Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Posouzení vhodnosti modřínové dřeviny a z ní vyrobených přířezů pro výrobu exteriérových zátěžových prvků

Diplomová práce

Autor: Bc. Lenka Vožehová, DiS.
Vedoucí práce: Ing. Jitka Beránková, Ph.D.

2014

Prohlášení

“Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma posouzení vhodnosti modřínové dřeviny a z ní vyrobených přířezů pro výrobu exteriérových zátěžových prvků vypravovala samostatně pod vedením Ing. Jitky Beránkové, Ph.D. a použila jsem jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách, v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.“

Ve Svaté dne 21.4 2014

…….

Lenka Vožehová

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala paní Ing. Jitce Beránkové, Ph.D. za její trpělivost, vedení a rady při psaní diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat mé rodině a partnerovi za trpělivost a podporu během mého studia.

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Vožehová Lenka

Dřevařské inženýrství

Název práce

Posouzení vlastností přířezů z modřínového dřeva pro výrobu lepených exteriérových zátěžových prvků

Anglický název

Assessment of the performance of larch wood blanks for the production of laminated exterior stress elements

---

Cíle práce

Cílem práce je posoudit vhodnost použití lepeného modřínového dřeva v exteriéru, zejména pro použití na terasové prvky.

Metodika

1. Vytvoření osnovy a časového harmonogramu zpracování DP
2. Podrobné prostudování uvedené problematiky a metodiky zkoušení vlastností lepeného dřeva
3. Vypracování literární rešerše
4. Výběr vhodných vzorků pro hodnocení
5. Provedení zkoušek měření ve spolupráci s pracovníky Výzkumného a vývojového ústavu dřevařského
7. Vyhodnocení zjištěných výsledků zkoušek
8. Dokončení a odevzdání práce v tištěné i elektronické podobě (součástí diplomové práce je abstrakt a klíčová slova v českém a světovém jazyce – angličtině).

Harmonogram zpracování

2/2013 - zadání diplomové práce
3/2013 - 9/2013 - zpracování literární rešerše
10/2013 - 1/2014 - provedení zkoušek
2/2014 - 3/2014 - vyhodnocování naměřených dat a průběžné zpracovávání výsledků
31. 3. 2014 - odevzdání práce ke kontrole vedoucímu
20. 4. 2014 - odevzdání práce v tištěné i elektronické podobě

Rozsah textové části

textová část 40-60 stran, přílohy 10-20 stran

Klíčová slova

lepené dřevo, terasové prvky, frézované profily

Doporučené zdroje informací

1.) KOLB, J. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 2., aktualiz. vyd. v České republice. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011. 317 s. ISBN 978-80-247-4071-3.
2.)ČUNDERLÍK, I. Štruktúra dreva. Technická Univerzita ve Zvolene, drevárska fakulta, katedra náuky o dreve, 2009
3.) Doc, Ing, Kuklík Petr, CSc., Dřevěné konstrukce, ČVUT v Praze, fakulta stavební, 2005
4.) ČSN 73 2824-1, Třídění dřeva podle pevnosti, část 1: Jehličnaté dřevo, 2011
5.) ČSN EN 301, Fenolická a aminová lepidla pro nosné dřevěné kosntrukce, klasifikace a technické požadavky, 2007
6.) ČSN EN 338, Konstrukční dřevo, třídy pevnosti, 2010
7.) ČSN EN 1194, Dřevěné konstrukce, lepené lamelové dřevo, třídy pevnosti a stanovení charakteristických hodnot, 1999
8.) ČSN EN 14080, Dřevěné konstrukce, lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo, požadavky, 2013
9.) ČSN EN 385, Konstrukční dřevo nastavované zubovitým spojem, požadavky na užitné vlastnosti a minimální výrobní požadavky, 2002
10.) ČSN EN 386, Lepené lamelové dřevo, požadavky na užitné vlastnosti a minimálné výrobní požadavky, 2002
11.) ČSN EN 391, Lepené lamelové dřevo, zkouška delaminace lepených spojů, 2002
12.) ČSN EN 392, Lepené lamelové dřevo, smyková zkouška lepených spojů, 1996
13.) ČSN EN 408 + A1, Dřevěné konstrukce, konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo, stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností, 2012

Vedoucí práce

Beránková Jitka, Ing., Ph.D.

Konzultant práce

Zdeňek Hausner

Termín odevzdání

duben 2014

Elektronicky schváleno dne 17.1.2014

doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 20.1.2014

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá posouzením vhodnosti modřínového dřeva a z něj vyrobených přířezů pro výrobu exteriérových zátěžových prvků. Jelikož rostlé dřevo velká zatížení přenést nedokáže, je tato práce soustředěna na lepené lamelové dřevo.

Pro správné pochopení lepeného lamelového dřeva je nutno v práci uvést i vlastnosti dřeva samotného – dostupnost dřeva jako obnovitelného zdroje, růst stromu, části kmene stromu a hlavně fyzikální a mechanické vlastností.

Cílem této práce je seznámení s lepeným lamelovým dřevem, požadavky, které jsou na něj soustředěny, výrobou a zkoušením jeho vlastností.

Na základě popsaných zkoušek, byly v rámci diplomové práce, provedeny zkoušky delaminace lepeného spoje a stanovení pevnosti v ohybu zubového spoje pro smrkovou a modřínovou dřevinu, ze kterých byly vyhotoveny protokoly. Tyto protokoly jsou součástí přílohy práce a je z nich vyvozen závěr.

Klíčová slova

Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva, lepené lamelové dřevo, požadavky na lepeného lamelového dřeva, zkušební postupy pro lepené lamelové dřevo, výroba a výrobní požadavky lepeného lamelového dřeva, zkouška delaminace a pevnosti v ohybu zubového spoje

Abstract

This work deals with assessment of suitability of larch wood and its blanks for manufacture of exterior load bearing elements. Since solid wood is unable to carry large load, the work is focused on glued laminated timber.

To understand correctly the glued laminated timber it is necessary to mention properties of the wood itself - the availability of wood as a renewable resource, the growth of a tree, parts of trunk and especially physical and mechanical properties.

The aim of this thesis is to introduce the glued laminated wood, requirements which are placed on it, its manufacture and testing of its properties.

Based on the described tests within this thesis, there were carried out tests of delamination of a glued joint and determination of the flexural strength of a finger joint for spruce and larch wood, from which there were made protocols. These protocols are included in the annex and there is conclusion deduced from them.

Key words

Physical and mechanical wood properties, glued laminated timber, manufacturing requirements of glued laminated timber, test procedures for glued laminated timber, manufacture and manufacturing requirements of glued laminated timber, delamination test and flexural strength of a finger joint

Obsah

1. Úvod..... 1
2. Cíl práce..... 2
3. Metodika..... 3
4. Dřevo jako materiál..... 4
    4.1 Všeobecné znalosti o dřevě..... 4
    4.2 Základní rozdělení dřevin..... 7
        4.2.1 Jehličnaté dřeviny..... 7
        4.2.2 Listnaté dřeviny..... 8
    4.3 Části stromu..... 8
    4.4 Kmen stromu..... 9
        4.4.1 Hlavní části kmene..... 10
    4.5 Vlastnosti dřeva..... 11
        4.5.1 Vlastnosti nezávislé na botanickém druhu..... 11
        4.5.2 Vlastnosti závislé na botanickém druhu..... 13
        4.5.3 Vlastnosti v botanickém druhu..... 13
    4.6 Struktura dřeva..... 13
        4.6.1 Makroskopické znaky dřeva..... 13
        4.6.2 Mikroskopická stavba dřeva..... 13
        4.6.3 Submikroskopická stavba dřeva..... 14
        4.6.4 Chemická struktura..... 14
5. Fyzikální vlastnosti dřeva..... 15
    5.1 Hustota dřeva..... 15
        5.1.2 Pórovitost..... 16
    5.2 Vztah dřeva a vody..... 16
        5.2.1 Stav vlhkostní rovnováhy..... 17
        5.2.2 Bod nasycení vláken..... 17
        5.2.3 Mez hygroskopicity..... 18
        5.2.4 Sesychání a bobtnání..... 18
            5.2.4.1 Bobtnání dřeva..... 18
            5.2.4.2 Sesychání dřeva..... 19
        5.2.5 Borcení dřeva..... 20
    5.3 Vztah dřeva k teplu..... 21
    5.4 Akustické vlastnosti..... 21
    5.5 Elektrické vlastnosti dřeva..... 21
6. Mechanické vlastnosti dřeva..... 22
    6.1 Základní terminologie..... 22
        6.1.1 Definice a základní rozdělení mechanických vlastností.... 22
        6.1.2 Mechanické zatížení..... 22
        6.1.3 Napětí..... 22
            6.1.3.1 Deformace..... 23
            6.1.3.2 Deformační diagram napětí..... 23
            6.1.3.3 Hookův zákon..... 24
    6.2 Pevnost v tlaku..... 24
    6.3 Pevnost v tahu..... 25
    6.4 Smyk..... 26
    6.5 Kroucení..... 27
    6.6 Ohyb..... 27
    6.7 Speciální zatížení..... 28

7. Úvod do problematiky dřevěných konstrukcí..... 30
7.1 Historický vývoj dřevěných konstrukcí..... 30
8. Lepené lamelové dřevo..... 32
8.1 Historie lepeného lamelového dřeva..... 32
8.2 Terminologie lepeného lamelového dřeva..... 33
8.3 Tři hlavní zástupci lepeného dřeva..... 35
8.3.1 Konstrukční dřevo nastavované zubovitým spojem (KVH).. 35
8.3.2 Lepené rostlé dřevo (DUO, TRIO)..... 36
8.3.3 Lepené lamelové dřevo (BSH)..... 37
8.4 Návrh lepeného lamelového dřeva..... 38
8.4.1 Návrh průřezu z hlediska statiky..... 38
8.4.2 Zásady výpočtu dřevěných konstrukcí..... 38
8.4.2.1 Mezní stavy..... 38
8.4.2.2 Dřeviny a jejich vlastnosti z hlediska návrhu lepeného lamelového dřeva..... 39
8.4.2.3 Třídy vlhkosti..... 39
8.4.2.4 Třídy trvání zatížení..... 40
8.4.2.5 Modifikační součinitel..... 40
8.4.2.6 Rozměry dřeva..... 40
8.5 Požadavky na lepené lamelové výrobky..... 41
8.5.1 Strojní a vizuální třídění použitého konstrukčního dřeva..... 41
8.5.1.1 Systém strojního třídění..... 41
8.5.1.2 Systém vizuálního třídění..... 41
8.5.1.3 Požadavky na třídění..... 42
8.5.2 Reakce na oheň..... 43
8.5.3 Mechanická odolnost lepeného lamelového dřeva..... 43
8.5.3.1 Ověření mechanických vlastností..... 44
8.6 Lepidla
8.6.1 Rozdělení lepidel pro výrobu lepeného lamelového dřeva..... 49
8.6.2 Obecné požadavky na lepidla..... 50
8.6.3 Lepení lamel..... 50
8.6.3.1 Smyková pevnost lepených lamel..... 51
8.7 Požární odolnost..... 51
8.8 Emise formaldehydu..... 52
8.9 Odchylky rozměrů..... 52
8.10 Korigované rozměry a součinitel vlhkostní deformace..... 53
9. Zkušební postupy..... 54
9.1 Dlouhodobá zatěžovací zkouška při cyklických klimatických podmínkách se zkušebními tělesy zatíženými kolmo k lepené spáře pro jednosložková polyuretanová lepidla vytvrzující účinkem vlhkosti a pro emulzivní polymerová izokyanátová lepidla..... 54
9.1.1 Obecný popis..... 54
9.1.2 Příprava zkušebního vzorku..... 54
9.1.3 Zkušební postupy a klimatické podmínky..... 55
9.1.4 Požadavky..... 55
9.2 Zkouška delaminace pro zubovité spoje v lamelách..... 55
9.2.1 Výroba zkušebního vzorku..... 55
9.2.2 Zkoušení..... 56
9.2.3 Výsledky zkoušky..... 56

9.3 Zkouška delaminace lepených spár..... 56
9.3.1 Podstata zkoušky a použité přístroje..... 56
9.3.2 Odběr a výroba zkušebních těles..... 57
9.3.3 Zkušební postupy..... 57
9.3.4 Měření a hodnocení delaminace..... 58
9.3.5 Výsledky..... 58
9.4 Smyková zkouška lepených spár..... 59
9.4.1 Podstata a zkušení přístroje..... 59
9.4.2 Zkušební tělesa pro smykovou zkoušku lepeného lamelového dřeva a lepeného rostlého dřeva..... 59
9.4.3 Odběr zkušebních těles..... 60
9.4.4 Postup..... 61
9.5 Zkoušky lamel se zubovitými spoji nebo bez zubovitých spojů včetně kritérií shody..... 61
9.5.1 Odběr zubovitých spojů v lamelách..... 61
9.5.2 Zkoušení zubovitých spojů v lamelách..... 61
9.5.3 Kritéria shody..... 62
9.5.3.1 Pro počáteční zkoušku typu..... 62
9.5.3.2 Pro řízení výroby..... 62
9.6 Ohybové zkoušky s lepeným lamelovým dřeva, lepeným rostlým dřevem a lepeným lamelovým dřevem s velkými zubovitými spoji..... 62
9.6.1 Odběr vzorků..... 62
9.6.2 Zkoušení..... 62
9.6.3 Vyhodnocení..... 63
9.6.4 Kritéria shody..... 63
9.7 Měření vlhkosti lepeného lamelového dřeva..... 63
10. Výroba lepeného lamelového dřeva..... 64
10.1 Postup výroby lepeného lamelového dřeva..... 64
10.2 Výrobní požadavky..... 76
10.2.1 Obecné požadavky..... 76
10.2.1.1 Personál..... 76
10.2.1.2 Výrobní a skladovací prostory..... 75
10.2.3 Výroba zubovitých spojů v lamelách..... 76
10.2.4 Lepení lamel..... 78
10.2.5 Lepené lamelové dřevo s velkými zubovitými spoji..... 80
10.2.6 Složené lepené lamelové dřevo..... 81
11. Použití lepeného lamelového dřeva v exteriéru..... 82
11.1 Lepené lamelové dřevo použité na zatížené exteriérové konstrukce.. 82
11.1.1 Realizované stavby..... 82
11.2 Lepené lamelové dřevo v exteriéru jako terasová prkna..... 84
11.2.1 Ukázky některých realizovaných teras..... 86

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázek 1. Průběh fotosyntézy (kbr.agrobiologie.cz)……6
Obrázek 2. Tři hlavní části stromu a jejich přibližné zastoupení (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)…… 9
Obrázek 3. Hlavní části kmene stromu (commons.wikimedia.org)…… 10
Obrázek 4. Znázornění základních směrů a dřevin (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)…….....…….. 11
Obrázek 5. Znázornění základních řezů dřevin (Ing. Čunderlík, Štruktúra dreva, TU Zvolen (2009))……...12
Obrázek 6. Kombinace řezů a směrů dřevin(Ing. Čunderlík, Štruktúra dreva, TU Zvolen (2009))……...12
Obrázek 7. Zobrazení výskytu vody ve dřevě (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)……... 16
Obrázek 8. Výsušné trhliny na kmeni stromu (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)……... 19
Obrázek 9. Borcení dřeva (Ing. Čunderlík, Štruktúra dreva, TU Zvolen (2009))……...20
Obrázek 10. Deformační diagram oceli (prezentace z předmětu Štruktúra dreva, TU Zvolen)…….....…… 23
Obrázek 11. Zkušební těleso pro zkoušení pevnosti v tahu podél vláken (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)……...……. 25
Obrázek 12. Zkušební těleso pro zkoušení pevnosti v tahu kolmo na vlákna (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)……. 26
Obrázek 13. Rozdělení smykových namáháních (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)…….....…….. 27
Obrázek 14. Vznik kroucení (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)……... 27
Obrázek 15. Ohybové namáhání (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)……. 28
Obrázek 16. Způsob působení vnějších sil na těleso (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)……28
Obrázek 17. Dlouhý dům z období kolem roku 3000 př.n.l. (Doc. Ing. Petr Kuklík. CSc., Dřevěné konstrukce, Praha 2005)…….. 31
Obrázek 18. Tenisová hala Mostkovice (www. cecolegno.cz)…….. 32
Obrázek 19. Vztah evropských norem připravených CEN/TC 124 pro nosné dřevěné výrobky (ČSN EN 14080, 2013)……...33
Obrázek 20. Ukázka výrobku z lepeného lamelového dřeva spojeného velkým zubovitým spojem (www.cecolegno.cz)..... 34
Obrázek 21. Příklady pro lepené rostlé dřevo ze dvou a pěti lamel (ČSN EN 14080, 2013)……. 34
Obrázek 22. Konstrukční dřevo nastavované zubovitým spojem (www.strechydrevo.cz)..... 35
Obrázek 23. Lepené rostlé dřevo ze dvou hranolů (www.strechydrevo.cz)……36
Obrázek 24. Ukázka realizace domu z rostlého lepeného dřeva DUO, TRIO (www.stechydrevo.cz)…… 36
Obrázek 25. Lepené lamelové dřevo BSH (www.cecolegno.cz)…….. 37
Obrázek 26 Typický profil zubovitého spoje (ČSN EN 14080, 2013)..... 45
Obrázek 27. Příklad skladby nosníku z kombinovaného lepeného lamelového dřeva (ČSN EN 14080, 2013)…….....…45
Obrázek 28. Základní rozměry zakřivených lepených lamelových prvků (ČSN EN 14080, 2013)……52

Obrázek 29. Schéma řezání zkušebního vzorku a číslování zkušebních těles pro dlouhodobou zatěžovací zkoušku (ČSN EN 14080, 2013)……..……..... 54
Obrázek 30. Schéma řezání části zkušebních vzorků pro dlouhodobou zatěžovací zkoušku (ČSN EN 14080, 2013)..... 54
Obrázek 31. Zkušební tělesa pro zkoušky delaminace se zubovitými spoji v lamelách (ČSN EN 14080, 2013).....56
Obrázek 32. Zkušební těleso odřezané z lepeného lamelového dřeva se šířkou větší než 300mm pro zkoušku delaminace lepených spár (ČSN EN 14080,2013) 57
Obrázek 33. Smykový přípravek s vloženým zkušebním hranolkem (ČSN EN 14080, 2013).....59
Obrázek 34. Zkušební hranolek a číslování lepených spár pro smykovou zkoušku lepených spár (ČSN EN 14080, 2013)..... 59
Obrázek 35. Vzorek odebraný vrtákem s opracovanými vzájemně rovnoběžnými rovnými povrchy pro smykovou zkoušku lepených spár (ČSN EN 14080, 2013) 60
Obrázek 36. Zkušební hranolky řezané ze zkušebního vzorku plného průřezu pro smykovou zkoušku lepených spár (ČSN EN 14080, 2013)..... 60
Obrázek 37. Doporučené označení plochy zkušebních hranolů v průřezu z lepeného lamelového dřeva pro smykovou zkoušku lepených spár (ČSN EN 14080, 2013).....,..... 61
Obrázek 38. Skládání souboru pro čepovací frézku (VVÚD, výroba KVH)..... 65
Obrázek 39. Srovnání souboru v čepovací frézce (VVÚD, výroba KVH)..... 66
Obrázek 39. Frézování ozubu na jedné straně (VVÚD, výroba KVH)..... 66
Obrázek 41. Otočení souboru a následné frézování ozubů na druhé straně (VVÚD, výroba KVH)..... 67
Obrázek 42. Přesun na dopravník, který dopraví prvky k nanášečce lepidla (VVÚD, výroba KVH)..... 67
Obrázek 43. Délkové složení nosníků na dopravníku (VVÚD, výroba KVH)..... 68
Obrázek 44. Nanášení lepidla pomocí válcové nanášečky(VVÚD, výroba KVH) 68
Obrázek 45. Lisování souboru pomocí podélného lisu (VVÚD, výroba KVH)..... 69
Obrázek 46. Vzniklý spoj (VVÚD, výroba KVH)..... 69
Obrázek 47. Opracování vzniklého nosníku (VVÚD, výroba KVH)..... 70
Obrázek 48. Přesun do meziskladu (VVÚD, výroba KVH)..... 70
Obrázek 49. Nanášení lepidla na délkově nastavované konstrukční dřevo (youtube.com, výroba BSH)..... 71
Obrázek 50. Přesun prvku pomocí dopravníku (youtube.com, výroba BSH)..... 71
Obrázek 51. Seřazení prvků do souboru (youtube.com, výroba BSH)..... 72
Obrázek 52. Přesun souboru do lisu (youtube.com, výroba BSH)..... 72
Obrázek 53. Zvedání souboru do lisu (youtube.com, výroba BSH)..... 73
Obrázek 54. Rovnání souboru v lisu (youtube.com, výroba BSH)..... 73
Obrázek 55, 56. Lisování souboru (youtube.com, výroba BSH)..... 74
Obrázek 57. Uvolňování lisovacího tlaku (youtube.com, výroba BSH)..... 75
Obrázek 58. Vytvrzení souboru (youtube.com, výroba BSH)..... 75
Obrázek 59. Nejmenší vzdálenost mezi základnou zubovitého spoje a sukem (ČSN EN 14080, 2013)..... 77
Obrázek 60. Orientace lamel v průřezu (ČSN EN 14080, 2013)..... 79
Obrázek 61. Most pro pěší v Ober – Grafendorf (www.Cecolegno.cz)..... 82
Obrázek 62. Cykloturistická lávka u Nového Boru (www.konstrukce-tesko.cz)... 83
Obrázek 63. Zastřešení nástupiště ve Svobodě nad Úpou (www.konstrukce-tesko.cz)..... 83
Obrázek 64. Lávka v Praze – Uhřiněvsi (www.konstrukce-tesko.cz)..... 83

Obrázek 65.Ukázka terasových prken z různých druhů dřevin (www.levne-palubky.cz)..... 84
Obrázek 66. Terasové prkno Massaranduba (www.levne-palubky.cz)..... 84
Obrázek 67. Viditelné rozdíly mezi Sibiřským a Evropským modřínem (www.levne-palubky.cz)..... 84
Obrázek 68. Terasa z exotické dřeviny u bazénu rodinného domu v Bakově nad Jizerou (www. au-mex.cz)..... 86
Obrázek 69. Terasa z modřínového dřeva s povrchovou úpravou u rodinného domu v Neratovicích(www. au-mex.cz)..... 86
Obrázek 70. Terasa z borového dřeva tlakově impregnovaného u rodinného domu v Těptín (www. au-mex.cz)..... 87
Obrázek 71. Terasa z modřínového dřeva s povrchovou úpravou u rodnného domu ve Slivenci (www. au-mex.cz)..... 87
Obrázek 72. Terasa z modřínového dřeva s povrchovou úpravou u rodinného domu na Okoři (www. au-mex.cz)..... 88

Tabulka 1. Zastoupení jednotlivých částí stromu v odlišných dřevinách (prezentacez předmětu Nauka o dřevě)..... 9
Tabulka 2. Funkce základních pletiv jehličnatých dřevin (Ing. Čunderlík, Štruktúra dreva, TU Zvolen (2009))……...……..... 14
Tabulka 3. Funkce základních pletiv listnatých dřevin (Ing. Čunderlík, Štruktúra dreva, TU Zvolen (2009) ……..... 14
Tabulka 4. Zastoupení složek dřeva ve vybraných druzích dřevin (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)..... 14
Tabulka 5. Mez hygroskopicity u různých druhů dřev (podle Trendelnburga a Mayera Wegelina, upraveno Matovičem 1993)..... 18
Tabulka 6. Tabulka použití dřeva z hlediska jeho vlhkosti (Lubomír Jelínek, Tesařské konstrukce, 2008)..... 39
Tabulka 7. Třídy vlhkosti (Lubomír Jelínek, Tesařské konstrukce, 2008)..... 40
Tabulka 8. Požadavky na vizuální kontrolu (ČSN EN 14081-1, 2011)..... 42
Tabulka 9. Požadavky na vizuální kontrolu pro oblasti neúplné tříděné strojně (ČSN EN 14081-1, 2011)..... 43
Tabulka 10. Třída funkčních požadavků reakce na oheň pro konstrukční dřevo (EN 14081-1, 2011)..... 43
Tabulka 11.Charakteristické vlastnosti pevnosti a tuhosti pro T-třídy v N/mm² a hustoty v kg/m³ pro prkna nebo fošny pro lepené lamelové dřevo (ČSN EN 14080, 2013)..... 44
Tabulka 12. Skladba nosníku z kombinovaného lepeného lamelového dřeva a minimální hodnoty pro pevnost v ohybu zubovitých spojů v lamelách v N/mm² (ČSN EN 14080, 2013)..... 46
Tabulka 13. Skladba nosníku z homogenního lepeného lamelového dřeva a minimální hodnoty pro pevnost v ohybu zubovitých spojů v lamelách v N/mm² (ČSN EN 14080, 2013).....46
Tabulka 14. Charakteristické vlastnosti pevnosti a tuhosti v N/mm² a hustoty v kg/m³ pro kombinované lepené lamelové dřevo (ČSN EN 14080, 2013)..... 47
Tabulka 15. Charakteristika vlastností pevnosti a tuhosti v N/mm²a hustoty v kg/m³ pro homogenní lepené lamelové dřevo (ČSN EN 14080, 2013)..... 47
Tabulka 16. Charakteristika vlastností pevnosti a tuhosti v N/mm² a hustoty v kg/m³ pro homogenní lepené lamelové dřevo (ČSN EN 14080, 2013).....48

Tabulka 17. Největší hodnoty celkové delaminace v % (ČSN EN 14080, 2013)...51
Tabulka 18. Nejmenší hodnoty procenta porušení dřeva ve vztahu ke smykové pevnosti (ČSN EN 14080, 2013)..... 51
Tabulka 19. Třídy reakce na oheň pro lepené lamelové dřevo (ČSN EN 14081-1, 2006)..... 51
Tabulka 20. Třídy uvolňování formaldehydu (ČSN EN 14080, 2013)..... 52
Tabulka 21. Maximální odchylky od nominálních rozměrů pro lepené lamelové dřevo, lepené lamelové dřevo s velkými zubovitými spoji a složené lepené lamelové dřevo (ČSN EN 14080, 2013).....53
Tabulka 22. Maximální odchylky od nominálních rozměrů pro lepené rostlé dřevo (ČSN EN 14080, 2013)..... 53
Tabulka 23. Součinitel vlhkostní deformace *k* pro změnu obsahu vlhkosti o 1% (ČSN EN 14080, 2013)..... 53
Tabulka 24. Klima v sušárnách pro různé postupy zkoušky delaminace lepených spár(ČSN EN 14080, 2013)..... 57
Tabulka 25. Počet zkušebních hranolů pro smykovou zkoušku lepených spár (ČSN EN 14080, 2013).....60
Tabulka 26. Doporučená geometrie zubovitých spojů (ČSN EN 14080, 2013)..... 77
Tabulka 27. Doporučené konečné tloušťky t pro lamely v mm (ČSN EN 14080, 2013).....79
Tabulka 27. Maximální odchylka od průměrné tloušťky lamel v mm (ČSN EN 14080, 2013)..... 80
Tabulka 29. Doporučené hodnoty lisovacího tlaku (ČSN EN 14080, 2013)..... 80

Graf 1. Podíl rozlohy lesů v jednotlivých částech světa..... 4
Graf 2. Podíl rozlohy lesů ve vybraných státech Evropy..... 5
Graf 3. Váhové porovnání materiálů při stejné spotřebě energie určené pro jejich výrobu (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)..... 6
Graf 4. Znázornění sorpce a desorpce (prezentace z předmětu Štruktúra dreva, TU Zvolen)..... 17
Graf 5. Doporučené hodnoty pro plný lisovací tlak (ČSN EN 14080, 2013).....78

Seznam použitých zkratek a symbolů

A	plocha v mm^2
b	šířka průřezu v mm
d	průměr v mm
e	relativní vůle v zubovitém spoji
E	modul pružnosti
G	modul pružnosti ve smyku
f	pevnost v N/mm^2
h	výška průřezu
k	součinitel vlhkostní deformace
l	délka v mm
l_a	skutečný rozměr v mm
lj	korigovaný rozměr v mm
p	rozteč ozubů
r	poloměr křivosti v mm
t	tloušťka lamely v mm
α	úhel ozubu ve stupních
ρ	hustota v kg/m^3
fu	mezní zatížení v N
Delam max	největší procento delaminace
Delam tot	celkové procento delaminace
lmax,delam	maximální délka delaminace v mm
lt	vůle v zubovitém spoji
ltot, delam	celková delaminace v mm
nlam	počet lamel

Indexy

c	tlak
dc	deklarovaná hodnota
g	vlastnosti lepeného lamelového dřeva
j	vlastnosti zubovitých spojů v lamelách
k	charakteristická hodnota
l	vlastnosti lamel
lfj	vlastnosti velkých zubovitých spojů
m	ohyb
mean	průměrná hodnota
min	minimální hodnota
r	valivý smyk
t	tah
s	vlastnosti rozmítnutého lepeného lamelového dřeva
v	smyk
0	rovnoběžně s vlákny
05	5% kvantil
90	kolmo k vláknům

1. Úvod

Dřevo považujeme za nejstarší materiál, který se i po objevení nových materiálů nepodařilo z některých odvětví vytlačit. V pravěku bylo dřevo spolu s kamenem první materiál, jenž člověk začal používat jako nástroj a poté se dřevo stalo pro člověka zdrojem tepla a světla.

Díky svým vlastnostem je dřevo i po tolika letech velmi oblíbený materiál a to zejména ve stavitelství, kde nám umožňuje řešit a stavět budovy s přírodním materiálem a využívat tak krásu samotné přírody uvnitř interiéru a exteriéru. Architekti již dlouhá léta se dřevem staví a snaží se z něho vymýšlet nové konstrukce a technologie jeho využití. Kromě stavitelství využíváme dřevo i v nábytkářství, hornictví, ke stavbě lodí, mostů, rozhleden, k výrobě sportovních potřeb, kancelářských potřeb a spousty dalšího. Například ve výrobě hudebních nástrojů je tento materiál nenahraditelný.

Koloběh dřeva obsahuje všechny stupně od růstu, získávání suroviny, zpracování, použití a opětovného použití.

Lesní hospodářství nám zabezpečuje první funkci – růst. Bez nepříznivých zásahů do životního prostředí a při správném zacházení s lesy nám bude dodáván kvalitní materiál. V současnosti si lidé uvědomují, že nastává problém s vyčerpatelností surovinových zdrojů, a proto se snaží zvětšit možnosti využití dřeva, jako producenta obnovitelného materiálu.

Dalším krokem koloběhu dřeva je zpracování dřeva, na které se využívají služby velkých zpracovatelských závodů. Z pokáceného stromu lze materiál zcela využít na trámy, řezivo, dýhy, materiály na bázi dřeva, buničinu, třísloviny, barviva a nakonec jako zdroj energie.

Právě díky etapě zpracování dřeva, se k nám dostávají hotové výrobky nebo polotvary používající se pro konstrukce staveb, zastřešení, mostů a dalších extrémně zatížených konstrukcí v interiéru i exteriéru. Takto velká zatížení již rostlé dřevo nedokáže unést, a proto byla vyvinuta nová technologie lepeného dřeva. Lepené lamelové výrobky dokážou velká zatížení lépe přenést a mají lepší tvarovou stálost. Tvarové změny vznikají u dřeva následkem sesychání a bobtnání a u lepeného lamelového dřeva je tomu zabráněno složením a slepením lamel o předepsané vlhkosti.

2. Cíl práce

Hlavním cílem práce je posouzení vhodnosti modřínové dřeviny pro výrobu zátěžových exteriérových prvků z lepeného lamelového dřeva.

Proto, abychom dokázali správně posoudit vhodnost dřeviny pro výrobu lepeného lamelového dřeva je potřeba se okrajově seznámit se dřevem samotným. Způsob seznámení se dřevem jsem zvolila pouze do takové hloubky, aby bylo jasné, jak dřevo roste, z čeho se skládá a jaké jsou jeho vlastnosti při různých podmínkách.

Dalším tématem této diplomové práce je již samotné seznámení s lepeným dřevem a jeho historií. Měli bychom si uvědomit základní terminologii, používající se v oblasti lepeného dřeva, jeho základní rozdělení a tři základní zástupce. Dále je nutností v práci okrajově popsat, jak se z hlediska statiky, správně lepené lamelové dřevo a jeho průřez navrhuje a co je potřeba znát, aby jeho životnost byla co nejdelší.

Technologie výroby lepeného lamelového dřeva je složitý proces, který musí splňovat spoustu požadavků. Tyto požadavky jsou obsaženy v normách určených výrobcům pro výrobu a zkoušení lepeného výrobku. Pro správné posouzení vhodnosti modřínové dřeviny je zapotřebí celou technologii lepeného lamelového dřeva a vše co s ní souvisí, správně popsat.

Největší požadavek je kladen na lepení lamel a nastavování pomocí zubovitých spojů. Je nutné zdůraznit, která lepidla se v rámci výroby používají a jaké všechny požadavky musí splnit, aby jejich životnost v konstrukci a poté i celková životnost konstrukce byla co nejdelší.

Na základě těchto poznatků je dalším cílem práce seznámení se zkoušením lepeného lamelového dřeva. Nejčastěji je prováděna zkouška delaminace lepeného spoje a stanovení pevnosti v ohybu zubového spoje. Tyto dvě zkoušky jsou provedeny pro smrkovou a modřínovou dřevinu a na základě nich byly vyhotoveny protokoly. Tyto protokoly jsou obsaženy v příloze diplomové práce a na jejich základě, se v závěru posoudí, která ze dřevin je pro použití v exteriéru vhodnější.

Samotná výroba je podstatnou částí této práce, mělo by dojít k seznámení se s postupem výroby a to i pomocí obrázků a předepsaných požadavků na výrobu.

Na konci této diplomové práce se seznámíme s použitím dřeva v exteriéru a ukázkou některých realizacích.

3. Metodika

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části, je převážně čerpáno z již vydaných publikací, internetových stránek a norem. Praktická část je prováděna na základě normy ČSN EN 14080:2013 a jsou v ní obsaženy zkoušky lepeného lamelového dřeva ze smrku a modřínu.

Teoretická část práce je rozdělena do několika základních kapitol.

První kapitola obsahuje seznámení se dřevem a jeho vlastnostmi, je zde okrajově popsán růst dřeva, jeho dostupnost, složení kmene atd. Dále je zde zmíněna makroskopická, mikroskopická a submikroskopická struktura dřeva a jeho chemické složení. Kapitola, zabývající se těmito poznatky, není tolik obsáhlá, struktura je zde popsána do takové míry, aby bylo jasné, z jakých buněk se strom skládá a co mají buňky za funkce.

Fyzikální a mechanické vlastnosti jsou pro chápání chování dřeva nejpodstatnější, proto jsou jim věnovány samostatné kapitoly. V každé této kapitole jsou vlastnosti popsány a jsou zmíněny i zkoušky, dle kterých se dané vlastnosti zkouší.

Dalšími kapitolami, které jsou v této práci obsaženy, se již dostáváme, k podstatě této diplomové práce a to k lepenému lamelovému dřevu. V úvodu této části je zmíněna jeho historie a okrajově i historie dřevěných konstrukcí. Pro správné seznámení s lepeným dřevem, následuje terminologie vyskytující se v problematice lepeného lamelového dřeva, dále nás práce seznámí se třemi základními zástupci lepeného dřeva.

Další kapitoly se zabývají návrhem a požadavky na výrobu lepeného lamelového dřeva. Obě tyto kapitoly jsou, pro dlouhou životnost lepeného lamelového dřeva, podstatnou součástí a nemělo by dojít k jejich zanedbání. V požadavcích na výrobu jsou podkapitoly rozděleny do několika částí. Každá podkapitola je samozřejmě důležitá, ale nejvíce je kladen důraz na lepidla.

Jelikož jsou požadavky na výrobu lepeného lamelového dřeva tak vysoké, je důležité je dodržovat a to souvisí i s jejich zkoušením. Zkušební postupy pro lepené dřevo jsou popsány v samostatné kapitole a na základě těchto zkoušek, byla provedena praktická část, kde je posuzována delaminace lepeného spoje a stanovení pevnosti v ohybu zubového spoje pro smrkovou a modřínovou dřevinu. Z těchto zkoušek byly vyhotoveny protokoly, které jsou součástí přílohy diplomové práce.

Do teoretické části patří ještě kapitola s popisem výroby lepeného lamelového dřeva a požadavky, které se musí při výrobě dodržovat.

V poslední kapitole je ukázka již realizovaných zátěžových konstrukcí použitých v exteriéru.

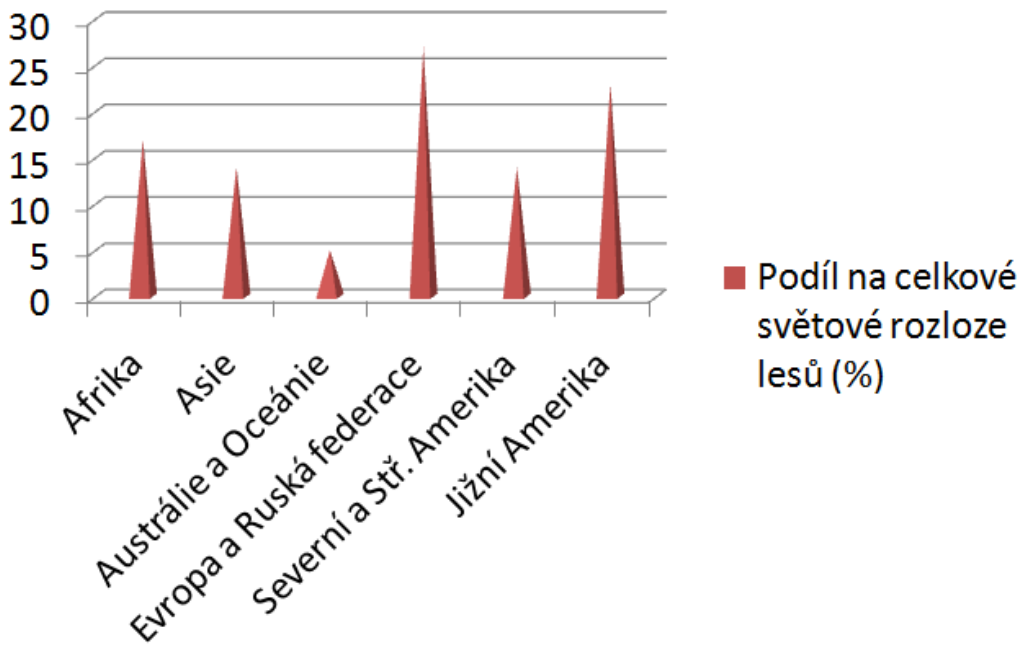
4. Dřevo jako materiál

4.1. Všeobecné znalosti o dřevě

Dřevo je velmi oblíbený materiál a to zejména díky jeho pozitivním vlastnostem mezi které patří:

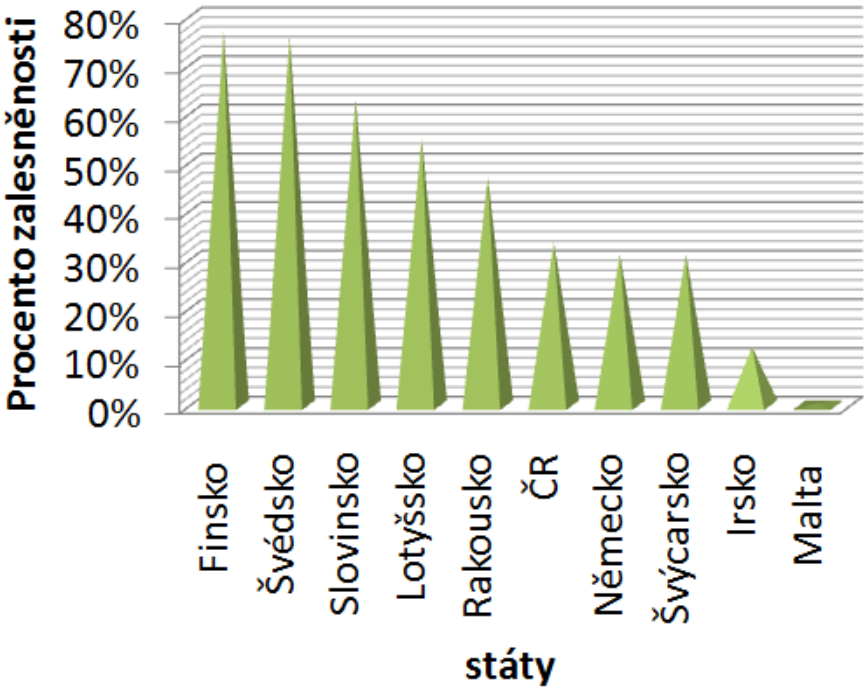
1.) Dostupnost

Dřevo je obnovitelný zdroj, což v dnešní době můžeme brát za jednu z největších výhod. Při správném využití možností zalesnění a chování se k přírodě, můžeme dřevo z lesů neustále těžit. V roce 2000 byla naše planeta zalesněná z 30% na celkovou plochu souše. Což představuje 38,7 milionů kilometrů čtverečních lesa. Polovina z toho jsou tropické a subtropické lesy, druhá polovina jsou lesy mírného pásma. V grafu č. 1 je znázorněn podíl na celkové světové rozloze lesů (%) v jednotlivých částech světa v roce 2000 (FAO, 2001).



Graf 1. Podíl rozlohy lesů v jednotlivých částech světa

Z hodnot je patrné, že největší zásoby dřeva jsou v Evropě a Ruské federaci a není tedy problém přiměřeně dřevo nadále využívat. Podle údajů Evropského statistického úřadu zaujímají lesy v Evropě okolo 40% celkové půdy. Nejvíce zalesněné jsou země Severní Evropy (Finsko, Švédsko 76-77%). V grafu č. 2 jsou, pro porovnání, uvedeny hodnoty zalesnění vybraných zemí.



Graf 2. Podíl rozlohy lesů ve vybraných státech Evropy

V České Republice představují lesy 34% z celkové plochy. Touto hodnotou se naše země řadí na 12 místo žebříčku zalesnění Evropy. Pro představu okolní státy střední Evropy mají procento zalesněnosti: Rakousko 47%, Německo a Švýcarsko 31%.

Zásoba dřeva v ČR na 1 hektar je 25,8m³/ha. Roční přírůst dřeva na 1ha je 7,8m³/ha. Komplex dřevozpracujícího průmyslu se postupně rozrůstá a nyní zaměstnává přibližně 210 tisíc pracovníků.

Na základě podkladů z českého statistického úřadu z roku 2008 je patrné, že v ČR převládá těžba jehličnatý dřevin (92%), listnaté dřeviny (8%).

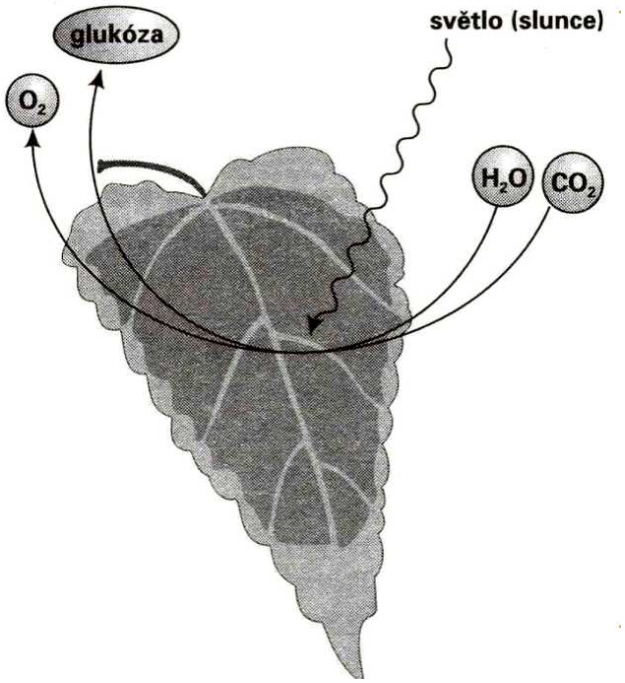
2. Snadná opracovatelnost

Pojmem opracovatelnost rozumíme chování dřeva při řezání, broušení, hoblování atd. Opracování dřeva se provádí buď ručně nebo pomocí strojů. Opracovatelnost je ovlivněna hustotou a vlhkostí dřeva, čím větší je hustota a obsah vody ve dřevě, tím je jeho opracování náročnější na technologii a opotřebení nástrojů.

3. ekologický materiál

Dřevo pozitivně ovlivňuje ekologický koloběh přírody, je tedy všeobecně známo, že je důležité zajistit šetrné zacházení s tímto přírodním zdrojem a zajistit tak trvalý vývoj a možnost využití v budoucnosti.

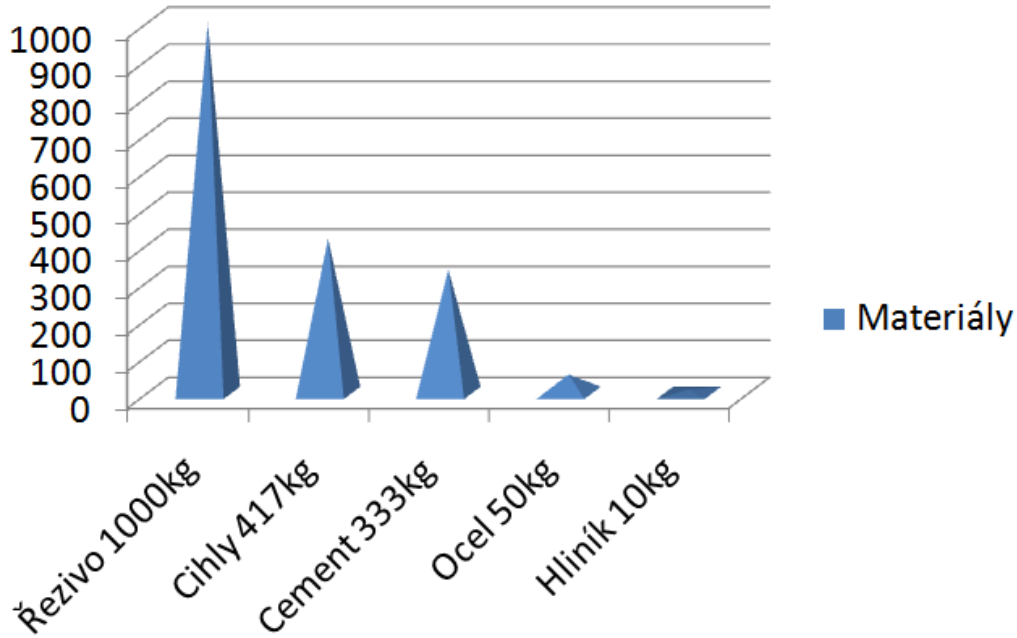
Pozorováním samotného růstu dřeva vychází najevo, že z vody, oxidu uhličitého a světla vznikají fotosyntézu sacharidy a pro člověka životně důležitý kyslík. Rostoucí strom dokáže vázat na každý 1m3 dřevní hmoty cca 250 kg. uhlíku, čímž odebírá z atmosféry 1t CO2. Průběh fotosyntézy je vidět na obrázku č. 1.



Obrázek 1. Průběh fotosyntézy (kbfr.agrobiologie.cz)

Všechny následující procesy se dřevem (těžba, výroba výrobků), lze provádět bez neúnosného dopadu a zásahu do životního prostředí.

Pro výrobu dřevěného polotovaru je zapotřebí méně energie než u jiných materiálů. V grafu č. 3 je znázorněno váhové porovnání některých materiálů při stejné spotřebě energie na jejich výrobu (kg).



Graf 3. Váhové porovnání materiálů při stejné spotřebě energie určené pro jejich výrobu (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

Můžeme říci, že ani užívání a likvidace výrobku nezatěžuje životní prostředí. Likvidaci lze vykonávat buď látkovou přeměnou a zařazením vzniklých látek do přírodního oběhu nebo spalováním dřeva pro jeho energetické využití. Proces spalování, pokud probíhá v odpadajících podmínkách, je také ekologicky nezávadný.

4. trvanlivost

Dřevo je organický materiál, který může být v nevhodných podmínkách použití znehodnocen biotickými škůdci. Mezi biotické škůdce řadíme hnilobu, dřevokazné houby, dřevokazný hmyz.

Vysokou trvanlivost dřeva zajistíme správným konstrukčním návrhem, popřípadě při použitím chemické ochrany.

4.2. Základní rozdělení dřevin

Dřeviny rozdělujeme na dva základní druhy, u nichž už při optickém pozorování můžeme rozlišit nejen patrné rozdíly v dvou druzích odlišných dřevin, ale i v rámci jednoho druhu například bělové a jádrové dřevo atd.

4.2.1 Jehličnaté dřeviny

Růst těchto dřevin se pohybuje mezi 80-100 lety a dosahují výšky 25 - 40m o průměru kmene až 1m. Tyto dřeviny většinou rostou v oblastech s chladnějším či proměnlivým klimatem. Růst jehličnatých stromů je rychlý, a proto je jejich pěstování méně nákladné nežli v případě listnatých stromů.

Jedná se většinou o dřeviny měkké, lehké a snadno opracovatelné. Homogenní struktura jehličnatých dřevin umožňuje výrobu nábytku. Jehličnaté dřevo je zpravidla s nízkou hustotou a vyznačuje se světlou barvou, zřetelnou texturou a viditelným kontrastem mezi letními a jarními letokruhy. Světlá barva se pohybuje ve škále sahající od žluté až po hnědě rezavou.

Dřevo jehličnatý stromů se nejvíce používá ve stavebnictví, při výrobě nábytku a pro produkci celulózy používané v papírenském průmyslu.

Nejznámější jehličnaté dřeviny:

1. Smrkové dřevo – nejčastěji se používá na konstrukce dřevostaveb. Je bílé až nažloutlé barvy se zarostlými suky a mírným výskytem pryskyřice. Smrkové dřevo je lehké, pružné, snadno opracovatelné a vhodné k lepení. Při použití smrkového dřeva v suchém prostředí má dřevo velkou trvanlivost. Ve vlhkém prostředí rychle hnije.
2. Jedlové dřevo – tyto dřeviny jsou vyznačovány pravidelným růstem, proto je zpravidla lepší jakosti než dřevo smrkové. Je náročnější na zpracování a je méně trvanlivé. Jeho barva je šedobílá, časem ale zešediví, až zčerná. Dalšími vlastnostmi je nízký obsah pryskyřice a jeho suky občas vypadávají. Dřevo je měkké, dobře štípatelné, pružné, ohebné a nosné.
3. Borové dřevo – je pro velký obsah pryskyřice používáno do vlhkého prostředí a do prostředí se střídavým vlhkem a suchem, jenž dokáže být odolné. Borové dřevo je křehké, méně pružné s načervenalou barvou a vypadávajícími suky.
4. Modřínové dřevo- obsahuje značné množství pryskyřice, kterou je rovnoměrně prosyceno. Díky pryskyřice dokáže odolat střídání sucha a vlhka a je trvanlivý. Jeho barva je zpočátku žlutá, poté však červená, hnědne a tmavne. Dřevo se v minulosti používalo na krovy velkých rozpětí.

4.2.2 Listnaté dřeviny

Růst se pohybuje mezi 120-150 lety a dřeviny při něm dosahují výšky 20-25m (dub až 60m), s průměrem kmene až 1,5m (dub až 3m). Většina těchto stromů roste v mírných a tropických pásmech. V období zimy přestanou listnaté stromy růst, což má za následek jejich opadávání na podzim. Růst opět začínají na jaře, kdy vytvářejí nové listy a pupeny, které posléze rozkvétají. Jejich doba růstu je pomalá a výsadba mladých stromů nedosahuje takových kvalit jako u stromů starších.

Dřevo je vzhledem ke své vyšší hustotě a tvrdosti více odolnější, nežli dřevo jehličnanů. Díky svému svalovitému, lesklému, pruhovanému povrchu je dřevo listnatých stromů vhodné pro použití na dekorativní účely, a proto bývá také dražší.

Používají se hlavně v podobě krycích dýh, ve stavebnictví a pro zhotovení řemeslnických výrobků.

Nejznámější listnaté dřeviny

Dosud je známo více jak 1400 druhů listnatých stromů. Mezi nejznámější patří dva druhy:

1. Dubové dřevo – jeho barva je žlutozelená. Je velmi houževnaté, trvanlivé, těžké a pevné. Dosahuje velkých pevností v tlaku i tahu, a proto se velmi používá pro výrobu spojovacích prostředků (hmoždíků, kolíků, klínů, atd.). U dubového dřeva je nezajímavější jeho odolnost proti vodě. Pokud je dubové dřevo ponořené ve vodě, je jeho životnost prakticky neomezená. Na suchu vydrží 500 – 700 let. Proti jehličnatým dřevinám je tvrdé dřevo dubu značně odolné proti ohni.
2. Bukové dřevo – jeho barva je načervenalá. V porovnání s dubem je dřevo buku měkčí a není tak houževnaté. Používá se zejména na výrobu dýh a překližek. Špatně odolává vlivům vlhkosti, pokud není správně naimpregnováno.

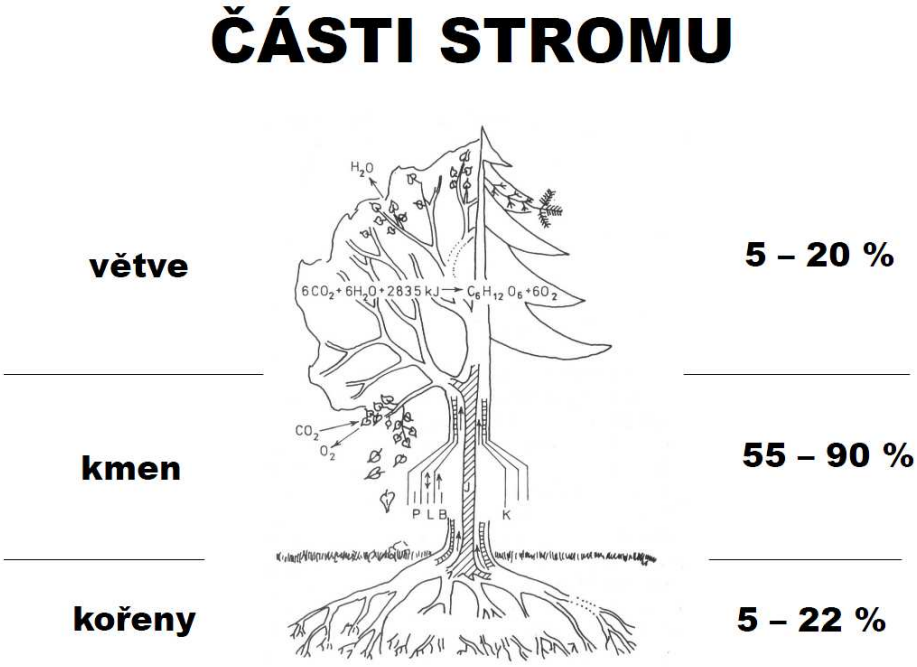
4.3. Části stromu

Každý strom se skládá ze tří hlavních částí (viz obrázek č. 2). Každá část plní určité životní funkce a jejich využití je uplatňováno v různých průmyslových odvětvích. Zastoupení částí stromu se liší dle druhu dřeviny (viz tabulka č. 1).

Tři základní části stromu:

1. kmen – u jehličnanů se zastoupení kmenové dendromasy pohybuje okolo 80-90% a u listnatých stromů 55-75% z celkové dendromasy stromu. Kmen je hlavním zájmem stavebních inženýrů. V dnešní době dokážeme zpracovat celý kmen stromu. Dělením kmene vyrábíme výřezy, které třídíme dle druhu dřevin, rozměrů a chyb.
2. koruna – tvoří malý podíl z celkového objemu stromu. Ve stromě se jejich zastoupení pohybuje mezi 5-20%. Mají odlišnou stavbu nežli kmen a využívají se převážně na energetické účely a výrobu dřevotřísek.
3. kořeny – mají malý podíl na celém objemu stromu. Jejich zastoupení se pohybuje mezi 5-22% z celkové dendromasy stromu. Tato část stromu má odlišnou stavbu nežli dřevo kmene a pro zpracování v průmyslových odvětvích se téměř

nevyužívá. Kořeny některých stromů se využívají pro výrobu dýh - kořenice. Tato výroba je velmi náročná a nákladná.



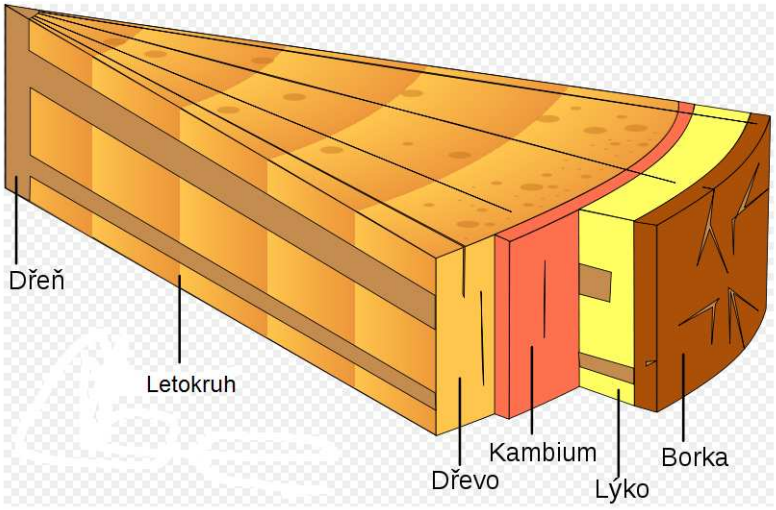
Obrázek 2. Tři hlavní části stromu a jejich přibližné zastoupení (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

Dřevina	Kmen	Kořeny	Větve
Smrk, jedle	80-90%	5 - 15%	5 - 10%
Modřín	77 - 82%	12 - 15%	6 - 8%
Borovice	65 -77%	15 - 25%	10 - 20%
Dub	65 - 75%	15 - 20%	10 - 20%
Jasan	55 - 70%	15 - 25%	15 - 20%
Javor klen	65 - 75%	15 - 20%	10 - 15%
Buk	55 - 75%	20 - 25%	10 - 20%
Bříza	78 - 90 %	5 - 12%	5 - 10%

Tabulka 1. Zastoupení jednotlivých částí stromu v odlišných dřevinách (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

4.4 Kmen stromu

Skladba kmene stromu je důležitá pro pochopení chování a možností použití dřeva. Kmen stromu se skládá z několika hlavních částí, které jsou zobrazeny na obrázku číslo 3.



Obrázek 3. Hlavní části kmene stromu (commons.wikimedia.org)

4.4.1 Hlavní části kmene

1. Kůra

Kůra stromu představuje vnější vrstvu kmene složenou z vrstev pletiv. Kůra má tři základní funkce: vodivou, ochrannou, a mechanickou. Ochranou funkcí rozumíme ochranu vnitřních živých pletiv stromu před vnějším prostředím (mikroorganizmy, sluneční záření, atd.). Kambium je tenkostěnné pletivo chránící kůru před mechanickým poškozením. Další vnitřní vrstvou kůry je lýko, jenž je výsledkem činnosti kambia. Lýko rozvádí prvky asimilace z koruny stromů podél kmene.

Tvorba kůry je složitý proces, kdy je první kůra (borka) tvořená z pletiv lýka, pericyklu, primární kůry a pokožky. Na kmeni stromu je kůra tvořena dvěma dělivými pletivy, kambiem a felogenem.

2. Kambium

Je sekundární dělivé pletivo vytvářející směrem dovnitř kmene buňky dřeva a navenek buňky lýka.

3. Letokruhy

Jsou výsledkem periodické činnosti kambia. Jejich rozlišitelnost je možná díky střídání období vegetace a vegetačního klidu.

4. Bělové dřevo

Živé buňky bělového dřeva jsou fyziologicky aktivní část kmene. Buňky vedou vodu spolu s živinami od kořenů do větví. Stěny těchto buněk se stále rozrůstají a obsahují zásobník látky pro svůj růst.

Bělové dřeviny se vyznačují rovnovážnou barvou a vlhkostí v celém průřezu kmene.

5. Jádrové dřevo

Je středová, barevně odlišená zóna kmene. Tato část kmene obsahuje neaktivní zónu s mrtvými buňkami, které již nerostou a vytvářejí schránky pro odpadní produkty.

Jádrové dřeviny se na pohled vyznačují tmavším jádrem a světlou bělí.

6. Extraktivní látky

Jsou doprovodné produkty vznikající růstem stromu a uložených v buňkách jádrového dřeva. Složení extraktivních látek se mění dle druhu dřevin, některé tyto látky dokážou být toxické pro dřevokazné houby a hmyz.

7. Dřeň

Je pozůstatek primárního prodlužovacího růstu stromu. Její průměr se většinou pohybuje v rozmezí 2-5mm na příčném řezu a tvar je kruhový, trojhranný, hvězdicový nebo pětihranný.

4.5. Vlastnosti dřeva

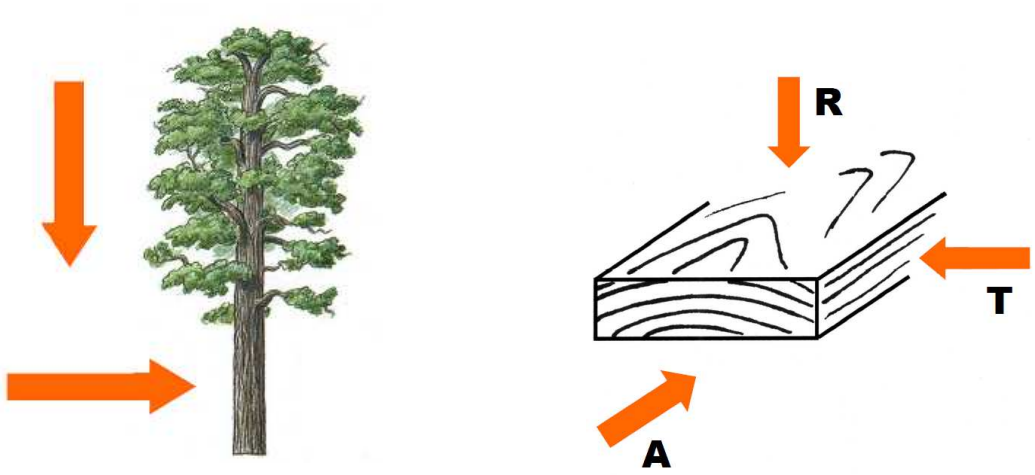
Dřevo je univerzální materiál, který lze snadno opracovávat a zpracovat. Tyto procesy vyžadují určitý stupeň vědomostí, zručností a znalostí o vlastnostech dřeva. Vlastnosti jsou nezávislé nebo závislé na botanickém druhu dané dřeviny a dále vlastnosti proměnlivé v tom samém botanickém druhu.

4.5.1. Vlastnosti nezávislé na botanickém druhu

1. Dřevo je vláknitý materiál složený z dlouhých, štíhlých buněk, které jsou uspořádány ve směru podélné osy kmene stromu. Tyto vlákna vytváří strukturu dřeva a jsou původem anizotropních vlastností dřeva.
2. Dřevo je přírodní buněčný materiál vytvořený z buněčných stěn. Chemické složení těchto buněčných stěn je u všech druhů obdobné. Základními složkami jsou celulóza, lignin a hemicelulóza.
3. Pod pojmy izotropní a ortotropní materiál rozumíme rozdílné vlastnosti v základních anatomických směrech. To se týká hlavně u vlastností fyzikálních a mechanických. Například mechanické vlastnosti jsou v podélném směru několikanásobně vyšší než napříč vláken.

Mezi základní směry řadíme (viz obrázek č. 4):

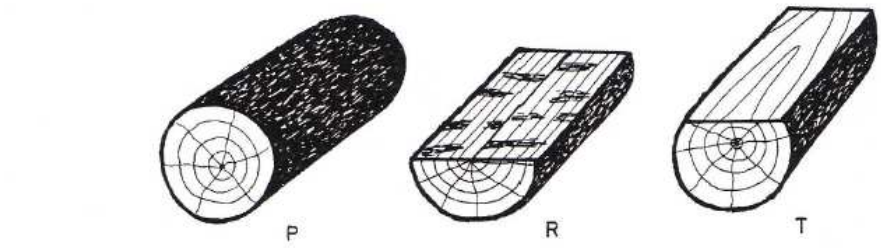
1. směr rovnoběžně s vlákny – axiální – vedený podél osy kmene, tedy ve směru jeho vláken
2. směr kolmo na vlákna
    a. radiální – směr vedený kolmo na roční kruhy a kolmo na dřeň
    b. tangenciální – směr vedený jako tečna k ročnímu letokruhu



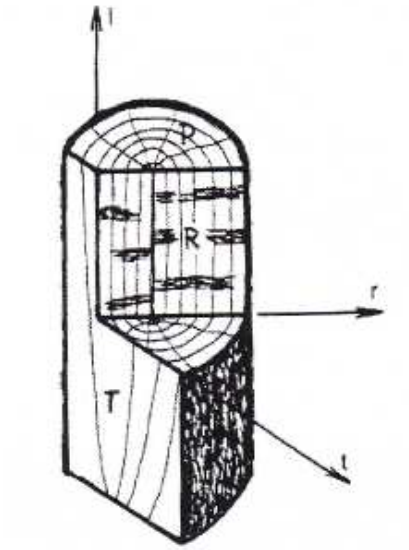
Obrázek 4. Znázornění základních směrů u dřevin
(prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

Mezi základní řezy řadíme (viz obrázek č. 5):

1. příčný řez (P) – je vedený kolmo na podélnou osu kmene
2. podélný řez radiální (R) – podélný řez vedený dření a protínající letokruhy pod úhlem 90° Je vedený ve směru poloměru.
3. řez tangenciální (T) – podélný řez vedený jako tečna



Obrázek 5. Znázornění základních řezů dřevin
(Ing. Čunderlík, Štruktúra dreva, TU Zvolen)



Obrázek 6. Kombinace řezů a směrů dřevin
(Ing. Čunderlík, Štruktúra dreva, TU Zvolen)

4. Hygroskopicita dřeva vysvětluje změnu vlastností vzhledem k obsahu vody ve dřevě. Struktura dřeva umožňuje přijímat a odevzdávat vodu v plynném stavu. Tato vlastnost je závislá na změnách vlhkosti prostředí, v němž se dřevo nachází. Přijímáním a odevzdáváním vody se mění rozměry prvků, jejich vlastnosti, odolnost proti biotickým škůdcům a technologie zpracování.

Mez hygroskopicity znamená rovnovážnou vlhkost, kterou dřevo dosáhne při dlouhodobém vystavení prostředí s relativní vlhkostí vzduchu.

5. Degradovatelnost dřeva mikroorganizmy je jeho přirozená vlastnost probíhající vlivem biotických a abiotických činitelů.

4.5.2 Vlastnosti závislé na botanickém druhu

Různé druhy stromů mají různou texturu, vzhled a fyzikálně mechanické vlastnosti. V oblasti textury jsou různé vlastnosti tyto: letokruhy, běl, jádro, dřeňové paprsky, cévy, barva atd. U mechanických vlastností jsou odlišnosti v hodnotách hustoty, pórovitosti, rozměrových změn aj. a u fyzikálních v hodnotách pevnosti, pružnosti, houževnatosti aj.

4.5.3 Vlastnosti v botanickém druhu

Objevují se v jednom stromě nebo mezi stromy, stejného druhu. Jde o výsledky růstu stromu například tvaru buněk a jejich vzájemného uspořádání v letokruzích, chybách růstu dřeva atd. Změny se projevují ve výšce nebo v průřezu stromu. Tyto změny jsou vyvolané vlivem vnějších podmínek, které ovlivňují růst stromu (klima, půda, vlhkost, prostor).

4. 6 Struktura dřeva

Dřevo je vláknitý materiál složený z dlouhých, štíhlých buněk, které jsou uspořádány ve směru podél osy kmene stromu. Tyto vlákna vytváří strukturu dřeva a jsou původem anizotropních vlastností dřeva.

Rozlišujeme dřevo získávané z tvrdých dřevin (listnaté) a měkkých dřevin (jehličnaté).

V praxi rozlišujeme čtyři úrovně poznání struktury dřeva:

1. Makroskopické znaky dřeva
2. Mikroskopická stavba dřeva
3. Submikroskopická stavba dřeva
4. Chemická struktura

4.6.1 Makroskopická znaky dřeva

Tyto znaky jsou viditelné okem nebo lupou na jednotlivých řezech dřeva. Patří mezi ně: letokruhy, běl, jádrové dřevo, dřeňové paprsky, pryskyřičné kanálky, dřeňové skvrny a cévy. Pro lepší identifikaci dřeva používáme i fyzikální a mechanické vlastnosti například: barvu, lesk, hustotu a tvrdost dřeva.

4.6.2 Mikroskopická stavba dřeva

Jehličnaté dřevo je vývojově straší nežli listnaté dřevo. Jeho struktura je mnohem jednodušší. Základním prvkem struktury jehličnatého dřeva jsou tracheidy. Jejich obsah ve dřevě je vysoký (87-95%). Další složkou jsou parenchymatické buňky (5-13%) a u některých se vyskytující dřevní parenchym (do 1%). Funkce prvků jehličnatých rostlin jsou zobrazeny v tabulce č. 2.

Funkce pletiv	Jehličnaté dřevo
Vodivá	Jarní cévice
Mechnická	Letní cévice
Zásobní	Parenchymatické buňky

Tabulka 2. Funkce základních pletiv jehličnatých dřevin (Ing. Čunderlík, Štruktúra dreva, TU Zvolen)

Struktura listnatého dřeva se od jehličnatého dřeva liší hlavně složením. Listnaté dřevo se skládá z několika druhů pletiv se specializovanou fyziologickou funkcí (viz tabulka č. 3)

Funkce pletiv	Listnaté dřevo
Vodivá	Cévy a cévice
Mechnická	Libriformní vláka a cévice
Zásobní	Parenchymatické buňky

Tabulka 3. Funkce základních pletiv listnatých dřevin (Ing. Čunderlík, Štruktúra dreva, TU Zvolen)

4.6.3 Submikroskopická stavba dřeva

Buňková stěna se skládá z primární stěny, střední lamely, vrstev sekundární stěny.

4.6.4 Chemická struktura

Dřevo je přírodní organický buněčný materiál, který je vytvořený ze složek celulózy, hemicelulózy, ligninu a extraktivních látek. Obsah složek buněčné stěny ve vybraných typech dřevin je zobrazen v tabulce č. 4.

Komponent	Smrk %	Borovice %	Buk %
Celulóza	45,6	43,2	39,2
Hemicelulózy	27,6	28	35,3
Lignin	26,9	26,6	20,9

Tabulka 4. Zastoupení složek dřeva vybraných druhů dřevin (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

5. Fyzikální vlastnosti dřeva

Fyzikální vlastnosti dřeva stanovujeme bez porušení chemické struktury a celistvosti materiálu.
Jedná se o vlastnosti, které popisují:

1. Hmotu dřeva
2. Vztah dřeva k vlhkosti
3. Vnější vzhled dřeva
4. Vztah dřeva k teplu
5. Vztah dřeva ke zvuku
6. Vztah dřeva k elektrickému proudu
7. Vztah dřeva k záření

5.1 Hustota dřeva

Hmota dřeva vykazuje určitou hustotu. Hodnoty hustot, neboli hmotnosti objemové jednotky jsou základní charakteristikou jednotlivých druhů dřevin. Hustota ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva. Pro třídění dřeva do tříd pevnosti jsou stanoveny na základě normy mezní hodnoty hustot.

Ve dřevě rozdělujeme hustotu dřevní substance, hustotu dřeva a redukovanou hustotu dřeva. Hustota dřevní substance je hmota buněčných stěn bez lumenů a mezibuněčných prostorů. Průměrná hodnota pro všechny dřeviny je 1500kg/m³. Hustota dřeva se definuje jako podíl hmotnosti a objemu dřeva při určité vlhkosti – hustota dřeva v suchém stavu, hustota dřeva vlhkého a hustota dřeva při vlhkosti 12%. Výpočty těchto hustot vychází ze základního vzorečku pro výpočet hustoty. V dřevařské vědě a inženýrství s ní spojeném se hlavně používá udávání hustoty dřeva v absolutně suchém stavu a hustotě při 12% vlhkosti.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m - hmotnost, V - objem

Na základě hustoty různých druhů dřevin rozdělujeme dřeviny na:

1. Dřeva s nízkou hustotou- menší jak 540 kg/m³, (smrk, borovice, jedle, lípa, topol, vrba)
2. Dřeva se střední hustotou ρ = 540 – 750 kg/m³ (modřín, tis, bříza, buk, dub, jasan, jilm)
3. Dřeva s vysokou hustotou – větší jak 750 kg/m³ (habr, akát)

Zjišťování hustoty dřeva probíhá na normovaných vzorcích vyrobených předepsaným způsobem. Hmotnost se zjišťuje vážením a objem pomocí mikrometru nebo posuvného měřítka.

Hustotu dřeva ovlivňuje řada faktorů, mezi které patří: stavba dřeva, chemické složení dřeva, vlhkost dřeva a ostatní. Hustota dřeva roste se zvyšující se vlhkostí, ale objem dřeva roste jen do meze hygroskopicity. Odlišnosti jsou patrné i u hodnot hustoty tahového reakčního dřeva, jenž má hustotu vyšší než dřevo normálního. Jednotlivé části stromu mají hustotu také odlišnou, u kořenů je hodnota nižší a u větví naopak vyšší, nežli hustota dřeva v kmenové části.

5.1.2 Pórovitost

Póry představují mezibuněčné prostory, lumeny buněk a kapilární systém buněčných stěn. Pórovitost dřeva je definována jako objemový podíl buněčných dutin a je na ní závislá hustota. Objem pórů často převyšuje objem buněčných stěn. Pórovitost vypočítáme ze vzorečku.

$$P = \frac{V_P}{V_0}$$

Vp - objem pórů, Vo - objem suchého dřeva

Pórovitost je nepřímo úměrná hustotě a u našich dřevin se pohybuje v rozmezí 40-80%. Velký význam má hlavně při procesu impregnace, sušení a povrchových úprav.

5.2 Vztah dřeva a vody

Vlhkost dřeva nám udává množství vody nacházejících se ve dřevě a daných vztahem poměru hmotnosti vody k hmotnosti dřeva.
Výpočtem můžeme určovat:

- absolutní vlhkost dřeva – hmotnost dřeva v absolutně suchém stavu
- relativní vlhkost dřeva – hmotnost dřeva při určité vlhkosti

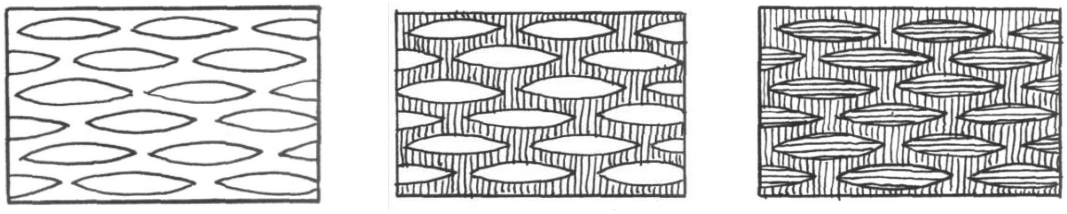
$$Wabs = \frac{M_w - M_0}{M_0} 100 \qquad Wrel = \frac{M_w - M_0}{M_w} 100$$

Mw – hmotnost vlhkého dřeva Mo- hmotnost suchého dřeva

Podle uložení vody ve dřevě rozdělujeme (viz. obrázek č.7):

1. chemicky vázaná voda (A)
2. voda vázaná (hygroskopická) (B)
3. voda volná (kapilární) (C)

Při sušení čerstvě pokáceného dřeva je nejprve odváděna voda z buněčných dutin a poté voda z buněčných stěn, která na to potřebuje více energie.



A B C

Obrázek 7. Zobrazení výskytu vody ve dřevě (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

Na základě procent vlhkosti obsažené ve dřevě je dřevo:

- mokré (nad 100%)
- čerstvě vytěžené (50-100%)
- vzduchosuché (15-20%)
- sušené v místnosti (8-10%)
- absolutně suché – sušení probíhá při 103 ºC

Určování vlhkosti probíhá buď přímými nebo nepřímými metodami.

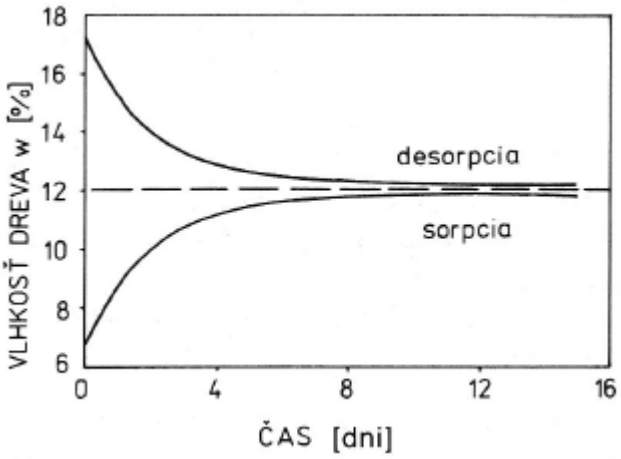
Při měření vlhkosti rozlišujeme tři mezní stavy:

1. vlhkost suchého dřeva
2. vlhkost dřeva při nasycení buněčných stěn
3. vlhkost při nasycení dřeva

5.2.1 Stav vlhkostní rovnováhy

Jak už bylo dříve řečeno, dřevo je hygroskopický materiál, který mění svoji vlhkost podle okolní vlhkosti vzduchu. Pokud je dřevo umístěné do prostředí s konstantními parametry, tak se jeho vlhkost po čase ustálí a jedná se o tzv. rovnovážnou vlhkost. Pokud dřevo vodu přijímá, tedy vlhne, jedná se o sorpci.

Pokud dřevo vodu uvolňuje, je tento jev nazýván desorpcí (viz graf č. 3)



Graf 4. Znázornění sorpce a desorpce
(prezentace z předmětu Štruktúra dreva, TU Zvolen)

5.2.2 Bod nasycení dřevních vláken

Tento jev je z hlediska inženýrského hlediska velmi důležitý, protože pod bodem nasycení vláken dochází ke změnám ovlivňující většinu fyzikálních a mechanických vlastností.

Tato hodnota není u všech dřevin stejná, ale pohybuje se od 23-35% vlhkosti, většinou je uváděno průměr 30%.

Znamená to, že v buněčných stěnách je maximální množství vody vázané a minimální množství vody volné, tudíž jsou lumeny buněk a mezibuněčné prostory prázdné.

5.2.3 Mez hygroskopicity

Mezí hygroskopicity rozumíme rovnovážnou vlhkost, kterou dřevo dosáhne při dlouhodobém vystavení prostředí s relativní vlhkostí vzduchu blízko nasycení. Mez hygroskopicity pro jednotlivé druhy dřeva je zobrazena v tabulce číslo 5.

MH	Druh dřeva
22-24	jádrové dřevo jehličnanů s vysokým obsahem pryskyřice: borovice, modřín, douglaska, vejmutovka, limba
23-25	jádrové dřevo listnáčů s kruhovitě a polokruhovitě pórovitou stavbou dřeva: akát, kaštanovník, dub, jasan, třešeň, ořešák
26-28	jádrové dřevo jehličnanů s nižším obsahem pryskyřice: borovice, modřín, douglaska
30-34	jehličnatá dřeva s bělí a vyzrálým dřevem: smrk, jedle, bělové dřevo jehlič. dřevin s vyzrálým jádrem: vejmutovka, borovice, modřín
32-35 a více	listnatá dřeva s roztrouseně pórovitou stavbou: lípa, vrba, topol, olše, bělové dřevo listnáčů s kruhovitě a polokruhovitě pórovitou stavbou: akát, kaštanovník, dub, jasan

Tabulka 5. Mez hygroskopicity u různých druhů dřev (podle Trendelnburga a Mayera Wegelina, upraveno Matovičem 1993)

Pro měření vlhkosti používáme dvě základní metody měření:

1. Přímé – zjišťují skutečný obsah vody – hmotnostní a destilační
2. Nepřímé – měří jinou fyzikální veličinu, jejíž hodnota závisí od obsahu vody – elektrofyzikální, radiometrické, akustické, optické.

5.2.4 Sesychání a bobtnání dřeva

Je proces, při němž se mění lineární rozměry, například plocha nebo objem dřeva při změnách obsahu vody vázané. Změny obsahu vlhkosti volné vody na mezí hygroskopicity nemají žádný vliv na změnu rozměrů.

Sesychání a bobtnání je lokalizováno v buněčné stěně, kde se přibližují a oddalují fibrily, jejichž orientace má rozhodující vliv.

Změny při sesychání a bobtnání se u dřevěných konstrukcí označují jako vlhkostní přetvoření. Pro minimalizování vlhkostních přetvoření se má dřevo zabudovávat s podobnou hodnotou vlhkosti jako hodnotou očekávané rovnovážné vlhkosti.

5.2.4.1 Bobtnání dřeva

Schopnost dřeva zvětšovat své rozměry vlivem přijímáním vody vázané v rozsahu od 0 do meze hygroskopicity. Bobtnání se vyjadřuje podílem změny rozměrů k původní hodnotě a uvádí se nejčastěji v procentech. Dřevo může měnit rozměry plochy a objemu. U objemových změn se jejich hodnota rovná stejné hodnotě objemu přijaté vody, protože objem buněčné stěny zůstává stálý.

Bobtnání má také anizotropní charakter, nejvíce se projevuje v tangenciálním směru (6-12%), poté v radiálním směru (3-6%) a nejméně ve směru podélném (0,1-0,4%).

Změnu rozměrů, plochy nebo objemu při změně vlhkosti o 1% nám udává koeficient bobtnání. Je - li roztažnosti bráněno (například u kolíkových spojů), jsou vyvozena uvnitř dřeva vnitřní napětí a někdy i k nevratným rozměrovým změnám. Při vrácení dřeva do původní vlhkosti kolíkový spoj může ztratit přesnost lícování a tím i část únosnosti, a proto je důležité s tím počítat při navrhování konstrukčních spojů a detailů.

5.2.4.2 Sesychání dřeva

Sesycháním nazýváme proces, při kterém se zmenšují lineární rozměry dřeva, plocha nebo objem tělesa při ztrátě vody vázané.

Proces sesychání je podobný procesu bobtnání, a proto také rozeznáváme koeficient sesychání a diferenciální sesychání. Na základě hodnot koeficientu objemového sesychání rozdělujeme dřeva do následujících skupin:

1. dřeva málo sesychavá – koeficient objemového sesychání je menší než 0,4. Do této skupiny patří zejména tis, olše, vrba, topol, kaštanovník, akát.
2. dřeva středně sesychavá – koeficient objemového sesychání je v rozmezí 0,4 – 0,47. Do této skupiny zařazujeme borovici, smrk, jedli, dub, jilm, jasan atd.
3. dřeva hodně sesychavá – koeficient objemového sesychání je větší než 0,47 a patří sem zejména modřín, bříza, buk, habr, líska, lípa.

Při nerovnoměrném vysychání dřeva dochází k vnitřním napětím ve dřevě. Toto napětí rozdělujeme do dvou základních složek vlhkostního a zbytkového. Vlhkostní napětí vzniká při nerovnoměrném vysychání, kdy se objevují gradienty vlhkosti a má pouze dočasný charakter a po vyrovnání hodnot vlhkostí, zaniká.

Povrchové trhliny vznikají důsledkem sušení, kdy na povrchových vrstvách vzniká tahové napětí a ve středových tlakové. Trhliny vznikají převážně v radiálním směru podél dřeňových paprsků a jsou větší, čím je větší průřez a rychlejší vysoušení (viz obrázek č. 8)

Obrázek 8. Výsušné trhliny na kmenu stromu (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

Hodnoty sesychání a bobtnání se dají navzájem přepočítat na základě následujících vztahů.

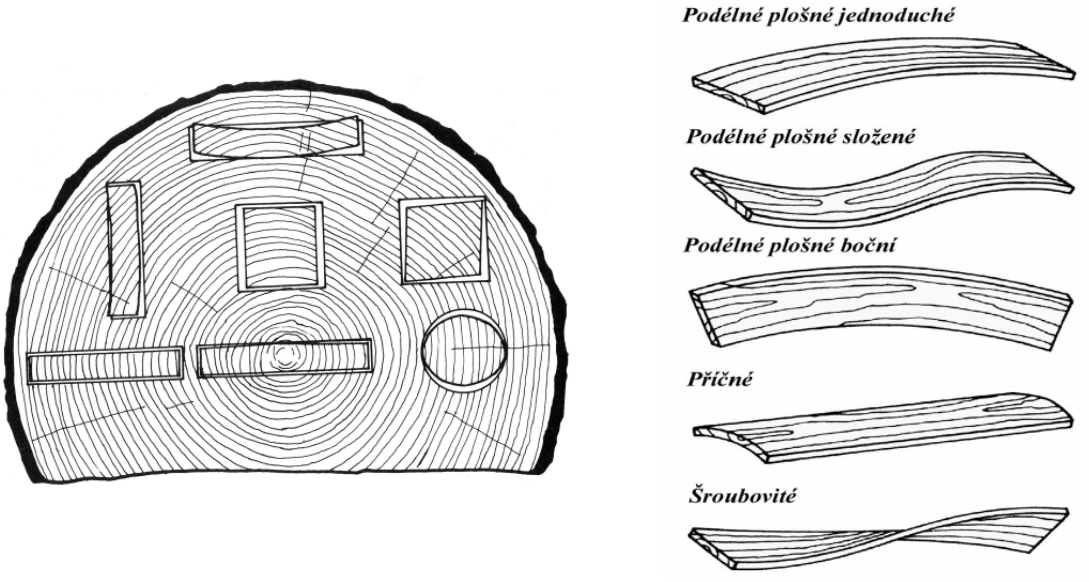
$$\alpha_i = 100.\ \beta_i\ /\ (100 - \beta_i)$$
$$\beta_i = 100.\ \alpha_i\ /\ (100 + \alpha_i)$$

5.2.6 Borcení dřeva

Borcení dřeva je jev, který vzniká v důsledku anizotropie při procesech bobtnání a sesychání. Při borcení dřeva dochází ke změnám tvaru sortimentu a rozlišujeme borcení podélné a příčné. Příčné borcení vzniká vlivem rozdílných hodnot při sesychání. V tangenciálním směru je sesychání dvakrát tak větší, něž-li v radiálním směru. První vnitřní napětí, které uvnitř dřeva vzniká, je odbouráno trhlinami. Míra borcení dřeva v příčném směru se zvětšuje ve směru od dřeně k okraji. Hranolek dřeva může změnit svůj tvar na kosočtverec, obdélník, rotační válec atd.

Rozlišujeme borcení příčné a podélné. Podélné borcení je důsledkem přítomnosti tlakového dřeva, juvenilního dřeva nebo i suků v jedné části kmene. Při podélném borcení dochází k zakřivení ve směru tloušťky nebo šířky a ke šroubovému zakřivení (viz obrázek č. 9).

V pravidlech pro třídění jsou mezní hodnoty pro velikost tvarových změn stanoveny na základě normy.



Obrázek 9. Borcení dřeva
(prezentace z předmětu Štruktúra dreva, TU Zvolen)

5.3 Vztah dřeva k teplu

Ve dřevě existují tři formy přenosu tepla: vedení, proudění a sálání tepla. Dřevo má schopnost akumulovat, nebo-li pohlcovat, teplo. Tato vlastnost je nazývána měrné teplo. Tepelná vodivost je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti a je ovlivněna hlavně hustotou dřeva. Zahřívání dřeva způsobuje zvětšení jeho rozměrů a objemu. Napříč vláken jsou hodnoty změn 10-15x větší než ve směru podélném.

Výhřevnost dřeva má veliký význam jako zdroj energie. Většina dřevin má výhřevnost dřeva 18,15 $MJ.kg^{-1}$. Výhřevnost nezávisí na hustotě a klesá s vlhkostí. Výhřevnost kůry bývá často vyšší než u samotného dřeva.

5.4. Akustické vlastnosti

Dřevo je velmi kvalitní materiál vhodný pro výrobu hudebních nástrojů. Přenos zvuku je umožněn pouze v hmotném prostředí a jeho vznik je důsledkem působením budících sil, díky nimž dřevo vibruje. Přestanou-li síly působit, vibrace se pomalu snižují až do úplného klidu. U dřeva je známý výskyt tří druhů vibrací – podélných, příčných a torzních. Rychlost šíření zvuku závisí na druhu dřeviny a má také anizotropní charakter. S rostoucí vlhkostí dochází ke snižování rychlosti zvuku.

Rezonance dřeva je schopnost dřeva zesilovat zvuk bez zkreslení tónů. Energie vznikající vlněním struny hudebního nástroje se předá ozvučnici, která zvuk zesílí a formuje jako tón. Nejčastěji jsou jako rezonanční dřeviny používány smrk a jedle.

5.5 Elektrické vlastnosti dřeva

Nejdůležitější elektrickou vlastností je označována elektrická vodivost, která je určena počtem iontů v objemové jednotce, jejich nábojem a pohyblivostí. Elektrická vodivost má ve dřevě také anizotropní charakter podobný vedení tepla.

6. Mechanické vlastnosti dřeva

6.1 Základní terminologie

6.1.1 Definice a základní rozdělení mechanických vlastností

Mechanickými vlastnostmi rozumíme schopnost dřeva a materiálů na bázi dřeva odolávat účinkům vnějších sil.
Jako základní mechanické vlastnosti dřeva označujeme:

1. Pružnost
2. Plastičnost
3. Houževnatost
4. Pevnost

I u mechanických vlastností dřeva se setkáváme s anizotropií a to v podélně-příčném směru a v radiálně–tangenciálním. Radiálně-tangenciální směr se v praxi zanedbává, protože rozdíl hodnot je příliš malý. Celulóza a hemicelulóza jsou ve dřevě nositeli tahových napětí a lignin tlakových napětí.

6.1.2 Mechanické zatížení

Jako mechanické zatížení označujeme vnější mechanické síly, které na dané těleso působí zvenku. Tyto síly těleso deformují do takové míry odpovídající vnitřnímu odporu tělesa.

Mechanické zatížení rozdělujeme z pohledu času a z pohledu působící síly.

Z pohledu času:

1. Dynamické – na materiál působí okamžitě plnou hodnotou.
2. Statické – zatížení plynulé, rovnoměrně vzrůstající. Mírou statického zatížení je mez pevnosti. Po překročení meze pevnosti dochází k trvalé deformaci tělesa.
3. Kmitavé – dlouhodobé zatížení se střídajícími se cykly zatížení a odtížení. Mírou kmitavého zatížení je mez únavy materiálu.
4. Trvalé statické zatížení – dlouhodobě trvající zatížení, jehož mírou je opět mez pevnosti.

Z pohledu působící síly:

1. Normálové – tah a tlak
2. Tangenicální – smyk a krut
3. Kombinoavné – ohyb
4. Speciální – tvrdost štípatelnost, držení kovových spojovacích prostředků, protlačení, odolnost proti oděru atd.

6.1.3 Napětí

Napětí ve dřevě představuje hodnotu vnitřních sil vznikající důsledkem deformacích vyvolaných působením vnějších sil. Napětí označujeme jako σ.

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

F – síla rovnoměrně působící na plochu tělesa
S – plocha tělesa

6.1.3.1 Deformace

Následkem působení vnějších sil na namáhané těleso vzniká napětí a následná deformace tělesa v podobě změny jeho tvaru a rozměrů.

Z pohledu času rozdělujeme deformace:

1. Deformace pružné - těleso má schopnost se okamžitě, po úbytku působení vnějších sil, vrátit do svého původního tvaru.
2. Deformace pružné v čase - těleso má schopnost se, po úbytku působení vnějších sil, vrátit do svého původního tvaru až za určitou dobu.
3. Deformace trvalé - těleso zůstane zdeformované

Z pohledu působení sily

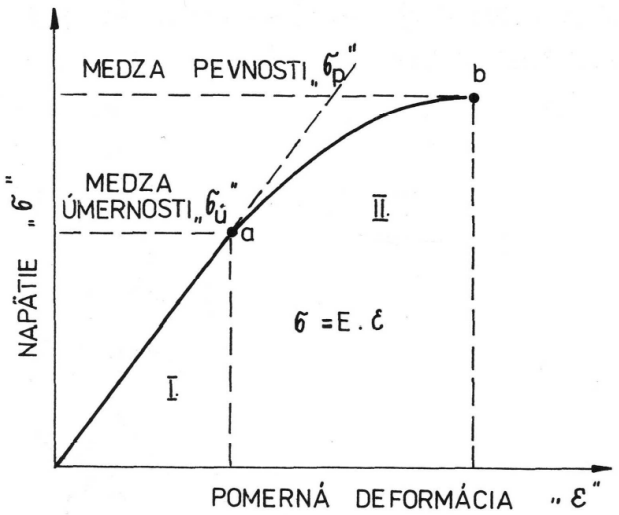
1. Deformace vyvolané ve směru působící síly
2. Deformace vyvolané kolmo na směr působení síly

6.1.3.2 Deformační diagram napětí

Je ukazatelem závislosti napětí a poměrné deformace (viz obrázek č. 10). Na diagramu jsou zobrazeny dvě základní a velmi podstatné body pro určování pevnosti tělesa.

Mez úměrnosti – bod na rozhraní lineární a nelineární části, který všeobecně představuje hodnotu 0,7-0,9 z celkově dosažené hodnoty meze pevnosti.

Mez pevnosti – ukazuje maximálně největší možné napětí, jemuž dokáže dřevo odolávat. Po překonání maximálního napětí dochází k trvalým deformacím a porušení tělesa.



Obrázek 10. Deformační diagram napětí
(prezentace z předmětu Štruktúra dreva, TU Zvolen)

V problematice deformací existuje ještě pojem poměrné a absolutní deformace. Poměrná deformace se vyjadřuje poměrem prodloužení k původní délce tělesa a vypočítá se ze vztahu.

$$\varepsilon = \frac{dL}{L}$$

dL – absolutní deformace, L – původní rozměr tělesa

Absolutní deformace je vyjádření rozdílu prodloužení a původní délky.

6.1.3.3 Hookův zákon

Vyjadřuje vztah mezi napětím a deformacím, kdy napětí je přímo úměrné míre přetvoření neboli deformaci. Vypočítá se ze vztahu.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

E – modul pružnosti

6.2 Pevnost v tlaku

Síla působí kolmo na průřez a uvnitř tělesa vzniká napětí a následné deformace označujících se záporným znaménkem.

Zatížení tlakem rozdělujeme:

1. Pevnost v tlaku podél vláken

V porovnání s ostatními směry působení zatížení je tato pevnost v tlaku podél vláken nejvýznamnější tlakovou pevností hlavně v oblasti stavebnictví. Mez pevnosti v tlaku se pohybuje od 40-80 MPa, při 12% vlhkosti dřeva. Mez úměrnosti dosahuje hodnoty 0,7 z celkové meze pevnosti. Při zatížení tělesa dostaneme napěťově deformační diagram s jednoznačným určením meze pevnosti a meze úměrnosti.

Hustota a vlhkost jsou faktory, které pevnost v tlaku podél vláken nejvíce ovlivňují. Suché dřevo s vysokou hustotou má velkou pevnost.

Zkoušení pevnosti v tlaku podél vláken se provádí na zkušebních tělesech, pravoúhlých hranolech 20x20x30mm. Hranoly se zatěžují stoupající silou až do porušení daného tělesa a tak zjištění maximálního možného zatížení.

2. Pevnost v tlaku napříč vláken

Při tomto druhu zatížení se dřevo neporušuje oddělováním vláken, nýbrž deformací a zhušťováním dřevní struktury, což neumožňuje přesně určit mez pevnosti. V tomto případě tedy bereme v úvahu pouze mez úměrnosti.

Hodnoty meze úměrnosti v tlaku napříč vláken se pohybují v rozmezí 1,5-14MPa při vlhkosti dřeva 12%.

Pevnost napříč vláken je rozdělena na tangenciální a radiální směr.

U jehličnatých dřevin jsou hodnoty meze úměrnosti tlaku v tangenciálním směru vyšší než v radiálním, což je způsobené vyšší hustotou letního dřeva oproti jarnímu.

6.3 Pevnost v tahu

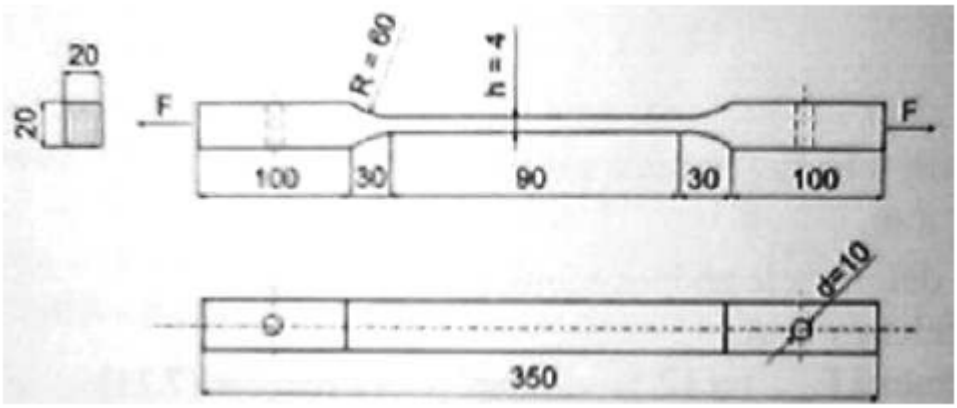
Vzniká, když vnější síla průřez tahá a vnitřní síly na ni působí kolmo. Znaménko napětí a deformace se označuje kladně.

Základní dělení pevnosti v tahu:

1. Pevnost v tahu podél vláken:

V porovnání s hodnotami ostatních pevností, dosahuje pevnost v tahu největších hodnot a to průměrně 120 MPa. Porušení tělesa vzniká odtržením dřevních buněk, kdy vznikají určité typy zlomu. Vláknitý nebo rozštěpový zlom signalizuje vysokou pevnost dřeva. Naopak hladký, tupý nebo schodovitý zlom signalizuje nízkou pevnost a houževnatost dřevin. Hodnoty pevnosti jsou ovlivňovány tvarem buněk a strukturou buněčných stěn.

Zkouška se provádí namáháním zkušebního tělesa (viz obrázek č. 11) tahem ve směru vláken, dokud nedojde k jeho porušení.

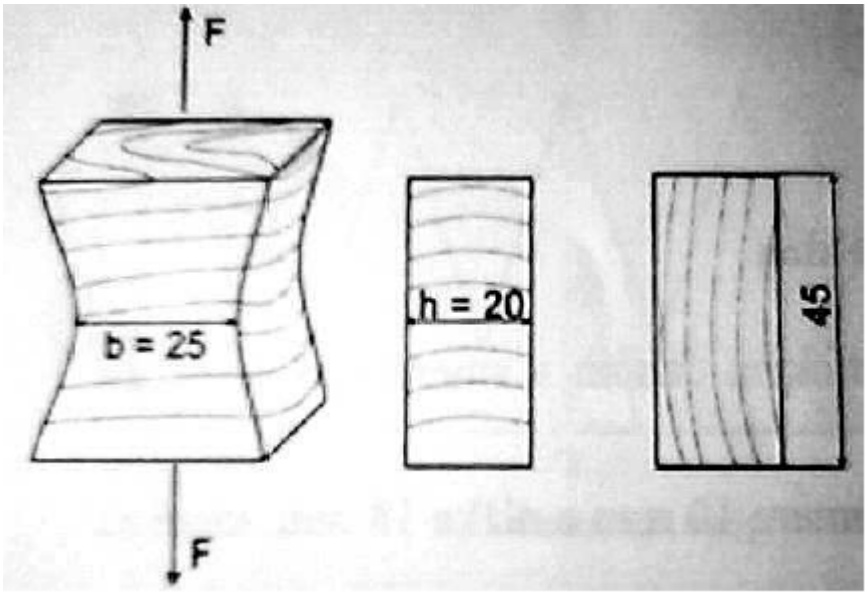


Obrázek 11. Zkušební těleso pro zkoušení pevnosti v tahu podél vláken (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

2. Pevnost v tahu kolmo na vlákna

Hodnoty, kterých tato pevnost dosahuje, jsou až 15x nižší než hodnoty pevnosti podél vláken. To je způsobené orientací vláken k tahové síle, jenž jsou spojené Van der Waalsovými silami a případně vodíkovými vazbami. Průměrně se hodnota pevnosti v tahu podél vláken pohybuje v rozmezí 1,5-5MPa. Z důvodu tak malých hodnot pevnosti se vyvarujeme používání dřeva namáhaného tahem kolmo na vlákna.

Zkoušku provádíme namáháním tělesa (viz obrázek č. 12) statickým tahem až do porušení vláken.



Obrázek 12. Zkušební těleso pro zkoušení pevnosti v tahu kolmo na vlákna (prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

6.4 Smyk

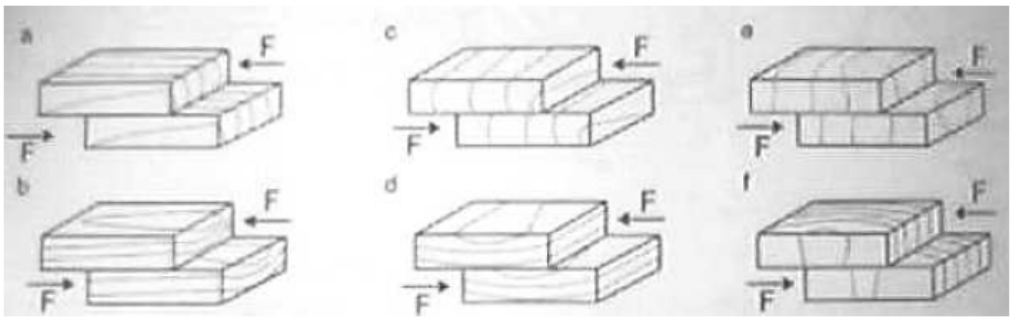
Výslednicí působících vnějších sil je posunutí sousedních vláken v jejich rovinách. Průřez se posouvá a dochází k porušení dřeva smykem.

Dřevo má, vlivem vláknité struktury, různou smykovou pevnost ve třech na sebe kolmých směrem s čímž se například u kovů nesetkáme.

Rozdělení (viz obrázek č. 13):

1. Smyk rovnoběžně s vlákny – hodnota pevnosti 5 - 15MPa
   - v radiální rovině (obrázek a)
   - v tangenciální rovině (obrázek b)
2. Smyk kolmo na vlákna – hodnota pevnosti 1 -10 MPa
   - v radiálním směru (obrázek c)
   - v tangenciálním směru (obrázek d)
3. Smyk v příčné rovině – hodnota pevnosti 15 - 60Mpa
   - v radiálním směru – (obrázek e)
   - v tangenciálním směru – (obrázek f)

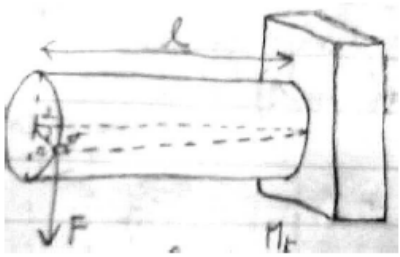
Ve stavebnictví se nejvíce používají konstrukční prvky namáhané na smyk rovnoběžně s vlákny a to i přesto, že jejich hodnoty pevností jsou poměrně malé. Můžeme se s nimi setkat například u spojů krovů atd.



Obrázek 13. Rozdělení smykových namáháních
(prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

6.5 Kroucení

Nastává, když otáčivý moment působí v rovině průřezu (viz obrázek č. 14) a působením vnější síly dochází k tomu, že se dřevní vlákna od sebe odchylují. Největších hodnot pevnosti v kroucení dosahuje dřevo tehdy, když jsou vlákna rovnoběžně s podélnou osou.



Obrázek 14. Vznik kroucení
(prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

6.6 Ohyb

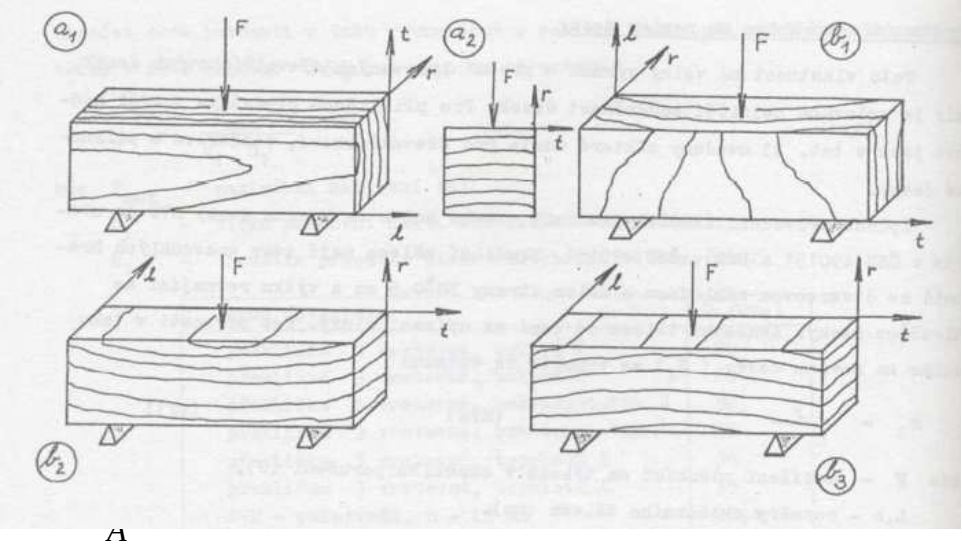
Tato pevnost a zároveň tedy i mechanická vlastnost je jednou z nejdůležitějších vlastností, které dřevo nebo materiály na bázi dřeva mají.

Ve dřevě vznikají tangenciální nebo normálová napětí působením otáčivého momentu na těleso kolmo k průřezu. Deformace jsou v podobě pootočení průřezu nebo průhybem. Při dosažení meze pevnosti se dřevěný prvek zlomí.

U dřevěných konstrukcí rozdělujeme dva základní způsoby pevnosti v ohybu s ohledem na průběh vláken (viz obrázek č. 15):

1. Síla působí kolmo na vlákna v tangenciálním nebo radiálním směru
2. Síla působí rovnoběžně s vláky buď na čelní plochu nebo kolmo na ní.

Hodnota pevnosti se pohybuje okolo 90MPa.



A

1 – napříč vláken v tangenciálním směru

A2 – napříč vláken v radiálním směru

B1 – vlákna probíhající kolmo na podélnou osu tělesa, zatížení v podélném směru

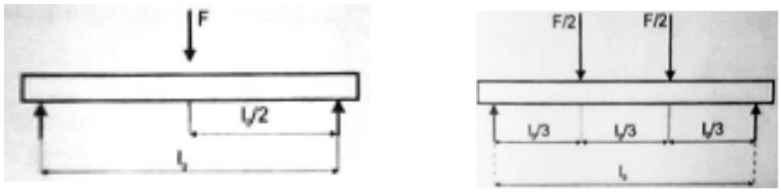
B2- vlákna probíhající kolmo na podélnou osu tělesa, zatížení v radiálním směru a letokruhy jsou konvexní stranou otevřeny k působící síle

B3 – vlákna probíhající kolmo na podélnou osu tělesa, zatížení v radiálním směru a letokruhy jsou konkávní stranou otevřeny ke směru působící síly

Obrázek 15. Ohybové namáhání
(prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

Rozdělení z hlediska působících sil (viz obrázek č. 16):

1. Těleso zatížené jednou soustředěnou silou uprostřed podpěr (A)
2. Těleso zatížené v třetinových vzdálenostech od podpěr. (B)



A B

Obrázek 16. Způsob působení vnějších sil na těleso
(prezentace z předmětu Nauka o dřevě)

6.7 Speciální zatížení

1. Tvrdost

Je schopnost materiálu klást odpor proti vniknutí jiného tělesa do jeho struktury. Metody zkoušení této vlastnosti můžeme rozdělit na: vtláčení, vrypové, odrazové a kyvadlové.

2. Držení kovových spojovacích prvků

Podstatou této vlastnosti je zjišťování velikosti odporu, který dřevo vytváří proti vytažení hřebíků a vrutů ze dřeva.

3. Protažení hlavičky hřebíku

Smyslem této metody je měření zatížení, jenž je možné přetáhnout hlavičku hřebíku přes zkušební těleso přímým tahem.

4.Protláčení

Podstatou je zjištění síly potřebné na protlačení zkušebního tělesa při statickém zatížení.

5. Odolnost vůči oděru

Smyslem této metody je zjištění úbytku hmotnosti zkušebního tělesa vážením při jeho odírání a vypočítáním tak ukazatele oděru plochy. Slouží k napodobení oděrů například u schodišť, krytin atd.

7. Úvod do problematiky dřevěných konstrukcí

Díky tomu, že velké dřevařské firmy na přelomu 70. a 80. let 20. století zahájily spolupráci především s chemickým průmyslem, byla započata obnova výroby dřevěných konstrukcí na celém světě. Z hlediska chemického průmyslu nastal velký rozvoj v oblasti nových lepidel, dále měl velký vliv i elektrotechnický průmysl (zdokonalení strojů pro třídění, zpracování, sušení materiálů na bázi dřeva).

Pro použití dřeva ve stavebnictví bychom našli mnoho objektivních důvodů.

Nejpodstatnějšími z nich jsou:

1. Používání dřeva napomůže zachovat pro budoucnost zbývající zdroje vyčerpatelných surovin
2. Dřevařský průmysl způsobuje relativně malé znečištění životního prostředí, které je dále redukována modernizací výrobních procesů
3. Vyvíjeny jsou stále progresivnější technologie třídění a zpracování dřeva, provádění spojů, prvků ze dřeva a materiálů na bázi dřeva a postupy pro navrhování dřevěných konstrukcí.
4. Dřevo může spolupůsobit jak s ocelí, tak i s betonem a spoluvytvářet tak hospodárně smíšené konstrukce.
5. Ačkoliv dřevo je zápalné a hořlavé, jeho chování při požáru je předvídatelné. Větší dřevěné průřezy mají vysokou požární odolnost.
6. Pro výrobu dřeva a materiálů na bázi dřeva je zapotřebí málo energie
7. Dřevo je recyklovatelné nebo může být použito jako zdroj energie, jenž nepůsobí velké znečištění ovzduší.

(Doc. Ing. Petr Kuklík, CSc., Dřevěné konstrukce)

Pro navrhování dřevěných konstrukcí, byly připraveny nové návrhy a postupy včetně postupů pro navrhování dřevěných konstrukcí na účinky požáru. Byl vytvořen jednotný soubor evropských norem technických norem platících i v ČR. Mezi řádné členy CENu (Evropské normalizační organizace) patří i ČR.

Mezi současné trendy v použití dřeva v Evropě i v ČR patří především:

1. Montované rodinné domy
2. Vícepodlažní budovy
3. Lehké střešní konstrukce
4. Haly pro sportovní a zemědělské účely
5. Speciální stavby jako jsou například kostely aj.
6. Lávky a mosty, v této skupině se nejvíce objevují smíšení konstrukce dřeva, oceli a betonu

7.1 Historický vývoj dřevěných konstrukcí

ČR leží ve středu Evropy a její území se vyznačuje tím, že se zde již dlouho setkávají evropské kultury. Znamená to, že na území naší republiky je možno zaznamenat dřevěné konstrukce charakteristické pro celou střední Evropu. Historický vývoj dřevěných konstrukcí je především prezentován na stavbách, které lidé obývali.

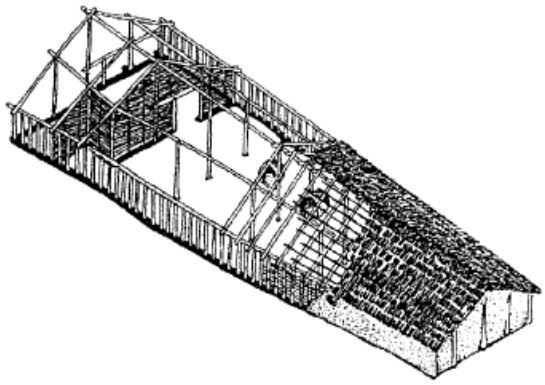
Prvním skutečným stavitelem a architektem byl člověk až v období neolitu. Neolitičtí rolníci (nejstarší zemědělci) stavěli domy relativně pevné (tzv. dlouhé domy) jejichž životnost byla cca 20 let. Základní konstrukci domu vytvářelo pět řad

kůlů zahloubených do země. Tři vnitřní řady podpíraly středové vaznice a dvě vnější řady podpíraly okapové vaznice. Vnější řady kůlů byly propleteny proutím a poté omazány hlínou. Střechy byly převážně doškové.

Na raně středověkých hradištích (prvních městech) byl tento typ obydlí vystřídán dokonalejšími nadzemními stavbami (především roubenými), na venkově se ale udržel ještě dlouho. Mezi 13. A 15. století se vytvořila tzv. lidová architektura, která si zachovala svoji ustálenou podobu až do 19. století. Nejpevnější, z dřevěných konstrukcí byla konstrukce roubená, jenž převažovala u vesnických domů po celá staletí. Kulatina, polohraněné a hraněné trámy opracované sekerou, byly rovnány na sebe a v nárožích spojovány. Poté vaznicový věnec, stropnice, stropní povaly. Na vaznicový věnec byla položena i vazba střechy. Nejčastější krytinou byly slaměné došky.

Hrázděné konstrukce – tento typ dřevostaveb vznikl ve 12. stol. Hrázděné konstrukce se nejdříve používaly ve městech, teprve od konce 15 stol. se používaly také na venkově. Hrázděné stěny jsou tvořeny rámy z trámů, mezi nimiž je umístěna výplň.

(Doc. Ing. Petr Kuklík, CSc., Dřevěné konstrukce)



Obrázek 17. Dlouhý dům z období kolem roku 3000 př.n.l.
(Doc. Ing. Petr Kuklík, CSc., Dřevěné konstrukce)

8. Lepené lamelové dřevo

V zástavbě existují domy, haly velkých rozměrů (viz obrázek č. 18) a vytvořit na nich konstrukci krovu, či stropu, z rostlého dřeva již nelze. Abychom je dokázaly zastřešit a přenést tak zatížení na velké rozpony, bylo nutno navrhnout technologii lepeného lamelového dřeva. Prvky lepeného lamelového dřeva dokážou konkurovat prvkům ocelovým. Jako lepené lamelové výrobky označujeme lepené lamelové dřevo, lepené lamelové dřevo s velkými zubovitými spoji, složené (blokově lepené) a lepené rostlé dřevo pro nosné účely.

Obrázek 18. Tenisová hala Mostkovice (www.cecolegno.cz)

8.1. Historie lepeného lamelového dřeva

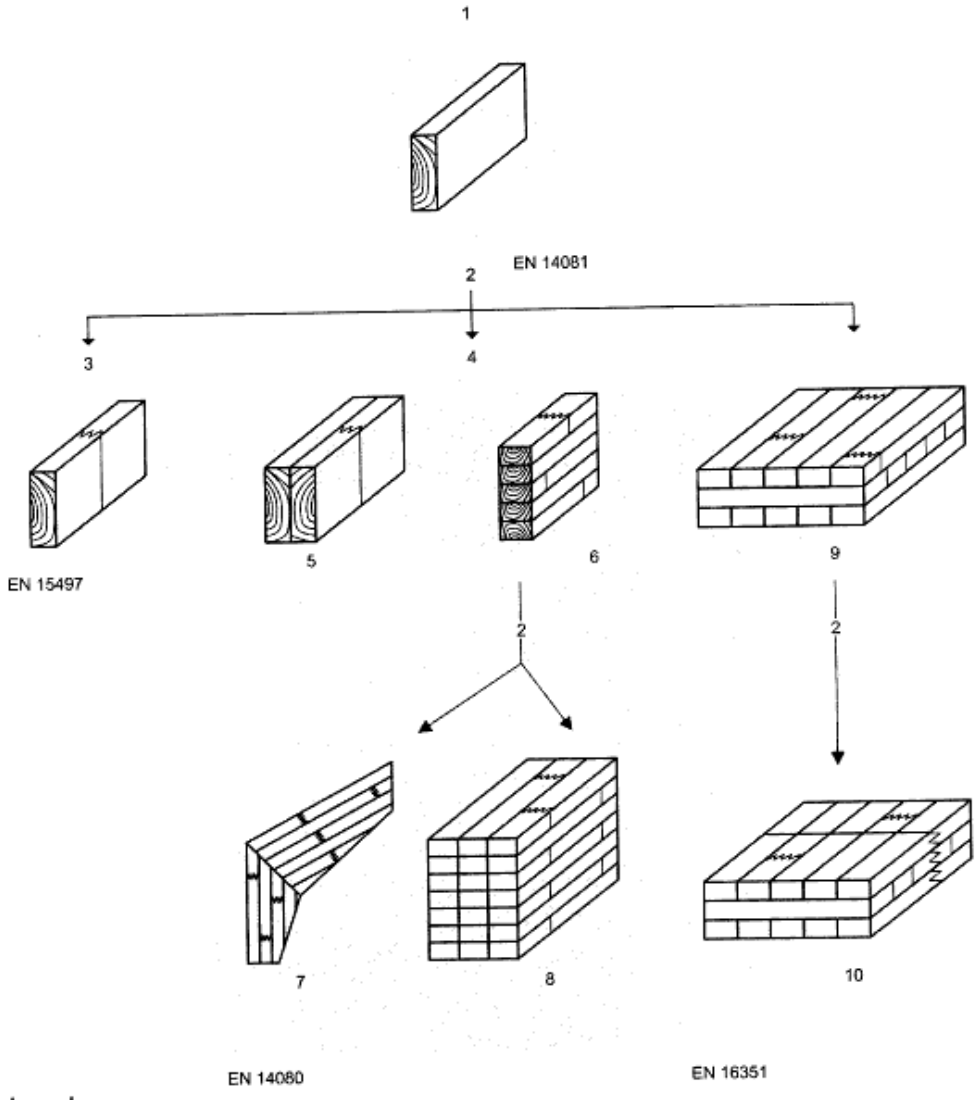
První konstrukce z lepeného lamelového dřeva se objevují v Anglii již v 50. letech 19. století. Průmyslový patent na lepené lamelové nosníky získal Oto Hetzer roku 1906, který několik staveb také zrealizoval.

Velkým posunem v oblasti lepeného lamelového dřeva bylo fenol-resorcinolové lepidlo (1942), které neztrácí své vlastnosti ani ve vlhkém prostředí. Od této doby bylo možno používat dřevěné lepené profily i v exteriéru, což umožnilo jeho použití během druhé světové války. V Anglii americká armáda nahradila lepeným lamelovým dřevem nedostatek potřebných průřezů rostlého dřeva na stavbu lodí pro otevření druhé fronty.

V České Republice byla první výroba lepeného dřeva zaznamenána v roce 1952.

8.2 Terminologie lepeného lamelového dřeva

Lepené lamelové dřevo je konstrukční materiál vyráběný z běžného pilařského řeziva. Princip výroby lepeného lamelového dřeva spočívá v plošném slepení dřevěných lamel na sebe. Tímto způsobem se vyrábějí přímé nebo tvarové nosníky, které mají široké možnosti použité ve stavebnictví a to především jako střešní konstrukce. Základní rozdělení je znázorněno na obrázku č. 19.



1. Prkna, 2. Je složka pro. 3. Konstrukční dřevo nastavované zubovitým spojem, 4. Lepení lamelové výrobky, 5. Lepené rostlé dřevo, 6. Lepené lamelové dřevo, 7. Lepené lamelové dřevo s velkými zubovitými spoji, 8. Složené (blokově lepené) lepení lamelové dřevo, 9. Křížově lamelované dřevo, 10. Křížové lamelované dřevo s velkými zubovitými spoji

Obrázek 19. Vztah evropských norem připravených CEN/TC 124 pro nosné dřevěné výrobky (ČSN EN 14080:2013)

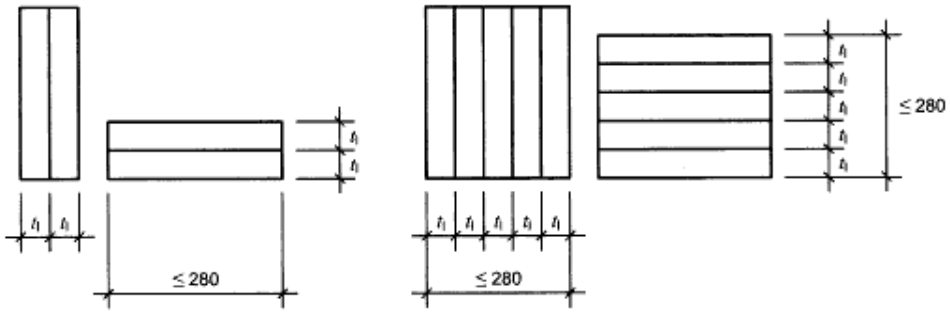
Lepené lamelové dřevo o určitém průřezu, jehož vnitřní a vnější lamely mají rozdílné zařazení do tříd pevnosti, nazýváme jako kombinované lepené lamelové dřevo.

Můžeme se setkat s výrobkem z lepeného lamelového dřeva zakřiveného tvaru a spojeného velkým zubovitým spojem celé průřezové ploše na koncích jednotlivých komponentů (viz obrázek č. 20).

Obrázek 20. Ukázka výrobku z lepeného lamelového dřeva spojeného velkým zubovitým spojem – Sklad Soli Hleďsebe u Mariánských lázní (Cecolegno.cz)

Homogenní lepené lamelové dřevo je lepené lamelové dřevo s průřezem, který je složen z lamel stejné třídy pevnosti nebo specifické pevnosti určené výrobcem.

Jako lepené rostlé dřevo označujeme dřevěný prvek, jehož rozměry průřezu nepřekračují 280mm. Tento nosník je vytvořen ze dvou až pěti lamel o tloušťce 45-85mm, se stejným zařazením do tříd pevnosti (viz obrázek č. 21).



Legenda: tl – tloušťka lamely 45<tl<85

Obrázek 21. Příklady pro lepené rostlé dřevo ze dvou a pěti lamel (ČSN EN 14080:2013)

8.3 Tři hlavní zástupci lepeného dřeva

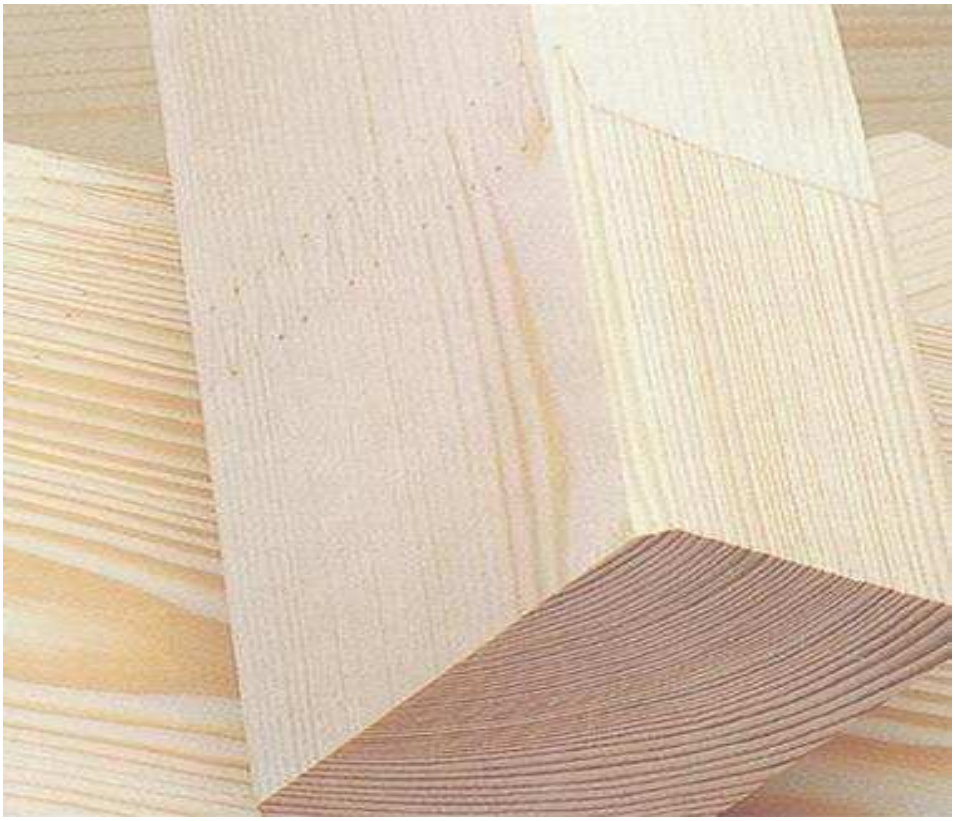
8.3.1 Konstrukční dřevo nastavované zubovitým spojem (KVH)

Jedná se o masivní délkově nastavované hranoly na ozubový spoj ve standardních délkách (viz obrázek č. 22). Průměrná vlhkost dřeva pro výrobu KVH hranolů se pohybuje v rozmezí 15% +/- 3%. Konstrukční dřevo spojované zubovitým spojem se vyrábí jako hranoly s vyhovujícím estetickým vzhledem. Jejich použití je tedy vhodné do pohledových i nepohledových konstrukcí.

Použitím ozubených spojů, které zabezpečují délkové nastavení hranolů, lze vyrábět nosníky dlouhé až 16m. Profily konstrukčního dřeva spojovaného zubovitým spojem zabezpečují díky technickému sušení dřeva mimořádnou tvarovou stálost. Velkou předností tohoto typu lepeného dřeva je, že neobsahuje žádné zdravotně závadné látky.

Typickým dřevem pro výrobu hranolů je smrk. Hranoly jsou vyráběny v určitých standardních průřezech a délkách a jsou dodávány v balíkách. Atypické prvky jsou možné po konzultaci s projektantem, statikem a dodávající firmou.

V současnosti v ČR existuje mnoho firem, jenž se výrobou těchto hranolů zabývají a jejich výrobky jsou převážně určeny pro použití hranolů jako stavebního dřeva do rámových, střešních a stropní konstrukcí. Typickým příkladem staveb, kde jsou hranoly použity, jsou dřevostavby různé pergoly a přístřešky.



Obrázek 22. Konstrukční dřevo nastavované zubovitým spojem (www.strechydrevo.cz)

8.3.2 Lepené rostlé dřevo (DUO, TRIO)´

Jsou lepené hranoly skládající se ze dvou nebo tří délkově nadstavovaných hranolů navzájem sklížených ve dvou nebo třech vrstvách ve standardních délkách 13m (viz obrázek č. 23).

Průměrná vlhkost rostlého dřeva, které se pro výrobu hranolů používá, 15% +/- 3%. Hranoly jsou převážně určeny pro tvarově stabilní dřevěné stavby. Pro jejich kvalitní vzhled je lze použití ve viditelných, ale i neviditelných oblastech staveb.

Hranoly lze použít jako stavební dřevo pro rámové, střešní a stropní konstrukce dřevostaveb (viz obrázek č. 24), roubenek, pergol atd.

Nejstandardnějším druhem použitého dřeva je tuzemský nebo severský smrk, dále to jsou jedle, modřín, douglaska, borovice. Severský smrk má vyšší pohledovou kvalitu, tudíž se mnohem častěji používá pro opticky náročnější oblasti jako jsou viditelné stropní trámy, krokve a hranoly pro stavbu srubů.

Použité lepidla pro délkové i šířkové nadstavby je melaminové lepidlo vytvářejících z trámků DUO/TRIO ekologicky cenný a toxikologicky nezávadný produkt.

Obrázek 23. Lepené rostlé dřevo ze dvou hranolů - DUO (www.strechydrevo.cz)

Obrázek 24. Ukázka realizace domu z rostlého lepeného dřeva DUO, TRIO (www.strechydrevo.cz)

8.3.3 Lepené lamelové dřevo (BSH)

Lepeným lamelovým dřevem se rozumí stavební díly pro dřevěné konstrukce, z nichž se vyrábí z technicky vysušených, nejčastěji, smrkových lamel do tl. 45mm (viz. obrázek č. 25), přičemž chybná místa se sníženou pevností a optické nedostatky, jako velké suky, velké smolníky a kůrové zárosty, jsou vyřezávány. Tyto BSH hranoly jsou vyrobeny z délkově nastavených lamel plošně slepeny v několika vrstvách. V případě nosníků, které nejsou rovné, ale mají určitý radius, se používají podle zakřivení nosníků lamely s menší šířkou. Hranoly tak nepracují jako jeden kus dřeva, ale po slepení jsou původní síly způsobující tvarové změny dřeva jako kroucení,výsušné trhliny a praskání, navzájem vyrušeny a rozbity. Neměly by tedy v lepených lamelových hranolech prakticky působit.

Rozlišujeme pevnostní třídy: GL20 – GL32, přičemž dané číslo udává pevnost materiálu v ohybu. Dimenze a délky jsou velmi variabilní a pokud nelze nosník vytvořit v jednom kuse, lze jej slepit z více částí.

BSH hranoly jsou lepeny především modifikovanou melaminovou pryskyřicí, jenž je světlá a voděodolná. Hranoly mají vyšší pevnost a pružnost než normální stavební dřevo.

Výhodami jsou vyšší únosnost, ekologický materiál, vysoká tvarová stabilita, kvalitní povrch materiálu a možnost použití hranolů v kombinaci s jinými stavebními materiály. Použití je možné na střešní konstrukce, nosníky pro vysoce zatížené a široce přemosťující konstrukce, stavební elementy, pohledové střešní hranoly, konstrukce stěn, stavby hal a mostů, zimní zahrady a pergoly.
Kvalita je rozdělena do dvou skupin a to použití na pohledové nebo průmyslové konstrukce.

Obrázek 25. Lepené lamelové dřevo BSH (www.cecolegno.cz)

8.4 Návrh lepeného lamelového dřeva

Technologie výroby umožňuje vyrábět prvky stálého tvaru se zaručenými rozměry, které jsou možné snadněji opracovat na moderních elektronicky řízených strojích.

8.4.1 Návrh průřezu z hlediska statiky

Každému končenému výrobku samozřejmě také předchází správný návrh a to po stránce výrobní i statické.

Průřezové rozměry nosných prvků z lepeného lamelového dřeva jsou omezené velikosti frézovacích strojů, běžně se vyrábějí nosníky výšky až 2 metry. Délky konstrukčních prvků jsou omezené přepravními možnostmi. Zvláštností nejsou nosníky délky třicet metrů. Nosníky lepeného lamelového dřeva typu BSH mají různé průřezy. Můžeme se setkat se sedlovým, pultovým, zakřiveným konstantní výšky nebo vyklenutý. To nám umožňuje použití lepeného lamelového dřeva na různé typy střech. Přeřezaná vlákna nosníku mají být tlačená.

V praxi se používají nejvíce nosníky obdélníkového průřezu z výrobních důvodů jen výjimečně průřezu tvaru písmene I. Výška přímopásových nosníků se pohybuje v rozmezí 1/10 až 1/14 napětí. Výška uprostřed sedlových nosníků se bývá 1/9 – 1/11 jejich rozpětí a výška nad podporou nemá být menší jak polovina výšky uprostřed rozpětí. Z důvodu dostatečné příčné tuhosti se doporučuje lepit nosníky průřezu konstantní výšky b : h až do 1: 8,5. Tloušťka stěny nosníku průřezu I má být alespoň 8cm a nemá klesnout pod polovinu šířky pásů.

Podélné spojení lamel se obvykle v praxi provádí zubovitým spojem vytvářejícím se na dřevě vhodnou frézou.

Při šířce lamelových prvků větší než 200mm se z důvodu pracování dřeva lamely opatří buď podélnými zářezy o šířce 3,5mm a hloubky 1/5 až 1/6 tloušťky lamel, nebo se lamelová vrstva vytvoří ze dvou přířezů s vystřídáním styků v sousedních lamelách

Statický výpočtem nosníků je třeba posoudit normálové napětí, tangenciální napětí, velikost průhybu a klopení. U nosníků sedlových, zakřivených a vyklenutých se posoudí také tahové napětí kolmo k vláknům.

8.4.2 Zásady výpočtu dřevěných konstrukcí

Konstrukce musí být navrženy tak, aby po dobu předpokládané životnosti vyhověly požadovanému účelu a odolaly všem zatížením a vlivům, jenž se mohou vyskytnout při provádění a provozu.

Spolehlivost všech konstrukcí se prokazuje statickým výpočtem, v němž se posuzuje únosnost konstrukce, její tuhost a polohová stabilita.

8.4.2.1 Mezní stavy

Jsou takové stavy, při jejichž překročení konstrukce přestává plnit návrhové požadavky na užitné vlastnosti.

Rozlišujeme dva mezní stavy

1.) Mezní stav únosnosti

Je takový mezní stav související se zřícením a podobnými poruchami konstrukce.

V rámci posouzení se ověřuje, že nenastanou následující případy:

- porušení materiálu nebo situace, které porušení materiálu předcházejí
- ztráta stability tvaru (v důsledku vzpěru, klopení, boulení)
- porušení spojů
- ztráta stability konstrukce jako celku (posunutí, překlopení)

2.) Mezní stav použitelnosti

Mezní stavy použitelnosti se týkají funkce stavebního objektu, pohodlí osob a vzhledu konstrukce.

V rámci posouzení se ověřuje, že:

- deformace a průhyby konstrukce neovlivní konstrukce nesených a navazujících součástí stavby
- kmitání (například stropů) nezpůsobí uživatelské potíže či poškození konstrukce

Posuzování mezních stavů únosnosti je vyjádřeno porovnáním návrhových hodnot napětí s příslušnými hodnotami návrhových pevností materiálu.

Hodnoty napětí se stanovují podle obvyklých zásad stavební mechaniky a pružnosti pevnosti pro návrhová zatížení a to z příslušných hodnot vnitřních sil.

8.4.2.2 Dřeviny a jejich vlastnosti z hlediska návrhu lepeného lamelového dřeva

Dřevo je, na rozdíl od oceli a betonu, izotropní materiál, což znamená, že má v různých směrech různé fyzikální vlastnosti. Pevnostní charakteristiky dřeva jsou závislé na vlhkosti, době trvání zatížení, na růstové lokalitě a typu a kvalitě dřeviny. Lamelové výrobky musí sestávat z jednoho druhu dřeva. Norma EN 14080 zahrnuje výrobky vyrobené z jednoho těchto druhů dřev: smrk, jedle, borovice lesní, douglaska, modřín, atd. Smrk a jedle, se mohou považovat za jeden druh dřeva. Nejčastěji se k výrobě lepených lamelových nosníků používá smrk.

8.4.2.3 Třídy vlhkosti

Vlhkost dřeva je obsah vody ve dřevě vyjádřených v procentech hmotnosti dřeva úplně vysušeného.

Konstrukční dřevo používané pro stavební konstrukce musí splňovat normami předepsané požadavky (viz tabulka č. 6).

Vlhkost dřeva pro stavební konstrukce se předepisuje podle druhu a použití v konstrukci.

Vlhkost dřeva %	**Použití dřeva**
Nejvýše 10 %	spojovací součástky (hmoždíky, kolíky, atd.) a prvky vystavené dlouhodobým zvýšeným teplotám nepřevyšujícím 55°C
Nejvýše 15 %	lepené prvky
nejvýše 20%	konstrukční prvky spojované hřebíky, svorníky atd.
nejvýše 25%	prvky vystavené nechráněné expozici (tj. třídě použití vlhkosti 3 podle ČSN EN 1995-1-1), u kterých vysychání dřeva není na závadu
bez omezení	prvky, které budou i trvale ve vlhkém nebo horkém prostředí

Tabulka 6. Tabulka použití dřeva z hlediska jeho vlhkosti (Lubomír Jelínek, Tesařské konstrukce, 2008)

Vlhkost dřeva kolísá v konstrukci podle teploty a podle relativní vlhkosti vzduchu, ve kterém se dřevo nachází. Tyto fyzikální vlastnosti určíme buď vysoušením a následným vážením zkušebního vzorku dřeva nebo odporovým vlhkoměrem.

Dřevěné konstrukce musí být zařazeny do jedné ze tříd provozu (viz tabulka č.7)

TŘÍDA VLHKOSTI 1:	Je charakterizována vlhkostí materiálu odpovídající teplotě 20°C a relativní vlhkostí okolního vzduchu, přesahující 65% pouze po několik týdnů v roce. V této třídě vlhkosti nepřesahuje průměrná vlhkost u většiny měkkého dřeva 12%
TŘÍDA VLHKOSTI 2:	Je charakterizována vlhkostí materiálu odpovídající teplotě 20°C a relativní vlhkostí okolního vzduchu, přesahující 85% pouze po několik týdnů v roce. V této třídě vlhkosti nepřesahuje průměrná vlhkost u většiny měkkého dřeva 20%
TŘÍDA VLHKOSTI 3:	Klimatické podmínky vedoucí k vyšší vlhkosti než ve třídě 2. Do této třídy vlhkosti 3 by měly být zařazeny kryté dřevěné konstrukce pouze v ojedinělých případech.

Tabulka 7. Třídy provozu
(Lubomír Jelínek, Tesařské konstrukce, 2008)

8.4.2.4 Třídy trvání zatížení

Pro výpočet pevnosti a tuhosti musíme zatížení zařadit do jedné ze tříd trvání zatížení. Třídy trvání zatížení rozlišujeme: stálé, dlouhodobé, střednědobé, krátkodobé a okamžikové. Každá ze tříd je dána dobou trvání charakteristického zatížení.

8.4.2.5 Modifikační součinitel

Při navrhování dřevěných konstrukcí je třeba zohlednit vlhkost prostředí, v němž se dřevěná konstrukce nachází a s ohledem na dotvarování dřeva také délku trvání zatížení. Děje se to pomocí modifikačních součinitelů Kmod.

8.4.2.6 Rozměry dřeva

Účinný průřez se vztahuje k vlhkosti dřeva 20% u rostlého dřeva a k vlhkosti 12% u lepeného lamelového dřeva. Nejmenší oslabený průřez dřevěných prvků má být alespoň 24mm. Oslabená plocha průřezů nosných dřevěných prvků nemá být menší než 1800mm².

8.5 Požadavky na lepené lamelové výrobky

8.5.1 Strojní a vizuální třídění použitého konstrukčního dřeva

Pro výrobu lepeného lamelového dřeva je použito konstrukční dřevo tříděné dle pevnosti v souladu s normou ČSN EN 14081-1. V této normě jsou stanoveny dvě základní metody třídění dle pevnosti: vizuální třídění a strojní třídění.

8.5.1.1 Systém strojního třídění

Systém strojního třídění má dva základní systémy: systém s kontrolou vztaženou na produkci a systém s kontrolou vztaženou na stroj. Systém s kontrolou vztaženou na produkci systému se používá tam, kde jsou stroje umístěny v pilařských závodech pro třídění omezeného počtu rozměrů, druhů a jakostních tříd dřeva v opakovaném výrobním toku. Tento systém umožňuje kontrolu a úpravu nastavení stroje, tak aby byly zajištěny požadované mechanické vlastnosti pro každou třídu pevnosti a každodenní kontrolu.

Systém s kontrolou vztaženou na stroj vzhledem k velkému počtu kontrolovaných rozměrů, druhů dřeva a jakostních tříd, neumožňuje provádění kontrolních zkoušek na vzorku odebraného z výroby.

8.4.2 Systém vizuálního třídění

Pro vizuální třídění řeziva podle pevnosti existuje v Evropě velké množství různých pravidel. Tyto pravidla se odlišují počtem jakostních tříd a jejich hranicemi a kritériem posuzování charakteristik dřeva. Převážně se jedná o postupy a výpočet sukovitosti dle norem. Tyto normy jsou v evropských zemích odlišné. V praxi to můžeme odůvodnit následujícím způsobem: suky, které se na řezivu vyskytují, se mohou projevovat podle rozměrů a způsobu pořezu v rozmanitých tvarech, jenž lze vizuálně obtížně roztřídit a klasifikovat. Příčinou snížení pevnosti není samotný suk, nýbrž jím způsobený odklon vláken v okolním dřevě. O tom se můžeme přesvědčit například i u některých porušených konstrukcí, kde je patrné, že porušení nevychází přímo ze suku, ale z míst, kde jsou vlákna odkloněna. Struktura dřeva může být výrazně narušena suky vyskytujícími se blízko sebe, a proto se parametr sukovitosti běžně stanovuje nejenom se zřetelem k největšímu suku, ale také na základě součtu suků, které se v dané oblasti vyskytují. Na rozdíl od suků obsažených uvnitř průřezu a v jeho tlačené části se mnohem nepříznivěji projevují suky umístěné na okrajích a v tažené části. Proto je třeba při vizuálním roztřídění přihlížet i k poloze suku v průřezu.

Pravidla pro vizuální třídění vznikla s ohledem na: různé druhy dřevin nebo skupiny dřevin, geografický původ, různé rozměrové změny, rozdílné požadavky pro různé účely použití, jakost dostupného materiálu a historické vlivy nebo tradice.

Výhody vizuálního třídění dřeva podle pevnosti: jednoduchost, nevyžaduje nákladně technické vybavení.

Nevýhody jsou: závislost na lidském činiteli, malá účinnost (není dostatečně uvážena struktura dřeva – např. hustota, která má vliv na mechanické vlastnosti dřeva).

8.5.3 Požadavky na třídění

Dřevo musí být tříděno dle požadavků normy ČSN EN 14081-1 (viz tabulka č. 8 a 9). Pokud je jakostní třída přiřazena na základě normy ČSN EN 1912 ke třídě pevnosti, tak se charakteristické hodnoty vlastností musí uvažovat dle normy ČSN EN 338 pro přiřazenou třídu pevnosti, jinak musí být stanoveny dle ČSN EN 384.

Jakékoliv omezení nebo přidaná kritéria třídění musí být uvedena v předpisu pro třídění.

Požadavky na charakteristiky redukující pevnost pro normy vizuálního třídění dle ČSN EN 14081-1.

Na základě normy ČSN 73-2824-1 jsou z hlediska vizuálního třídění dány určitá omezení pro geometrické tvary (obliny, zakřivení, reakční dřevo, aj.) a omezení charakteristik redukující pevnost (suky, odklon vláken, hustota a průměrná šířka letokruhů, trhliny).

Třída pevnosti podle EN 338		C18 a nižší	nad C18
Největší dovolená délka trhlin[a]		Trhliny s menším rozměrem než polovina tloušťky se mohou zanedbat	
	Trhliny neprocházející tloušťkou	Ne více než 1,5 m nebo 1/2 délky prvku, rozhodující je menší hodnota	Ne více než 1 m nebo 1/4 délky prvku, rozhodující je menší hodnota
	Trhliny procházející tloušťkou	Ne více než 1 m nebo 1/4 délky prvku, rozhodující je menší hodnota. Pokud jsou trhliny na koncích, délka nesmí překročit 2násobek šířky prvku	Dovolují se pouze na koncích s délkou nepřekračující šířku prvku
Největší zakřivení[b] v mm na 2 m délky	Podélné zakřivení ve směru tloušťky	20 mm	10 mm
	Podélné zakřivení ve směru šířky	12 mm	8 mm
	Šroubové zakřivení	2 mm/25 mm šířky	1 mm/25 mm šířky
	Příčné zakřivení	Neomezuje se	Neomezuje se
Oblina		Oblina nesmí být větší než 1/3 plného rozměru boku a/nebo plochy prvku	
Měkká hniloba a tvrdá hniloba[c] (viz EN 844-10)		Měkká hniloba se nedovoluje. Tvrdá hniloba se dovoluje	Měkká hniloba se nedovoluje. Tvrdá hniloba se nedovoluje
Poškození hmyzem		Aktivní napadení hmyzem se nedovoluje. Otvory způsobené vosami se nedovolují a otvory po hmyzu se musí posoudit jako abnormální vady	
Abnormální vady		Pokud je redukce pevnosti způsobená abnormální vadou zjevně menší než redukce způsobená jinými vadami dovolenými v této tabulce, je možné prvek akceptovat za předpokladu, že vada je takového druhu, že se nebude zvětšovat po zpracování a vysoušení	

a) Délka trhlin je spojena s vlhkostí a uvedené omezení proto platí pouze v čase třídění. Omezení trhlin lze zanedbat pro speciální třídy a speciální prvky, je-li výzkumem potvrzeno, že neovlivňují pevnost. Dovolené meze jak pro hloubku tak i pro délku trhlin se vztahují na kumulativní součet trhlin v jedné rovině dřevěného prvku.

b) Protože zakřivení je ovlivněno vlhkostí, meze platí pouze v čase třídění. Pokud to vyžaduje způsob provozu třídicího stroje, meze pro zakřivení budou menší. Podélné zakřivení u prvků čtvercového průřezu se posoudí použitím mezních hodnot pro podélné zakřivení ve směru tloušťky.

c) Zbarvení běli houbami není vadou struktury dřeva a dovoluje se bez omezení.

Tabulka 8. Požadavky na vizuální kontrolu, (ČSN EN 14081-1)

	Třída pevnosti podle EN 338	
	C18 a nižší	nad C18
Průměr suku na ploše	1/2 × šířka prvku	1/4 × šířka prvku
Průměr suku na boku	3/4 × tloušťka prvku	1/4 × tloušťka prvku
Odklon vláken	1 : 6	1 : 10
POZNÁMKA 1 Tyto největší mezní hodnoty platí pouze pokud velikost suků a odklon vláken v neúplně tříděné oblasti překračují velikost stejných charakteristik v plně tříděné části téhož prvku. POZNÁMKA 2 Průměr suku se měří kolmo k podélné ose prvku dřeva. Pro hranové suky platí výše uvedené mezní hodnoty pro část suku viditelnou na příslušné uvažované ploše nebo boku.		

Tabulka 9. Požadavky na vizuální kontrolu pro oblasti neúplně tříděné strojně (ČSN EN 14081-1)

8.5.2 Reakce na oheň

Je nutná pokud výrobce požaduje uvedení technických vlastností. Reakce na oheň se zkouší a hodnotí na základě ČSN EN 13501-1, s výjimkou výrobků zahrnutý v tabulce číslo 10, které se klasifikují bez požadavku dalšího zkoušení.

Materiál	Podrobnost výrobku	Nejmenší průměrná hustota[c] (kg/m^3)	Nejmenší celková tloušťka (mm)	Třída[b]
Konstrukční dřevo	Vizuálně a strojně tříděné konstrukční dřevo s obdélníkovým průřezem vytvořeným řezáním, frézováním nebo jinými způsoby, nebo s kruhovým průřezem	350	22	D-s2, d0
[a] Platí pro všechny druhy dřeva zahrnuté v této normě. [b] Třída předepsaná rozhodnutím komise 2000/147/EC, příloha, tabulka 1. [c] Klimatizováno podle EN 13238.				

Tabulka 10. Třída funkčních požadavků reakce na oheň pro konstrukční dřevo (ČSN EN 14081-1)

8.5.3 Mechanická odolnost lepeného lamelového dřeva

Konstrukční dřevo použité pro výrobu lepeného lamelového dřeva musí mít charakteristické vlastnosti pevnosti, tuhosti, a hustoty, jenž mohou být uvedené odkazem na třídu pevnosti dle tabulky č. 13 nebo na třídu pevnosti dle tabulky č. 14. Pokud je zvolena třída pevnosti specifická pro výrobce, musí být označení spojené s názvem výrobce např. GLxx Společnost s.r.o. (xx nám udává charakteristickou hodnotu pevnosti v ohybu). Pro lepené lamelové dřevo s nesouměrnou skladbou je označení GL28 ca.

Charakteristická pevnost v ohybu platí pro lepené dřevo s výškou h = 600mm a pro tloušťku lamel větší jak 40mm.

Charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny platí pro lepené lamelové dřevo s výškou h = 600mm nebo šířkou b = 600mm.

Charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům platí pro lepené lamelové dřevo s namáhaným objemem 0,01m^3.

8.5.3.1 Ověření mechanických vlastností

Ověřování mechanických vlastností se provádí:

1.) Na základě klasifikace skladby a vlastností lamel
2.) Na základě výpočtu s uvážením průřezové skladby a dokumentovaných vlastností prken a zubovitých spojů
3.) Na základě zkoušek prvků konstrukčních rozměrů

1. Na základě klasifikace skladby a vlastností lamel

a.) musí být splněny požadavky na prkna, která se použijí do průřezu (viz tabulka č. 11)

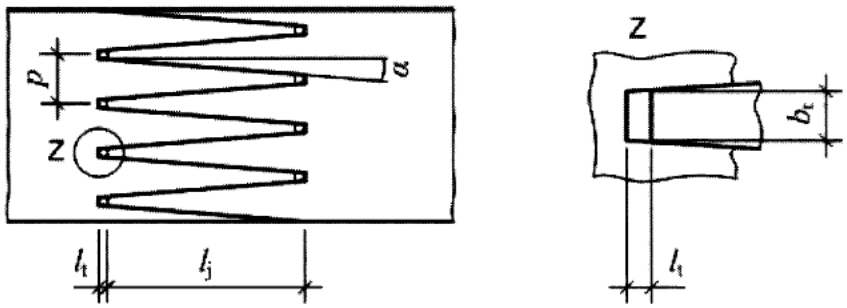
T-třída prken nebo fošen[a]	$f_{t,0,l,k}$	$E_{t,0,l,mean}$	$\rho_{,k}$
T8 (C14)	8	7 000	290
T9	9	7 500	300
T10 (C16)	10	8 000	310
T11 (C18)	11	9 000	320
T12 (C20)	12	9 500	330
T13 (C22)	13	10 000	340
T14 (C24)	14	11 000	350
T14,5	14,5	11 000	350
T15	15	11 500	360
T16 (C27)	16	11 500	370
T18 (C30)	18	12 000	380
T21 (C35)	21	13 000	390
T22	22	13 000	390
T24 (C40)	24	13 500	400
T26	26	14 000	410
T27 (C45)	26	15 000	410
T28	28	15 000	420
T30 (C50)	30	15 500	430
[a] Třídy C podle EN 338:2009 splňují nejméně požadované hodnoty příslušných T-tříd.			

Tabulka 11. Charakteristické vlastnosti pevnosti a tuhosti pro T-třídy v N/mm² a hustoty v kg/m³ pro prkna nebo fošny pro lepené lamelové dřevo (ČSN EN 14080:2013)

b.) pevnost zubovitých spojů

Zubovitý spoj je podélný spoj vytvořený frézou na drážky opracováním více stejných ozubů v čele dřevěných prvků, které se poté navzájem spojí (viz obrázek č. 26)

Délka ozubu je brána jako vzdálenost mezi základnou a tupým zakončením ozubu. Je měřená podél osy souměrnosti ozubu. Lepidlo vyplňuje spáru o tloušťce 2mm.

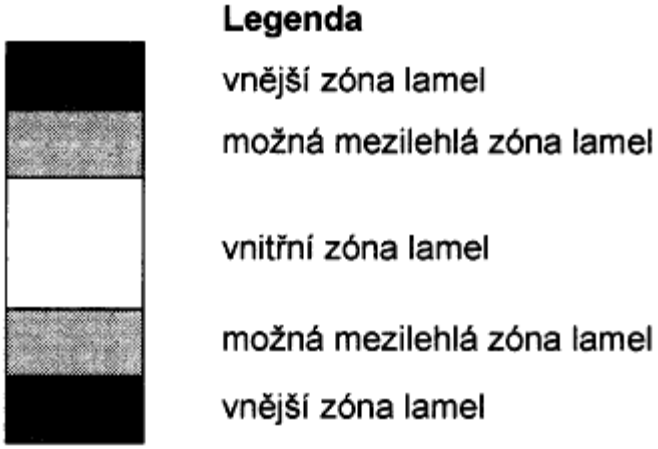


Legenda:
li- délka ozubu, p – rozteč ozubů, α – sklon ozubu, lt – vůle v zubovitém spoji, bt – šířka tupého zakončení zubu

Obrázek 26. Typický profil zubovitého spoje, (ČSN EN 14080:2013)

Pevnost zubovitého spoje je dána charakteristickými hodnotami pevnosti v ohybu na ležato zubovitých spojů v lamelách se posuzují dle tabulek č. 12 a13. Pokud se zubovité spoje zkouší na tah, je charakteristická hodnota pevnosti v tahu uvažována jako fm,j,k / 1/4.

c.) Skladba nosníku odpovídá tabulkám číslo 12 a 13 a lepené lamelové dřevo odpovídá požadavkům na třídu pevnosti uvedenou v tabulce 14 a 15. Zóny průřezu jsou definovány dle obrázku č. 27.



Obrázek 27. Příklad skladby nosníku z kombinovaného lepeného lamelového dřeva (ČSN EN 14080:2013)

Lepené lamelové dřevo	Vnější zóny lamel			Mezilehlé zóny lamel			Vnitřní zóna lamel		
Třída pevnosti	Třída pevnosti	Podíl [%]	$f_{m,l,k}$ [N/mm^2]	Třída pevnosti	Podíl [%]	$f_{m,l,k}$ [N/mm^2]	Třída pevnosti[a]	Podíl [%]	$f_{m,l,k}$ [N/mm^2]
GL 20c	T13	2 × 33	21	–	–	–	T8	34	18
GL 22c	T13	2 × 33	26				T8	34	18
GL 24c	T14	2 × 33	31				T9	34	19
GL 26c	T16	2 × 33	34				T11	34	22
GL 28c	T18	2 × 25	37	–	–	–	T14	50	28
GL 28c	T21	2 × 17	36				T14	66	26
GL 28c	T21	2 × 17	38				T13	66	25
GL 28c	T21	2 × 25	35	–	–	–	T11	50	22
GL 28c	T21	2 × 20	35	T14	2 × 20	26	T11	20	22
GL 28c	T22	2 × 20	35				T13	60	25
GL 30c	T22	2 × 17	41				T14,5	66	27
GL 30c	T22	2 × 17	41				T14	66	26
GL 30c	T22	2 × 20	40	T14	2 × 20	26	T11	20	22
GL 30c	T22	2 × 17	42	T14	2 × 23	26	T11	20	22
GL 32c	T24	2 × 17	44				T18	66	31
GL 32c	T26	2 × 17	45				T14	66	26
GL 32c	T26	2 × 10	48	T18	2 × 20	32	T11	40	22

Tabulka 12. Skladba nosníku z kombinovaného lepeného lamelového dřeva a minimální hodnoty pro pevnost v ohybu zubovitých spojů v lamelách v N/mm² (ČSN EN 14080:2013)

Třída pevnosti lepeného lamelového dřeva	Třída pevnosti lamel	$f_{m,l,k}$
GL 20h	T10	25
GL 20h	T11	22
GL 22h	T13	25
GL 24h	T14	30
GL 26h	T16	33
GL 28h	T18	36
GL 30h	T21	38
GL 30h	T22	37
GL 32h	T24	41
GL 32h	T26	38

Tabulka 13. Skladba nosníku z homogenního lepeného lamelového dřeva a minimální hodnoty pro pevnost v ohybu zubovitých spojů v lamelách v N/mm² (ČSN EN 14080:2013)

		Třída pevnosti lepeného lamelového dřeva						
Vlastnost[a]	**Značka**	**GL 20c**	**GL 22c**	**GL 24c**	**GL 26c**	**GL 28c**	**GL 30c**	**GL 32c**
Pevnost v ohybu	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Pevnost v tahu	$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	20	20
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Pevnost v tlaku	$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	25	25
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Pevnost ve smyku (smyk a kroucení)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Pevnost ve valivém smyku	$f_{r,g,k}$	1,2						
Modul pružnosti	$E_{0,g,mean}$	10 400	10 400	11 000	12 000	12 500	13 000	13 500
	$E_{0,g,05}$	8 600	8 600	9 100	10 000	10 400	10 800	11 200
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Modul pružnosti ve smyku	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	542						
Modul pružnosti ve valivém smyku	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Hustota[b]	$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390	400
	$\rho_{g,mean}$	390	390	400	420	430	430	440

[a] Vlastnosti uvedené v této tabulce byly vypočteny podle 5.1.5 na základě skladby uvedené v tabulce 2. Pokud rozdílné skladby pro určité třídy pevnosti vedou k rozdílným charakteristickým hodnotám, jsou zde uvedeny nejnižší hodnoty.

[b] Vypočtena jako vážený průměr hustot rozdílných zón lamel, viz 5.1.5.3, pátý odstavec.

Tabulka 14. Charakteristické vlastnosti pevnosti a tuhosti v N/mm² a hustoty v kg/m³ pro kombinované lepené lamelové dřevo (ČSN EN 14080:2013)

Vlastnost	**Značka**	**Třída pevnosti lepeného lamelového dřeva**						
		GL 20h	**GL 22h**	**GL 24h**	**GL 26h**	**GL 28h**	**GL 30h**	**GL 32h**
Pevnost v ohybu	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
Pevnost v tahu	$f_{t,0,g,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,4	24	25,6
	$f_{t,90,g,k}$	0,5						
Pevnost v tlaku	$f_{c,0,g,k}$	20	22	24	26	28	30	32
	$f_{c,90,g,k}$	2,5						
Pevnost ve smyku (smyk a kroucení)	$f_{v,g,k}$	3,5						
Pevnost ve valivém smyku	$f_{r,g,k}$	1,2						
Modul pružnosti	$E_{0,g,mean}$	8 400	10 500	11 500	12 000	12 600	13 600	14 200
	$E_{0,g,05}$	7 000	8 800	9 600	10 100	10 500	11 300	11 800
	$E_{90,g,mean}$	300						
	$E_{90,g,05}$	250						
Modul pružnosti ve smyku	$G_{g,mean}$	650						
	$G_{g,05}$	540						
Modul pružnosti ve valivém smyku	$G_{r,g,mean}$	65						
	$G_{r,g,05}$	54						
Hustota	$\rho_{g,k}$	340	370	385	405	425	430	440
	$\rho_{g,mean}$	370	410	420	445	460	480	490

Tabulka 15. Charakteristika vlastnosti pevnosti a tuhosti v N/mm² a hustoty v kg/m³ pro homogenní lepené lamelové dřevo (ČSN EN 14080:2013)

2. Posouzení na základě skladby průřezu a vlastností prken a zubovitých spojů

Pokud prkna mají charakteristickou třídu pevnosti stejnou, je možné pevnostní a tuhostní vlastnosti uvažovat dle tabulky č. 11. Pokud jsou použitá prkna zařazena do odlišných tříd pevnosti, musí se charakteristické hodnoty pevnosti v tahu rovnoběžně s vlákny, modulu pružnosti s vlákny a charakteristické hustoty, odvodit ze zkoušek dle ČSN EN 408 a stanovit výpočtem dle ČSN EN 384.

Charakteristická pevnost zubovitých spojů na ležato nebo v tahu musí být odvozena výrobcem a ověřena zkouškami dle ČSN EN 14080:2013.

Vlastnosti pevnosti a tuhosti homogenního lepeného lamelového dřeva se stanoví výpočtem z pevnostních a tuhostních charakteristik použitých lamel při použití vztahů uvedených v tabulce č. 16.

Pevnost se posuzuje ve všech rozhodujících bodech průřezu.

Hustota kombinovaného lepeného lamelového dřeva se musí uvažovat jako vážené hustoty zón lamel, jejichž hustota se stanoví stejně, jako pro homogenní průřez lepeného lamelového dřeva.

Vlastnost		**Charakteristické hodnoty**
Pevnost v ohybu (N/mm^2)	$f_{m,g,k}$	Charakteristická pevnost v ohybu se musí stanovit použitím tohoto vztahu: $f_{m,g,k} = -2{,}2 + 2{,}5\, f_{t,0,l,k}^{0{,}75} + 1{,}5\,(f_{m,j,k} / 1{,}4 - f_{t,0,l,k} + 6)^{0{,}65}$ Tento vztah lze použít pouze pro charakteristickou pevnost v ohybu na ležato zubovitého spoje v tomto rozsahu: $1{,}4\, f_{t,0,l,k} \le f_{m,j,k} \le 1{,}4\, f_{t,0,l,k} + 12$ Tento vztah lze použít pro lepené lamelové dřevo bez zubovitých spojů za předpokladu, že $f_{m,j,k}$ se uvažuje hodnotou: $f_{m,j,k} = 1{,}4\, f_{t,0,l,k} + 12$
Pevnost v tahu (N/mm^2)	$f_{t,0,g,k}$	Charakteristická pevnost v tahu se musí uvažovat jako 80 % charakteristické hodnoty pevnosti v ohybu $f_{m,g,k}$.
	$f_{t,90,g,k}$	0,5
Pevnost v tlaku (N/mm^2)	$f_{c,0,g,k}$	Charakteristická pevnost v tlaku se musí uvažovat jako $f_{m,g,k}$ v N/mm^2 kde $f_{m,g,k}$ je charakteristická pevnost v ohybu lepeného lamelového dřeva.
	$f_{c,90,g,k}$	2,5
Pevnost ve smyku (N/mm^2)	$f_{v,g,k}$	3,5
	$f_{r,g,k}$	1,2
Modul pružnosti (N/mm^2)	$E_{0,g,mean}$	Průměrná hodnota modulu pružnosti se musí uvažovat jako $E_{0,g,mean} = 1{,}05\, E_{t,0,l,mean}$.
	$E_{90,g,mean}$	300
Modul pružnosti ve smyku (N/mm^2)	$G_{g,mean}$	650
	$G_{r,g,mean}$	65
Hustota (kg/m^3)	$\rho_{g,k}$	$1{,}1\, \rho_{l,k}$
	$\rho_{g,mean}$	$\rho_{l,mean}$

Tabulka 16. Charakteristika vlastnosti pevnosti a tuhosti v N/mm^2 a hustoty v kg/m^3 pro homogenní lepené lamelové dřevo (ČSN EN 14080:2013)

3.) Ověřování zkoušek s lepeným lamelovým dřevem konstrukčních rozměrů

Vlastnosti prken, jako hodnoty pevnosti v tahu rovnoběžně s vlákny, pevnosti ohybu, průměrný modul pružnosti s vlákny a charakteristická hustota se určí na základě zkoušek dle normy ČSN EN 14080:2013.

Pevnost zubovitých spojů na ležato se stanoví na základě zkoušek dle ČSN EN 14080:2013.

Vlastnosti pevnosti, tuhosti a hustoty lepeného lamelového dřeva odvozené ze zkoušek:

a.) kombinované lepené lamelové dřevo se musí přiřadit k jedné pevnostní třídě, dle tabulky č. 14 nebo k jiné třídě pevnosti stanovené výrobcem a to v případě, pokud charakteristické hodnoty pevnosti, průměrný modul pružnosti a charakteristická hustota odvozené ze zkoušek konstrukčních rozměrů, dle ČSN EN 14080:2013., nejsou menší než hodnoty deklarované. Ostatní pevnostní a tuhostní vlastnosti třídy pevnosti specifické pro výrobce se musí stanovit výpočtem na základě uvedených vztahů v tabulce č. 16.

b.) homogenní lepené lamelové dřevo musí být zařazeny k jedné třídě pevnosti dle tabulky č. 15 nebo k jiné třídě pevnosti stanovené výrobcem, pokud charakteristické hodnoty pevnosti, průměrný modul pružnosti a charakteristická hustota odvozené ze zkoušek konstrukčních rozměrů, dle normy ČSN EN 14080:2013., nejsou menší než hodnoty deklarované. Ostatní pevnostní a tuhostní vlastnosti pro třídy pevnosti specifické pro výrobce, se musí stanovit výpočtem na základě uvedených vztahů v tabulce č. 16.

8.6 Lepidla

Trvanlivé a spolehlivé lepené spoje vznikají, pokud jsou splněny požadavky na minimální výrobní požadavky obsažené v předešlé kapitole.

Obecně se používají lepidla, která nám zajistí trvanlivé spoje v lepených výrobcích během doby životnosti konstrukce pro požadovanou třídu provozu, dle EN 1995-1-1 a dle tabulky č. 7.

8.6.1 Rozdělení lepidel pro výrobu lepeného lamelového dřeva

Na výrobu lepeného lamelového dřeva jsou, při uvážení všech podstatných souvislostí, možná tato lepidla:

1.) fenolická a aminová lepidla
2.) jednosložková polyuretanová lepidla vytvrzující vlivem vlhkosti
3.) emulzní polymerová izokyanátová lepidla

1. Fenolická a aminová lepidla

Zařazují se sem například MF, MUF, PRF, UF.

a.) Rezorcínolformaldehydová (RF) a fenolrezorcínolformaldehydová (PRF) – pryskyřičná lepidla k výrobě lepeného lamelového dřeva, zubovitých spojů a to jak pro konstrukční prvky v exteriéru, tak i v interiéru.

b.) Melaminmočovinoformaldehydová (MUF) – pryskyřičná lepidla, jenž nejsou odolná jako rezorcínová lepidla. Používají se z důvodu ekonomického a pro jejich světlou barvu.

c.) Močovinoformaldehydová (UF) – nejrozšířenější lepidlo pro lepení dřeva. Rychle vytvrzuje. Používají se ve formě roztoků, jsou bezbarvé a odolné proti vodě.

Jejich velkou nevýhodou je uvolňování formaldehydu při výrobě a používání konstrukčních prvků.

2. Jednosložková polyuretanová lepidla

Mají vysokou pevnost a vynikající trvanlivost. Musí splňovat zkoušky a požadavky pro lepidla dle ČSN EN 14080:2013. Zkoušky budou popsány v samostatné kapitole zkušební postupy.

3. Emulzní polyuretanová izokyanátová lepidla

Vykazují se vysokou pevností a dlouho dobou trvanlivosti. Jejich použití je specifikované na lepené lamelové výrobky do tříd provozu 1 a 2. (viz tabulka č. 7)

Zkoušky těchto druhů lepidel jsou dělány na základě normy ČSN EN 15425 a ČSN EN 14080:2013. Zkoušky jsou řešeny v samostatné kapitole. Tloušťka lepené spáry musí být stejná i u zkušebního vzorku.

8.6.2 Obecné požadavky na lepidla

Lepidla musí splňovat požadavky dle norem EN 301 a musí se zkoušet podle EN 302. Lepidla musí být připravena k výrobě dle návodu od výrobce a musí vykazovat viskozitu běžnou v praxi.

Doplňující požadavky na lepidla pro oddělenou aplikaci pryskyřice a tvrdidla pro výrobu zubovitých spojů v lamelách, se řídí dle normy ČSN EN 30. Kromě stanovení požadavků musí být provedené zkoušky a splněny příslušné požadavky při užívání dostatečného poměru pryskyřice tvrdidla, který nesmí být menší než +/-30 hmotnostního podílu vztaženého k tvrdidlu.

Jednotlivé zkoušky budou vysvětleny v samostatné kapitole.

Nejmenší lisovací doba lepené spáry pro tl. 1mm, se musí stanovit podle ustanovení ČSN EN 302-6.

8.6.3 Lepení lamel

Spolehlivých a trvanlivých lepených spojů v průřezu nosníku mezi jednotlivými lamelami dosáhneme dodržením přesně definovaných podmínek výroby.

Pevnost lepení lepených spár se musí ověřit zkouškou delaminace nebo smykovou zkouškou. Pro zkoušku delaminace jsou v přílohách normy ČSN EN 14080:2013. uvedeny dva postupy, které budou popsány v samostatné kapitole.

Celistvost lepené spáry se zkouší postupy delaminace a celkové procento delaminace průřezového zkušebního tělesa musí vyhovovat požadavkům uvedených v tabulce č. 17.

U všech typů delaminace smí být největší procento delaminace jednotlivé spáry nejvýše 30%

Typ[a]	Počet cyklů	1	2	3
Lepené lamelové dřevo, lepené lamelové dřevo s velkými zubovitými spoji a složené (blokově lepené) lepené lamelové dřevo	Postup A	–	5	10
	Postup B	4	8	–
	Postup C	10	–	–
Lepené rostlé dřevo s tloušťkou lamel od 60 mm do 85 mm (včetně)	Postup A	–	10	15
	Postup B	8	12	–
	Postup C	15	–	–
[a] Pro lepené rostlé dřevo s tloušťkou lamel od 45 mm do 60 mm se interpoluje podle přímky.				

Tabulka 17. Největší hodnoty celkové delaminace v %, (ČSN EN 14080:2013)

8.6.3.1 Smyková pevnost lepených spár

Smykovou pevnost stanovíme zkouškou, která nám určí požadavky, jímž musí každý výsledek zkoušky odpovídat a to s ohledem na pevnost ve smyku a procento porušení dřeva.

Pevnost ve smyku každé lepené spáry je stanovena v tabulce č. 18. Jsou zde patrné nejmenší hodnoty procenta porušení dřeva ve vztahu ke smykové pevnosti.

	Průměrná hodnota			Jednotlivé hodnoty		
Pevnost ve smyku f_v v N/mm^2	6	8	$f_v \geq 11$	$4 \leq f_v < 6$	6	$f_v \geq 10$
Nejmenší procento porušení dřeva v %[b]	90	72	45	100	74	20
[a] Mezilehlé hodnoty se interpolují podle přímky.						
[b] Pro průměrné hodnoty musí být nejmenší procento porušení dřeva: 144 – (9 f_v). Pro jednotlivé hodnoty nejmenší hodnota procenta porušení dřeva, vztažená na pevnost ve smyku $f_v \geq 6{,}0$ N/mm^2, musí být 153,3 – (13,3 f_v).						

Tabulka 18. Nejmenší hodnoty procenta porušení dřeva ve vztahu k smykové pevnosti, (ČSN EN 14080:2013)

8.7 Požární odolnost

Požární odolnost lepených lamelových výrobků je nepřímo deklarováno, což znamená, že požární odolnost dané konstrukce se může vypočítat až později v rámci požárního návrhu stavby.

Určení zařazení lepeného lamelového dřeva do třídy reakce na oheň, můžeme provést dle dvou uvedených postupů:

a.) bez požadavku dalšího zkoušení, pouze na základě tabulky č. 19, pokud daný lepený lamelový výrobek splňuje veškeré požadavky uvedené třídy.

b.) na základě zkoušení lepeného lamelového výrobku dle ČSN EN 13501-1 a to v případě, že daný prvek nesplňuje požadavky tabulky č. 19.

Materiál	Podrobnost výrobku	Nejmenší průměrná hustota[c] (kg/m^3)	Nejmenší celková tloušťka (mm)	Třída[b]
Konstrukční dřevo	Vizuálně a strojně tříděné konstrukční dřevo s obdélníkovým průřezem vytvořeným řezáním, frézováním nebo jinými způsoby, nebo s kruhovým průřezem	350	22	D-s2, d0
[a] Platí pro všechny druhy dřeva zahrnuté v této normě.				
[b] Třída předepsaná rozhodnutím komise 2000/147/EC, příloha, tabulka 1.				
[c] Klimatizováno podle EN 13238.				

Tabulka 19. Třídy reakce na oheň pro lepené lamelové dřevo (ČSN EN 14081-1)

8.8 Emise formaldehydu

Pakliže jsou použity lepidla s obsahem formaldehydu, je nutné zjistit množství emisí, které vznikají jeho uvolňováním do vzduchu. Musí se určit třída emise a to buď na základě příslušné třídy zařazení nebo na základě prováděné zkoušky. Uvolňování formaldehydu se musí určovat pro každý typ použitého lepidla. Lepené výrobky neobsahující formaldehyd mohou být zařazeny do třídy E1 bez zkoušení. Při posuzování úniku formaldehydu se musí brát vždy ta největší hodnota v ustáleném stavu. (viz tabulka č. 20)

Třídy uvolňování formaldehydu	Největší hodnoty uvolňování formaldehydu v ustáleném stavu (v mg HCHO/m^3 vzduchu)
E1	≤ 0,124
E2	> 0,124

Tabulka 20. Třídy uvolňování formaldehydu, (ČSN EN 14080:2013)

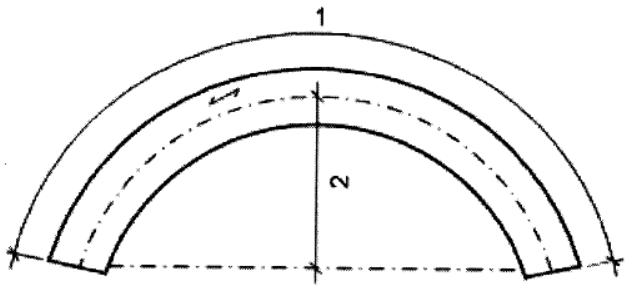
8.9 Odchylky rozměrů

Maximální odchylky

Všechny rozměry všech druhů lepeného lamelového dřeva jsou uvedeny v tabulce č. 21 a 22.

Největší odchylky pro zakřivené dílce platí pro prvky s poměrem poloměru křivosti *r* a výšky *h* o hodnotě $r/h \geq 20$, které jsou hoblovány. Pro prvky $r/h \leq 20$ jsou dovolené odchylky stanoveny dohodou (viz obrázek č. 28).

Podélné zakřivené přímého lepeného lamelového dřeva, lepeného lamelového dřeva s velkými zubovitými spoji a složeného lamelového dřeva.



Legenda 1 – rozvinutá délka, 2- nadvýšení

Obrázek 28. Základní rozměry zakřivených lepených lamelových prvků (ČSN EN 14080:2013)

Nominální rozměry		Maximální odchylky	
		Přímé prvky	Zakřivené prvky
Šířka průřezu	pro všechny šířky	±2 mm	
Výška průřezu	$h \leq 400$ mm	+4 mm až –2 mm	
	$h > 400$ mm	+1 % až –0,5 %	
Největší odchylka úhlů průřezu od pravého úhlu		1:50	
Délka přímého konstrukčního prvku nebo rozvinutá délka zakřiveného prvku	$l \leq 2$ m	±2 mm	
	2 m $\leq l \leq$ 20 m	±0,1 %	
	$l > 20$ m	±20 mm	
Podélné zakřivení měřené jako největší dovolená odchylka od přímky na délce 2 000 mm nezávisle na konstrukčním nadvýšení (viz obrázek 11)		4 mm	–
Odchylka od přímky na metr rozvinuté délky (viz obrázek 12)	≤ 6 lamel	–	±4 mm
	> 6 lamel	–	±2 mm

Tabulka 21. Maximální odchylky od nominálních rozměrů pro lepené lamelové dřevo, lepené lamelové dřevo s velkými zubovitými spoji a složené lepené lamelové dřev, (ČSN EN 14080:2013)

Nominální rozměry		Maximální odchylky
Tloušťka a šířka	≤ 100 mm	±1 mm
	> 100 mm	±1,5 mm
Maximální odchylka úhlů průřezu od pravého úhlu		1:50
Délka	$l \leq 10$ m	±3 mm
	$l > 10$ m	±5 mm

Tabulka 22. Maximální odchylky od nominálních rozměrů pro lepené rostlé dřevo (ČSN EN 14080:2013)

8.10 Korigované rozměry a součinitel vlhkostní deformace

Skutečné rozměry lepeného lamelového dřeva jsou ovlivněny sesycháním a bobtnáním, což má za následky změnu rozměrů výrobku. Poměry bobtnání a sesychání určitého druhu dřeva ve směru kolmo k vláknům a rovnoběžně s vlákny považujeme za konstantní.

Směr vláken	Součinitel vlhkostní deformace *k*
kolmo k vláknům	0,0025
ve směru vláken	0,0001
[a] Hodnoty platí pro jehličnaté dřevo a topol s obsahem vlhkosti od 6 % do 25 % (včetně). Součinitel vlhkostní deformace *k* kolmo k vláknům je průměr z tangenciální a radiální deformace.	

Tabulka 23. Součinitel vlhkostní deformace k pro změnu obsahu vlhkosti o 1%, (ČSN EN 14080:2013)

9. Zkušební postupy a požadavky pro lepidla

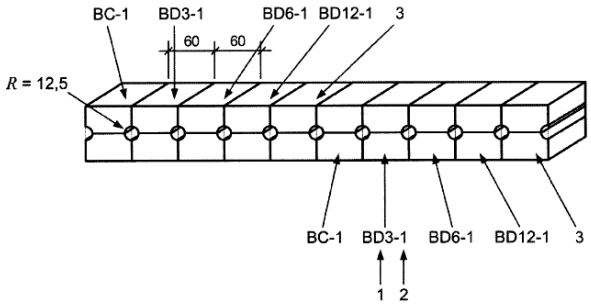
9.1 Dlouhodobá zatěžovací zkouška při cyklických klimatických podmínkách se zkušebními tělesy zatíženými kolmo k lepené spáře pro jednosložková polyuretanová lepidla vytvrzující účinkem vlhkosti a pro emulzivní polymerová izokyanátová lepidla

9.1.1 Obecný popis

Zkoušky jsou prováděny se zkušebními tělesy vyrobenými dle normy ČSN EN 302-3. Zkušební tělesa jsou vyrobena z bukového dřeva a mají tloušťku lepené spáry 0,1-0,5mm. Přířezy neobsahují suky, jejich hustota je vyšší než 650 kg/m³ při teplotě 20°C a relativní vlhkosti vzduchu 65%. Před zkoušením se zkušební tělesa musí klimatizovat při teplotě 20 (+/-2)°C a relativní vlhkosti 65 (+/-5)%. Konečná vlhkost zkušebního vzorku musí být 12 (+/-1)%.

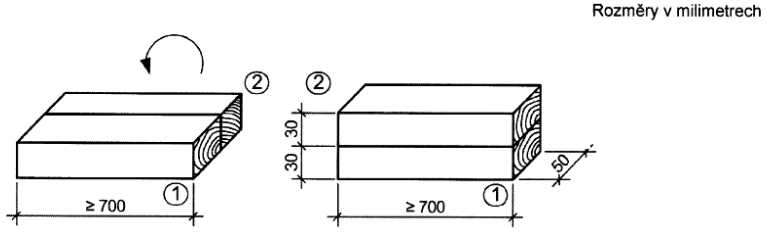
9.1.2 Příprava zkušebního vzorku

Pro každou tloušťku lepené spáry je nutné připravit 5 vzorků s průřezem 50x60mm a délkou nejméně 700mm. Tyto vzorky mají umožnit odřezání deseti zkušebních těles (osm zkušebních těles a dvě revizní tělesa). Na obrázku č. 29 je znázorněno schéma řezání a označování jednotlivých vzorků. Toto schéma musí být při zkoušce dodrženo. Orientace letokruhů dvou vzorků, které se spojují musí být kolineární a musí být v rozmezí 30-60°, což je zobrazeno na obrázku č. 30.



Legenda: 1 - zkušební dávka (BC = kontrolní dávka, BD x = dávka pro zkoušku po době x měsíců, 2 - pořadová čísla zkušebních těles, 3 - rezervní zkušební těleso

Obrázek 29. Schéma řezání zkušebního vzorku a číslování zkušebních těles pro dlouhodobou zatěžovací zkoušku, (ČSN EN 14080:2013)



A *B*

Legenda: A – rozměry před řezáním, B – rozměry po frézování, 1 a 2 – poloha rohů před řezáním a frézováním,

Obrázek 30. Schéma řezání části zkušebních vzorků pro dlouhodobou zatěžovací zkoušku, (ČSN EN 14080:2013)

9.1.3 Zkušební postupy a klimatické podmínky

Zkušební postup je složen z několika částí:

a.) krátkodobé zkoušení kontrolní dávky BC složených z deseti zkušebních těles při monotónním zatížení. Po slepení těles dochází ke klimatizaci 14 dnů při 20 (+/-2)°C a 65 (+/-5)% relativní vlhkosti vzduchu a poté dojde ke zkoušení.

b.) dlouhodobé zkoušení tří dávek BD3, BD6 a BD12, kdy každá dávka je složena z deseti vzorků a jejich zatížení je rozdílné v době trvání zatížení 3,6 a 12 měsíců. Každá dávka musí odolávat stejnému napětí. Na konci každého druhu zatížení se neporušená tělesa zkouší na zbytkovou pevnost v tahu kolmo k lepené spáře monotónním zatížením.

Konstantní napětí, jímž je těleso zatíženo po určitou dobu trvání zatížení, je 1N/mm² na plochu 25x50mm.

Zkušební klima odpovídá přirozeným venkovním klimatickým podmínkám v Evropě.

9.1.4 Požadavky

Vzorky zkoušející se na průměrnou pevnost v tahu kolmo k vláknům při různém trvání zatížení, musí odolat napětí o minimální velikosti 5N/mm². V každé dávce, při různé době zatížení, se smí porušit pouze jedno zkušební těleso. Zbytková napětí se vypočtou ze zbývajících devíti kusů.

9.2 Zkouška delaminace pro zubovité spoje v lamelách

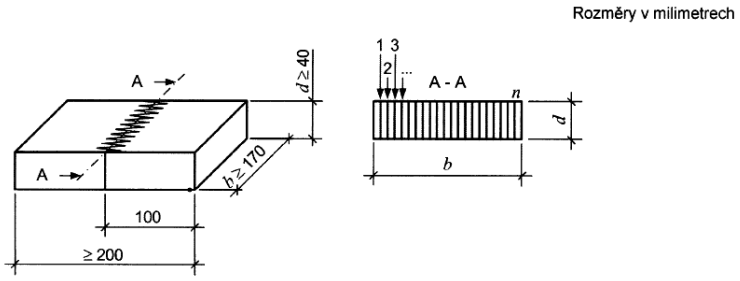
9.2.1 Výroba zkušebního vzorku

Délka ozubu musí být menší než 25mm a ozuby musí být vyrobeny dle normy EN14080.

Pro výrobu zkušebních vzorků se používají prkna, jejichž tloušťka musí být nejméně 45mm a šířka minimálně 185mm. Na obě strany, do vzdálenosti 100mm od základny ozubu, se nesmí vyskytovat suky větší než 6mm a jiné charakteristiky, které by mohly ovlivnit pevnost spoje. Prkna musí mít průměrnou hustotu 425 (+/-25) kg/m³.

Pro zkoušku je nutné vyrobit dostatečný počet zubovitých spojů, aby bylo možné odebrat 10 zkušebních těles (viz obrázek č. 31) pro každý zkušební poměr míchání pryskyřice a tvrdidla.

Vytvrzování probíhá 7 dní a následně dojde k ofrézování spojených prken a to na tl. min. 40mm a šířku nejméně 170mm. Vzorky se musí ořezat na zkušební tělesa s délkou 100mm a to tak, že zubovitý spoj zůstane v části zkušebního tělesa a je viditelný na čelních plochách.



A *B*

Legenda: A - rozměry, B - číslování tupých zakončení ozubu, 1,2,3 - číslo tupého zakončení ozubu
Obrázek 31. Zkušební tělesa pro zkoušky delaminace se zubovitými spoji v lamelách, (ČSN EN 14080:2013)

9.2.2 Zkoušení

Před začátkem zkoušení je nutné zkušební tělesa zvážit a stanovit jejich vlhkost pomocí vlhkoměru. Dále je nutné vypočítat korigovanou hmotnost při vlhkosti 19% a změřit celkovou délku lepených spár viditelných na obou širších stranách průřezu zubovitého spoje.

Zkušební tělesa se nakonec vystaví uvedeným střídavým podmínkám zkoušky. Nejprve dojde k ponoření vzorku na 6 hodiny do vařící vody, poté na jednu hodinu do studené vody s teplotou 20 (+/-5)°C a nakonec dojde k sušení v sušárnách při teplotě 60 (+/-3)°C, do té doby než vlhkost dosáhne 19 %, nejméně však po dobu 18hodin.

9.2.3 Výsledky zkoušky

Během jedné hodiny po celkovém ukončení zkoušky se označí celková délka delaminace měřící se na příčném řezu zkušebních těles. Otevřené spáry, které jsou izolovány a jejich délka je menší než 3mm, se mohou zanedbat. Celková delaminace zkušebního tělesa se vypočítá z poměru délky delaminací a celkové délky lepených spár.

9.3 Zkouška delaminace lepených spár

9.3.1 Podstata zkoušky a použité přístroje

Při změně vlhkosti ve dřevě pro vyvození vnitřních napětí dochází i ke vzniku tahových napětí kolmo k lepeným spárám mezi jednotlivými lamelami lepeného dřeva. Tím, že lamely nejsou dostatečně celistvé, vzniká mezi nimi delaminace lepených spár. Pro tento typ zkoušky jsou možné tři různé způsoby.

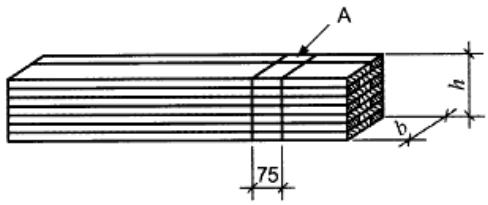
Pro průběh této zkoušky je potřeba tlaková nádoba, sušárna, váha, kovový klín a kladivo. Tlaková nádoba musí být odolná přetlaku minimálně 600 kPa a podtlaku nejméně 85 kPa. Nádoba musí být vybavena čerpadly, jenž přetlak vytvářejí. Sušárna musí mít rychlost cirkulace od 2-3m/s při teplotě a relativní vlhkosti uvedených v tabulce číslo 24. Pro váhy je důležitá jejich přesnost vážení a to je +/-5g. Kovový klín slouží v této zkoušce k rozštěpení lepených spár.

	Postup A	Postup B	Postup C
Teplota (°C)	60 až 70	65 až 75	25 až 30
Relativní vlhkost, rv (%)	< 15	8 až 10	25 až 35

Tabulka 24. Klima v sušárně pro různé postupy zkoušky delaminace lepených spár, (ČSN EN 14080:2013)

9.3.2 Odběr a výroba zkušebních těles

Tělesa musí být vyrobena tak, aby splňovala požadavky pro výrobní postupy. Zkušební těleso musí být odebráno kolmo ke směru vláken z celého průřezu zkoušeného lepeného lamelového dřeva. Odběr se provádí odřezem. Délka tělesa je 75 +/-5 mm ve směru vláken. Podmínkou pro tuto zkoušku je hladkost čelních ploch, která je ovlivněna ostrostí pily. Při šířce zkušebního tělesa více jak 300mm je možné jeho rozdělení na více zkušebních těles o šířce nejméně 130mm. To samé platí i pro průřez s výškou větší jak 600mm. Výška rozděleného zkušebního tělesa musí být minimálně 300mm (viz obrázek č. 32).



Legenda: A – zkušební těleso, b – šířka, h – výška
Obrázek 32. Zkušební těleso odřezané z lepeného lamelového dřeva se šířkou větší než 300mm pro zkoušku delaminace lepených spár, (ČSN EN 14080:2013)

9.3.3 Zkušební postupy

Před samotnou zkouškou je nutné změřit na obou čelních plochách celkovou délku lepených spár v milimetrech.

Zkušební cyklus A

Zkušební tělesa se ponoří do tlakové nádoby, kde se zatíží a zalijí vodou o teplotě 10-20ºC až do jejich úplného ponoření. V tlakové nádobě musíme zabezpečit oddělení jednotlivých zkušebních těles distančními podložkami nebo jiným způsobem. Oddělení těles nám zabezpečí přístupnost čelních ploch vodě. V tlakové nádobě dojde k vyvolání podtlaku (vakuum) mezi 70-85 kPa po dobu 5 minut a poté se zruší a dojde k vyvolání přetlaku mezi 500-600 kPa po dobu 1 hodiny. Tento cyklus se opakuje ještě jednou a celková doba trvání je tedy 130 minut. Další etapou je umístění zkušebních těles do sušárny po dobu 21-22 hodin v klimatu dle tabulky číslo 24. Podmínkou při sušení je minimální vzdálenost 50mm mezi tělesy a čelní plochy těles musí být rovnoběžně se směrem proudění vzduchu. Delaminace se sleduje a zapisuje

Zkušební cyklus B

Začátek zkoušky probíhá stejně jako v cyklu A až do doby vyvolání podtlaku a přetlaku. V tomto způsobu zkoušení je podtlak 70-85 kPa vyvolán pouze po dobu 30 minut a přetlak od 500-600 kPa po dobu 2 hodin, celková doba trvání je tedy 2 a půl hodiny. Dále se tělesa umístí, stejným způsobem jako v cyklu A, do sušárny na dobu 10-15 hodin v klimatu dle tabulky č. 24. Skutečná doba sušení se musí kontrolovat vážením zkušebních těles. Pokud dojde k poklesu jejich hmotnosti na 100 – 110 % z jejich celkové hmotnosti, určí se delaminace lepených spár. Dobu sušení je nutné zaznamenat do protokolu o zkoušce.

Zkušební cyklus C

Zkouška je téměř stejná jako u cyklu B, ale ještě se opakuje, bude se tedy jednat o tzv. dvoucyklové ošetření. Zkušební tělesa se umístí, stejným způsobem jako v případě A i B, do sušárny na dobu 90 hodin v klimatu dle tabulky č. 24. Výsledky delaminace se zaznamenávají.

9.3.4 Měření a hodnocení delaminace

Měření se neprovádí dříve jak jednu hodinu po skončení sušení. Lepené spáry mohou být rozevřeny v případech, které se za delaminaci považují a v případech, které se za ukazatel delaminace nepovažují.

Otevření v lepené spáře považující se za delaminaci:

a.) vznik trhliny ve vrstvě lepidla

b.) porušení lepené spáry přesně mezi vrstvou dřeva a lepidla. S vrstvou lepidla nejsou spojena žádná dřevní vlákna

c.) porušení dřeva v rozmezí prvních dvou buněčných vrstev sousedící s vrstvou lepidla. Tato část dřeva není ovlivněna strukturou letokruhu a odklonu vláken. Porušení je charakterizováno hebkým vzhledem vláken, která ohraničují povrch dřeva a vrstvu lepidla.

Rozevření lepené spáry, která se za delaminaci nepovažuje:

a.) porušení dřeva vzdálené více jak dvě buněčné vrstvy od vrstvy lepidla a které je zároveň ovlivněno strukturou letokruhu a odklonu vláken

b.) izolovaná rozevření lepené spáry s délkou menší než 2,5mm a ve vzdálenosti větší jak 5mm od sousední delaminace

c.) pakliže dojde k rozevření spáry v místě suků nebo smolníků sousedících s lepenou spárou. Pokud se v průběhu zkoušky považuje za rozevření spáry důvod suk, je nutno spáru rozevřít pomocí klínu a výskyt suku zkontrolovat.

9.3.5 Výsledky

Po zkušebním cyklu se pro každé zkušební těleso musí delaminace spočítat. Pokud se provádí doplňující zkušební cyklus, dělá se výpočet před ním a i po něm.

Celková delaminace se vypočte dle vzorečku

$$Delam_{tot} = 100\frac{\ell_{tot,delam}}{\ell_{tot,glueline}} \text{ (v \%)}$$

Maximální delaminace se vypočte podle vztahu

$$Delam_{max} = 100 \frac{\ell_{max,delam}}{2\,\ell_{glueline}} \text{ (v \%)}$$

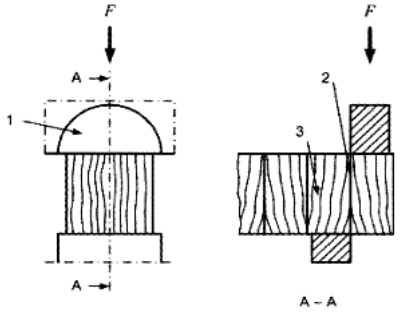
Každá zkouška musí obsahovat protokol o zkoušce, jenž popisuje aspekty zkoušení.

9.4. Smyková zkouška lepených spár

9.4.1 Podstata a zkušební přístroje

Lepené spáry všech druhů lepeného lamelového dřeva se v případě nutnosti zkoušení lepených spár na smyk, namáhají monotónním smykovým napětím až do porušení.

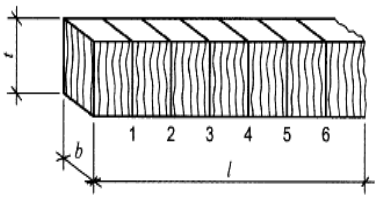
Ke zkoušce potřebujeme zkušební stroj, který je ověřen a nastaven dle údajů jeho výrobce. Tento stroj vytváří tlakovou sílu na smykový přípravek (viz obrázek č. 33). Dále je samozřejmě nutností mít zkušební přípravek, jehož válcová tlačná část musí být samočinně se vyrovnávající. Takže těleso je zatíženo na jeho čelní ploše polem napětí rovnoměrným ve směru šířky.



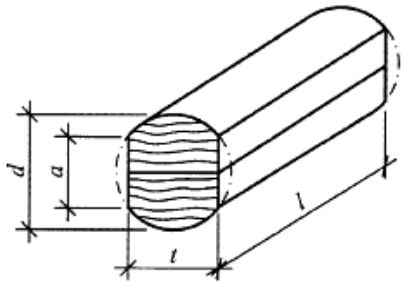
Legenda: 1 – válcový tlačený prvek F = monotónní zařízení, 2 – smyková rovina, 3 – zkušební hranolek přiměřeně upnutý
Obrázek 33. Smykový přípravek s vloženým zkušebním hranolkem, (ČSN EN 14080:2013)

9.4.2 Zkušební tělesa pro smykovou zkoušku lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo

Nutností je zajištění hladkosti zatěžovaných ploch, které musí být vzájemně rovnoběžné a kolmé ve směru lepené spáry. Tvar a rozměry tělesa jsou zobrazeny na obrázcích č. 34 a 35.



Legenda: b – šířka, rozměry 40 – 50mm, l – délka, t – tloušťka, rozměry 40 – 50mm, 1-6 - číslo lepené spáry ve zkušebním tělese
Obrázek 34. Zkušební hranolek a číslování lepených spár pro smykovou zkoušku lepených spár (ČSN EN 14080:2013)



Legenda: a – přímé hrany (23 +/- 5mm), d – průměr (35 +/- 5mm), l – délka 50 – 120mm, t – tloušťka (26 +/- 3mm)

Obrázek 35. Vzorek odebraný vrtákem s opracovanými vzájemně rovnoběžnými rovnými povrch pro smykovou zkoušku lepených spár, (ČSN EN 14080:2013)

9.4.3 Odběr zkušebních těles

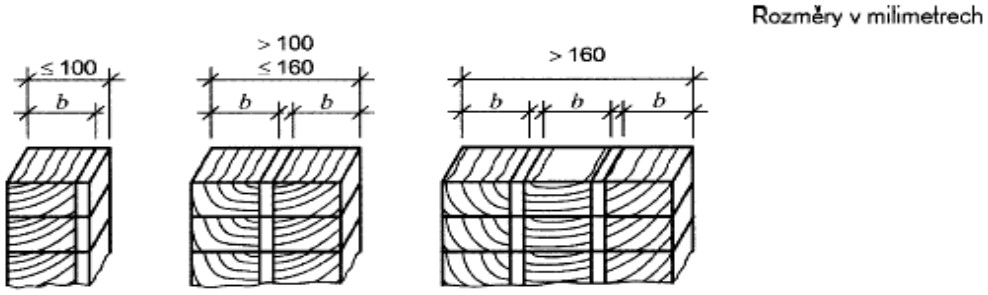
Tělesa musí odpovídat vyráběným kusům. Zkouška se provádí nejméně na třech lepených spárách zkušebního tělesa plného průřezu a to tak, že se zkouší lepené spáry v dolní, střední a horní části každého hranolku. Zkoušku je doporučené provádět na odebraných zkušebních tělesech z místa, kde byl na lepené lamelové dřevo vyvozen dostatečný lisovací tlak.
Při smykové zkoušce musí být zkoušena celá šíře průřezu. Počet odebraných vzorků je dle tabulky č. 25.

Tabulka 25. Počet zkušebních hranolků pro smykovou zkoušku lepených spár

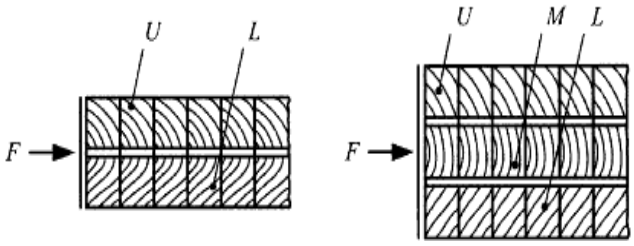
Šířka plného průřezu (v mm) **(viz obrázek D.4)**	**Počet zkušebních hranolků**		
	$b \leq 100$	$100 < b \leq 160$	$b > 160$
Počet zkušebních hranolků	1	2	3

(ČSN EN 14080:2013)

Pro zkoušení lepených spár z vnitřní části lepeného lamelového dřeva se musí odebrat vzorky vrtákem. Vývrty se odebírají kolmo k povrchu konstrukčního prvku tak, že lepená spár je uprostřed vývrtu. Takto odebrané vzorky je nutné opracovat na dvou plochá kolmých k lepené spáře a rozdělit po délce, tak že zkušební tělesa mají obdélníkovou smykovou plochu (viz obrázek č. 35)



Obrázek 36. Zkušební hranolky řezané ze zkušebního vzorku plného průřezu pro smykovou zkoušku lepených spár, (ČSN EN 14080:2013)



Legenda U – horní, M – střední, L – dolní, F – lisovací síla

Obrázek 37. Doporučené označení polohy zkušebních hranolků v průřezu lepeného lamelového dřeva, ((ČSN EN 14080:2013)

Označení zkušebních těles se provádí na každém zkušebním tělesu a musí být trvanlivé. Označení udává plochu zkušebního hranolku v průřezu lepeného lamelového dřeva (viz obrázek č. 37).

9.4.4 Postup

Nejprve se zkušební tělesa klimatizují na rovnovážnou vlhkost ve standardním klimatu 20/65 při teplotě 20 +/- 2ºC a relativní vlhkosti vzduchu 65 +/- 5%. Vlhkost zkušebních těles musí být v rozmezí 8-13%. Před započetím zkoušky se změří rozměry zkušebního tělesa s přesností na 0,5mm. Poté již proběhne samotná zkouška a to tak, že se těleso vloží do smykového přípravku aby bylo zatíženo ve směru vláken. Lepená spár musí být umístěna tak, že vzdálenost mezi smykovým přípravkem a smykovou rovinu v žádném místě nepřekračuje 1mm. Zatížení se zavádí stálou rychlostí deformace až do doby než dojde k porušení, nejméně za 20 sekund. Na konci zkoušky se procentuelně odhadne porušení vláken a výsledek se zaokrouhlí na nejbližší číslo dělitelné pěti. Pevnost ve smyku se stanoví ze vztahu

$$f_v = k \frac{F_u}{A}$$

Na konci zkoušení se vyhotoví protokol o zkoušce.

9.5 Zkoušky lamel se zubovitými spoji nebo bez zubovitých spojů včetně kritérií shody

9.5.1 Odběr zubovitých spojů v lamelách

Zkušební těleso se musí shodovat s běžnými vyráběnými prvky. Zkouší se celý nastavovaný průřez lamely, kdy zubovité spoje jsou uprostřed zkušebních těles. Provádí se zkoušení pro počáteční zkoušku typu se zkušebním tělesem odpovídajícím typickým rozměrům od výrobce nebo se zkouší druhá varianta zkoušení pro řízení výroby, kdy je zkušební těleso odebíráno během směny ve stejných časových intervalech.

9.5.2 Zkoušení zubovitých spojů v lamelách

Zubovité spoje v lepeném lamelovém dřevě se zkouší na ohyb na ležato nebo tahem. V rostlém lepeném dřevě se spoje zkouší ohybem, ale na stojato s výjimkami. Ve spojích nesmí být suky ve vzdálenosti na obě strany minimálně 3d. Tahová zkouška se zkouší s celou šířkou průřezu a délkou oblasti bez suků minimálně 200mm.

Tato zkouška je prováděna také ve dvou možnostech:

1. zkoušení dodatečně pro počáteční zkoušky. Pro tento typ zkoušky platí, že povrch zkušebních těles musí být čtyřstranně frézovaný a zkoušení se může provádět bez kondiciování zkušebních těles dle ČSN EN 408.
2. zkoušení dodatečně pro řízení výroby – pro tento typ zkoušky platí, že mezního zatížení musí být docíleno během 60 +/-15 sekund. Přesnost měření maximálního zatížení musí být lepší než +/- 3% tohoto zatížení. Zkoušení se taktéž může provádět bez kondiciování a bez měření vlhkosti a zjišťování hustoty zkušebních těles. Ohybové zkoušky se provádějí s rozpětím 15x tloušťka lamely.

9.5.3 Kritéria shody

9.5.3.1 Pro počáteční zkoušku typu

Charakteristická hodnota pevnosti a variační součinitel se vypočítají dle normy ČSN EN 14358.

9.5.3.2 Pro řízení výroby

Deklarovaná hodnota pevnosti pro každou linku a směnu je deklarovaná hodnota pevnosti v ohybu nebo deklarovaná pevnost v tahu a to v případě, pokud je splněn jeden z následujících požadavků:

1. U 100 zkoušených spojů se porovnávají hodnoty pevnosti v ohybu na ležato nebo v tahu pro každý jednotlivý spoj s mezní prahovou hodnotou. Nejvýše 5 výsledků smí být pod prahovou hodnotou a žádná hodnota nesmí být menší než 80% prahové hodnoty.
2. Charakteristická pevnost posledních 15ti vzorků zubovitých spojů zkoušených ohybem na ležato nebo tahem, musí být větší nebo stejná, jako deklarovaná charakteristická pevnost.

9.6 Ohybové zkoušky s lepeným lamelovým dřevem, lepeným rostlým dřevem a lepeným lamelovým dřevem s velkými zubovitými spoji

9.6.1 Odběr vzorků

Lepené lamelové dřevo nebo lepené rostlé dřevo, se zkouší se zkušebními tělesy, které mají rozměry běžně dodávaných produktů výrobcem. Zubovitý spoj musí být umístěn v místě největšího tahu za ohybu.

Lepené lamelové dřevo s velkými zubovitými spoji musí mít zkušební tělesa vyrobena jako přímé nosníky s výškou průřezu 600mm. Velký zubovitý spoj musí být umístěn v půlce délky zkušebního tělesa.

9.6.2 Zkoušení

Zkoušky se provádí jako zkoušky ohybem na stojato dle ČSN EN 408. Zkušební tělesa mají povolenou vlhkost 12 +/- 3%.

9.6.3 Vyhodnocení

Vyhodnocení zkoušky se provádí na základě vzorečků. Pokud je celková výška prvku menší než 600mm, musí se pevnost v ohybu rovnoběžně s vlákny stanovena zkouškou vynásobit součinitelem Kh.

$$k_h = \max \begin{cases} \left(\frac{h}{600}\right)^{0,1} \\ 0,90 \end{cases}$$

Pokud je celková výška nebo hloubka prvku menší než 150mm musí se pevnost v ohybu rovnoběžně s vlákny stanovená zkouškou vynásobit součinitelem Kh.

$$k_h = \max \begin{cases} \left(\frac{h}{150}\right)^{0,15} \\ 0,77 \end{cases}$$

9.6.4 Kritéria shody

Charakteristické hodnoty pro lepené lamelové dřevo a pro lepené lamelové dřevo s velkými zubovitými spoji musí být větší nebo stejná jako hodnota uvedená výrobcem.

Na konci zkoušky je sestaven protokol o zkoušce.

9.7 Měření vlhkosti lepeného lamelového dřeva

Měření vlhkosti dřeva probíhá pomocí vlhkoměrů, které měří s přesností +/- 2 %.

Obsah vlhkosti prken můžeme měřit během výroby nebo jako průměrný obsah komponentů lepeného lamelového dřeva.

Měření vlhkosti během výroby

Přesnost vlhkoměru se kontroluje pro každou kombinaci druhu dřeva a ochranného ošetření. Pokud se pro zkoušku použije elektrický vlhkoměr, elektrody se zarážejí do hloubky 0,3 násobek tloušťky prkna a ve vzdálenosti 0,3m od každého čela prkna. Když se použije kapacitní inline elektrický vlhkoměr, musí se použít průměrná hodnota naměřených údajů.

Průměrný obsah vlhkosti lepeného lamelového dřeva a komponentů lepeného lamelového dřeva pro výrobu lepeného lamelového dřeva s velkými zubovitými spoji a složeného lepeného lamelového dřeva. Obsah vlhkosti se měří elektrickým odporovým vlhkoměrem. Měření je prováděno v bodě, který je vzdálen minimálně 1m od konců prvků nebo uprostřed délky, pokud je prvek kratší jak 2m. Měření je pomocí izolovaných elektrodách s maximální hloubkou průniku 40mm. Celková průměrná hodnota se vypočte minimálně ze tří měření, provedených v horní, prostřední a dolní části.

10. Výroba lepeného lamelového dřeva

Na výrobu lepeného lamelového dřeva jsou brány velké požadavky a to jak na požadované zařízení, personál, tak i samotné lamely. Lamely nebo fošny jsou jako vstupní materiál a musí mít požadovanou vlhkost a to protože je důležitá z hlediska tvarové a rozměrové stálosti konečného výrobku. Zařízení, které používáme jsou výrobní linky, jenž tvoří jednotlivé obráběcí stroje propojené s dopravníky. Ke konci výrobního procesu se používají i jeřáby a těžké dopravníky pro přepravu velkých a těžkých slepených prvků.

Na základě ČSN EN 14080:2013 platí obecné požadavky na použitá zařízení. Musí být k dispozici:

1.) Zařízení pro registraci teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve skladovacích, výrobních a vytvrzovacích prostorech
2.) Zařízení pro měření teploty
3.) Zařízení na zvlhčování vzduchu
4.) Zařízení na měření vlhkosti dřeva a kontrolu vlhkoměrů pro měření
5.) Zařízení používané na vážení a míchání pryskyřice a tvrdidel v požadovaných poměrech
6.) Zařízení pro rovnoměrné nanášení lepidla
7.) zařízení pro dosažení potřebného tlaku v lepené spáře, požadované teploty a relativní vlhkosti vzduchu v průběhu vytvrzování lepidla
8.) Zařízení na kontrolu lisovacího tlaku
9.) Zařízení na měření tloušťky lepené spáry

Výše uvedená zařízení musí být na výrobní hale k dispozici pro všechny typy výroby lepeného lamelového dřeva. Výrobní firma musí zajistit doplňující zařízení používajících se pouze pro konkrétní typ výroby.

Na výrobu lepeného lamelového dřeva a lepeného rostlého dřeva se jako doplňující zařízení používá: zařízení pro strojní třídění nebo pro umožnění vizuálního třídění, zařízení pro výrobu zubovitých spojů v lamelách s dostatečnou pevností, zařízení na zkoušení pevnosti zubovitých spojů a zkoušení celistvosti lepených spár.

Doplňující zařízení pro výrobu lepeného lamelového dřeva s velkými zubovitými spoji, je robustní stroj na frézování ozubů pro spoje.

Na výrobu blokově lepeného lamelového dřeva musí být k dispozici zařízení pro odběr válcových zkušebních těles a zkoušení celistvosti lepených spár.

10.1 Postup výroby lepeného lamelového dřeva

V této kapitole bude stručně popsán postup výroby nejprve konstrukčního dřeva nastavovaného zubovitým spojem a následně z něho vyrobeného lepeného lamelového dřeva.

Operací zahajující proces výroby lepeného lamelového dřeva je sušení řeziva, označení a následné vyřezání vad. Toto vyřezání probíhá pomocí zkracovací pily.

Vzniklé přířezy jsou dopraveny po několika kusech k automatické čepovací fréze (viz obrázek č. 38), která vytvoří na obou stranách zubovité spoje (viz obrázek č. 40) a následně dojde k nanesení lepidla (viz obrázek č. 44). Lepidla musí splňovat požadavky uvedené v samostatné kapitole lepidel. Další zastávkou je průběžný

podélný lis (viz obrázek č. 45), který umožňuje délkové lisování, čímž vzniká nekonečně dlouhá neopracovaná lamela.

Lamela je následně zkracována na požadovaný tvar (viz obrázek č. 47) a přesunuta do meziskladu (viz obrázek č. 48), kde dochází k vytvrzení lepidla.

Po vytvrzení lepidla vstupuje do procesu výroby čtyřstranná frézka, jenž nám zajistí čtyřstranné opracování a přesné ofrézování prvku.

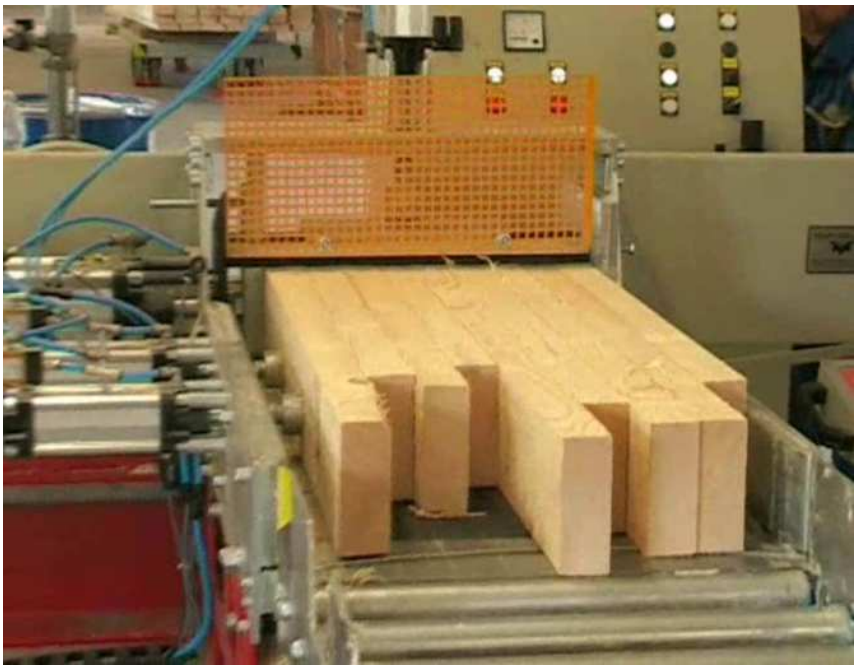
Vzniklé prvky se poté přesouvají opět do zařízení pro nanášení lepidla (viz obrázek č. 49), v tomto případě je lepidlo nanášeno pouze jednostranně a to buď pomocí polévací nebo postřikovací nanášečky. Nejvíce se používá fenol-formaldehydové lepidlo, které má tmavou barvu nebo dražší melamin-formaldehydové lepidlo, které je bezbarvé. Lepidlo musí plnit funkci zajištění pevnosti po celou dobu předpokládané životnosti konstrukce. Největší důraz na lepidla je kladen u použití do obloukových konstrukcí, kde lepidla zajišťují výsledný obloukový tvar konstrukce.

Dále se lamely s naneseným lepidlem přesouvají ke šroubovému lisu (viz obrázky č. 50-53), zde dochází ke složení průřezu (viz obrázek č. 54) a následnému vyvolání tlaku na soubor (viz obrázky č. 55 a 56). V lisech dochází k několika hodinovému vytvrzování lepidla za dílenské teploty (viz obrázek č. 58).

Po vytvrzení lepidla dochází k přesunu z lisu ke dvoustranné tloušťkovací frézce, kde dochází k tloušťkovému ofrézování a dále se pomocí zkracovací pily, prvek zkrátí na požadovanou délku.

Kování a konstrukční spoje se většinou provádějí pomocí ručních nástrojů.

Obrázek 38. Skládání souboru pro čepovací frézku, (VVÚD video, výroba KVH)



Obrázek 39. Srovnání souboru v čepovací frézce, (VVÚD video, výroba KVH)

Obrázek 40. Frézování ozubu na jedné straně, (VVÚD video, výroba KVH)

Obrázek 41. Otočení souboru a následné frézování ozubů na druhé straně, (VVÚD video, výroba KVH)

Obrázek 42. Přesun na dopravník, který dopraví prvky k nanášečce lepidla, (VVÚD video, výroba KVH)

Obrázek 43. Délkové složení nosníků na dopravníku, (VVÚD video, výroba KVH)

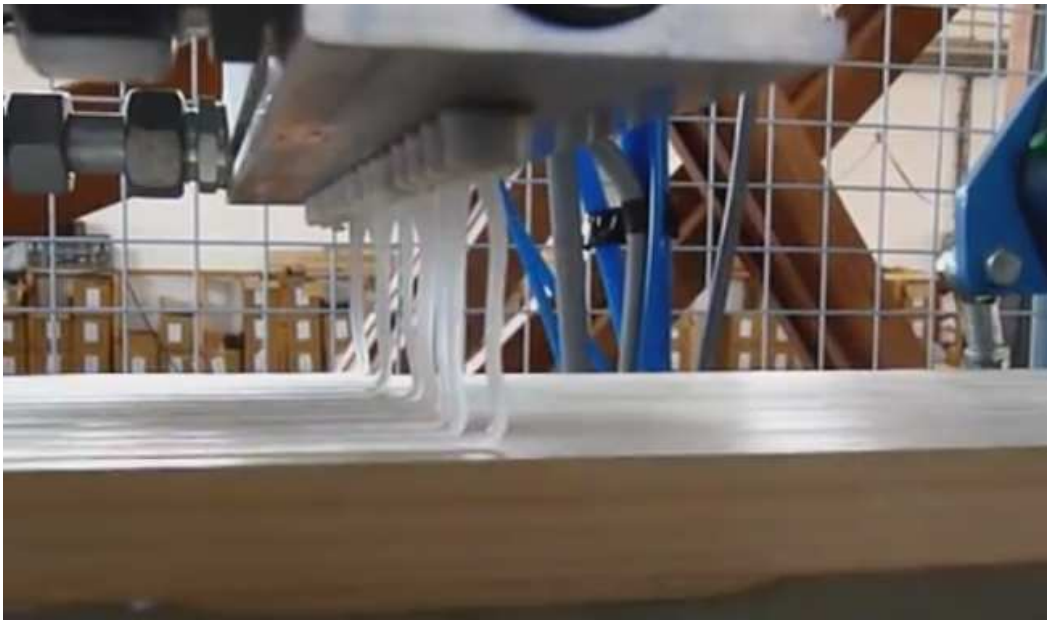
Obrázek 44. Nanášení lepidla pomocí válcové nanášečky, (VVÚD video, výroba KVH)

Obrázek 45. Lisování souboru pomocí podélného lisu, (VVÚD video, výroba KVH)

Obrázek 46. Vzniklý spoj, (VVÚD video, výroba KVH)

Obrázek 47. Opracování vzniklého nosníku, (VVÚD video, výroba KVH)

Obrázek 48. Přesun do meziskladu, (VVÚD video, výroba KVH)



Obrázek 49. Nanášení lepidla na délkově nastavované konstrukční dřevo, (youtube.com, výroba BSH)

Obrázek 50. Přesun prvku pomocí dopravníku (youtube.com, výroba BSH)

Obrázek 51. Seřazení prvků do souboru
(youtube.com, výroba BSH)

Obrázek 52. Přesun souboru do lisu
(youtube.com, výroba BSH)

Obrázek 53. Zvedání souboru do lisu,
(youtube.com, výroba BSH)

Obrázek 54. Rovnání souboru v lisu
(youtube.com, výroba BSH)

Obrázek 55, 56 Lisování souboru,
(youtube.com, výroba BSH)

Obrázek 57. Uvolňování lisovacího tlaku, (youtube.com, výroba BSH)

Obrázek 58. Vytvrzení, (youtube.com, výroba BSH)

10.2 Výrobní požadavky

10.2.1 Obecné požadavky

10.2.1.1 Personál

Personál obsluhující zařízení pro výrobu lepeného lamelového dřeva, musí mít k jeho výrobě prokázanou způsobilost a měl by projít odborným školením.

10.2.1.2 Výrobní a skladovací prostory

Výrobní a skladovací prostory musí být vhodné pro všechny fáze výroby lepeného lamelového dřeva.

Základní rozdělení těchto prostorů je:

1.) Zařízení pro sušení a skladování dřeva

Dřevo se do výrobní haly může dodávat již vysušené, pokud má ale výrobce dostatečný prostor a kapacity, může být proces sušení vykonáván přímo jím. Ve výrobní hale musí být dále dostatek prostoru ke skladování řeziva při udržení jeho požadované vlhkosti a pro skladování řeziva v prostorech, kde dochází k dosažení požadované teploty dřeva pro příslušnou operaci.

2.) Zařízení pro zpracování a skladování lepidla

Prostor pro přípravu lepidla je nutný pouze v případě, že se lepidlo nepřivádí přímo ze zásobníku a nemíchá se automaticky před jeho použitím. Pro samotné skladování pryskyřice a lepidla je nutné mít ve výrobní hale k dispozici vhodné místo.

3.) Zařízení pro výrobu a vytvrzování

Jeden z největších důrazů se při výrobě klade na teplotu a relativní vlhkost vzduchu ve výrobních a vytvrzovacích prostorech. V lepené spáře musí být vytvořena požadovaná teplota při lisování a před vytvrzením nesmí docházet ke změně vlhkosti. Teplota vzduchu ve výrobních prostorech, při uvážení pokynů výrobce lepidla, musí být nejméně 15°C. Během vytvrzování lepených spár za tlaku, musí být minimální teplota 18°C. Pokud dochází k přímému ohřívání lepené spáry, například pomocí vysokofrekvenčního zařízení, musí být teplota minimálně 15°C.

Relativní vlhkost vzduchu je rozdílná u různých procesech výroby. V případě běžného výrobního postupu má být relativní vlhkost vzduchu v rozmezí 40-75%. Při vytvrzování musí relativní vlhkost vzduchu dosahovat neméně 30%.

10.2.3 Výroba zubovitých spojů v lamelách

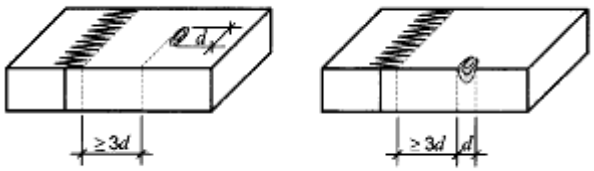
V oblasti zubovitých spojů lamel nesmí mít frézované lepené lamelové nebo lepené rostlé dřevo žádné obliny ani poškození hran.

Musí se zajistit, aby byl spoj po zalisování samosvorný. V tabulce číslo 26 jsou uvedeny doporučené hodnoty geometrie ozubů.

Délka ozubu ℓ_j (mm)	Rozteč ozubů p (mm)	Tloušťka tupého zakončení ozubu b_t (mm)	Redukční součinitel v
15	3,8	0,42	0,11
20	5,0	0,5	0,10
20	6,2	1,0	0,16
30	6,2	0,6	0,10

Tabulka 26. Doporučená geometrie zubovitých spojů, (ČSN EN 14080:2013)

Suky s průměrem menším jak 6mm se smí, na základě ČSN EN 14080:2013, zanedbat. V zubovitém spoji lamel nesmí být přítomny suky a ani odklon vláken. Na přítomnost suků a odklonu vláken mimo spoj existují pravidla a to taková, že světlá vzdálenost mezi okrajem suku a základnou zubovitého spoje, nesmí být menší než trojnásobek průměru suku (viz obrázek č. 59). Toto pravidlo platí, pokud není prokázáno, že je dostatečná pevnost zubovitého spoje zajištěna i při menší vzdálenosti. Pakliže dojde k odříznutí prvku pro odstranění suku, musí vlákna v kapovacím řezu probíhat rovnoběžně s osou prkna. Vzdálenost mezi okrajem suku a kapovacím řezem, musí být nejméně 15d. Odchylka vláken se nemusí kontrolovat v případě vzdálenosti 3d.



Legenda: d – průměr suku

Obrázek 59. Nejmenší vzdálenost mezi základnou zubovitého spoje a sukem, (ČSN EN 14080:2013)

Vlhkost dřeva při výrobě se měří na základě metod měření vlhkosti uvedených v kapitole zkoušek. Při sestavení souboru být vlhkost všech neošetřených prken mezi 6-15%. Pokud jsou prkna ošetřena ochranou látkou je povolena vlhkost 11-18%, přičemž rozdílná vlhkost dvou stykovaných prken nesmí být větší než 5%. Je důležité brát ohled i na pokyny výrobce lepidla.

10.2.3.1 Lepený povrch a nanášení lepidla

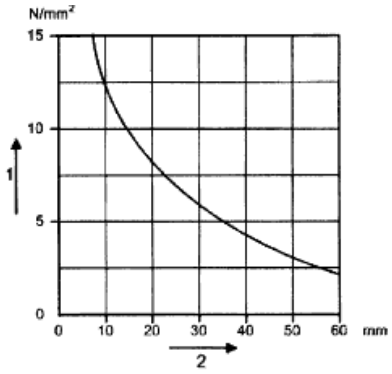
Při lepení je nutné dbát na čistotu lepených ploch. Dochází k nanášení lepidla na oba konce dřeva a musí se zajistit, aby všechny povrchy ozubů byly v sestavovaném spoji pokryty lepidlem.

Lepidla můžeme nanášet buďto ručním nanášením nebo pomocí stroje. V případě ručního nanášení se lepidlo nanášení pouze na jeden konec prvku a je důležité zkontrolovat, zda se lepidlo nachází na všech plochách ozubů. Nanášení

strojem je jednodušší a přesnější, ale je podmíněno nanášecím lepidlem. Lepidlo se nanáší hřebenovým nebo válcovým nanášecím systémem a musí být zajištěno nanášení na oba konce dřevěných prvků na délce nejméně ¾ délky ozubu. Pokud se tvrdidlo a pryskyřice aplikují zvlášť, musí být výrobní zařízení vybaveno přístrojem pro kontrolu a následnou dokumentaci poměru nanášeného tvrdidla a pryskyřice. Pryskyřice a tvrdidlo, se v tomto případě, nanáší dvěma různými, na sebe nezávislými, přístroji. Nanášecí zařízení musí zajišťovat rovnoměrné nanášení na nejméně 75% délky ozubů.

Lepidla mohou být nanášena i bezdotykově a to pouze na jeden konec prvku, ale jen v případě doložení, že nanášení lepidla splňuje základní požadavky. Základními požadavky je, že povrch ozubů je spolehlivě pokryt lepidlem, což je následně kontrolováno a zdokumentováno.
Doba mezi frézování a lepením je maximálně 6 hodin.

Ve spoji dochází k relativní vůli. V případě použití cyklického lisu je na spoj vyvozován tlak pod dobu nejméně 1s. Doporučen lisovací tlak nastavování dřeva, lze stanovit dle grafu č 5. Pro výrobu lepeného rostlého dřeva je potřeba vyvození tlaku po dobu 2sekund.



Legenda: 1 – plný lisovací tlak, 2 – délka ozubu

Graf 5 Doporučené hodnoty pro plný lisovací tlak, (ČSN EN 14080:2013)

Teplota dřeva ve spáře nesmí, při vytvrzování, klesnout pod 18°C. Pokud se lamely ve výrobě přemísťují a lepidlo není zcela vytvrzené, je potřeba zjistit, aby nedošlo k porušení lepeného spoje průhybem, deformacemi, vibracemi atd. Prvky se smí dále opracovávat pouze v případě, že proces vytvrzování není ovlivněn. Při výrobě zakřivených prvků je podmíněné plné vytvrzení spojů.

10.2.4 Lepení lamel

Pro lepení lamel jsou předepsané jejich tloušťky, které se určí z tabulky číslo 27. Pro lepené rostlé dřevo nesmí šířka ani výška celkového prvku přesáhnout 280mm. V případě lepení zakřivených prvků je pro dovolenou konečnou tloušťku opracovaných lamel také rozhodující poloměr křivosti a deklarovaná charakteristická pevnost v ohybu podélných spojů lamel. Konečná tloušťka se vypočte dle vzorečku, viz níže.

$$t \leq \frac{r}{250}\left(1+\frac{f_{m,j,k}}{150}\right)$$

t – konečná tloušťka lamely (mm), r – poloměr křivosti lamely s nejmenším poloměrem křivosti konstrukčního prvku (mm), f m,j,k – charakteristická pevnost v ohybu zubovitých spojů (N/mm²)

	Třída provozu (SC) podle EN 1995-1-1	
	SC 1 nebo 2	SC 3
Lepené lamelové dřevo	$6 \leq t \leq 45$	$6 \leq t \leq 35$[a]
Lepené rostlé dřevo	$45 \leq t \leq 85$	–
[a] Pro lepené lamelové dřevo, které není komponentem pro blokově lepené lamelové dřevo, a které má plochu průřezu do 60 000 mm², může být tato hodnota zvětšena dohodou mezi odběratelem a výrobcem.		

Tabulka 27. Doporučené konečné tloušťky t pro lamely v mm (ČSN EN 14080:2013)

Při výrobě lepeného lamelového dřeva se z důvodu omezení příčného zakřivení a následnému vzniku trhlin se na lamelách dělají v podélném směru odlehčovací zářezy. V jednotlivých lamelách je povolen jeden zářez ve střední třetině šířky průřezu s maximální šířkou 4mm a hloubkou do jedné třetiny tloušťky lamely. Při výrobě se klade velký důraz na orientaci lamel v průřezu. Jednotlivé lamely musí mít dřeň na téže straně a u krajních lamel jsou strany s dření obráceny ven (viz obrázek č. 60A). Pokud je lepené lamelové dřevo určené do tříd provozu 1 nebo 2 smí být dřeň krajních lamel v témže směru jako u ostatních (viz obrázek č. 60B)

Pro frézování neboli hoblování lamel jsou stanoveny maximální odchylky od průměrné hodnoty. Tyto odchylky jsou zobrazeny v tabulce č. 28.

Obrázek 60. Orientace lamel v průřezu, (ČSN EN 14080:2013)

Typ lepidla použitého pro lepení lamel	Maximální odchylka od průměrné tloušťky v mm	
	Na šířce průřezu b[a]	Na délce lamely 1 m
Fenolické a aminové lepidlo míchané před použitím	min {0,0015 b; 0,3}	±0,2 mm
Fenolické a aminové lepidlo (oddělené použití pryskyřice a tvrdidla)		±0,1 mm
Jednosložkové polyuretanové lepidlo vytvrzující účinkem vlhkosti a emulzní polymerové izokyanátové lepidlo zkoušené s tloušťkou lepené spáry 0,5 mm	min {0,0015 b; 0,15}	±0,1 mm
Emulzní polymerové izokyanátové lepidlo zkoušené s tloušťkou lepené spáry 0,3 mm	min {0,001 b; 0,10}	±0,1 mm
[a] b = šířka lamely.		

Tabulka 28. Maximální odchylka od průměrné tloušťky lamel v mm, (ČSN EN 14080:2013)

Lepidlo se musí nanášet rovnoměrně a musí se zajistit spolehlivé smíchání jeho složek. Je nutní zajistit, v době nanášení, čistotu lepených ploch.

Tloušťka lepené spáry je odvozena od typu použitého lepidla. Při lepení fenolickými a aminovými lepidly nesmí, před použitím tloušťka lepené spáry, překročit maximální tloušťku povolenou výrobcem lepidla nebo 0,6mm, kdy platí vždy ta menší hodnota. Pokud dojde k nanášení lepidla a pryskyřice zvlášť, nesmí být tloušťka lepené spáry větší jak 0,3mm.

Použitím jednosložkových polyuretanových lepidel vytvrzujících účinkem vlhkosti a emulzních polymerových izokyanátových lepidel s tloušťkou lepené spáry 0,5mm je předepsaná tloušťka lepené spáry maximálně 0,3mm.

Předepsané tloušťky lepených spár se kontrolují pomocí zvětšovacího skla, kterým se tloušťka stanoví s přesností 10%. Odchylky vzniklé například při broušení a frézování se mohou zanedbat.

Volba lisovacího tlaku je ovlivněna řadou faktorů. Mezi tyto faktory patří tloušťka jednotlivých lamel, druh dřeva, druh lepidla a způsob zpracování. Každé použité lepidlo má výrobcem určené hodnoty pro velikost lisovacího tlaku, se kterými je nutno uvažovat. V tabulce číslo 29. jsou dle, ČSN EN 14080:2013, doporučené hodnoty lisovacího tlaku. Hodnoty uvedené v tabulce se v případě lisování zakřiveného prvku mohou navýšit o 0,2 N/mm². Lisovací tlak musí být zajištěn po celou dobu lisování.

Tloušťka lamely t (mm)	$t \leq 35$	$35 < t \leq 45$	$45 < t \leq 85$
Lisovací tlak (N/mm^2)	0,6 až 0,8	0,8 pro lamely s odlehčovacími zářezy 1,0 pro lamely bez odlehčovacích zářezů	0,8 až 1,0

Tabulka 29. Doporučené hodnoty lisovacího tlaku (ČSN EN 14080:2013)

Vytvrzování tohoto typu lepeného lamelového dřeva probíhá při teplotě v lepené spáře okolo 18°C. Při manipulaci je nutné dbát na to, aby prvek v době ještě neúplného vytvrzení, nebyl porušen deformacemi, kmitáním atd.

10.2.5 Lepené lamelové dřevo s velkými zubovitými spoji

Vlhkost použitých komponentů by měla být menší jak 15%, přičemž rozdíl vlhkosti použitých komponentů se může maximálně lišit 2%. Geometrie ozubu je podobná jak při výrobě zubovitých spojů v lamelách pro délkově nastavované konstrukční dřevo. Rozdíl je pouze v délce, která musí být nejméně 45mm. Šířka ozubů musí být nejméně pěti násobek rozteče ozubů. Rozměry běžného profilu jsou následující: délka ozubu = 50mm, rozteč ozubů = 12mm a šířka tupého zakončení ozubu = 2mm.

Frézování ozubů musí být prováděno maximálně 24 hodiny před samotným lepením průřezu. Pokud je ve dřevě větší obsah pryskyřice, je nutno ozuby frézovat maximálně 6 hodin před lepením. Časové limity smí být prodlouženy u prvků, jenž nejsou náročné na lepení, až na maximální dobu 72 hodin před procesem lisování.

V době nanášení lepidla je nutno dbát na čistotu slepovaných ploch, dále pak na pokyny výrobce a stejnoměrné nanášení lepidla v požadované množství na plnou plochu ozubů.

Zvolené lisovací zařízení musí vyvolat dostatečný tlak na plochu celou plochu velkého zubovitého spoje. Tlak musí odpovídat pokynů výrobce lepidla a nesmí být menší než 0,3N/mm². Při lisování je nutné nastavit lisovací tlak tak, aby v průřezu nevznikaly trhliny. Tlak musí být vyvolán nejméně po dobu 1 minuty.

Tloušťka lepené spáry se opět kontroluje pomocí lupy s přesností na 10%.

Vytvrzování probíhá stejně jako u lepeného lamelového nebo lepeného rostlého dřeva s tím rozdílem, že při manipulaci prvků spojených velkými zubovitými spoji, nesmí dojít ke vzájemnému posunutí spoje.

10.2.6 Složené lepené lamelové dřevo

Průměrná vlhkost lepených komponentů, musí být menší jak 15%, přičemž rozdíl ve vlhkosti mezi jednotlivými komponenty v průřezu nesmí přesáhnout 3%. Před lepením je nutno zajistit čistotu a dobré opracování stykových ploch, přičemž opracování se nesmí provádět dříve jak 24 hodin před lepením. U druhů dřeva, které se obtížně slepují je nutno dodržet dobu opracování maximálně 6 hodin před lepením.

11. Použití lepeného lamelového dřeva v exteriéru

Lepené lamelové výrobky se všeobecně používají v interiéru a exteriéru. V interiéru se většinou objevují v podobě zastřešení na velké rozpony nebo jako hlavní skelet stavby – výstavní haly, plavecké stadiony, obchodní centra, sportovní haly, jízdárny a mnoho dalších. V exteriéru se s lepeným lamelovým dřevem můžeme setkat u konstrukcí mostu, zastávek a například terasových prken. V případě použití lepeného lamelového dřeva do exteriéru, je třeba dbát na základní konstrukční opatření, aby byla zajištěna požadovaná životnost konstrukce.

11.1 Lepené lamelové dřevo použité na exteriérové konstrukce

Jak jsem již psala, lepené lamelové konstrukce, dokážou přenést velká zatížení na velké rozpony, proto je pro ně typické jejich použití v případě mostních konstrukcí, lávek atd. Dřevěné lávky mohou být zastřešené nebo nezastřešené. Zastřešení těchto konstrukcí je nejjednodušší způsob, jak zajistit jejich delší životnost. Při jejich navrhování je třeba uvážit polohu a tvar terénu, rozpětí, zatížení, podjezdnou výšku a světlý profil, základové poměry a architektonický záměr.

Největší problémem u těchto konstrukcí, je zajištění jejich dlouhé životnosti, kterou můžeme zajistit správným zpracováním projektu, tak aby dřevo co nejvíce zůstávalo suché. Ochrana je možná i pomocí impregnace. Další pozornost by měla být věnována spojovacím prvků v rámci konstrukce. Spojovací prvky jsou z ocele a musí být vždy opatřeny protikorozní ochranou. Ochrana proti korozi, je možná použitím žárového pozinkování, případně ochranné vrstvy nebo použití prvků z nerezavějící oceli.

U realizovaných staveb je důležité provádět pravidelné prohlídky a údržbu celé mostní konstrukce. Údržba by měla být prováděna jednou za tři až pět let. Prohlídky by měly být zaměřeny na zavětrování nátěrů dřevěných prvků, trhliny ve dřevu, delaminace částí z lepeného lamelového dřeva, mechanické poškození prvků, vznik plísní a hniloby, koncentrace prachu, hlíny a dalších nečistot. Prováděním těchto kontrol předejdeme napadení dřeva dřevokaznými houbami, plísněmi atd.

11.1.1 Realizované stavby

Obrázek 61. Most pro pěší v Ober – Grafendorf (Cecolegno)

Obrázek 62. Cykloturistická lávka u Nového Boru, (závod Tesko)

Obrázek 63. Zastřešení nástupiště ve Svobodě nad Úpou, (závod Tesko)

Obrázek 64. Lávka v Praze – Uhřiněvsi, (závod Tesko)

11.2 Lepené lamelové dřevo v exteriéru jako terasová prkna

Terasy jsou konstrukce vybudované za účelem přirozeného přechodu mezi domem a zahradou a zároveň slouží i jako místo k relaxaci.

Pro výrobu teras se používá prken, jenž jsou vyrobeny z exotických a evropských dřevin. Terasová prkna jsou zpravidla čtyřstranně opracovaná a montují se obvykle na podkladové hranoly nebo ocelové podkladní profily.

Z leva – massaranduba, akát, modřín sibiřský, smrk přírodní, smrk impregonavný

Obrázek 65. Ukázka terasových prken z různých druhů dřevin (www.levne-palubky.cz)

Mezi vhodné exotické dřeviny patří bangkirai, massaranduba, teak. Nevýhoda použití exotických dřevin je hlavně v jejich ceně a skutečnosti, že jejich přirozené prostředí je zcela jiné, než je naše podnebí, a proto se pro většinou pro správný návrh teras, používají dřeviny evropské. Použitím exotických dřevin, vznikají během zimních měsíců, na terasových prken praskliny a dochází ke kroucení celých prken. Tyto nežádoucí účinky ve spojení s vysokou tvrdostí exotických dřevin, způsobují trhliny, přetrhání spojovacích prvků nebo vytržení z podkladního hranolu. Pravidelnou povrchovou úpravou a celkovou údržbou, bychom měli těmto nedostatkům předejít. Jedná se o obzvlášť namáhané dřevo, které je samo o sobě odolné proti hmyzu a škůdcům.

Obrázek 66. Terasové prkno Massaranduba (www.levne-palubky.cz)

U evropských dřevin se nejvíce používá modřín (evropský, sibiřský), borovice a smrk. Tyto terasová prkna jsou velmi odolná vůči vlhkosti a povětrnostním vlivům. Důkazem tomu je i samotné použití jádra modřínu na šindele. Terasová prkna se provádí s drážkami, které zachycují nečistoty. Použitím modřínového dřeva docílíme podobných vlastností jak v případě použití exotických dřevin. Modřínové dřevo má specifické složení smůly, díky němuž je odolné proti poškození hnilobou a hmyzem, má velkou trvanlivost ve vodě a modřínová prkna jsou mnohem tvrdší, než smrková prkna. Svojí tvrdostí se modřínové dřevo přibližuje ke dřevu dubovému. Modřínová terasová prkna můžeme zabudovat bez povrchové úpravy, ale obvykle je výrobcem doporučené, minimálně jednou za rok ošetřit olejem na dřevo. V ČR používáme modřín sibiřský a modřín evropský. Rozdíl mezi nimi je v jejich zbarvení a hustotě letokruhů. Sibiřský modřín má větší počet letokruhů, což znamená větší hustotu dřeva a tím vyšší odolnost.

Obrázek 67. Viditelné rozdíly mezi Sibiřským a Evropským modřínem (www.levne-polubky.cz)

Využití terasových prken je vhodné pro podlahy altánů, pergol, teras, zimních zahrad, pro konstrukce schodů, roštů, jsou ale také vhodné k vytvoření podlahy okolo bazénu nebo v místě, kde dochází k většímu zatížení – prahy, podlahy vagónů, rampy atd..

Pro větší zatížení a větší životnost se začala navrhovat modřínová terasová prkna technologií lepeného lamelového dřeva.

Do velmi náročných podmínek se navrhují kompozitní terasová prkna, která jsou vyrobena ze směsi polypropylenu a dřeva.

11.2.1 Ukázky některých realizovaných teras

Obrázek 68. Terasa z exotické dřeviny u bazénu rodinného domu v Bakově nad Jizerou,(www.au-mex.cz)

Obrázek 69. Terasa z modřínového dřeva s povrchovou úpravou u rodinného domu v Neratovicích,(www.au-mex.cz)

Obrázek 70. Terasa z borového dřeva tlakově impregnovaného u rodinného domu v Těptín, (www.au-mex.cz)

Obrázek 71. Terasa z modřínového dřeva s povrchovou úpravou u rodinného domu ve Slivenci,(www.au-mex.cz)

Obrázek 72. Terasa z modřínového dřeva s povrchovou úpravou u rodinného domu na Okoři, ,(www.au-mex.cz)

12. Závěr

Diplomová práce nás provedla problematikou zatížených konstrukcí používaných v exteriéru, od samého růstu dřeva až po konečné použití.

V první části bylo probráno dřevo samotné – jeho dostupnost, růst, struktura a hlavně jeho fyzikální a mechanické vlastnosti, se kterými je nutno uvažovat z hlediska dalšího použití dřeva.

Závěrem první části práce se dostáváme k otázce, jak použít konstrukční rostlé dřevo na velmi zatížené konstrukční účely a jediné východisko je pro tento účel použití lepeného lamelového dřeva.

Od této chvíle je tedy diplomová práce směřována na téma lepené lamelové dřevo, kdy dochází k seznámení s jeho historií, použitím, rozdělení a hlavně požadavky na lepené lamelové dřevo, jeho výrobou. Součástí tématu lepeného lamelového dřeva jsou i vhodná lepidla pro jeho výrobu a zkušební postupy pro zkoušení vlastností a splnění požadavků lepeného lamelového dřeva.

Jako exteriérové zátěžové konstrukce můžeme považovat konstrukce mostů, zastřešení bez krytiny, lávky, rampy, altány, pergoly a samozřejmě terasy.

Do exteriérových zátěžových konstrukcí se nejvíce používají dřeviny smrk, borovice, modřín, exotické dřeviny. V naší oblasti nejvíce smrk a modřín. Tyto dva typy dřevin byly použity pro zkoušky. U obou dvou typů byla provedena zkouška delaminace lepených spojů lepeného lamelového dřeva a zkouška pevnosti v ohybu konstrukčního dřeva v nastavovaného zubovitým spojem.

Zkoušky byly prováděny na základě normy a dle popisu v samostatné kapitole zkušební postupy. Na základě zkoušek byl vyhotoven protokol o zkoušce, který je součástí přílohy této diplomové práce, z nichž je patrné, že modřínové dřevo je z hlediska jeho velké trvanlivosti nejvhodnější evropská dřevina pro použití v exteriéru. Co se týká pevnosti v ohybu konstrukčního dřeva nastavovaného zubovitým spojem je v případě modřínu pevnost vyšší než u smrku, ale obě hodnoty splňují požadavky na lepené lamelové výrobky dle EN 14080 – viz tabulka č. 18. Ve zkoušce delaminace lepených spár dochází u modřínového dřeva k menší delaminaci než u dřeva smrkového. Obě hodnoty splňují podmínky normy ČSN EN 14080:2013, viz tabulka č. 17.

Modřínové dřevo je v exteriéru velice odolné a to díky značnému obsahu pryskyřice, kterou je plně prosyceno. Obsahem pryskyřice, dokáže dřevo odolávat střídání sucha a vlhka a je více trvanlivé než dřevo smrkové. Nevýhodou modřínového dřeva, oproti smrkovému, je v jeho lepení. Pro lepení modřínových dřevin nemůžeme použít všechny druhy lepidel, například polyuretanové lepidlo je pro jeho lepení nevhodné.

Seznam literatury a použitých zdrojů

KOLB, Josef, *Dřevostavby, systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště,* První vydání. Praha: Grada 2008, 320 stran, 978-80-247-2275-7

ING. ČUNDERLÍK, Igor, *Štruktúra dreva,* Zvolen: Technická univerzita ve Zvolene 2009

DOC. ING. KUKLÍK, Petr, CSc., *dřevěné konstrukce,* Praha: ČVUT, Fakulta stavební, 2005

JELÍNEK, LUBOMÍR, *Tesařské konstrukce,* Volyně, VOŠ Volyně, 2008

BOUGHTON, G.N., *Introduction to timber design,* Australia, Curtin University, 1997

HOFFMEYER, P., *Wood as a buildign material,* First Edition, The Netherlands, Centrum Hout, 1995

ČSN EN 15425, *Lepidla – jednosložková polyuretanová lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – klasifikace a základní požadavky,* Praha, Český normalizační institut, 2008, 16 stran

ČSN EN 1995-1-1, *Navrhování dřevěných konstrukcí – část 1: obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby,* Praha, Český normalizační institut, 2006, 114 stran

ČSN 73 2824-1, *Třídění dřeva podle pevnosti – část 1: jehličnaté dřevo,* Praha, Český normalizační ústav, 2011, 24 stran

ČSN EN 13501-1 + A1, *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – část 1: klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň,* Praha, Český normalizační ústav, 2010, 48 stran

ČSN EN 384, *Konstrukční dřevo – stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty,* Praha, Český normalizační ústav, 2010, 20 stran

ČSN EN 408 + A1, *Dřevěné konstrukce – konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo – stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností,* Praha, Český normalizační ústav, 2012, 32 stran

ČSN EN 301, *Fenolická a aminová lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – klasifikace a technické požadavky,* Praha, Český normalizační ústav, 2007, 12 stran

ČSN EN 14080, *Dřevěné konstrukce – lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo – požadavky,* Praha, Český normalizační ústav, 2013, 88 stran

ČSN EN 14081-1 + A1, *Dřevěné konstrukce – konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné dle pevnosti – část 1: obecné požadavky,* Praha, Český normalizační ústav, 2011, 32 stran

ZŠ Kaplice, *Výukové materiály* [online], Kaplice, Dostupné z www.vyukovematerialy.cz/práce/rocnik6

Česká zemědělská univerzita, *Výukové materiály z předmětu agrobiologie – Fotosyntéza* [online], Praha, Česká zemědělská univerzita, Dostupné z http://kbfr.agrobiologie.cz/download/4_Fotosynteza.pdf

Nadace dřevo pro život, *Zalesněnost* [online], Praha, Dostupné z www.drevoprozivot.cz

Česká zemědělská univerzita, *prezentace z bakalářská práce na téma vybrané vlastnosti dřev* [online], Praha, Zbyněk Špirit, Česká zemědělská univerzita, Dostupné z www.ateam.czu.cz

Au-Mex, s.r.o., *Terasy,* [online], Praha, Dostupné z www.au-mex.cz

KUKLÍK PETR, KUKLÍKOVÁ ANNA, Časopis pro lesnickou vědu a praxi, *Dřevěné lávky a mosty,* [online], Praha, 2006, Dostupné z www.silvarium.cz

ING. REISNER, J., ING. BÖHM, M. Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnický a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, *Lepené lamelové dřevo,* Praha, Dostupné z veřejného portálu ČZU

ING. ZEIDLER, A., Ph.D. *Nauka o dřevě,* Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra zpracování dřeva, dostupnost: prezentace k předmětu Nauka o dřevě, Veřejný portál ČZU

ING. ČUNDERLÍK, I. , *Štruktúra dreva,* Zvolen, Technická univerzita ve Zvolene, Dostupnost: prezentace z předmětu Štruktúra dreva, učební pomůcka

Seznam příloh

1. Stanovení pevnosti v ohybu zubového spoje lepeného modřínového dřeva
2. Zkouška pevnosti v ohybu konstrukčního smrkového dřeva nastavovaného zubovitým spojem
3.Delaminace lepených spojů lepeného lamelového modřínového dřeva
4. Delaminace lepených spojů lepeného lamelového smrkového dřeva