice byly umístěny po dobu 90 dní v uzavřené komoře, poté byly zjišťovány jejich pevnostní vlastnosti. Výsledky prokázaly, že největší negativní vliv na pevnost mělo působení chloru Cl₂. Podobné výzkumy byly provedeny na vzorcích dřeva vyjmutých ze střešní konstrukce továrny na výrobu fosforu ve Štětíně (Polsko). Vzorky byly testovány v tahu a tlaku (Tab. 2). Byl zjištěn zajímavý poznatek, že přibližně 50% vzorků vykazovalo pevnost v tlaku vyšší než byla zjištěna u referenčních vzorků (podle polských norem), ale jejich pevnost v tahu byla mnohem nižší než u referenčních vzorků. Tento jev byl způsoben zejména vysokou koncentrací H₂F₂ spolu se silným vlivem vlhkosti z okolního ovzduší. Dalším faktorem byla zřejmě přítomnost 8 cm silné vrstvy ztvrdlého popela na dolním pasu příhradového vazníku, která měla silné sorpční vlastnosti. To byl důvod pro vysokou akumulaci vlhkosti a přídavnou reakci voda-plyn.



Druh pevnosti	Referenční pevnost vzorku [kPa]	SO ₂	H ₂ S	NH ₃	Cl ₂
Ohyb	1069	610	936	761	515
Tlak	560	509	637	554	270
Tah	1002	730	1095	938	343

Tab. 1 Vliv některých plynů na pevnost dřeva [1]

Druh pevnosti	Tah		Tlak	
	Vyšetřované [kPa]	Referenční [kPa]	Vyšetřované [kPa]	Referenční [kPa]
R_{\max}	940	-	690	-
R_{\min}	149	550	487	300
R_{mean}	440	1000	606	400

Tab. 2 Výsledky testování dřevěných vzorků [1]

Z Tab. 3 je zřejmé, že jehličnany vykazují obecně vyšší odolnost vůči chemickým vlivům. To je jeden z důvodů, proč jsou jehličnaté druhy dřeva (ve formě rostlého i lepeného lamelového dřeva) většinou používány ve skladovacích a výrobních objektech, zejména pro skladování solí, hnojiv, uhlí a ve skladech koželužen. Rovněž střešní konstrukce skládek odpadů, čistíren odpadních vod, solných lázní a zemědělských objektů jsou často prováděny ze dřeva.



Chemická látka	Koncentrace [%]	Jehličnany				Listnáče	
		Smrk	Jedle	Borovice	Modřín	Dub	Buk
Kyselina octová	2	I	I	I	I	I	I
	5	I	I	I	I	I	I
	10	I	I	I	I	II	I
Kyselina mléčná	2	I	I	I	I	I	I
	5	I	I	I	I	I	I
	10	I	I	I	I	I	I
Kyselina dusičná	2	I	I	I	I	II	II
	5	I	II	II	I	II	II
	10	I	II	I	I	III	II
Kyselina chlorovodíková	2	I	I	I	I	I	I
	5	II	II	II	II	II	II
	10	II	II	II	II	III	IV
Kyselina sírová	2	I	I	I	I	I	I
	5	I	I	I	I	I	I
	10	II	II	II	II	III	III
Čpavek	2	I	I	I	I	II	II
	5	I	I	I	I	IV	III
	10	II	II	II	II	IV	IV
Hydroxid sodný	2	I	I	I	I	II	II
	5	II	II	II	II	IV	III
	10	III	II	III	III	IV	IV

Tab. 3 Odolnost dřevin vůči chemickým látkám (T=20°C) podle [2]

3 Literatura

- [1] Mielczarek Z.: Timber in building constructions (in polish), 6th International conference on timber structures, Szczecin-Międzyzdroje 2004, Szczecin 2004
- [2] Neuhaus H.: Timber building engineering (in polish), Polskie Wydawnictwo Techniczne, Rzeszów, 2006

Kapitolu č. 18 zpracoval Andrzej Marynowicz.

