

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

Lepené lamelové dřevo – trvanlivost lepených spojů
Glued laminated timber – the durability of bonded joints

Student:

Bc. Peter Cebo

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jana Daňková

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Peter Cebo**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb
Téma: **Lepené lamelové dřevo - trvanlivost lepených spojů.**
Glued laminated timber - the durability of bonded joints.

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky. Lepené lamelové dřevo, základní charakteristika, použití, výhody a nevýhody, požadavky.
2. Lepidla a lepené spoje, vliv výroby a prostředí na trvanlivost lepených spojů. Normové požadavky, zkoušení lepených spojů, řízení jakosti.
3. Experimentální část. LLD - pevnost lepených spojů.
4. Vyhodnocení experimentů.
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Koželouh, B. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP I. KODR Zlín 1998.
Koželouh, B. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP II. ČKAIT Praha 2004.
Wood handbook. Gen. Tech. Rep. FPL - GTR -113. Madison 1999.
ČSN EN 1995 -1
ČSN EN 386

a další normy, technické listy a odborné články dle pokynů vedoucího práce v průběhu zpracování.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jana Daňková, Ph.D.**

Datum zadání: 01.02.2011

Datum odevzdání: 30.11.2012



Ing. Libor Židek
vedoucí katedry



prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Bc. Peter Cebo

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

ANOTACE

CEBO, P. *Lepené lamelové dřevo – trvanlivost lepených spojů*. 2012. 48 s. Diplomová práce na Fakultě stavební VŠB-Technické univerzity Ostrava na katedře stavebních hmot a hornického stavitelství. Vedoucí diplomové práce Daňková, J.

Lepené lamelové dřevo je konstrukčním materiálem na bázi dřeva. Je vytvořeno soustavou lamel vzájemně spojených lepenými spoji řeziva. Lze jej využít na řadu konstrukcí v pozemním i mostním stavitelství a proto musí splňovat požadavky, které se ověřují laboratorními zkouškami. Jedním z těchto požadavků je trvanlivost lepených spojů. Tato trvanlivost lepených spojů může být ovlivněna již výrobou konstrukčních prvků. Výrobní proces proto musí splňovat všechny normové požadavky.

V experimentální části mé práce jsem posuzoval vliv prostředí, které bylo simulováno umělým stárnutím, na trvanlivost lepených spojů. Trvanlivost jsem hodnotil na základě zkoušek smykové pevnosti spojů dle norem ČSN EN 392 a ČSN EN 386.

Lepené lamelové dřevo, lepený spoj, trvanlivost, smyková pevnost

ANNOTATION

CEBO, P. *Glued laminated timber – the durability of bonded joints*. 2012. 48 p. Thesis on Faculty of Civil Engineering, VSB Technical University in Ostrava, Department of Building Materials and Underground Engineering. Leader of thesis is Mrs Daňková, J.

Glued laminated timber is construction material on wood basis. It is compounded by system of plates joined together by glued joint of cut timber. It is possible to use it for different types of constructions in civil engineering and bridge constructions and therefore have to meet requirements, which are proved by laboratory tests. One of these requirements is durability of glued joints. Durability of glued joints can be affected already during manufacturing process of construction elements. Manufacturing process must meet all requirements of standards.

I viewed the influence of the environment on durability of bonded joints in research part of my thesis, this influence was simulated by accelerated ageing. I evaluated the durability on the basis of shear strength test of joints according to standards ČSN EN 392 and ČSN EN 386.

Glued laminated timber, glued joint, durability, shear strength.

OBSAH DIPLOMOVÉ PRÁCE:

Seznam použitého značení	7
1. Úvod	8
A. Část teoretická	9
2. Lepené lamelové dřevo	9
2.1 Historie	9
2.2 Základní charakteristika	9
2.3 Použití	12
2.4 Výroba	15
2.5 Výhody	20
2.6 Nevýhody	22
2.7 Lepené spoje	22
2.8 Lepidla	22
2.9 Vady a poruchy LLD	24
2.10 Řízení jakosti	26
2.11 Zkouška delaminace	28
B. Část experimentální	30
3. Lepené lamelové dřevo – trvanlivost lepených spojů	30
3.1 Zadání	30
3.2 Standardní metoda stanovení smykové pevnosti lepeného spoje s rovnoběžnými vlákny	30
3.2.1 Postup zkoušení	31
3.2.2 Hodnocení smykových zkoušek dle normy ČSN EN 386	41
3.3 Vyhodnocení zkoušek z hlediska trvanlivosti	43
4. Závěr	46
5. Seznam použitých pramenů	47
6. Přílohy	48

SEZNAM ZKRATEK

ČSN	Česká státní norma	
EN	Evropská norma	
ISO	Mezinárodní norma	
LLD	Lepené lamelové dřevo	
RF	Rezorcínolformaldehydové lepidlo	
PRF	Fenolrezorcínolformaldehydové lepidlo	
MUF	Melaminmočovinoformaldehydové lepidlo	
R.V.	Relativní vlhkost	
A	Smyková plocha	[mm ²]
b	Šířka lepeného spoje	[mm]
F _u	Mezní zatížení	[N]
f _v	Pevnost ve smyku	[N/mm ²]
k	Součinitel upravující pevnost zkušebního tělesa, kterého rozměr smykové je plochy ve směru vláken menší než 50 mm	[-]
t	Tloušťka lepeného spoje	[mm]

1. ÚVOD

Dřevo je jako stavební materiál využíváno již od dávné minulosti. Bylo využíváno především pro stavbu obydlí a zastřešení staveb. Důvodem k jeho využití je řada výhod, které jako stavební materiál dřevo poskytuje, např.: má poměrně nízkou objemovou hmotnost, což usnadňuje manipulaci, má dobré tepelně izolační vlastnosti, je poměrně lehce opracovatelné a je materiálem obnovitelným, tudíž i lehce dostupným. Postupným rozvojem stavebnictví a zvyšování požadavků na rozpon nosné konstrukce, bylo používání dřeva jako konstrukčního materiálu omezeno jeho délkovou a průřezovou závislostí na rostlém dřevu. Toto omezení bylo překonáno v první polovině 20. století, patentem pro výrobu lepeného dřeva a později délkovým nastavováním lamel prostřednictvím zubovitého spoje. Poté dochází k rozvoji výroby lepeného lamelového dřeva a dřevo se jako stavební materiál stává konstrukčním materiálem konkurence schopným betonu a oceli. V dnešní době je možné pozorovat i v České republice stále častější využívání konstrukcí z LLD.

Výroba LLD není zcela jednoduchým procesem. Je na ni kladena řada normových požadavků, které pokud nebudou dodrženy, může dojít k ovlivnění výsledné kvality prvků LLD. To se může projevit především snížením trvanlivosti lepených spojů. Proto musí být výrobní proces neustále kontrolován. Trvanlivost lepených spojů LLD může dále ovlivnit působení vlhkosti v prostředí, ve kterém je prvek potažmo konstrukce umístěna. Změnou vlhkosti dochází k vnitřním napětím ve dřevě, a pokud není dodržena jakost výrobního procesu, dochází k delaminaci lepených spojů a ke ztrátě trvanlivosti.

V diplomové práci budu posuzovat vliv vnějšího prostředí na trvanlivost lepených spojů. Vnější prostředí bylo v případě jednoho vzorku lepeného lamelového dřeva simulováno umělým stárnutím, kdy docházelo k cyklickým změnám vlhkosti a teploty. Míru vlivu umělého stárnutí posoudím na základě zkoušek smykové pevnosti lepených spojů dle ČSN EN 392 a ČSN EN 386.

A. ČÁST TEORETICKÁ

2. LEPENÉ LAMELOVÉ DŘEVO

2.1 Historie

Historie tohoto výrobku sahá až do roku 1906, kdy si pan Otto Carl Friedrich Hetzer nechal lepení dřeva patentovat. Patentoval zakřivené lepené prvky sestavené z dřevěných lamel. Tyto lamely byly dohromady a vzájemně nerozebíratelně pod tlakem slepeny kaseinovými lepidly (organické lepidlo živočišného původu). Hetzer tedy objevil jedinečnou techniku, kterou se dali vyrobit větší průřezy než z řeziva a daly se použít na střešní konstrukce s rozpětím až 45 m, což umožnilo uvolnění celého vnitřního prostoru pro jeho prakticky neomezené využití (např. ve Švýcarsku bylo postaveno víc než 200 objektů s využitím Hetzerovy metody). Tehdejší výroba však ještě neznala délkové nastavování lamel. Zubovitý spoj pro nosné účely byl vyvinut ve 40-tých letech minulého století, což přispělo k délkové nezávislosti na původním řezivu. [17], [9]

Do začátku 60-tých let minulého století byla produkce poměrně malá, od tohoto období však neustále narůstá a to především díky rozvoji technologických zařízení (strojní zařízení na třídění dřeva, nové pilařské technologie, výpočetní technikou řízené sušárny, strojní technologie pro výrobu lepeného lamelového dřeva) a zahájení spolupráce velkých dřevařských firem s chemickým průmyslem hlavně v oblasti vývoje nových lepidel, což vede k lepšímu využití přírodního materiálu – rostlého dřeva. [17], [13]

V 70-tých letech minulého století byla zdokonalena technika lepení zakřivených prvků, což umožnilo stavět mnohé moderní konstrukce [17].

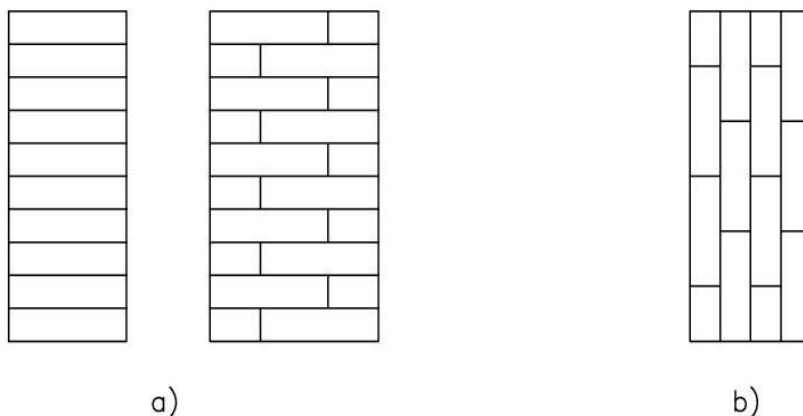
Od 50-tých let se lepené lamelové dřevo vyrábí taky v bývalém Československu.

2.2 Základní charakteristika

Norma ČSN EN 386 „Lepené lamelové dřevo – Požadavky na užitné vlastnosti a minimální výrobní požadavky“ [3] definuje lepené lamelové dřevo (LLD) jako konstrukční prvek vytvořený slepením dřevěných lamel s převážně rovnoběžnými vlákny. Tímto způsobem lze vyrobit prvek obdélníkového průřezu [3]. Tloušťka lamel je po opracování maximálně 45 mm a jednotlivé lamely jsou délkově nastavovány.

Podle uspořádání lamel v průřezu prvku dělíme LLD:

- a) horizontálně lamelované lepené dřevo – LLD s lepenými spárami kolmými k delší straně průřezu [3], při ohybovém namáhání působí zatížení kolmo k širší ploše lamel [10], obr. 2.2-1 a).
- b) vertikálně lamelované lepené dřevo – LLD s lepenými spárami kolmými ke kratší straně průřezu [3], vyrábí se pouze výjimečně, obr. 2.2-1 b).



a) Horizontálně lamelované lepené dřevo b) Vertikálně lamelované lepené dřevo

Obr. 2.2-1 - uspořádání lamel v průřezu prvku lepeného lamelového dřeva [3]

Podle použitých pevnostních tříd lamel v průřezu dělíme LLD na:

- a) homogenní LLD má v celém průřezu lamely stejné pevnostní třídy.
- b) kombinované LLD má průřez sestaven na vnějších stranách z lamel vyšší pevnosti (větší namáhání lamel) a uvnitř průřezu jsou použity lamely s nižší pevností. Tohle uspořádání lamel umožňuje hospodárněji využít řeziva.

Proces výroby lepeného lamelového dřeva v kombinaci s moderními technikami lepení z něj vytváří stavební materiál vysoké kvality s jedinečnými vlastnostmi [17]. V porovnání s řezivem, které omezuje především rozměry prvků a vady, dosahují prvky z LLD vyšší parametry pevnosti i tuhosti a mohou být vyráběny v různých tvarech a velikostech.

Norma ČSN EN 1194 zaříd'uje LLD do čtyř standardních pevnostních tříd. Charakteristické hodnoty pevnosti, tuhosti a hustoty jsou uvedeny v tabulce 2.2-1 pro homogenní LLD a v tabulce 2.2-2 pro kombinované LLD.

Třída pevnosti LLD		GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h
Pevnost v ohybu	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Pevnost v tahu	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
Pevnost v tlaku	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
Pevnost ve smyku	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Modul pružnosti	$E_{0,g,mean}$	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{90,g,mean}$	390	420	460	490
Modul pružnosti ve smyku	$G_{g,mean}$	720	780	850	910
Hustota	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450

Tabulka 2.2-1 – charakteristické hodnoty pevnosti a tuhosti v N/mm² a charakteristické hodnoty hustoty v kg/m³ pro homogenní LLD [6]

Třída pevnosti LLD		GL 24c	GL 28c	GL 32c	GL 36c
Pevnost v ohybu	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Pevnost v tahu	$f_{t,0,g,k}$	14	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,4	0,45	0,5
Pevnost v tlaku	$f_{c,0,g,k}$	21	24	26,5	29
	$f_{c,90,g,k}$	2,4	2,7	3,0	3,3
Pevnost ve smyku	$f_{v,g,k}$	2,2	2,7	3,2	3,8
Modul pružnosti	$E_{0,g,mean}$	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{90,g,mean}$	320	390	420	460
Modul pružnosti ve smyku	$G_{g,mean}$	590	720	780	850
Hustota	$\rho_{g,k}$	350	380	410	430

Tabulka 2.2-2 – charakteristické hodnoty pevnosti a tuhosti v N/mm² a charakteristické hodnoty hustoty v kg/m³ pro kombinované LLD [6]

2.3 Použití

V posledních letech dochází i v ČR k čím dál většímu využití LLD jak v pozemním stavitelství, tak i v mostním stavitelství.

V pozemním stavitelství se LLD používá jako materiál pro nosné stropní konstrukce a zastřešení výrobních hal, ale i pro zastřešení pohledově náročných prostor jako např. divadla, obytná podkroví. Dále se používá pro svislé nosné konstrukce – sloupy a rámové konstrukce jednopodlažních i vícepodlažních budov pro občanskou vybavenost (školy, nákupní střediska, bazény), letištních terminálů, obytných budov, skladů a velkorozponových výrobních hal s rozpětím až 100 m.

V mostním stavitelství se s LLD setkáváme u staveb mostních konstrukcí. Jedná se hlavně o stavby lávek pro pěší a cyklisty (obr. 2.3-1), ale i o stavby silničních mostů menších rozpětí, obr. 2.3-2. Z estetického hlediska mohou být na stavby lávek a mostů využity různě zakřivené prvky LLD, které současně plní i nosnou funkci.

Příklady použití LLD v konstrukcích:

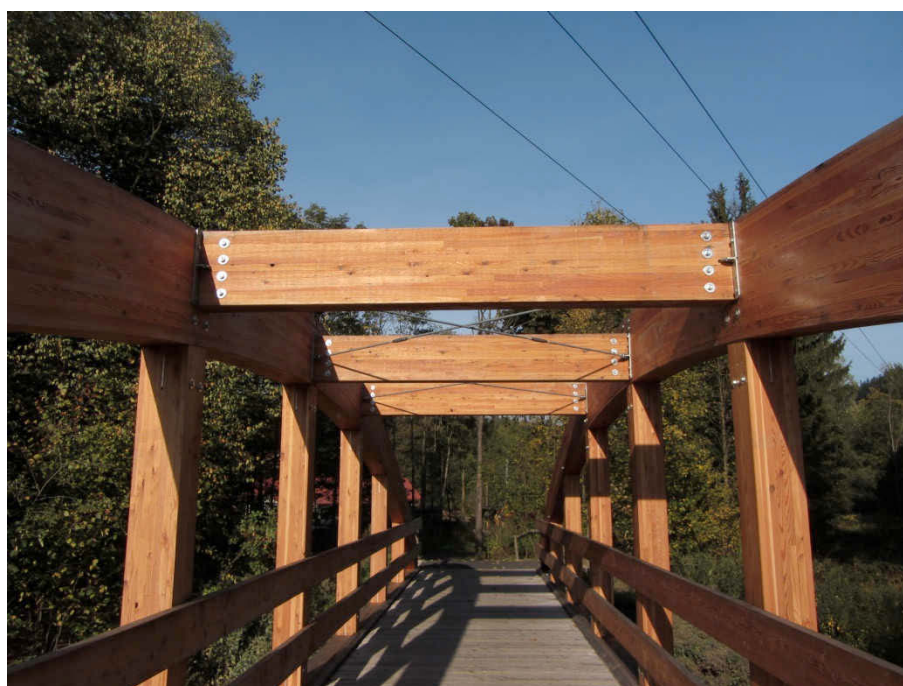
- **Mostní stavitelství**

- Dřevěná lávka v Dolní Lomné přes řeku Lomná (obr. 2.3-1) byla realizovaná v roce 2011 v rámci výstavby cyklostezky vedoucí podél řeky. Lávka má šířku 3,20 m, výšku 3,50 m a délka přemostění je 20,50 m. Konstrukčně je řešena jako oblouková se spodní mostovkou. Nosná konstrukce lávky je vyrobena z LLD třídy pevnosti GL 30h a je osazena na monolitickém železobetonovém základu. Horní obloukový pás je profilu 250 mm × 600 mm, spodní přímý pás profilu 250 mm × 400 mm. Tyto pásy jsou vzájemně spojeny pomocí dřevěných táhel profilu 250 mm × 250 mm. Délkově jsou pásy sestaveny ze dvou částí pro usnadnění dopravy na stavbu. Stabilitu oblouků v příčném směru zajišťují v horní části příčle profilu 160 mm × 400 mm, doplněné o ocelové diagonály průměru 16 mm (obr. 2.3-2). Na spoje jednotlivých nosných prvků jsou použity ocelové spojovací plechy tloušťky 8 mm v kombinaci se svorníky a kolíky průměru 16 mm (obr. 2.3-3). Ocelový spojovací materiál je žárově zinkovaný.

Mostovka je z dubového fošnového řeziva 50 mm × 200 mm a je připevňena k roštové konstrukci z příčných trámů 160 mm × 280 mm a podélných trámů 160 mm × 180 mm. Pomocí příčných trámů je rovina spodních pásů rozdělena na osm polí, které jsou zavětrovány pomocí ocelových diagonál průměru 16 mm.



Obr. 2.3-1 – lávka na cyklostezce v Dolní Lomné přes řeku Lomná



Obr. 2.3-2 – ztužení a zavětrování oblouků lávky



Obr. 2.3-3 – ocelové spojovací prvky

- Dřevěný most v Žilině u Nového Jičína přes řeku Jičínka (obr. 2.3-4) byl vybudován v roce 2011 jako náhrada za původní železobetonový most, který byl poškozen při povodních v roce 2009. Most má šířku 3,70 m, výšku 3,50 m a délka přemostění je 17,20 m. Nosná konstrukce mostu je vyrobena z LLD třídy pevnosti GL 24c a je osazena na monolitickém železobetonovém základu. Nosná konstrukce je vytvořená ze šesti kusů přímých nosníků obdélníkového průřezu 240 mm × 450 mm (obr. 2.3-5). Krajiní nosníky jsou ve třetině zavěšeny na konstrukci dvojitého věšadla. Věšadlo tvoří sloupky průřezu 240 mm × 240 mm, šikmé vzpěry a horní pás průřezu 240 mm × 400 mm a zavětrování křížovými ztužidly průřezu 120 mm × 240 mm. Zavětrování mostu v příčném směru nebylo možné osadit v úrovni horních pásů z důvodu zachování průjezdného profilu. Proto je příčné zavětrování řešeno ve spodní části mostu pomocí dvojice ocelových příčníků zdvojeného L profilu, spojených se sloupky pomocí vzpěr z ocelových pásek (obr. 2.3-6). Na spoje jednotlivých nosných prvků jsou použity ocelové spojovací plechy tloušťky 8 mm v kombinaci se svorníky průměru 20 mm. Ocelový spojovací materiál je zároveň zinkovaný. Dřevěná konstrukce je povrchově chráněna lazurovacím lakem. Mostovka je sestavená z jedné vrstvy příčně uložených dubových hranolů průřez 100 mm × 160 mm.



Obr. 2.3-4 – dřevěný most v Žilině u Nového Jičína přes řeku Jičínka



Obr. 2.3-5 – šest kusů přímých nosníků LLD průřezu 240 mm × 450 mm

2.4 Výroba

LLD se vyrábí hlavně z měkkého dřeva, jelikož lepení tvrdého dřeva je náročnější na výrobu. Nejvíce používanou dřevinou na výrobu LLD je smrk vzhledem k jeho poměrně snadnému

opracování a dobrým produkčním vlastnostem. Nabídka výrobců může obsahovat taky výrobu z modřínu a dubu.



Obr. 2.3-6 – příčné ocelové ztužidlo

Výrobní linky jsou sestaveny z jednotlivých obráběcích strojů propojených vzájemně podélnými a příčnými dopravníky. Ve výrobním procesu je potřeba manipulovat se slepeným prvkem, proto jsou výrobní vybaveny taky jeřábovými dráhami a těžkými dopravníky.

Proces výroby lepeného lamelového dřeva je schématicky znázorněn na obr. 2.4-1. V procesu výroby musí být dodrženy požadavky normy ČSN EN 386 „Lepené lamelové dřevo – Požadavky na užité vlastnosti a minimální výrobní požadavky“ [3].



sklad řeziva



sušárna řeziva



kontrola a třídění řeziva, zkracovací pila



nanášedka lepidla



šroubový lis pro lisování rovných prvků



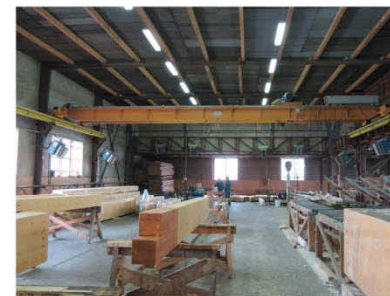
čtyřstranná frézka



čepovací frézka s nanášedkou lepidla a průběžným podélným lisem zubovitého spoje



dvoustranná fréza



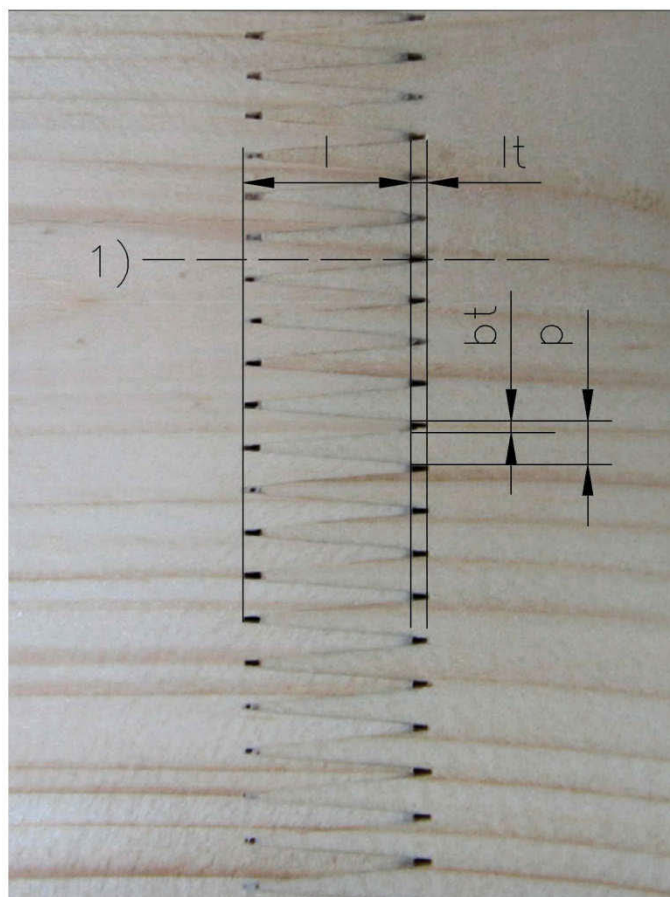
konečné úpravy lepených prvků

Obr. 2.4-1 – schéma výrobního procesu LLD

Proces výroby:

- Fošny průměrné tloušťky 40 mm až 50 mm a délky 1,5 m až 5,0 m jsou převezeny z venkovního zastřešeného skladu do výrobní haly. Na zakřivené nosníky se používají prkna s tloušťkou 20 mm až 35 mm přičemž platí, že čím menší poloměr zakřivení nosníku, tím menší tloušťka prkna. V prostorech spojených s výrobou je požadována min. teplota 15 °C a vlhkost v rozmezí 40 % až 75 %.
- Zkontroluje se vlhkost řeziva, protože používaná lepidla vyžadují vlhkost dřeva maximálně 15 %. Pokud tato podmínka není splněna, řezivo se uměle vysouší na jednotnou předepsanou vlhkost, která se pohybuje v rozmezí 8 % až 15 %. Rozdíl vlhkosti dvou sousedních lamel nesmí překročit 4 %. Pak je výsledná pevnost lepené spáry optimální a přibližně shodná s vlhkostí budoucí konstrukce, čímž se dá předejít vzniku výsušných trhlin ve dřevě.
- Vysušené řezivo je poté vizuálně nebo strojově tříděno. Zjištěné vady jsou označeny (suky, trhliny) a vyřezány na automatické zkracovací pile. Strojním tříděním se dosahuje vyšší podíl řeziva vyšších pevnostních tříd. Odstupňování řeziva do pevnostních tříd umožňuje vyrábět buď homogenní nebo kombinované LLD.
- Vzniklé různě dlouhé přířezy jsou spájeny zubovitými spoji. Výroba zubovitých spojů se řídí normou ČSN EN 385 „Konstrukční dřevo nastavované zubovitým spojem – Požadavky na užité vlastnosti a minimální výrobní požadavky“ [2], profil zubovitého spoje je znázorněn na obr. 2.4.-2. Ve spoji se nesmějí nacházet žádné suky a trhliny nebo výrazný odklon vláken. Minimální světlá vzdálenost mezi spojem a sukem je třinásobek průměru suku (průměr měřený kolmo ke směru vláken). Uvedené podmínky platí pro suky o průměru větším jak 6 mm.
Zubovité spoje jsou na obou stranách přířezu vytvořeny automatickou čepovací frézou. Poté je na plochu spoje nanášeno lepidlo. Lepidlo lze nanášet strojně nebo ručně a musí být zajištěno, že lepidlem budou pokryty všechny plochy ozubů v sestaveném zubovitém spoji.
- Takhle připravené přířezy jsou ihned přesouvány do průběžného podélného lisu a délkově lisovány. Spoj je pod tlakem min. dvě sekundy (dle pokynů výrobce lepidla). Vzniklá „nekonečně“ dlouhá lamela je zkracována na požadovanou délku. Jednotlivé lamely jsou přesunuty do meziskladu, kde po dobu min. osm hodin (dle pokynů výrobce lepidla) vytvrzuje lepidlo v zubovitém spoji. Při manipulaci s lamelami nesmí dojít k vzájemným posunům mezi ozuby spoje.

- Po vytvrzení zubovitých spojů prochází lamely čtyřstrannou frézku pro vytvoření hladké plochy pro lepení a odstranění případných nerovností v zubovitých spojkách.
- V dalším kroku je na horní plochu lamel nanášena vrstva lepidla pomocí polévací nebo postřikovací nanášedky. Nanesení lepidla musí proběhnout do 24 hodin od opracování, jinak musí být lamely zajištěny proti nežádoucím deformacím povrch.



Legenda:

- l – délka ozubu;
- p – rozteč ozubu;
- b_t – tloušťka tupého zakončení ozubu;
- l_t – vůle v zubovitém spoji;
- 1) – osa souměrnosti

Obr. 2.4-2 – Typický profil zubovitého spoje [2]

- Lamely s naneseným lepidlem se skládají nastojato vedle sebe do požadovaných průřezů. Při výrobě kombinovaného lamelového dřeva je nutné dát pozor na správnou orientaci lamel vyšší a nižší pevnostní třídy v průřezu. Aby se předešlo vnitřním napětím v průřezu, osazujeme lamely tak, že průběh letokruhů jednotlivých lamel je ve stejném směru. Pouze obě vnější lamely musí být osazeny s pravou plochou vně průřezu.
- Složené lepené prvky jsou lisovány ve šroubových lisech, kde je v jednotlivých lisovacích jednotkách vyvinut tlak. Lisovací tlak musí být vyvinut dříve, než dojde k tvrdnutí lepidla, což je přibližně do jedné hodiny od nanesení lepidla. Čas začátku tvrdnutí lepidla je dán typem lepidla a teplotou vnitřního prostředí. Vytvrzování lepidla probíhá v lisovaném souboru několik hodin při předepsaných a kontrolovaných vlhkostních a teplotních podmínkách - teplota a vlhkost dle pokynů výrobce lepidla, ale nejméně 20 °C a vlhkost vzduchu min. 30 %.
- Po vytvrzení lepidla se slepený prvek vyjme z lisu a je přesunut k robustní dvoustranné frézce, kde je tloušťkově ofrézován, čímž se i odstraní na bocích vytlačené lepidlo a vytvoří se hladká plocha. Dvoustranná frézka dovoluje zpravidla opracování v šířce max. 2 m, což odpovídá max. výšce prvku 2 m.
- Následně probíhá finalizace výroby, kde se konkrétní prvek zkrátí na přesnou délku a zpravidla pomocí ručních nástrojů se připraví k montáži – vrtají se otvory pro spojovací prostředky, provádí se povrchová úprava, osazuje kování.
- Prvek opracovaný do finální podoby je ještě jednou zkontrolován a následně označen. Pak se zabalí a přepraví do expedičního skladu, nebo se přímo naloží na dopravní prostředek a transportuje na místo určené k montáži.

2.5 Výhody

LLD přináší řadu výhod jak vůči řezivu z rostlého dřeva tak i vůči ostatním tradičním stavebním materiálům jako je beton a ocel. Proto je LLD plnohodnotným konstrukčním materiálem.

- **Výhody vůči řezivu z rostlého dřeva** – kromě délkové a průřezové nezávislosti na rostlém dřevu se dále všeobecně předpokládá, že lamelace vede ke zvýšení pevnosti; že zde existuje lamelační efekt. Lamelační efekt je často popisován takto:
 - V nosníku z LLD jsou vady odstraněny, výsledkem čehož je podstatně homogennější materiál než rostlé dřevo. Pravděpodobnost poruchy mající

významný vliv na pevnost nosníku je menší než pro samostatnou lamelu. Tento jev se nazývá „rozptylový efekt“.

- Lamely obsahující suky nebo jiné oblasti nízké tuhosti jsou vyztuženy přilehlými lamelami. V případě nosníku z LLD, tuhé a pevné lamely přebírají větší část tahových napětí. Je to často označováno jako „vyztužující efekt“, „přemostující efekt“ nebo „efekt roznesení napětí“ [6].
- **Poměr pevnosti k hmotnosti** - poměrem pevnosti k vlastní tíze vychází LLD jako materiál pevnější než ocel. Právě díky velkému poměru mezi pevností a vlastní tíhou lze realizovat různé konstrukce o velkých rozpětích. Proto postačuje méně mezilehlých podpor nebo nejsou potřeba vůbec, což přináší možnost volného využití vnitřního prostoru.
- **Chemická odolnost** – použité lepidla i dřevo (především jehličnaté) při výrobě LLD, mají dobrou chemickou odolnost.
- **Požární odolnost** – dobrá požární odolnost a předvídatelnost chování LLD při požáru pochází z dobré požární odolnosti již samotného rostlého dřeva. Požární odolnost lze zvětšit zvětšením průřezu prvku, jelikož dřevo ztrácí svoji únosnost teprve tehdy, když průřezová plocha zbytkového průřezu dosud neporušeného ohněm je tak malá, že napětí účinkem působícího zatížení dosáhnou pevnost dřeva [17]. Na druhou stranu omezení požární odolnosti způsobí použití nechráněných ocelových spojovacích prostředků, u kterých se únosnost působením tepla výrazně snižuje.
- **Životní prostředí** – LLD je jedním z nepřívětivějších materiálů ve vztahu k životnímu prostředí. Je to dáno několika aspekty:
 - Při výrobě lepeného lamelového dřeva je spotřeba energií poměrně malá.
 - Po uplynutí doby použitelnosti je LLD recyklovatelné.
 - Dřevo je obnovitelná surovina, která se získává z přirozeného koloběhu života v přírodě. Tím lze alespoň částečně přispět k zachování vyčerpatelných zdrojů surovin pro budoucí generace.
- **Estetický dojem** – z estetického hlediska působí LLD hodně atraktivně a v uživatelských vzbuzuje příznivý dojem z konstrukce. Architekti se toho snaží využít a hodně konstrukcí z LLD navrhují jako pohledových.
- **Prefabrikace** – technologie výroby LLD umožňuje vyrábět mimo stavbu přesně požadované průřezy a tvary prvků. Tím je dosaženo odstranění sezónnosti výstavby a

konstrukce se můžou montovat nezávisle na povětrnostních podmínkách. Výhodou je, že konstrukce je schopna po namontování přenášet plánované zatížení.

2.6 Nevýhody

Zásadní nevýhodou dřeva je, že při zvýšené vlhkosti hrozí napadení a následné znehodnocení konstrukce biologickými škůdci – dřevokazným hmyzem, dřevokaznými houbami, plísněmi i hnilobou. Toto riziko napadení platí i pro LLD. Proto je potřeba konstrukce ze dřeva chránit před těmito škůdci vhodným konstrukčním řešením, chemickými prostředky, nebo jejich vzájemnou kombinací.

2.7 Lepené spoje

Slepením dvou rovnoběžných lamel vzniká ve styčné ploše lepený spoj a prostřednictvím lepených spojů dochází ke spojení více lamel a tím k vytvoření prvku LLD o požadovaném průřezu. Z uvedeného plyne důležitost funkce lepených spojů. Proto musí být lepené spoje zhotoveny tak, že nebude ovlivněna jejich trvanlivost. Toho lze dosáhnout použitím vhodných a kvalitních lepidel a dále dodržením jakosti výrobního procesu, která je prověřována pravidelným zkoušením na zkušebních tělesech odebraných přímo z výrobního procesu.

2.8 Lepidla

Lepení je v procesu výroby LLD jednou ze zásadních operací. Pomocí lepidel se slepením z jednotlivých prvků – lamel, v podstatě samostatně omezeně využitelných pro nosné konstrukce, vytvoří průřezy schopny přenášet velká zatížení.

V počátcích výroby LLD se používala přírodní lepidla, např. kaseinové lepidlo. Jedná se o organické lepidlo živočišného původu. Kromě základní složky (kaseinu) obsahují tato lepidla i jiné látky. Míchají se hlavně s hydroxidem vápenatým (hašené vápno), uhličitanem sodným (soda), nebo vodním sklem. Jako rozpouštědlo postačí voda [11]. Pro lepení LLD se již nepoužívají.

V současné době se používají lepidla syntetická, která po dobu předpokládané životnosti konstrukce zajistí požadovanou pevnost ve spojích. Tyto lepidla klasifikuje norma ČSN EN 301 „Fenolická a aminová lepidla pro nosné dřevěné konstrukce - Klasifikace a technické požadavky“ [1]. Vztahuje se pouze na fenolická a aminová lepidla, která rozdělují:

- lepidla typu I, která jsou trvanlivá při neomezené venkovní expozici a teplotách nad 50 °C [12],

- lepidla typu II pro použití ve vytápěných a větraných budovách, venkovním prostředí chráněném proti povětrnosti, při krátkodobém působení povětrnosti a při teplotách nejvýše 50 °C [12].

Druhy lepidel používaných při výrobě LLD:

- **Rezorcínolformaldehydová (RF) a fenolrezorcínolformaldehydová (PRF) lepidla** – čistá rezorcínová pryskyřice se získá reakcí rezorcínu (fenolická sloučenina) s formaldehydem. Do tekutého lepidla se přidává tvrdidlo, které obsahuje formaldehyd a tím se proces tuhnutí ukončí. Tvrdidlo zpravidla navíc obsahuje chemicky neaktivní plnidla různého druhu, která lepidlu dodávají vlastnosti pro vyplnění spáry. Protože rezorcínová pryskyřice je drahá, obvykle se z části nahrazuje jinými, levnějšími fenoly. Oba druhy lepidla (RF a PRF) vytvrzují při pokojové teplotě. [12] Tyto lepidla mají velmi dobrou trvanlivost, pevnost a odolnost vůči povětrnostním vlivům. Jsou zatříděna do kategorie lepidel typu I.
- **Melaminmočovinoformaldehydová (MUF) lepidla** – jedná se o modifikaci močovinoformaldehydových lepidel (UF), která jsou poměrně levná, ale výrobky lepeny těmito lepidly, nejsou vhodné do vlhkého prostředí. Nahrazením části močoviny melaninem, dochází ke zlepšení odolnosti lepidel vůči vodě a povětrnostním vlivům. I když vlastnostmi nedosahují zcela parametrů lepidel RF a PRF, jsou ale ekonomicky výhodnější a mají světlou barvu, čímž nedochází ke zbarvení lepené spáry. Tyto lepidla mohou vytvrzovat za studena i za tepla.
- **Dvousložková polyuretanová lepidla** - skládají se ze dvou základních složek – polyesteru a polyisokyanátu [11], čili pryskyřice a tužidla. Po smíchání obou složek proběhne reakce a vytvoří se polyuretanová pryskyřice. Proces vytvrzování probíhá při pokojové teplotě. Polyuretanová lepidla se vyznačují dobrou pružností a pevností spojů [11].
- **Jednosložková polyuretanová lepidla** – reaktivní složkou je isokyanatan. Při nanesení na dřevo reaguje jedna jeho část s vlhkostí dřeva a přemění se na amin. Ten opět reaguje se zbývajícím isokyanatanem a vytvoří polyuretanovou pryskyřici. Pevnost a trvanlivost odpovídají dvousložkovým polyuretanovým lepidlům, nebo jsou pouze nepatrně nižší. Lepidla však nemají vlastnost pro vyplnění spáry. [12]
- **Epoxidová lepidla** - jejich pojivem je epoxidová pryskyřice zpracovávaná v pevném a tekutém stavu. Rozpouští se v esterech, ketonech. Tvrdidlem pro epoxidy jsou polyamidy a různé iontové katalyzátory. Podle poměru složek přidaných do lepidlé

směsi určujeme jejich vlastnosti. Pokud nejsou vlastnosti vyhovující, dají se upravit změkčovadly a reaktivními rozpouštědly [11] a tím přizpůsobit i pro účely lepení dřeva. Epoxidová lepidla dobře vyplňují spáru a dále se vyznačují dobrou pevností a trvanlivostí.

Důležitou fází v procesu lepení je příprava povrchu lamel před nanášením lepidla. Ten musí být rovný, zbaven pilin, prachu a všech ostatních nečistot. Norma ČSN EN 386 stanovuje rovinnost povrchu pro lepidla se spáry vyplňujícím účinkem a tloušťkou lepené spáry 1 mm, největší dovolenou odchylku od průměrné tloušťky lamely 0,2 mm na délku 1 m. Pro lepidla se spárou nevyplňujícím účinkem to je maximálně 0,1 mm. V příčném směru lamely nesmí být odchylka tloušťky větší než 0,15 % šířky, nikoliv však větší než 0,3 mm. Pro dodržení uvedených požadavků se lamely před lepením frézují. Proces lepení pak musí proběhnout nejpozději do 24 hodin od opracování.

V případě, že bude k výrobě LLD použito řezivo chemicky impregnované, musí být předem ověřena vhodnost kombinace lepidla a použitého chemického impregnačního prostředku.

2.9 Vady a poruchy LLD

Dřevo jako konstrukční materiál má výrazně menší moduly pružnosti a únosnosti než ocel. Z toho plyne požadavek na návrh větších rozměrů průřezů jednotlivých prvků, čímž se odstraňují nadměrné průhyby u ohýbaných dřevěných prvků. Menší tuhost vykazují i spoje dřevěných konstrukcí vůči ocelovým. A v případě LLD mohou únosnost značným způsobem ovlivnit taky lepené spoje. Proto podceněním kterékoliv z uvedených oblastí, může dojít ke vzniku vad a poruch na konstrukci.

Vady a poruchy dřevěných konstrukcí a LLD mohou být např. zapříčiněny:

- při zpracování projektu
 - nedostatečným návrhem prostorového ztužení konstrukce, přičemž pak jednotlivé prvky jsou namáhány silami, na které nebyly navrženy a nevyhovují z hlediska vzpěrné pevnosti
 - nesprávně navržené konstrukční detaily ve styku dřevěných prvků s jinými materiály, např. zdivem
- v procesu výroby LLD
 - nedodržením technologické kázně při výrobě LLD a to především v procesu lepení, kdy dojde k tvrdnutí lepidla ještě před vyvozením lisovacího tlaku, kdy vzniknou spoje s různou pevností,

- použitím nevhodného druhu lepidla na určitý druh dřeviny např. modřín, což může vést k delaminaci lepených spojů
- při montáži konstrukce na stavbě
 - nedodržením předepsaných materiálových charakteristik ocelových spojovacích prostředků a nepřesné provedení stykových spojů
 - neodbornými zásahy do dřevěné nosné konstrukce řemeslníky jiných profesí
 - nedbalostně zrealizované navazující konstrukce jako např. střešní konstrukce nebo klempířské prvky, což má za následek zvýšení vlhkosti nebo přímo zatékání do dřevěné konstrukce a vede k degradaci dřeva
- uživatelem objektu
 - zanedbáním pravidelné údržby a kontroly stavu dřevěných konstrukcí vystavených především vlhkému prostředí
 - změnou účelu užívání objektu, může dojít k přetížení konstrukce nebo vzniku agresivního prostředí, které způsobí degradaci dřevěných prvků

Vady a poruchy způsobené ve výrobním procesu uvedu na příkladu dvou staveb:

- Budova vodárny s význačnou architektonickou hodnotou byla komplexně rekonstruována v osmdesátých letech 20. století. Poškozené sklobetonové a železobetonové zastřešení bylo nahrazeno dvouplášťovou střechou s dřevěnou lepenou obloukovou konstrukcí. Po roce 2005 byla zjištěna deformace střešní konstrukce, jejíž střední část poklesla asi o půl metru. Příčinou byla technologická nekázeň při lepení a degradace lepidla, které bylo namícháno v množství větším, než bylo možné v čase daném chemickou reakcí zpracovat. Po nanesení do lepených spár začalo tuhnout dříve, než byl vyvozen potřebný tlak a vznikli tak špatně zakotvené spoje s nejistou a netrvalou soudržností. [15]

Kdyby se prováděla pravidelná kontrola stavu střešní konstrukce, mohly být vznikající poruchy zjištěny dříve a pak by havárii bylo možné předejít. Jen výjimečně je možno rozlepenou konstrukci zesílit a ponechat. Konstrukce vodárny střechy byla nahrazena novou konstrukcí. [15]

- Lávka přes řeku Lomnou v Dolní Lomné byla postavena v roce 2011. Jedná se tedy prakticky o novostavbu. Při podrobnější prohlídce nosné konstrukce z LLD jsem zjistil, že již dochází k delaminaci lepených spojů, obr. 2.9-1. Po konzultaci s paní Ing. Daňkovou může být jednou z možných příčin delaminace použití nevhodného lepidla, jelikož pro výrobu lepených prvků určených pro použití v exteriéru (třída použití 3 dle

ČSN EN 1995-1-1) bývá obvykle použito modřínové dřevo. Toto dřevo sice má dobrou přirozenou odolnost vůči působení povětrnostních vlivů, ale vzhledem k vysokému obsahu přírodních pryskyřic v modřínovém dřevě, není možné jej lepit kterýmkoliv druhem lepidla. Jako nevhodná se ukazují např. některá lepidla epoxidová.

Další možnou příčinou delaminace může být již započaté tuhnutí lepidla před vyvozením potřebného lisovacího tlaku.

Dále jsem zjistil, že u některých zubovitých spojů vnějších lamel nebyly při výrobě dodrženy požadavky normy ČSN EN 385. Suky se nacházejí v těsné blízkosti zubovitého spoje a není dodržena minimální vzdálenost suku od spoje, která má být více než třínásobek průměru suku, obr. 2.9-2.



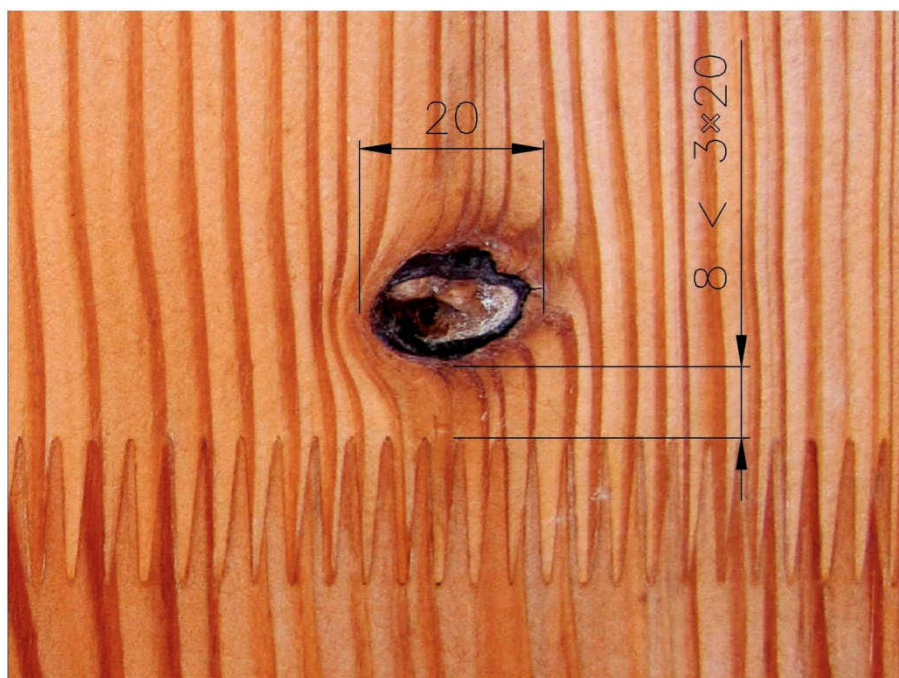
Obr. 2.9-1 – delaminace lepených spojů na nosné konstrukci lávky

2.10 Řízení jakosti

K předcházení vzniku možných vad a poruch z procesu výroby musí mít výrobci zavedeno dokumentované vnitřní řízení výroby sestávající z výrobních postupů, pokynů a požadavků na kontrolu. Jednotlivé náležitosti vnitřního řízení jsou výrobcem popsány v dokumentaci systému řízení jakosti, kterého obsahem jsou:

- a) cíle jakosti a organizační strukturu, zodpovědnosti a pravomoci pracovníků zodpovědných za shodu lepeného lamelového dřeva [3]
- b) postupy pro stanovení a ověřování jakosti dřeva a lepidla [3]
- c) postupy výroby, řízení výroby a jiné použité techniky, procesy a systematická opatření [3]
- d) kontroly a zkoušky prováděné před výrobou, během výroby a po výrobě a četnost jejich provádění [3]

Kromě vnitřní kontroly zajišťované výrobcem, probíhá i kontrola externí nezávislou osobou, která ověří výsledky kontroly vnitřní.



Obr. 2.9-2 – nedodržení minimální vzdálenosti suku od zubovitého spoje

Kontrola kvality výroby se ověřuje průběžnými zkouškami pevnosti v ohybu podélných spojů (zubovitých spojů) podle ČSN EN 385 a celistvosti lepených spojů dle ČSN EN 391 a ČSN EN 392 v závislosti na třídě použití konstrukce dle normy ČSN EN 1995-1-1. V případě konstrukcí třídy použití 1 a 2 lze ověřovat celistvost lepených spojů buď zkouškou delaminace – postup A dle ČSN EN 391 nebo smykovou zkouškou dle ČSN EN 392. Pro konstrukce třídy použití 3 je stanoveno provádět pouze zkoušku delaminace – postup A dle ČSN EN 391. Kromě uvedených zkoušek, se musí vést o každém lepení podrobný záznam, který musí obsahovat: datum lepení, údaje o dřevě, rozměr lepeného prvku, údaje o použitém

lepidle, časové údaje o průběhu lepení, údaje o lisovacím tlaku a údaje o teplotě a relativní vlhkosti v prostorech celého procesu výroby.

2.11 Zkouška delaminace

Podstatou zkoušky dle ČSN EN 391 „Lepené lamelové dřevo – Zkouška delaminace lepených spojů“ [4] je zavedení vlhkostního spádu ve dřevě pro vyvození vnitřních napětí. Tím dochází k tahovým napětím kolmo k lepeným spojům, takže nedostatečná jakost lepení vede k delaminaci lepených spár. [4]

Zkušební tělesa vhodně reprezentující výrobní proces, jsou po změření délky lepených spár na čelních plochách, vystaveny zkušebním cyklům. Zkušební cyklus A má následující průběh: zkušební tělesa se vloží do tlakové nádoby a zalijí se zcela vodou o teplotě 10 °C až 20 °C. V tlakové nádobě se po dobu 5 minut vyvodí vakuum 70 kPa až 85 kPa. Poté se v nádobě na dobu 1 hodiny zavede přetlak o hodnotě 500 kPa až 600 kPa. Popsaný cyklus se ještě jednou zopakuje. Z toho vyplývá, že zkušební cyklus A je dvoucyklový. Následně se po dobu 21 hodin až 22 hodin zkušební tělesa vysuší při teplotě vzduchu 60 °C až 70 °C a relativní vlhkosti do 15 %.

Nejpozději do hodiny od vysušení se musí změřit delaminace zkušebních těles. Výsledkem je výpočet procenta delaminace pro každé zkušební těleso.

Celkové procento delaminace:

$$100 \frac{l_{\text{tot,delam}}}{l_{\text{tot,glueline}}} [4]$$

kde [4]:

$l_{\text{tot,delam}}$ – délka delaminace všech lepených spár zkušebního tělesa v milimetrech;

$l_{\text{tot,glueline}}$ – celková délka lepených spár na obou čelních plochách zkušebního tělesa;

Největší delaminace:

$$100 \frac{l_{\text{max,delam}}}{2l_{\text{glueline}}} [4]$$

kde [4]:

$l_{\max, \text{delam}}$ – největší délka delaminace jedné lepené spáry zkušebního tělesa v milimetrech;

l_{glueline} – délka jedné lepené spáry, zpravidla odpovídá šířce b v milimetrech;

Vyhodnocení zkoušky delaminace se provede dle ČSN EN 386.

Postup smykové zkoušky dle normy ČSN EN 392 je podrobně popsán v experimentální části.

B. ČÁST EXPERIMENTÁLNÍ

3. LEPENÉ LAMELOVÉ DŘEVO – TRVANLIVOST LEPENÝCH SPOJŮ

3.1 Zadání

Trvanlivost - je rozhodující vlastnost materiálu zachovat si parametry požadované k plnění požadovaných funkcí [16]. Trvanlivost v čase závisí do působení vnějšího prostředí na materiál a schopnosti materiálu těmto vlivům odolávat.

Experimentální části zjišťují, zda vystavením LLD umělému stárnutí došlo k ovlivnění trvanlivosti lepených spojů. Trvanlivost posoudím na základě parametru smykové pevnosti lepených spojů. Katedra 223 mi poskytla dva vzorky LLD – hranoly P2 a P19. Hranol P2 neprošel procesem umělého stárnutí a hranol P19 byl vystaven umělému stárnutí odpovídajícím podmínkám třídy použití 2 dle normy ČSN EN 1995-1-1. Mým úkolem je dle normy ČSN EN 392 provést smykové zkoušky lepených spojů na obou vzorcích a následně vyhodnotit dle normy ČSN EN 386.

Cílem experimentální části je zjistit, zda smyková pevnost lepených spojů jako parametr trvanlivosti vyhoví požadavkům normy ČSN EN 386 i po působení umělého stárnutí.

3.2 Standardní metoda stanovení smykové pevnosti lepeného spoje s rovnoběžnými vlákny

Poskytnuté vzorky LLD P2 a P19 (obr. 3.2-1) jsou třídy GL 28h dle ČSN EN 1194 a byly vyrobeny ze smrkového dřeva. Průřez je po výšce vytvořen slepením 8 lamel. Lamely byly slepeny jednosložkovým PUR lepidlem. Vzorek P19 byl následně po dobu 56 dní vystaven umělému stárnutí, které odpovídalo normovým podmínkám třídy použití 2 dle ČSN EN 1995-1-1. Třída použití 2 je charakterizována obsahem vlhkosti v konstrukčních materiálech, který odpovídá teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu, která překračuje hodnotu 85 % nejvýše několik týdnů v roce. U většiny jehličnatých druhů dřeva není překročena průměrná rovnovážná vlhkost 20 %. [7] Tyto podmínky byly simulovány v klimatické komoře. Vzorek byl zatěžován střídáním vlhkého a normálního (laboratorního prostředí) v cyklech 14 dnů. 14 dnů byl vzorek klimatizován v prostředí 20 °C / 50 % ± 5 % R.V.,

následně 14 dnů v prostředí 23 °C – 29 °C a 87 % – 100 % R.V. Celý cyklus se opakoval (celkem 4 × 14 dnů).

Vzorky LLD P2 a P19 jsem nechal nařezat hranoly o rozměrech 50 mm × 50 mm × 287 mm. Z jednoho nařezaného vzorku vzniklo celkem 18 hranolů, rozdělených do dvou řad po devíti. Pro účel zkoušení jsem z každého vzorku náhodně vybral 3 zkušební hranoly. Pozice těchto hranolů ve vzorku jsou patrné z obr. 3.2-2 a obr. 3.2-3. Zkušební hranoly měli po výšce 8 lamel čili 7 lepených spojů. Každý spoj jsem na jednotlivých lamelách označil číslem např. P2 – 11 (vzorek LLD P2, zkoušený hranol číslo 1 a lepený spoj číslo 1), obr. 3.2-4. Celkem bylo ke zkoušení připraveno 42 lepených spojů.

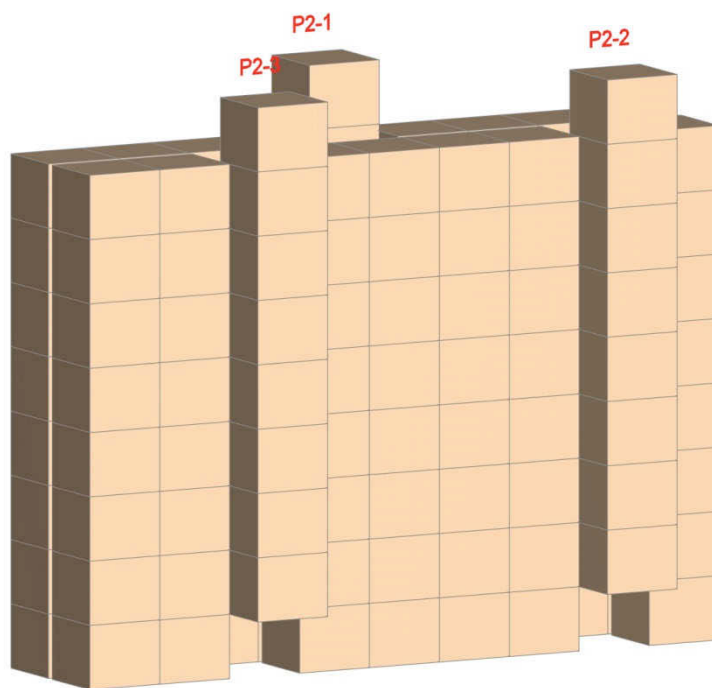


Obr. 3.2-1 – vzorky LLD P2 a P19

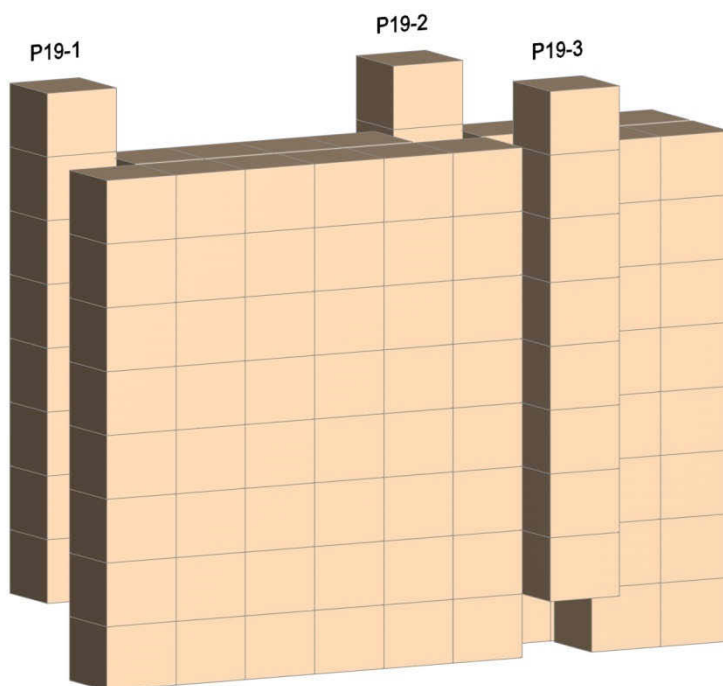
3.2.1 Postup zkoušení

1. Zkušební hranoly LLD se dle normy ČSN ISO 554 „Standardní prostředí pro aklimatizaci a/nebo zkoušení. Specifikace“ [8] klimatizovali v klimatické komoře CTS C-40/1000/S (obr. 3.2.1-1) při teplotě 20 °C a vlhkosti 60 % pro dosažení normou ČSN EN 392 požadované rovnovážné vlhkosti hranolů v rozmezí 8 % - 13 %. Hranoly zkoušené dne 8.10.2012 byly v klimatické komoře 6 hodin a hranoly zkoušené 9.10.2012 celkem 30 hodin. Ihned po vytažení zkušebních hranolů z klimatické komory jsem změřil jejich vlhkost pomocí digitálního testeru vlhkosti dřeva a

stavebních materiálů Elbez WHT-650 (obr. 3.2.1-2). Naměřené vlhkosti v rozmezí 8,0 % - 8,4 % odpovídali požadavku normy ČSN EN 392 a bylo možné pokračovat dál ve zkoušení.



Obr. 3.2-2 – odběr zkušebních hranolů ze vzorku LLD P2



Obr. 3.2-3 – odběr zkušebních hranolů ze vzorku LLD P19



Obr. 3.2-4 – zkušební hranoly – označení lepených spojů

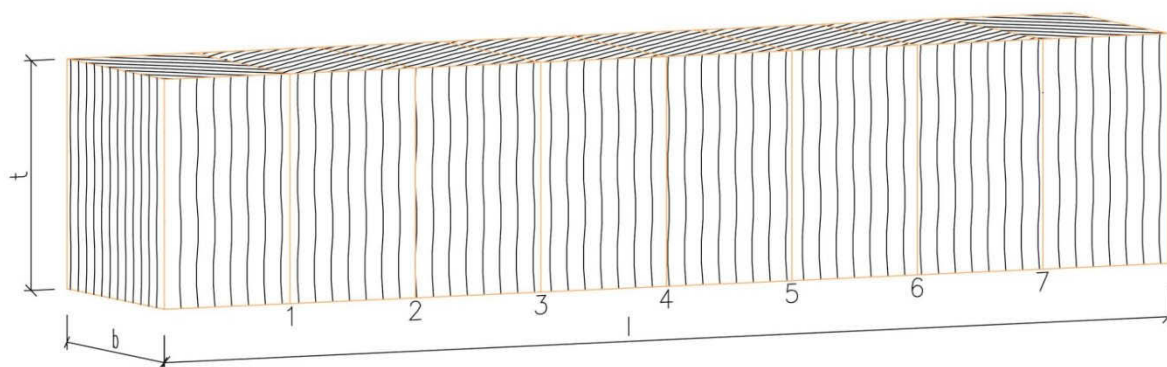


Obr. 3.2.1-1 – před vytažením zkušebních hranolů z klimatické komory
CTS C-40/1000/S

2. Digitálním posuvným měřítkem jsem změřil rozměr každého lepeného spoje, tj. kolmo k vláknům šířku b a rovnoběžně s vláknou tloušťku t , obr. 3.2.1-3. Poté jsem vypočetl velikosti smykových ploch.



Obr. 3.2.1-2 – měření vlhkosti zkušebních hranolů přístrojem Elbez WHT-650



Legenda:

- l – délka;
- b – šířka;
- t – tloušťka;
- 1 až 7 – číslo lepené spáry;

Obr. 3.2.1-3 – schéma stanovení rozměru lepeného spoje na zkušební hranolu

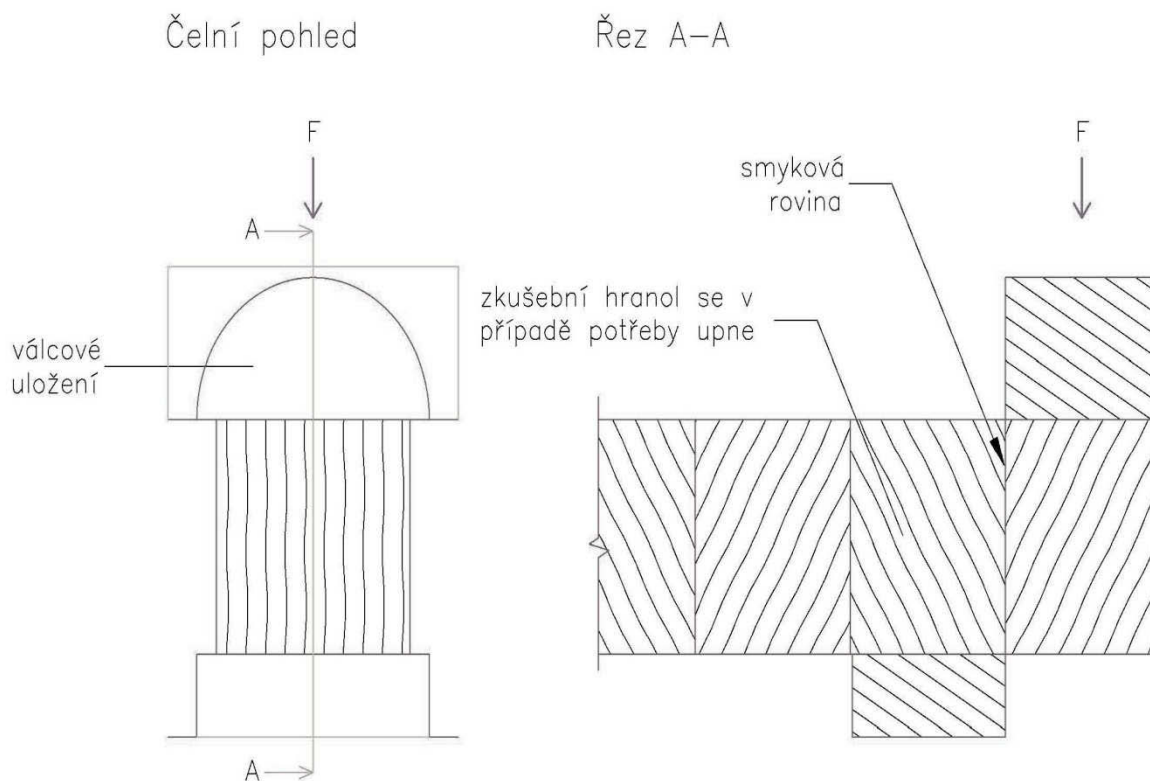
3. Lepené spoje jsem zkoušel v školní laboratoři na kalibrovaném trhacím stroji EU 40, obr. 3.2.1-3. Pro účel zkoušení byl vytvořen smykový přípravek, který zohledňuje požadavek normy ČSN EN 392, aby tlačná válcová část byla samostatná a zkušební hranoly zatěžovány rovnoměrným napětím ve směru šířky b , obr. 3.2.1-4. Přípravek byl sestaven z ocelové desky položené naplocho na stůl trhacího stroje. Na tuto desku se uložil zkoušený hranol tak, aby byl vlákny ve směru zatěžování a lepený spoj aby byl nad hranou ocelové desky nebo maximálně 1 mm před hranou. Zkušební hranol byl v dané pozici následně shora přitlačen ocelovým U profilem šroubovaným ke stolu, čímž se zamezilo jakémukoliv nežádoucímu pohybu při zkoušení. Poté se položila na horní plochu hranolu, ale z opačné strany lepeného spoje ocelová deštička v maximální vzdálenosti 1 mm od spoje. Mezi tuto deštičku a mírně výkyvnou hlavu trhacího stroje byla vložena nastojato vymežovací ocelová deska, čímž se dosáhlo zatěžování rovnoměrným napětím ve směru šířky hranolu, obr. 3.2.1-5, obr. 3.2.1-6.



Obr. 3.2.1-2 – trhací stroj EU 40

4. Jednotlivé lepené spoje byly zatěžovány konstantní rychlostí $300 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$. Zatížení bylo zvětšováno až do porušení spojů. Průběh nárůstu zatížení včetně dosažené hodnoty mezního zatížení a času zaznamenával počítač připojený k trhačímu stroji. U všech zkoušených lepených spojů kromě jednoho docházelo k porušení po více než 20 sekundách, čímž byl dodržen požadavek normy ČSN EN 392. V případě spoje číslo P19-15 tento požadavek splněn nebyl. Porušení nastalo již při malém mezním zatížení 4540 N a tomu odpovídal i kratší čas 14,6 sekundy, graf 3.2.1-1. Příčinou tak brzkého porušení muselo být skryté lokální oslabení dřeva lamely, jelikož porušení nastalo plně mimo lepený spoj (obr. 3.2.1-7) a prohlídkou zkušebního hranolu před zkoušením nebylo zjištěno viditelné poškození dřeva. Na grafu 3.2.1-2 je naopak znázorněn průběh dosažení maximálního mezního zatížení 18160 N za 60,1 sekundy u lepeného spoje P19-36.

Při zkoušení lepeného spoje č. P2-34 (prvně zkoušený spoj na zkušebním hranolu č. 3), došlo po porušení spoje č. P2-34 k pádu poloviny hranolu na stůl trhačího stroje a následnému rozlepení spoje č. P2-35, obr. 3.2.1-8. Proto nebyl lepený spoj č. P2-35 zkoušen. Následně nebyl ani hodnocen.



Obr. 3.2.1-3 – smykový přípravek s osazeným zkušebním hranolem [5]

5. Z naměřených hodnot mezních zatížení F_u jsem pro každý lepený spoj vypočítal pevnost ve smyku f_v podle vztahu:

$$f_v = k \frac{F_u}{A} \quad [5]$$

kde [5]:

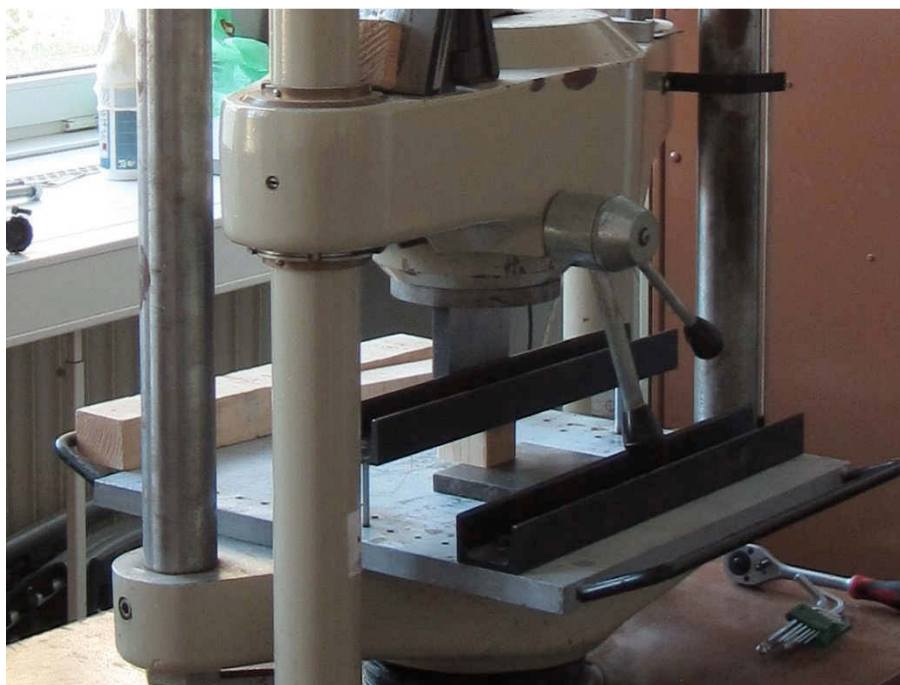
A - je smyková plocha, pro zkušební hranol $A = b \times t$;

k – součinitel $k = 0,78 + 0,0044 \times t$ a součinitelem k se upravuje pevnost pro zkušební tělesa, u kterých je rozměr smykové plochy ve směru vláken menší než 50 mm;

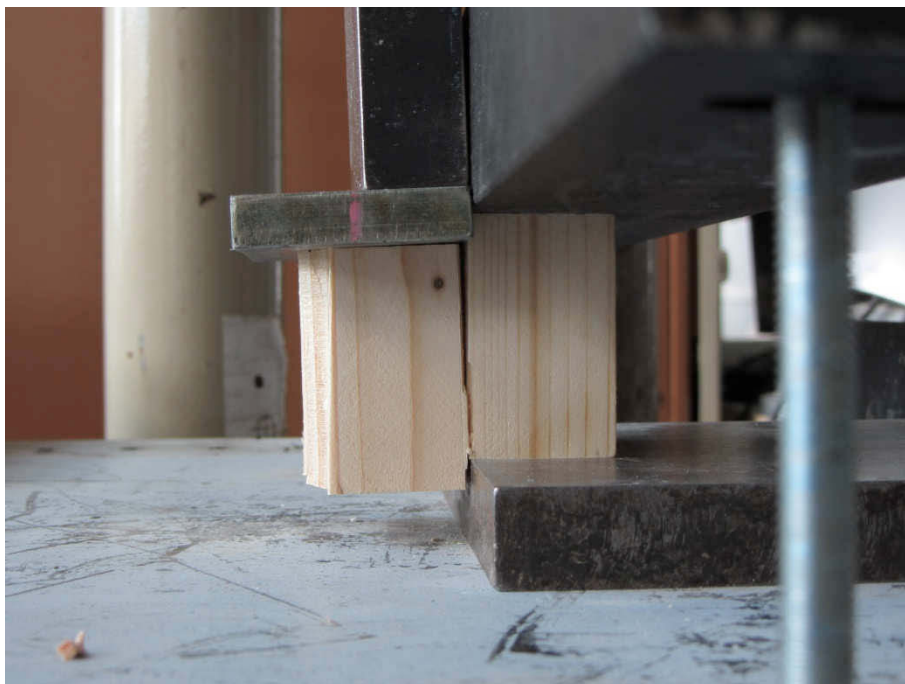
t – tloušťka v milimetrech;

F_u – je mezní zatížení

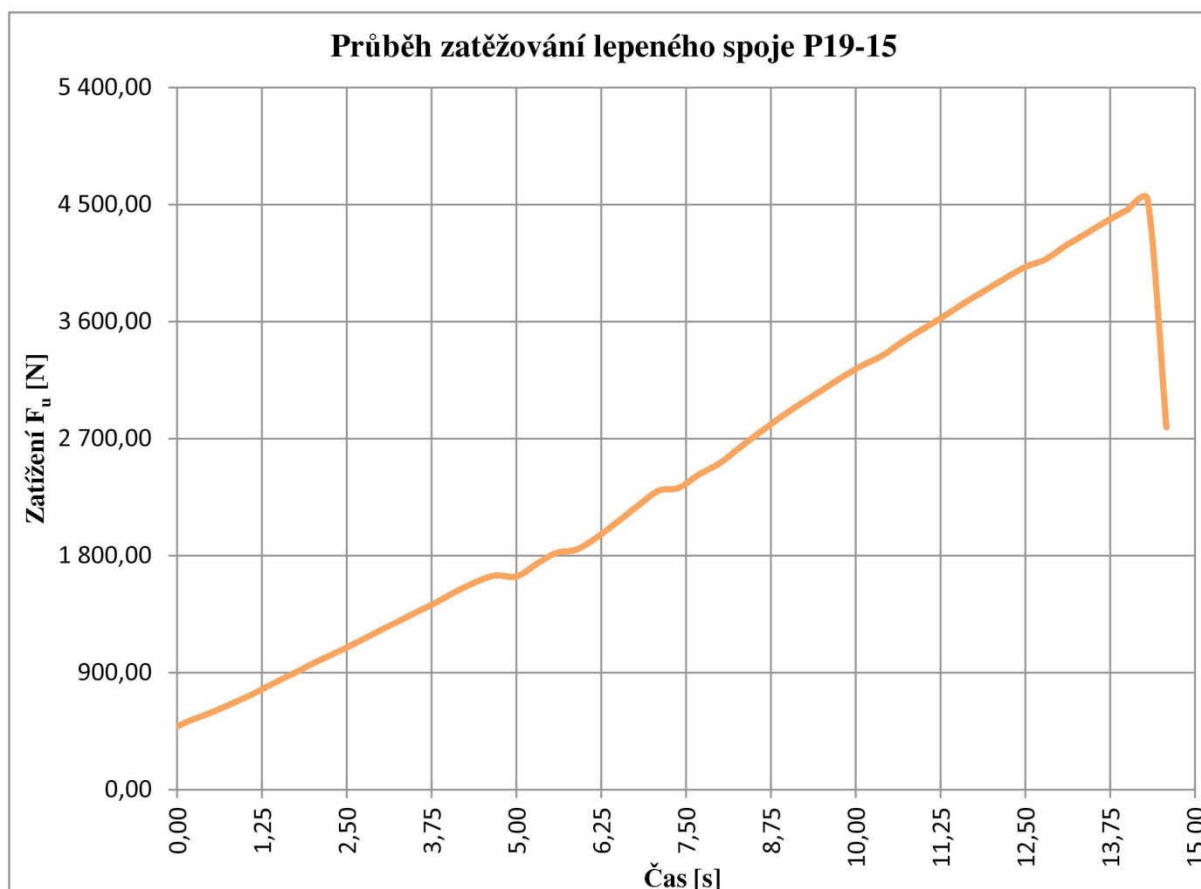
Výsledky jsem zapsal do „Protokolu o smykové zkoušce lepených spojů dle ČSN EN 392“ (viz příloha).



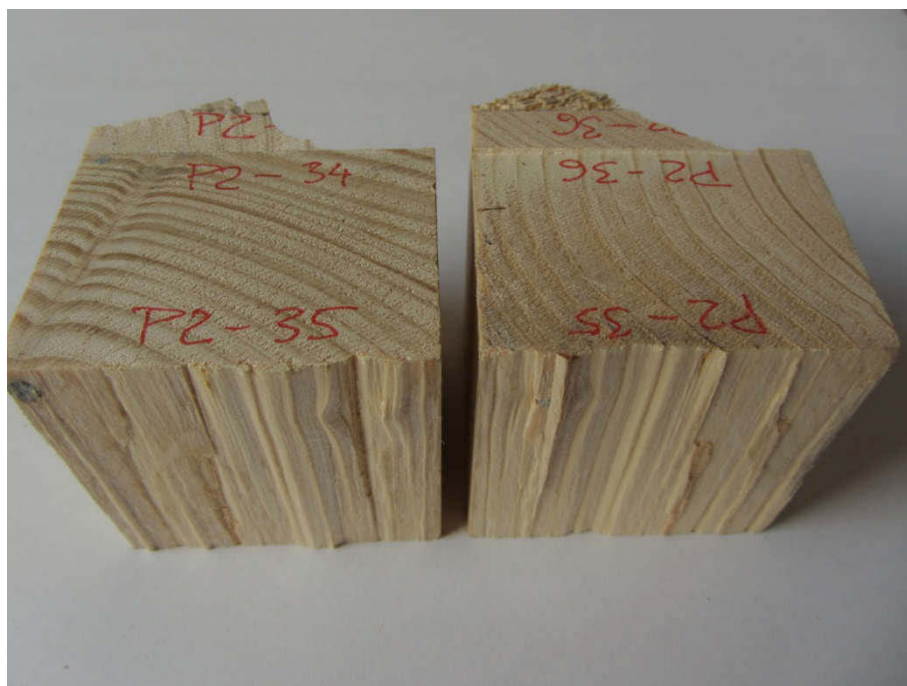
Obr. 3.2.1-4 – uchycení zkušebního hranolu v trhacím stroji EU 40 – pohled zepředu



Obr. 3.2.1-5 – uchycení zkušební hranolu v trhačím stroji EU 40 – pohled z boku



Graf 3.2.1-1 – průběh zatěžování lepeného spoje č. P19-15



Obr. 3.2.1-8 – nezkoušený lepený spoj P2-35

6. Dalším parametrem, který se musí určit u všech lepených spojů, je procento porušení dřeva na smykové ploše. Jedná se o procentuální vyjádření smykové plochy, kde při namáhání smykem došlo k porušení ve dřevě některé z lamel daného spoje, nikoliv v lepidle spoje. Částečné 25 % porušení ve dřevě lamely je vidět na spoji číslo P19-13, obr. 3.2.1-9. Podrobnou prohlídkou každého porušeného spoje jsem toto procento určil s přesností na 5 %.

U zkušebních hranolů vzorku LLD P2 se 12 lepených spojů vůbec neporušilo, ale ke smyku došlo 100 % ve dřevě lamely. U 7 lepených spojů byl v malém rozsahu porušen i lepený spoj a procento porušení ve dřevě bylo > 74 %. Jeden spoj byl < 20 % porušen ve dřevě a tedy v tomto případě povolilo především lepidlo, graf 3.2.1-3.

U zkušebních hranolů vzorku LLD P19 došlo v 11 případech k 100 % porušení dřeva v lamele, u 7 lepených spojů bylo procento porušení ve dřevě > 74 %, 2 spoje se porušili ve dřevě v rozmezí 74 % až 20 % a jeden spoj se porušil < 20 % ve dřevě lamely, graf 3.2.1-4.

Parametr procenta porušení dřeva má vliv na celkové hodnocení smykové pevnosti, jelikož čím menší je toto procento, tak tím musí být větší smyková pevnost v lepeném spoji.

3.2.2 Hodnocení smykových zkoušek dle normy ČSN EN 386

Smykové zkoušky lepených spojů zkušebních hranolů jsem vyhodnotil dle normy ČSN EN 386. Minimální požadavky na pevnost ve smyku a procento porušení dřeva jsou uvedeny v tabulce 3.2.2-1. Pro jehličnaté dřevo (vzorky LLD P2 a P19 vyrobeny ze smrkového dřeva) norma připouští při procentu porušení dřeva 100 % pevnost ve smyku jednotlivých lepených spojů v rozmezí $4,0 \text{ N/mm}^2 - 6 \text{ N/mm}^2$. Jinak musí být pevnost ve smyku nejméně 6 N/mm^2 .

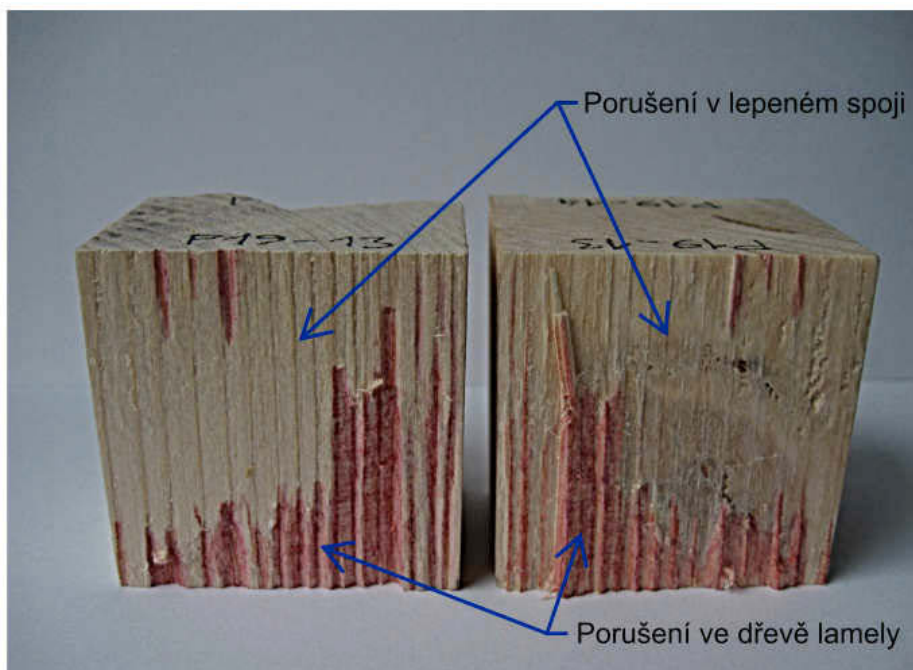
	Průměrné hodnoty			Jednotlivé hodnoty		
Pevnost ve smyku f_v [N/mm^2]	6	8	$f_v \geq 11$	$4 \leq f_v < 6$	6	$f_v \geq 10$
Nejmenší procento porušení dřeva [%] ¹⁾	90	72	45	100	74	20
¹⁾ Pro průměrné hodnoty je nejmenší procento porušení dřeva : $144 - (9 f_v)$. Pro jednotlivé hodnoty je nejmenší procento porušení dřeva při pevnosti ve smyku $f_v \geq 6,0 \text{ N/mm}^2$ je: $153 - (13,3 f_v)$.						

Tabulka 3.2.2-1 – průměrné hodnoty procenta porušení dřeva v závislosti na pevnosti ve smyku f_v [3]

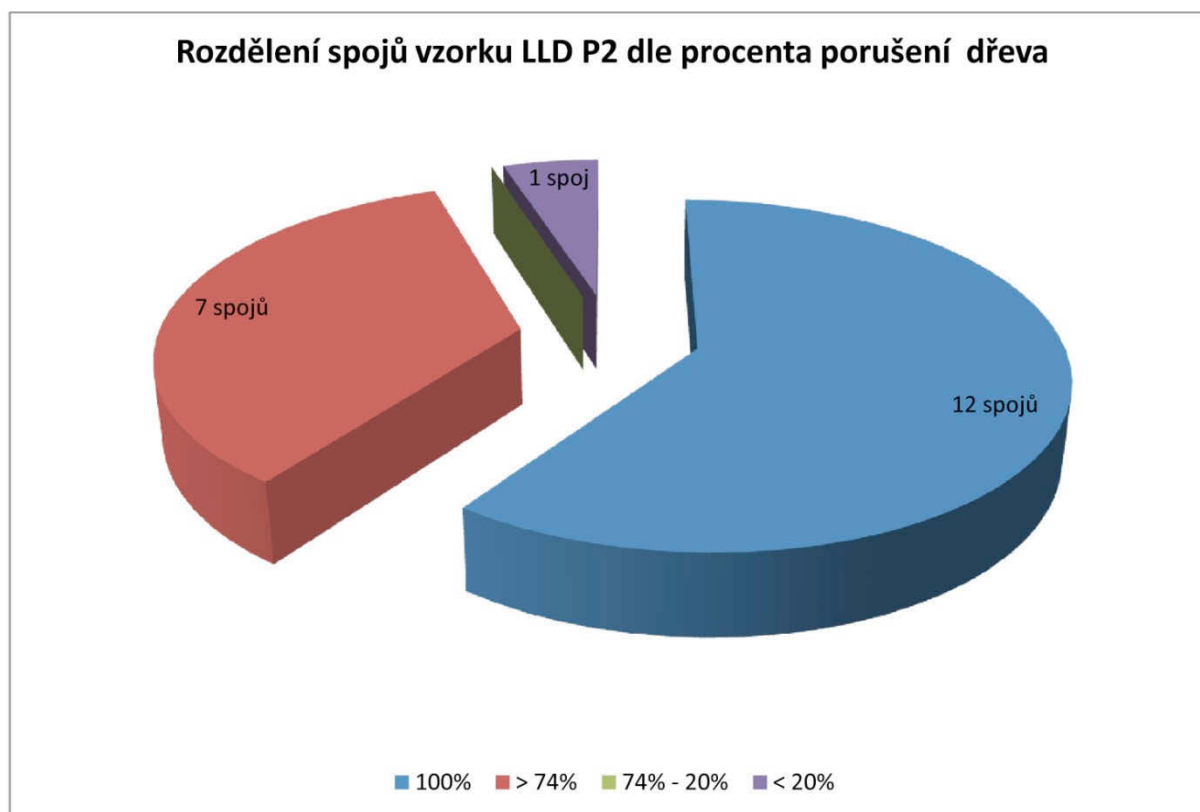
Z výše uvedené tabulky 3.2.2-1 vyplývá, že posouzení se skládá ze dvou částí. Prvně jsem pro každý zkušební hranol vyhodnotil na základě normou požadovaných nejmenších hodnot dosažené výsledky pevnosti ve smyku a procenta porušení dřeva jednotlivých lepených spojů. Poté jsem pro každý zkušební hranol vyhodnotil průměrné hodnoty a z dosažených dílčích hodnocení vyvodil celkové hodnocení obou vzorků LLD P2 a P19. Toto celkové posouzení zkoušek je uvedeno v tabulkách 3.2.2-2 a 3.2.2-3.

Vzhledem k nevyhovujícímu hodnocení jednotlivých lepených spojů nebylo již nutné hodnotit průměrné hodnoty, jelikož norma ČSN EN 386 v článku 5.5.4 stanovuje, že všechny výsledky smykových zkoušek musí vyhovovat požadavkům uvedeným v tabulce 3.2.2-1. Proto hodnocení průměrných hodnot, lze považovat pouze jako ilustrativní.

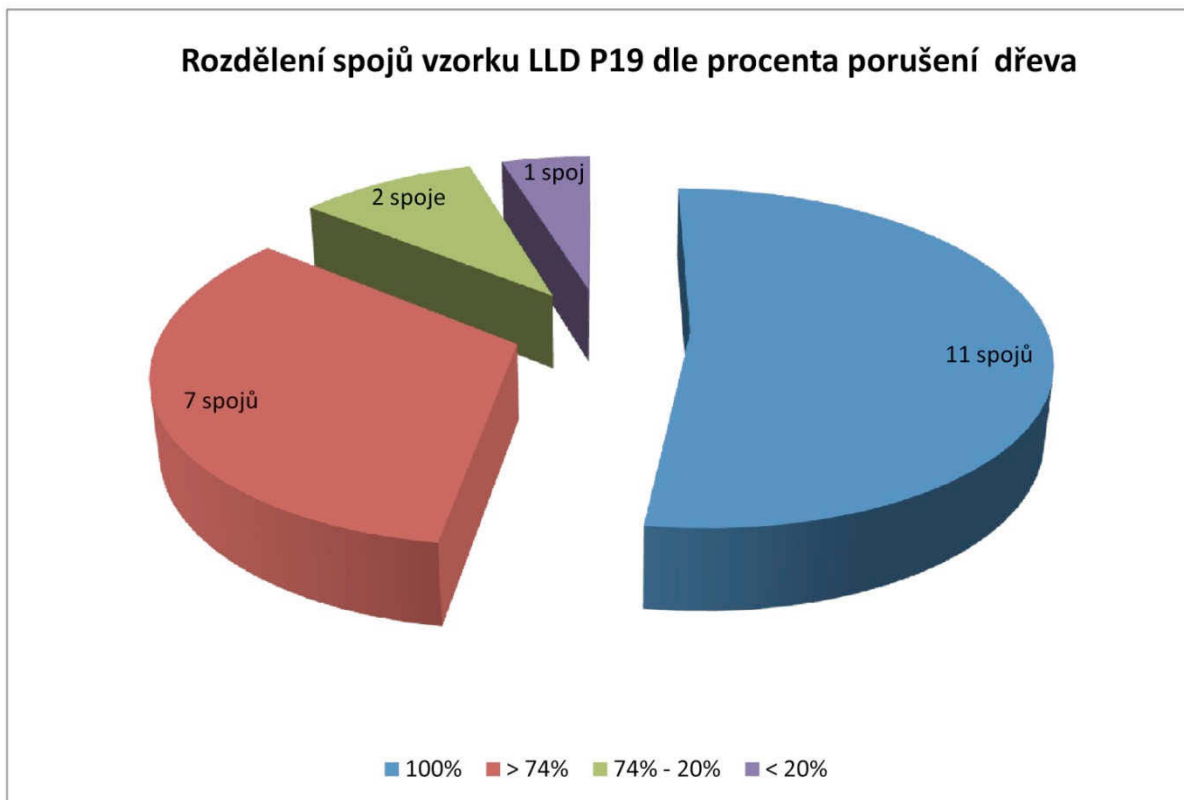
Z hlediska požadavků normy ČSN EN 386 na pevnost ve smyku a procento porušení dřeva jsou oba vzorky LLD P2 a P19 nevyhovující.



Obr. 3.2.1-9 – určení procentuálního porušení dřeva, spoj P19-13



Graf 3.2.1-3 – rozdělení spojů do intervalů dle procenta porušení dřeva – vzorek P2



Graf 3.2.1-4 – rozdělení spojů do intervalů dle procenta porušení dřeva – vzorek P19

3.3 Vyhodnocení zkoušek z hlediska trvanlivosti

Vzhledem k tomu, že oba vzorky LLD P2 a P19 nevyhověli požadavkům z hlediska normy ČSN EN 386, nelze vyvodit závěr z celkového hodnocení vzorků. Proto budu vycházet z jednotlivých hodnot procenta porušení dřeva a smykové pevnosti. Z výše uvedených grafů rozdělení spojů do intervalů dle procenta porušení dřeva lze konstatovat, že k porušení spojů u obou vzorků LLD P2 a P19 došlo obdobným způsobem. U vzorku LLD P19 tedy nedošlo k výraznějšímu nárůstu porušení spojů v lepidle.

Při porovnání dosažených jednotlivých hodnot smykové pevnosti, jsou rozdíly mezi vzorky LLD P2 a P19 zanedbatelné a vzorek LLD P19 nevykazuje ztrátu smykové pevnosti.

Na základě uvedených srovnání smykové pevnosti a procenta porušení dřeva mezi vzorky LLD konstatuji, že vystavení vzorku LLD P19 umělému stárnutí odpovídajícím podmínkám třídy použití 2 dle ČSN EN 1995-1-1, nemělo vliv na trvanlivost lepených spojů.

Číslo zkuš. hranolu	Číslo lep. spoje	Vlhkost dřeva [%]	Šířka b [mm]	Tloušťka t [mm]	Smyková plocha A [mm ²]	Součinitel k [-]	Mezní zatížení F _u [N]	Procento porušení dřeva [%]	Pevnost ve smyku f _v [N/mm ²]	Normou požadovaná pevnost ve smyku f _v [N/mm ²]	Hodnocení jednotlivých hodnot pevnosti ve smyku	Průměrné procento porušení dřeva [%]	Průměrná pevnost ve smyku f _v [N/mm ²]	Průměrná normou požadovaná pevnost ve smyku f _v [N/mm ²]	Hodnocení průměrných hodnot	Hodnocení celkem
zkušební hranol 1	11	8,40	50,00	50,00	2 500,00	1,0000	10 570,00	100	4,23	4,23	vyhovuje	84,29	5,21	6,63	nevyhovuje	vzorek LLD P2 nevyhovuje požadavkům ČSN EN 386
	12		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	15 040,00	80	6,02	6,00	vyhovuje					
	13		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	12 640,00	100	5,11	5,11	vyhovuje					
	14		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	10 960,00	100	4,43	4,43	vyhovuje					
	15		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	10 150,00	100	4,10	4,10	vyhovuje					
	16		50,00	49,50	2 475,00	0,9978	14 380,00	95	5,80	6,00	nevyhovuje					
	17		50,00	49,50	2 475,00	0,9978	16 910,00	15	6,82	10,00	nevyhovuje					
zkušební hranol 2	21	8,20	50,00	50,00	2 500,00	1,0000	7 530,00	100	3,01	4,00	nevyhovuje	99,29	4,56	6,00	nevyhovuje	vzorek LLD P2 nevyhovuje požadavkům ČSN EN 386
	22		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	11 430,00	100	4,57	4,57	vyhovuje					
	23		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	13 530,00	100	5,41	5,41	vyhovuje					
	24		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	14 330,00	95	5,73	6,00	nevyhovuje					
	25		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	10 170,00	100	4,11	4,11	vyhovuje					
	26		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	12 130,00	100	4,85	4,85	vyhovuje					
	27		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	10 520,00	100	4,25	4,25	vyhovuje					
zkušební hranol 3	31	8,30	50,00	50,00	2 500,00	1,0000	6 320,00	95	2,53	6,00	nevyhovuje	96,67	3,69	6,00	nevyhovuje	vzorek LLD P2 nevyhovuje požadavkům ČSN EN 386
	32		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	8 210,00	95	3,28	6,00	nevyhovuje					
	33		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	7 090,00	95	2,86	6,00	nevyhovuje					
	34		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	8 660,00	100	3,50	4,00	nevyhovuje					
	35		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	0,00	0	0,00	0,00						
	36		50,00	49,50	2 475,00	0,9978	13 900,00	95	5,60	6,00	nevyhovuje					
	37		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	10 970,00	100	4,39	4,39	vyhovuje					

Tabulka 3.2.2-2 – vyhodnocení smykových zkoušek vzorku LLD P2

Číslo zkuš. hranolu	Číslo lep. spoje	Vlhkost dřeva [%]	Šířka b [mm]	Tloušťka t [mm]	Smyková plocha A [mm ²]	Součinitel k [-]	Mezní zatížení F _u [N]	Procento porušení dřeva [%]	Pevnost ve smyku f _v [N/mm ²]	Normou požadovaná pevnost ve smyku f _v [N/mm ²]	Hodnocení jednotlivých hodnot pevnosti ve smyku	Průměrné procento porušení dřeva [%]	Průměrná pevnost ve smyku f _v [N/mm ²]	Průměrná normou požadovaná pevnost ve smyku f _v [N/mm ²]	Hodnocení průměrných hodnot	Hodnocení celkem
zkušební hranol 1	11	8,10	50,00	50,00	2 500,00	1,0000	13 570,00	100	5,43	5,43	vyhovuje	85,00	4,65	6,56	nevyhovuje	vzorek LLD P19 nevyhovuje požadavkům ČSN EN 386
	12		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	12 830,00	95	5,18	6,00	nevyhovuje					
	13		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	12 700,00	25	5,13	9,63	nevyhovuje					
	14		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	13 210,00	90	5,34	6,00	nevyhovuje					
	15		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	4 540,00	100	1,83	4,00	nevyhovuje					
	16		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	11 660,00	100	4,71	4,71	vyhovuje					
	17		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	12 270,00	85	4,96	6,00	nevyhovuje					
zkušební hranol 2	21	8,00	50,00	50,00	2 500,00	1,0000	8 640,00	100	3,46	4,00	nevyhovuje	94,29	4,94	6,00	nevyhovuje	vzorek LLD P19 nevyhovuje požadavkům ČSN EN 386
	22		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	9 720,00	100	3,89	4,00	nevyhovuje					
	23		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	11 910,00	100	4,81	4,81	vyhovuje					
	24		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	16 070,00	95	6,49	6,00	vyhovuje					
	25		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	15 950,00	95	6,44	6,00	vyhovuje					
	26		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	12 440,00	100	5,03	5,03	vyhovuje					
	27		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	11 110,00	70	4,44	6,30	nevyhovuje					
zkušební hranol 3	31	8,30	50,00	50,00	2 500,00	1,0000	11 530,00	0	4,61	10,00	nevyhovuje	80,71	4,33	7,03	nevyhovuje	vzorek LLD P19 nevyhovuje požadavkům ČSN EN 386
	32		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	7 180,00	100	2,87	4,00	nevyhovuje					
	33		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	6 500,00	100	2,60	4,00	nevyhovuje					
	34		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	7 700,00	100	3,08	4,00	nevyhovuje					
	35		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	15 200,00	85	6,14	6,00	vyhovuje					
	36		49,50	50,00	2 475,00	1,0000	18 160,00	100	7,34	7,34	vyhovuje					
	37		50,00	50,00	2 500,00	1,0000	9 120,00	80	3,65	6,00	nevyhovuje					

Tabulka 3.2.2-3 – vyhodnocení smykových zkoušek vzorku LLD P19

4. ZÁVĚR

Na zkušebních hranolech nařezaných ze vzorků LLD P2 a P19 jsem ověřil smykovou pevnost lepených spojů dle normy ČSN EN 392. Poté jsem vyhodnotil dosažené výsledky dle normy ČSN EN 386 a posoudil vliv umělého stárnutí na trvanlivost lepených spojů zkušebních hranolů vzorku LLD P19.

Celkové hodnocení smykové pevnosti lepených spojů obou vzorků LLD P2 a P19 je z hlediska požadavku normy ČSN EN 386 nevyhovující. Na základě této skutečnosti nelze určit, zda došlo k ovlivnění trvanlivosti lepených spojů vzorku P19.

Porovnáním jednotlivých výsledků procenta porušení ve dřevě a pevností ve smyku jsou rozdíly mezi vzorky P2 a P19 minimální. Z uvedeného vyplývá, že trvanlivost lepených spojů vzorku P19 nebyla ovlivněna působením umělého stárnutí odpovídajícího normovým podmínkám třídy použití 2 dle normy ČSN EN 1995-1-1.

5. SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ

- [1] ČSN EN 301. *Fenolická a aminová lepidla pro nosné dřevěné konstrukce - Klasifikace a technické požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 12 s. Třídící znak 66 8504.
- [2] ČSN EN 385. *Konstrukční dřevo nastavované zubovitým spojem – Požadavky na užité vlastnosti a minimální výrobní požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2002. 17 s. Třídící znak 73 2826.
- [3] ČSN EN 386. *Lepené lamelové dřevo – Požadavky na užité vlastnosti a minimální výrobní požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2002. 15 s. Třídící znak 73 2833.
- [4] ČSN EN 391. *Lepené lamelové dřevo – Zkouška delaminace lepených spojů*. Praha: Český normalizační institut, 2002. 10 s. Třídící znak 73 2835.
- [5] ČSN EN 392. *Lepené lamelové dřevo – Smyková zkouška lepených spojů*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 9 s. Třídící znak 73 2055.
- [6] ČSN EN 1194. *Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo – Třídy pevnosti a stanovení charakteristických hodnot*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 12 s. Třídící znak 73 1714.
- [7] ČSN EN 1995-1-1. *Eurokód 5: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 114 s. Třídící znak 73 1701.
- [8] ČSN ISO 554. *Standardní prostředí pro aklimatizaci a/nebo zkoušení. Specifikace*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 4 s. Třídící znak 03 8803.
- [9] BERÁNKOVÁ, Jitka. *Materiály na bázi dřeva* [online]. 30.01.2012 [cit. 2012-08-13]. Dostupné z: http://fld.czu.cz/~bohmm/materialy_na_bazi_dreva.pdf.
- [10] BÖHM, M., J. REISNER a J. BOMBA. *Materiály na bázi dřeva* [online]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 1. vydání 2012 [cit. 2012-08-13]. Dostupné z: drevene-materialy.fld.czu.cz/. ISBN 978-80-213-2251-6.
- [11] GUBRAN, Štěpán. *Materiály 2 - Pomocné materiály* [online]. [cit. 2012-08-15]. Dostupné z: <http://www.violinschool.eu/index-5.html>.

- [12] KOŽELOUH, Bohumil. *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 1*. Zlín: Ing. Bohumil Koželouh, KODR, Louky 304, 763 02 Zlín 4, 1998. ISBN 80-238-2620-4.
- [13] KUKLÍK, Petr. *Kultura dřeva v ČR v minulosti a v současnosti* [online]. 27.07.2009 [cit. 2012-08-13]. Dostupné z: <http://www.prolignum.cz/seminare/prednasky-podklady/>.
- [14] KUKLÍK, P., L. MELZEROVÁ, J. VÍDENSKÝ. *Analýza současného stavu a návrh možných způsobů výroby dřevo-polymerních kompozitů* [online]. České vysoké učení technické v Praze, Datum aktualizace: 30.9.2005 [cit. 2012-08-26]. Dostupné z: http://www.cideas.cz/free/okno/technicke_listy/1uvvt/2131.pdf.
- [15] VAŠEK, Milan. *Havárie, poruchy a rekonstrukce*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3526-9.
- [16] ŽÍDEK, Libor. *Obecné pojmy* [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.fast.vsb.cz/206/cs/okruhy/resene-projekty/frvs2009-2529/>.
- [17] *Příručka 1 – Dřevěné konstrukce* [online]. 1. vydání 2008 [cit. 2012-08-13]. Dostupné z: fast10.vsb.cz/temtis/en/.

6. PŘÍLOHY

1. Protokol o smykové zkoušce lepených spojů dle ČSN EN 392 – vzorek LLD P2
2. Protokol o smykové zkoušce lepených spojů dle ČSN EN 392 – vzorek LLD P19