

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ
FAKULTA

Ústav nauky o dřevě

Ohýbání borového dřeva

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

Ing. Aleš Dejmál, Ph.D.

Vypracoval:

Jaroslav Juračka

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Aleši Dejmalovi, Ph.D., vedoucímu bakalářské práce a Ing. Radimu Rouskovi za čas, který mi věnovali. Jejich cenné rady a připomínky, které mi pomohli vytvořit konečnou podobu práce. Dále bych rád poděkoval rodině za podporu a klid při psaní této bakalářské práce.

Abstrakt

Juračka Jaroslav: Ohýbání borového dřeva

Tato bakalářská práce se zabývá ohýbáním Borovice lesní. Důležitý je samotný výběr materiálu, aby byl bez vad a s maximální rovností vláken. Dřevo jsme máčeli a poté napařili. Napařené dřevo jsme ručně ohýbali pomocí pásnice a tvárnice do třech druhů poloměrů. Pomocí tohoto experimentu jsme zjistili ohýbatelnost borovice. A zmapovali jsme tvořící se vady při ohýbání.

Klíčová slova: Borovice lesní, ohýbání, napaření, poloměr ohybu, vady

Abstract

Juračka Jaroslav: Bending beechwood

This thesis deals with the bending of Pine. What is important is the actual selection of material to be free of defects and with maximum equality of fibers. We soaked wood and then rapped it. We the steamed wood bent manually using a flange and the block into three kinds of radii. By this experiment we found the possibilities of bending pine and we measured the defects during bending.

Keywords: pine, bending, steaming, bending radius, defects

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto práci: Ohýbání borového dřeva vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 17. 4. 2016

Obsah

1	Úvod.....	6
2	Cíl práce.....	6
3	Literární přehled.....	7
3.1	Úvod do struktury dřeva.....	7
3.2	Fyzikální a mechanické vlastnosti borovice lesní (Pinus sylvestris)	9
3.3	Ohýbání dřeva.....	17
3.3.1	Požadavky na dřevo určené k ohýbání.....	18
3.3.2	Metody plastifikace rozdělujeme do těchto skupin:	19
3.3.3	Plastifikace	21
3.3.4	Teorie ohýbání.....	25
3.3.5	Sušení	33
3.3.6	Klimatizace	33
4	Materiál a metodika.....	35
4.1	Použité pomůcky pro experiment.....	35
4.2	Materiál použitý na experiment.....	35
4.3	Prvotní experiment.....	37
4.4	Výroba zkušebních tělísek	38
4.5	Experiment.....	39
5	Výsledky.....	47
5.1	Kritéria hodnocení	50
	53
5.2	Ohnuté vzorky bez porušení:	53
6	Diskuze	56
7	Závěr.....	57
8	Summary.....	58
9	Citovaná literatura.....	59
10	Seznam obrázků:	60

1 Úvod

Dřevo jako úžasný materiál je v okolí nás už od samého začátku. Lidé během času přišli na to, jak ho mnoha způsoby zpracovávat. A my vlastně jenom znovu objevujeme a rozsáhleji popisujeme na co lidé už dříve přišli a dokázali použít. Dřevo vzhledem k jeho hmotnosti má relativně velkou pevnost a pružnost. Vlivem správného lesnického hospodaření se stává obnovitelným zdrojem stavebního materiálu a materiálu pro výrobu nábytku i paliva.

Ohýbání dřeva je velmi stará technologie. Už ve středověku lidé dřevo ohýbali. Tato technologie se postupem času ztrácela a zase objevovala napříč dějinami lidstva. Ohýbání dřevěných dílců se využívalo pro výrobu povozů, lodí a také na výrobu nábytku. První zmínky a využití technologie ohýbání nábytku jsou už ze starého Egypta. Na průmyslovou výrobu ji dostal až Michael Thonet (1796 – 1871). Učíme se od něj do dnes.

Příběh Michaela Thoneta se mi stal velmi blízkým a tak jsem se rozhodl věnovat se v bakalářské práci ohýbání dřeva. V předmětu Dřevo v životě člověka jsem viděl film z BBC How the Wild West Was Won with Ray Mears kde popisuje Ray Mears život a kulturu tamějších obyvatel. Jednou z věcí co mě nadchla, byla výroba lyží z borovice lesní, kterou plastifikovali a ohnuli do požadovaného tvaru. Tak jsem se rozhodl touto problematikou dále zabývat.

2 Cíl práce

Cílem práce je provést a posoudit experiment. Cíl experimentu je zjistit možné poloměry ohybu při určitém technologickém postupu. Možnosti ohnutí borovice do určitého poloměru s pásnicí a bez pásnice. Dále v práci uvedu optimální poměr mezi tloušťkou a šířkou vzorků. Zjištěné výsledky experimentu statisticky vyhodnotit. A zamyslíme se nad případným použitím ohýbaného borového dřeva v konstrukci nábytku.

3 Literární přehled

3.1 Úvod do struktury dřeva

Dřeviny můžeme rozdělit dle makroskopických znaků na bělové, jádrové, juvenilní.

Bělové dřeviny:

Mají čerstvě po vytěžení i po vyschnutí kmene na celém jeho průřezu jednobarevnou zónu. Jednobarevná zóna může být bílá (javor horský a javor mléčný, habr) nebo hnědá hnědá. Dále patří do této skupiny bříza a hruška. U těchto dřevin se neprojevuje výrazný rozdíl ve vlhkosti středové a obvodové části kmene. Běl má funkci vodivou, vede vodu s rozpuštěnými minerálními látkami. Širokou běl má borovice. Její šířka se velmi mění s výškou ve kmene. Rozdíl mezi šířkou běli v přízemní části kmene a vyšší části kmene je značný. (Požgaj et. al., 1997)

Jádrové dřeviny:

Mají ve střední části kmene výrazně zbarvenou tmavší zónu jádra a na obvodě světlou běl. Do této skupiny patří borovice, akát, dub, morušovník.

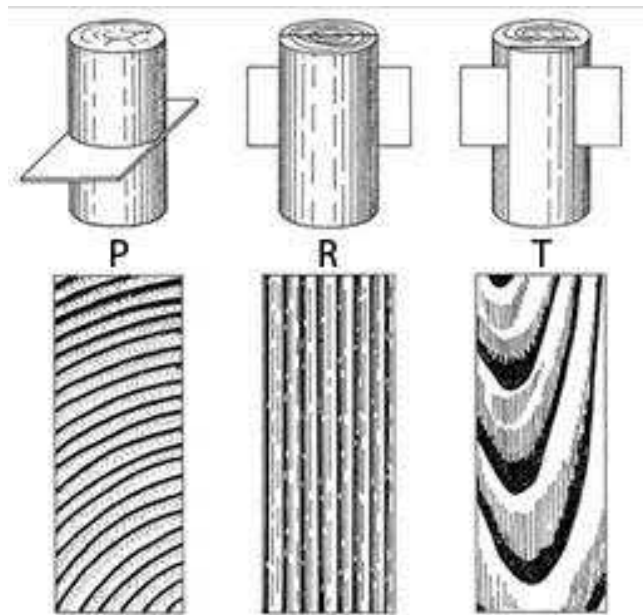
Jádro střeoevropských dřevin už neobsahuje živé buňky a jeho vodivé elementy jsou uzavřené. Změnu barvy i vlastností ovlivňují jádrové látky, které impregnují zónu jádra. Jádro má zvýšené mechanické vlastnosti, zvýšenou trvanlivost a odolnost vůči hnilobám. U borovice se jádro podstatně neodlišuje fyzikálními a mechanickými vlastnostmi, ale má zvýšenou trvanlivost, větší podíl živice než běl. Vlhkost jádra po těžbě zpravidla dosahujeme 30 % (mez hydrokopicity) (Požgaj et. al., 1997).

Juvenilní dřevo:

Je obecně definováno, jako zóna dřeva vystupující směrem ven od dřeně, kde dřevo rychle roste. Velikost juvenilního dřeva se liší od druhu stromu a životních podmínek. U borovice juvenilní dřevo volně přechází do vyzrálého jádra. Juvenilní dřevo se liší od vyzrálého dřeva nižším procentem letního dřeva, nižší měrnou hmotností, kratšími tracheidami a větším úhlem fibril v buněčné stěně.

Juvenilnímu dřevu se nevyhneme, je to nezbytná fáze růstu stromu, kdy musí rychle růst z hlediska vytahování koruny nad konkurenty (Larson et. al., 2001).

Například u 147 let staré borovice se v šířce běli, měřené ve výšce 1,3 m nacházelo 72 ročních přírůstků a ve výšce 26,7 m už jen 0 ročních přírůstků. V kmeni borovice bývá větší běl v chudších půdách a v půdách mokřích se podíl bělového dřeva oproti dřevu jádrovém snižuje (Požgaj et. al., 1997).

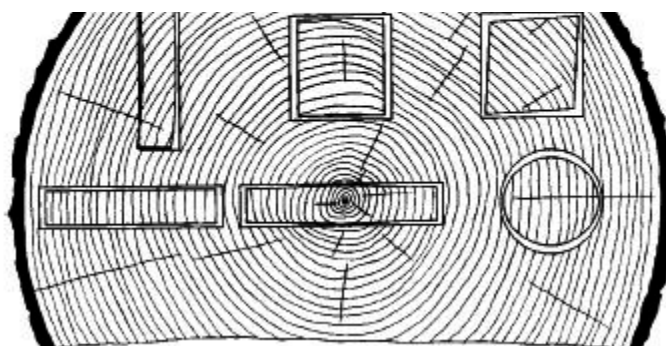


Obr. 1 Na obrázku vidíme směr příčná a dva směry podélné radiální a tangenciální. (*htt6*)

3.2 Fyzikální a mechanické vlastnosti borovice lesní (Pinus sylvestris)

Fyzikální vlastnosti má dřevo ve třech anatomických směrech naprosto odlišné Obr. 1. Jedná se o směry příčný, tangenciální a radiální, a podélný. Tato odlišnost se nejvíce projeví v bobtnání a sesychání jak vidíme na Obr. 2. Kdy ve směru podélném jsou změny 0,1 – 0,4 % . Oproti směrům příčným. Kdy v radiálním je to 3-6 % a v tangenciálním 6- 12 % . Poměr bobtnání a sesychání mezi těmito směry je 1 : 20 : 30 (Horáček, 2008) .

Obr. 2 Na obrázku vidíme seschnutí dřeva v různých příčných směrech (RNDr. Libuše Gandelová et.al., 2002)

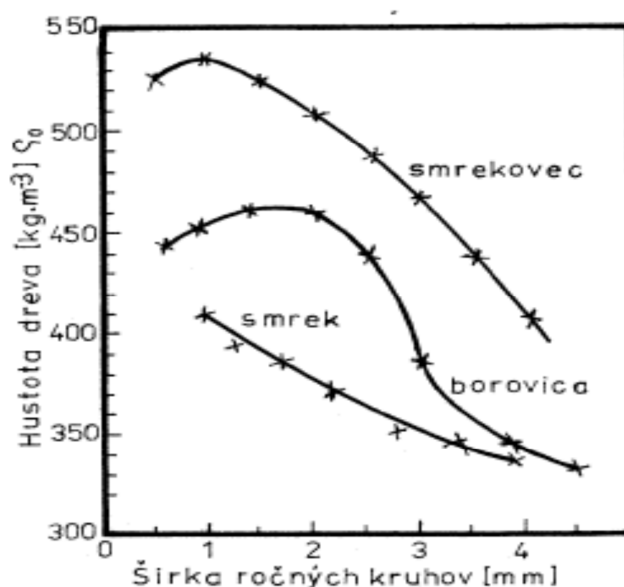


Průměrná roční vlhkost jádra BO je 33 až 38 %, u běli je to 112 až 132 %. S výškou kmene se u jehličnanů vlhkost zvyšuje, u listnáčů se vlhkost s výškou stromu téměř nemění. Na průřezu kmene jsou u většiny jehličnanu rozdíly ve vlhkosti středových a obvodových částí větší jak u listnáčů (Požgaj et. al., 1997).

Maximální vlhkost Borovice lesní je 178%. Míní se tím vlhkost, kterou dokáže dřevo borovice maximálně pojmout (Horáček, 2008).

Hustota:

Hustota dřeva borovice stoupá s poklesem šířky letokruhů v důsledku vyššího podílu letního dřeva až po rozměr v rozpětí 2 - 0.4 mm Obr. 3 a Tab. 1. Hustota borovice lesní v absolutním suchém stavu je 505 kg/m³, hustota při vlhkosti 12 % je 535 kg/m³,



konvenční hustota je 445 kg/m³.

Borovice při vlhkosti 10 % a hustotě 500 kg/m³ má modul pružnosti E 15000 MPa (Horáček, 2008).

Průměrná hodnota modulu pružnosti E (MPa) pro borovici o hustotě 520kg/m³ je 12000 Mpa Tab. 2 (Požgaj et. al., 1997).

Pevnost v ohybu a u borovice je 470 kg/cm^2 . Pevnost v tahu 790 kg/m^3 . Pevnost v tlaku 280 kg/cm^2 (Vaněk, 1952).

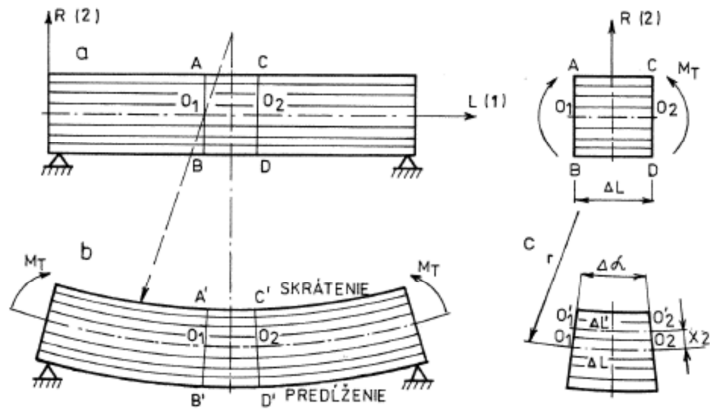
Mendelova univerzita v Brně

Tab. 1V tabulce vidíme rozdíl mezi hustotami jarního a letního dřeva (Horáček, 2008)

BO	Hustota dřeva [kg/m ³]		
		Jarní dřevo	Letní dřevo
	Běl	360	900
Jádro	340	810	

Tab. 2V tabulce vidíme mechanické vlastnosti borovice lesní. Modul pružnosti má větší než javor, jasan, topol, smrk, jedle. (Požgaj, 1997)

Borovice lesní	V tlaku (MPa)			V ohybu (MPa)		Ve smyku (MPa)				Model pružnosti (MPa)
	Podél vlákna n	Kolmo na vlákna		Rad.	Tan.	Podél vláken		Kolmo na vlákna		V ohybu
		R	T	R	T	Rad.	Tan.	Rad.	Tan.	
	49.9	2.7	5.5	100.1		8.5	7.0	2.3	2.3	12000



Obr. 4 Zobrazení deformace hranolku v jednoduchém ohybu. (a nedeformovaný nosník, b, c deformovaný nosník. (Požgaj et. al., 1997)

Jednoduchý ohyb podél vláken:

Dřevo v jednoduchovém ohybu podléhá poměrně komplikované deformaci. Kdy vlivem působící síly a tím vyvozeného napětí se dřevo v průřezu deformuje jak vidíme na obr. 4b. Vzorek má tzv. neutrální osu která je uprostřed v délce vzorku. vlivem zatížení dojde k deformaci. Od neutrální osy směrem ke konkávní straně se vlákna stlačují. A směrem ke konvexní straně se vlákna natahují vlákna v neutrální ose jsou nezatížená. Nesmíme zapomenout na fakt že ohyb se skládá ze tří druhů napětí. Skládá se z tahového tlakového a smykového. Jednotlivé pevnosti u těchto druhů zatížení definují vlastnosti dřeva v ohybu (Požgaj et. al., 1997).

Pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny:

Pevnost dřeva v tlaku podél vláken u jehličnatých dřevin závisí ředevším na vzájemném spojení tracheid. Kromě vzájemně spojených vláken je zásadní i pevnost samotných elementů. Důležitá je pevnost letních tracheid a u listnáčů libriformních vláken. Pevnost vláken určuje střední vrstva buněčné stěny vrstva S2 vrstva (Požgaj et. al., 1997).

Pevnost v tlaku kolmo na vlákna:

Rozlišujeme dva různé způsoby zatížení. V radiálním a v tangenciálním směru. V radiálním směru vlivem obsahu letního a jarního dřeva a velikostí dřeňových paprsků se průběh deformace rozděluje na dvě části. Nejdříve se deformuje dřevo jarní, které má tenkostěnné tracheidy. Jarní dřevo se zhušťuje a po maximálním zlisování nastává další fáze deformace, kdy se začíná deformovat i dřevo letní. Vlivem postupné deformace se nedá určit mez pevnosti. Proto se bere v úvahu jen mez úměrnosti, nebo se může určit napětí při určitém procentu stlačení oproti původnímu rozměru. Ve směru tangenciálním je průběh deformace jiný. Letní dřevo má asi 3 krát větší hustotu než dřevo jarní. Tím pádem dochází k tomu, že letní dřevo se vtlačuje do jarního a zvláště u jehličnatých dřevin dochází k oddělení letokruhů od sebe. Kvůli obsahu velkých dřeňových paprsků a širokých jarních cév mají listnaté dřeviny vyšší mez úměrnosti než jehličnany (Požgaj et. al., 1997)

Pevnost dřeva v tahu podél vláken:

Pevnost dřeva v tahu podél vláken je ta nejvyšší. Deformace je asi 1 až 2 %

Smyková pevnost dřeva podél vláken:

Smyková pevnost v tomhle směru je velmi malá, pohybuje se v rozmezí 6 – 19MPa při vlhkosti 12%. Pevnost listnatých dřevin je asi 1.5 krát vyšší než u jehličnanů. Smyková pevnost listnatých dřevin je v tangenciální rovině o 10 až 30% větší než v rovině radiální. Tento rozdíl způsobuje velikost dřevných paprsků. U jehličnatých dřevin se rozdíl mezi těmito dvěma rovinami neliší (Požgaj et. al., 1997).

3.3 Ohýbání dřeva

Ohýbání dřeva bylo známé už ve středověku při výrobě člunů z ohnutých desek. Z 19. století pochází zprávy z Rakouska, Anglie, Francie a Ameriky, kde dřevo změkčovali ve vařící vodě, anebo v páře. Tvarované dílce můžeme vyrábět nejen ohýbáním, ale i řezáním, lisováním, ohýbáním, lamelováním, vypalováním laserem, vyřezáváním vodou.

Výhody ohýbání: Menší spotřeba dřeva (je to beztrískové tvarování). Větší pevnost, není tolik přeřezaných vláken. Nevýhodou ohýbání je poměrně složitá technologie výroby a drahé zařízení. Nejvhodnější dřeviny jsou tvrdé listnaté a kruhovitě pórovité dřeviny (JS, BK, DB). Měkké listnáče a jehličnany mají poměrně malou deformaci. To se vysvětluje rozdílnou hustotou letního a jarního dřeva a rozdílnou šířkou letokruhů a malým podílem pentozanů, který způsobuje nestejnou plastifikaci. Na ohýbání je vhodnější dřevo ze zimní těžby a spodní části kmene. Nevyhovující je dřevo z okolí dřeně (Trebula, 2002).

Lze ohýbat většina dřev, ovšem ne ze stejným výsledkem. Z našich a evropských dřev jsou nejméně vhodná jehličnatá. V bývalém SSSR již i s těmito dřevinami docílili dobrých výsledků. Nejvhodnější materiálem na ohýbání je jasan a buk, pak následují dub, jilm, bříza. V našich podmínkách se nejvíce používá buku, i když je až druhý za jasanem, který má lepší vlastnosti (Vaněk, 1952).

Faktory ovlivňující kvalitu ohybu:

Mezi parametry ovlivňující kvalitu ohybu patří i hladkost opracování povrchu. Faktory ovlivňující kvalitu pracování jsou rychlost posuvu obrobku, naostření nástroje, plynulý chod stroje a jeho pravidelná údržba. Rozměrová přesnost je dalším faktorem vstupujícím do operace ohýbání. Při ohýbání více kusů zároveň hraje velkou roli přesné délkové krácení. Dále je to kolmost čel, která zajišťuje přenos koncového tlaku po všech vrstvách hranolku. Přítlačný pevný, nebo pohyblivý element, který působí tlakem na čelo hranolku slouží k vyrovnání tahového napětí působící na hranolek. Při ohýbání čelní tlak prudce stoupá a v závěru pohybu ustupuje. Zejména při ohýbání navinutím je nutné zajištění plynulého uvolňování čelního tlaku. Ohýbačky jsou konstruovány pro udržení maximální hodnoty 2% prodloužení vnější vrstvy namáhané na tah. Dále platí, že čím menší vlhkost hranolku, tím větší čelní tlak je třeba vyvinout (Trávník et. al., 2007)

Celý proces ohýbání lze rozdělit do několika částí:

- příprava materiálu
- plastifikace přířezů
- ohýbání
- sušení a stabilizace
- klimatizace

3.3.1 Požadavky na dřevo určené k ohýbání

Uskladnění řeziva:

Řezivo se nejlépe uskladní tak, aby se nejvíce využilo vzdušných proudů. Přitom se musí dbát na to, aby se materiál netrhal příliš rychlým vysycháním, naopak rychlým vysušením se chrání proti hnilobě a zabarvením. Skladiště musí být náležitě odvodněno. Ani při dlouhých deštích se nesmí zdržovat vod v okolí hráně. Hráně musí mít podklad upravený, tak aby pod hrání nerostla vegetace (štěrk). Na betonový podklad se upevní betonové trámy 10 x 12 cm. Důležitý je proklad mezi jednotlivými vrstvy řeziva šířka je 3 – 4 cm a síla 2 – 5 cm. Záleží na tloušťce řeziva. Všechny proklady musejí být stejně tlusté (Vaněk, 1952).

- Materiál, který trpí hnilobou se nesmí použít.
- Nepravé jádro je povolené pokud nepřesahuje 1/3 povrchu.

- Přířezy s částečně jádrovým dřevem lze použít s předpokladem, že jádrové dřevo bude v tlakové části ohybu.
- Zapařený a zatylovaný materiál má sníženou ohýbatelnost. Zapařené přířezy se mohou ohýbat, ale je potřeba další čas k jejich napaření a tím se také mění barva.
- Materiál se dření je nepřípustný.
- Trhliny pouze do 0.5mm.
- Materiál se suky se může použít, ale jen v tlakové části o maximálním průměru 5mm, nebude-li vadit esteticky.
- Odklon vláken v rovině ohýbání může být maximálně 3 až 4°. V boční rovině až 10°.
- Pro přířezy pravoúhlého průřezu je lepší rovnoběžná orientace letokruhů.
- Dřeňové paprsky musejí být rovnoběžně k rovině ohybu.
- Pro dílce kruhovitého průřezu je důležité, aby byly jejich letokruhy kolmé na rovinu ohybu.
- Optimální vlhkost hranolků sníží počet možných chyb při ohýbání. Jedná se o vlhkost blízko meze hydrokopicity, ale je většinou pod ní (22 – 32 %). Při vyšší vlhkosti vlivem hydrostatických tlaků vznikají na tlakové straně praskliny a závaly (Vaněk, 1952).

3.3.2 Metody plastifikace rozdělujeme do těchto skupin:

- Hydrotermická
- Chemická
- Elektromagnetická

Účelem plastifikace je změkčit strukturu dřeva natolik, aby docházelo k požadovanému ohnutí za udržení soudržnosti. Plastifikaci můžeme vysvětlit jako děj, při kterém dochází ke změkčení ligninu a celulózy. Lignin je amorfní a termoplastický zatímco celulóza je z části krystalická a z části amorfní. U amorfních látek je důležitý bod měknutí tzv. bod skelného přechodu. U chemických látek v suchém stavu jsou teploty velmi vysoké, ale vlivem vlhkosti teplota klesá. Teplota pro lignin je 72 až 128 °C, a pro celulózu 54 až 56 °C. Vlivem zvýšeného množství vody a tepla se můžou uvolnit vazby mezi polyózy a ligninem. Začnou měknout polyózy v buněčné stěně, dojde k porušení buněčného systému

v sekundární buněčné stěně, a mezi primární a sekundární stěnou, ale ne ve střední lamelle. (Trebula, 2002)

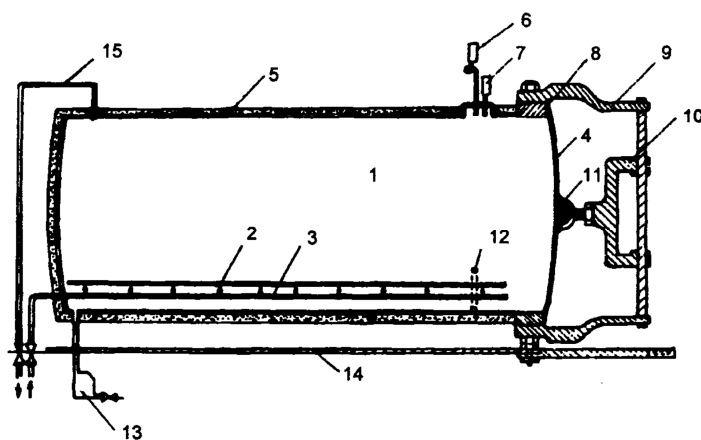
- další důležitou podmínkou je dosednutí přířezu přesně do pásnice. Jak na plochu, tak konce hranolků. Musí přesně doléhat na patky, aby se dosáhlo nejvyšší možné účinnosti koncového tlaku.

3.3.3 Plastifikace

Plastifikace je vzájemná interakce mezi plastifikačními činidly kvůli, kterým se mění dočasně nebo trvale mechanické a fyzikální vlastnosti. Zjednodušeně můžeme říci, že se jedná o paření, vaření ve vodě, účinek chemických látek (kapaliny, plyny), čpavkové vody, močoviny, hydroxidu sodného, kyseliny sírové, nebo dielektrický ohřev pro účely ohýbání.

Paření a vaření:

Výhodou paření v porovnání s vařením je jeho úspornější provoz. U vaření je kvalita vyšší, nedochází zde k nežádoucímu zbarvení, ale dochází k nadměrnému nasycení přířezů. Ve výrobě nábytku se běžně používá k napření autokláv Obr. 5. Autokláv má kruhový nebo obdélníkový průřez (400-600 mm). Délky jsou 1000 až 2200 mm v závislosti od délky přířezů. Konstruují se většinou z dílů z nerez



Obr. 5 Autokláv a jeho konstrukce. 1 - pařící autokláv, 2 - perforovaný rošt, 3 - perforovaná trubička pro přívod páry, 4 - víko, 5 - izolace, 6 - manometr, 7 - teploměr, 8 - těsnění, 9 - otočné rameno uzávěru, 10 - výkyvný přítlačný trn uzávěru, 11 - uzávěr, 12 - stavoznak, 13 - kondenzační přístroj, 14 - páka na zajištění uzávěru a současně regulování přívodu páry a odvodu páry, 15 - odvodu páry trubička (Trebula, 2002).

Paření se vykonává nasycenou párou o teplotě 100 až 105 °C a mírném přetlaku 0,01- 0,03 MPa. Použití páry s nižší teplotou je málo

účinné. Kvůli nižšímu prostupu tepla do dřeva. Pára nesmí být přehřátá, pak by se dřevo nenapařovalo, ale sušilo. (Trebula, 2002)

V minulosti bylo často ponecháno úplně na vůli dělníků a mistrů, jakou dobu považují za vhodnou. Pak se ovšem stávalo, že se dřevo pařilo po dlouhé hodiny i když k jeho paření stačil zlomek původního času. A protože dlouhá doba paření převládá, téměř vždy jde zejména o ztrátu finanční z hlediska spotřeby energie. (Vaněk, 1952)

Tab. 3 Tato tabulka nám ukazuje časy paření bokových nábytkových přířezů (Trebula, 2002)

Rozměr přířezů (mm)	Počáteční vlhkost dřeva (%)	Čas (min.)
25 x 25	30	30 až 40
	15 až 18	50 až 60
25 x 90	30	60 až 90
15 x 18	15 až 18	90 až 120
40 x 40	30	120 až 150
	15 až 18	150 až 180
40 x 60	30	150 až 180
	15 až 18	Nevyplatí se

Účinky paření se zlepšují, když se v autoklávu asi na 5 minut vytvoří podtlak. Tím se čas paření zkrátí asi o 40 až 45 % a zlepšují se rovnoměrnost rozdělení teploty. Při poklesu teploty v dílně pod 15 °C nesmí se ohýbat. Napařené přířezy je nutno co nejdříve ohýbat, aby nedošlo k jejich ochlazení. Čas mezi pařením a samotným ohýbáním musí být co nejmenší a samotné ohýbání musí být provedeno co nejrychleji a nejkvalitněji, jak je v tu chvíli možné.

Příprava hranolků před ohýbáním prakticky rozhoduje o kvalitě ohnutých hranolků. Zde je nejdůležitější sledovat počáteční vlhkost a rozměr přířezu Tab. 3 (Trebula, 2002)

Vypočítání absolutní vlhkosti vzorků:

Vyjadřuje se podílem hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu.

$$W_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} * 100$$

Maximální vlhkost dřeva:

Vlhkost při nasycení dřeva mikro i makro kapilární systém je plně nasycen vodou, dřevo obsahuje maximální množství vody. U borovice je to 178%. (Horáček, 2008)

Chemická plastifikace:

Plastifikace čpavkem

Kapalný čpavek působí jako plastifikátor, termodynamicky je aktivnější než voda i ostatní rozpouštědla, je schopen uvolňovat vodíkové můstky mezi makromolekulami dřevní hmoty a proniknout do krystalické mřížky celulózy. Kapalný čpavek za nepřítomnosti vody vytváří velmi málo nevratných změn v chemickém složení dřevní hmoty. Plastifikace působením kapalného čpavku probíhá na úrovni uvolňování vodíkových můstků mezi makromolekulami. Po odstranění čpavku se tyto můstky obnovují, ale ve zmenšené konfiguraci molekul celulózy. Plastická deformace je větší než u plastifikace vařením nebo pařením. Tvarovatelnost je větší, degradace materiálu je malá. Určitou nevýhodou zůstává barevná změna po plastifikaci a trvale navázaný čpavek na lignin, který způsobí zvýšenou oxidaci kovů ve dřevě (Trebula, 2002).

Elektromagnetická plastifikace:

Materiál se ohřívá v celém průřezu v krátkém čase (20 až 60 s). Plastičnosti se dosahuje na, 3 až 4 min. Se zvyšující vlhkostí se zkracuje čas plastifikace a stoupá plastičnost dřeva. Optimální vlhkost hranolků je 20 – 21%. Vlhkost materiálu nesmí klesnout pod tuhle hodnotu. Tento způsob plastifikace je velice náročný na energii (Trebula, 2002).

Pro mikrovlnný ohřev jsou nejvodnější materiály s vysokou hodnotou tzv. ztrátového činitele. Ideálním materiálem je voda, která nejvíc absorbuje záření o vlnové délce 12,25 cm. Polární charakter má také uhlík, tuky, cukry, soli impregnačních prostředků apod. Materiály bez bipolárního elektrického náboje na mikrovlny nereagují. Procházejí např. sklem, teflonem, vzduchem, a některými druhy plastů. Od kovových materiálů se odráží. Výhodou dielektrického ohřevu proti konvenčnímu ohřevu je současný ohřev materiálu v celém objemu. Při frekvenci 2450 MHz vniká mikrovlnné záření do hloubky max. několik desítek milimetrů (při ohřevu suchého dřeva je hloubka vniku 50-80 mm), přičemž hloubka vniku ovlivňuje ztrátový

činitel materiálu a jeho vlhkost (s rostoucí hodnotou klesá intenzita ohřevu směrem dovnitř materiálu), další výhodou je absorpce veškeré mikrovlnné energie uvnitř materiálu (až 90 % mikrovlnné energie vstupující do materiálu se přemění v teplo), vysoká homogenita rozložení tepla v průřezu materiálu a rychlý náběh na potřebnou teplotu v celém objemu s přesnou regulací teploty. (Merenda, 2006)

Úprava ohýbatelnosti dřeva komprimací:

Tento proces je poměrně složitý, jedná se o kombinace plastifikace, stlačení dřeva na délku, sušení. Opracované přířezy se plastifikují a poté se stlačí v délce vláken, až na 80% původní délky se délka vrátí do původního rozměru jen o 5 %. Buněčná stěna se trvale deformuje. Stlačením podél vláken se zvyšuje deformace v tahu. Díky tomu můžeme dosahovat menších poloměrů ohybu. Takto upravené dřevo můžeme skladovat ve vlhkém stavu, nebo ihned ohýbat. U ohýbání není potřeba pásnice a není třeba takto upravené dřevo více ohřívat. Při požadavku na malé poloměry se dřevo nahřeje jen na pět minut v páře (např. nahřátým ručníkem) (Trebula, 2002)

3.3.4 Teorie ohýbání

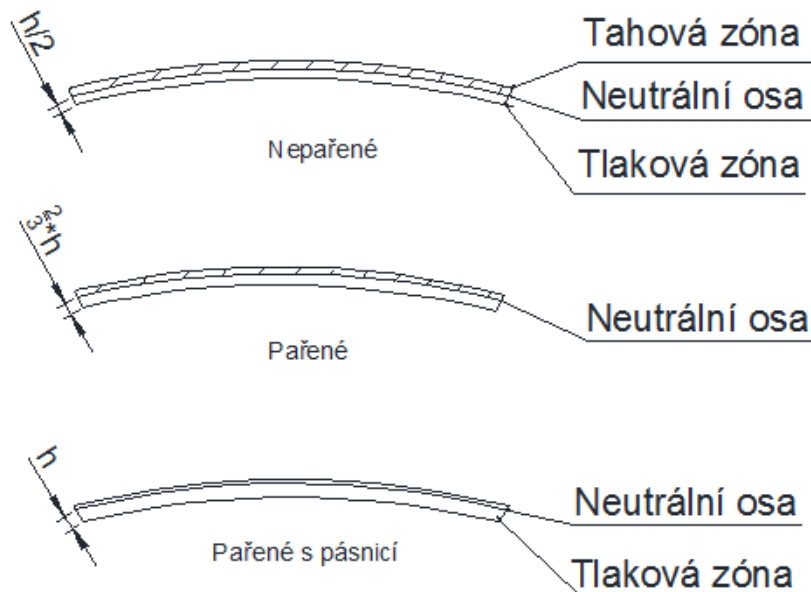
Po předešlé plastifikaci se hranolky začínají ohýbat. Účelem ohýbání je dát určitý tvar přířezu. Při ohýbání vznikají na vnější straně napětí tahová a na straně vnitřní napětí tlaková Obr. 6, Dále se také projevují smyková napětí mezi jednotlivými letokruhy, mezi jarním a letním dřevem.

Mezi těmito vrstvami je tzv. neutrální zóna, ve které je napětí nulové. Podle působících kolmých napětí na průřezu vznikají i napětí smyková, které se snaží posunout vrstvy ohýbaného přířezu vzájemně vůči sobě. Ve vnitřní straně oblouku se dílec rozšiřuje a na straně vnější tahové se při ohýbání přířez zužuje. Tyto deformace ovlivňuje povrch, poloměr ohybu, vlhkost přířezu. Protože má dřevo menší pevnost v tlaku než v tahu, posouvá se neutrální osa k vnější straně (Trebula, 2002).

Po dlouhém bádání Michala Thoneta přišel na způsob, který znamenal úplný převrat v technice ohýbání dřeva. Byla to myšlenka použít na ohýbání plech. K ploše hranolu nebo desky určené k ohýbání, ale na stranu, která měla být při ohýbání vypouklá (konvexní) se připojil pás železného plechu. (Vaněk, 1952)

Byl porušen přírodní zákon o poloze neutrální vrstvy uvnitř těles a vrstva neutrální byla tímto způsobem přeložena ze středu na konvexní povrch. Prakticky se vyloučilo natahování vláken, neboť plechový pás přinutil celé těleso, aby se stlačilo. Tento způsob se stal stěžejním v dalších úspěšných pokusech v ohýbání solného masivního dřeva a to v různých libovolných směrech. (Vaněk, 1952)

Z předešlého vyplývá, že je lepší dřevo stlačovat než natahovat. Proto se časem vyvinul přípravek, který nám právě toto umožňuje je to „ pásnice “.



Obr. 6 Zobrazení deformačních zón v délce přířezu

Možnost ohýbání masivních přířezů se značně zvýší, když snížíme napětí v povrchových vrstvách. To nám umožňuje přiložení pásnice. Pásnice se skládá s tenkého plechu 0.2 až 2mm tlustý, patek mezi která se vloží přířez, a zajišťovací mechanismus. Pásnice má modul pružnosti 20 krát vyšší než má dřevo. Neutrální osa se přenesse mezi povrch pásnice a dřeva. (Trebula, 2002)

Můžeme použít dva druhy pásnic:

- při ohýbání na tvárnici, jeden konec je připevněný k tvárnici tak, aby se nechal lehce vyměnit.

-po ohnutí jsou zajištěné okem a spojovacím prvkem, pásnice mají na koncích připevněné úhelníky (přinýtované, přišroubované).

Čela přířezů musí těsně doléhat na plochy úhelníku a zároveň musí pásnice těsně přiléhat k povrchu přířezu. (Trebula, 2002)

Ohýbatelnost:

Vyjadřuje vhodnost dřeva na ohýbání a vyjadřuje se tzv. kritickým ohybem, je to poměr tloušťky

přířezu k poloměru ohybu. Se zvyšujícím se číslem se zvětšuje ohýbatelnost dřeva.

$$\frac{h}{r} (\text{cm/cm}^{-1})$$

Borovice 1/11 a buk 1/2.5. Uvážíme-li že v praxi potřebujeme ohýbat dílce do poměru $h/R = 1/6$ a v některých případech až do $1/3$, snadno pochopíme, že jehličnaté druhy dřev a část měkkých listnatých druhů, i když se u nich využije maximálních možných deformací tlakových a tahových, se nehodí k ohýbání na malé poloměry. Avšak v sovětském svazu vymysleli způsob ohýbání i pro tento druh dřeva.

Základním zdrojem zmetků, vyskytujících se při ohýbání měkkých listnatých a jehličnatých dřevin, je vznik přehybů na vyduté straně hranolku, jako důsledek nerovnoměrného stlačení po délce vláken a malé pevnosti ve tlaku ve směru napříč vláken u těchto druhů dřev. Pro tyto dřeviny byl vymyšlen způsob ohýbání bez poškození, který využívá schopnosti měkkých dřevin snášet značné smykové deformace po délce vláken a deformace tlakové napříč vláken.

Způsob spočívá v tom, že se dřevo ohýbá kolem tvárnice, opatřené pilovitým ozubením a současně se při ohýbání stlačuje. Propařený hranolek s pásnicí se navíjí na tvárnici opatřenou velkým počtem zubů, přičemž v místě ohýbání je hranolek přitlačován k tvárnici přítlačným válečkem. Dochází v podstatě k takovému válcování hranolku, provázané silným zpevněním vnějších vrstev sousedících s pásem hlavně jarních částí letokruhu, dále zmenšení tloušťky hranolku a současně zvýšení pevnosti v tahu jeho vnějších vrstev (Vaněk, 1952).

Vrstvy dřeva přilehlé k tvárnici a vystavěné větším napětím tlakovým, vtlačují se do mezer zubů, čímž nabývají rovnoměrně zvlněného tvaru, v důsledku toho zde vznikne nerovnoměrné stlačení těchto vrstev a objevení záhybů. Jak ukázalo pozorování, ohýbání respektive vznik deformací tahových a tlakových nastává současně, avšak ne v celém hranolku, nýbrž jen v úseku kde hranolek navíjí na tvárnici a končí na čáře spojující osu tvárnice s osou přítlačného válečku. Tento pochod je provázán posuvem vrstev dřeva po délce vláken, což se dá pozorovat na zakřivení příčných čar, nakreslených před

ohýbáním na boční stranu hranolku. Jelikož dochází ke značným smykovým napětím mezi letokruhy je zde kladen velký důraz na plastifikaci. Ze stejných příčin se neprovede ohnutí hranolku v celé jeho délce, aby nedošlo k odštípnutí u čelních ploch hranolku. Nezbytnou podmínkou provádění ohybu jehličnatých a jiných měkkých dřevin je použití pásnice s posuvnou zarážkou. Zuby tvárnice musí mít sklon směrem k zadní narážce, aby se zabránilo přemístění vnitřních vrstev hranolku po šabloně a vzniku záhybů. Způsob umožňuje ohýbat materiál ze suky, které jsou umístěny na vnější straně ohybu. (Vaněk, 1952)

Je žádoucí, aby se poloha letokruhů v hranolcích při ohýbání tvrdých listnatých dřevin (dub, jasan, habr, jilm) shodovala a ohýbací rovinou, tangenciální rozřezání se má provést v bočních stranách hranolku, anebo ve sklonu ne větším než 45-50°. Dílce z listnatých rozptýleně pórovitých dřev i jehličnatých dřev se mají natočit při ohybu tak, aby letokruhy probíhaly kolmo k rovině ohybu. (Vaněk, 1952) Při

ohýbání a současném lisování je žádoucí, aby vady dřeva byly v protažené nebo v neutrální části dílce. A oproti tomu při ohýbání bez pásnice a částečného lisování musíme umístit dílce tak aby byli drobné vady na vnitřní straně ohybu. (Vaněk, 1952)

Ohýbání můžeme rozdělit na ruční a strojní.

Ruční:

- Nutná velká zručnost
- Pomocí zajišťovacího mechanismu se na začátku předepne pásnice, úměrně délce a průřezu přířezů, Konec pásnice je opatřen nastavitelnou koncovou zarážkou, vytvoří se tím potřebné napětí. (Trebula, 2002)

Strojní:

Snižuje možný počet chyb při práci. A není potřeba zkušených pracovníků. Podle tvaru ohybu se stroje rozdělují na:

- Uzavřené ohyby – je to více jak 360°, používá se ohýbačka s otočnou tvárnicí a k ní je připevněná pásnice.
- Ohyby do tvaru „U“ – používají se dvouramenné ohýbačky na otevřené ohyby. Při ohýbání se používají volné pásnice.

- Ohyby excentrické – ohýbají se na dvouramenné ohýbačce, která má pevnou tvárnici. Každé rameno se zdvihá samostatně. Používají se volné pásnice.
- Ohýbačky s pneumatickým pístem (Trebula, 2002)

Hlavní chyby vznikající při ohýbání:

- Záhyby na stlačené straně
- Praskání vláken na konvexní straně
- Trhliny vznikající posunutím letokruhů a dřeňových paprsků

Vady dřeva :

- Trhliny
- Hniloba
- Šikmá vlákna a přeřezaná vlákna (Trebula, 2002)

Nejčastější vadou jsou záhyby (závaly) tvořící se ve stlačené části ohýbaných hranolků. Zkrácením délky ve vnitřní straně hranolků se mění tvar letokruhů při čemž tato změna se projevuje na vzorku podle druhu dřeva.

Záhyb je místní deformace stlačeného dřeva v malé části hranolku. Vlákna se přitom silně zakříví a ve většině případu se poruší jejich spojení. Na záhyby má vliv velikost stlačení dřeva v délce vláken, nedostatečná hydrotermická úprava, nedokonalá konstrukce stroje. (Vaněk, 1952)

Vznik záhybů při ohýbání dubových hranolků:

Je dán polohou letokruhů. Když jsou letokruhy rovnoběžně s rovinou tvárnice, po které se hranolek ohýbá a dřeňové paprsky jsou na ně kolmé, tvoří se záhyby nejprve malé a časté v pravidelných vzdálenostech. Se zmenšujícím se poloměrem ohybu se ovšem závaly zvětšují. Když jsou letokruhy kolmé na rovinu tvárnice a dřeňové paprsky jsou

sní rovnoběžné. Tentokrát se při ohýbání hranolků drobné záhyby ne vyskytují. Ale začínají se vyskytovat drobné trhliny které jdou v délce hranolku. A zpravidla vedou k úplnému znehodnocení hranolku.

U ohýbání hranolků z břízy se projevují stejné problémy jako u dubu. (Vaněk, 1952)

Tvoření záhybů při ohýbání borových hranolků:

Při poloze hranolku kdy jsou letokruhy rovnoběžné s rovinou pásnice se vytvoří závaly pravidelně za sebou v hloubce 3–4 letokruhů. Vlivem zhušťování letního dřeva. Při vzniku záhybu klesá stlačení v podélném směr a pásnice nevytváří dostatečný přítlak k vzorku a mohou vznikat praskliny v tahové části.

Letokruhy jsou kolmé na rovinu tvárnice. V tomto případě se netvoří záhyby periodicky. Jsou-li léta dostatečně kolmá k povrchu tvárnice a dřevo je bez vad, lze hranolky ohnout bez hlubokých záhybů. Jsou-li vzorky takto uloženy, nastává působení čelního tlaku a ohybového momentu. Vznikající záhyby však nesměřují do tloušťky hranolku, ale jdou směrem k boční straně kolmé na rovinu ohnutí. Vzniká kosočtvercový průřez hranolku.

Při ohýbání hranolků v poloze letokruhů rovnoběžně s tvárnicí činí největší odpor letní dřevo, dřevo jarní se zhušťuje podél osy a tím zvětšují odpor stlačení napříč vláken. Letní části letokruhů borových hranolků špatně odporují podélnému ohýbání pro svoji nepatrnou šířku a také pro nedostatečnou oporu ze strany neobyčejně slabých jarních částí. Tím vznikají při ohýbání borovice hluboké záhyby. Při ohýbání hranolků s letokruhy kolmými k povrchové ploše tvárnice vykazují všechny letokruhy odpor vůči stlačení podél vláken. Při značné deformaci se začínají křivit do strany od plochy ohybu a vyvolávají vrstvené rozštěpení dřeva s hlubokými bočními záhyby (Vaněk, 1952).

3.3.5 Sušení

Má dvě základní funkce. Vysušení ohnutého přířezu na požadovanou konečnou vlhkost. A stabilizační účinky. Dílce, které jsou ohnuté a fixované se musí v této poloze i vysušit, aby nedošlo k zpětnému narovnání. Tvarové stability se dosáhne sušením, při snížení vlhkosti dřeva na rovnovážnou vlhkost s prostředím. Pokud se nezmění vlhkost prostředí nezmění se ani vlhkost přířezu. Čas sušení nepřevyšuje 24 hodin. Rychlost sušení pod mez hydroskopie je 0.5 až 1% za hodinu. (Trebula, 2002)

3.3.6 Klimatizace

V důsledku nepravidelného sušení přířezu (trvalý kontakt přířezu z pásnicí a patkami) na průřezu přířezu vzniká velký vlhkostní spád. Vlivem nerovnoměrného sušení mají i jednotlivé přířezy rozdílnou vlhkost. Proto provádíme klimatizaci. Dílce vyjmeme z pásnice až po 2 až 3 hodinách ochlazení. Přířezy se vizuálně kontrolují. Ohnuté přířezy se klimatizují přibližně při teplotě 18 až 25°C, relativní vzdušné vlhkosti 43 až 46% která odpovídá vlhkosti přířezu 8%. Podle druhu přířezu se délka klimatizace liší od 6 do 20 dní. (Trebula, 2002)

4 Materiál a metodika

4.1 Použité pomůcky pro experiment

- Pásnice
- Přípravek k zafixování ohybu
- Tvárnice o poloměru 120mm, 150mm, 200mm.
- Zámečnická svěrka
- Truhlářská svěrka
- Zkušební vzorky
- Papír
- Parní trouba
- Materiál – borovice lesní nadmořská výška 600 m n m.
Oblast Českomoravská vrchovina

Pracovní podmínky:

Vlhkost vzduchu průměrně: 50 %

Průměrná teplota vzduchu: 22°

4.2 Materiál použitý na experiment

Použita byla borovice lesní. Strom rostl v nadmořské výšce 600 m. n. m. Výběr materiálu by proveden už na pile v Lipůvce. Tady bylo provedeno přerovnání 4 m³ desek. Z nich byly vybrány nejvhodnější 3 ks 4m desek.

Podmínky pro výběr:

- rovnost vláken po délce desky
- sklon letokruhů na průřezu musel být co nejvíce radiální
- co nejmenší počet suků, smolníků
- žádná točitost (odklon) vláken
- bez hniloby a napadení škůdce

Z desek byla vyřezána tělíska, a rozdělena na jádrová a juvenilní. Tělíska o velikosti 20x20x300 mm. Nejdůležitější podmínky pro výrobu tělísek byla rovnoběžnost vláken s podélnou hranou vzorku. A druhým zásadním faktorem byl radiální průběh letokruhů na průřezu.

4.3 Prvotní experiment

Prvotní experiment jsme museli provést kvůli zjištění ohýbatelnosti v plastifikovaném a neplastifikovaném stavu bez pásnice. Dále jsme museli vymyslet přípravek, v kterém bych mohl vzorek ohnout a přípravek na fixaci ohybu. Experimentálně jsme zjistili poloměr 120 mm, který nám udal poměr mezi tloušťkou a poloměrem ohybu. U menšího poloměru se vyskytovalo rozsáhlé porušení a závaly byly velmi hluboké Obr. 7. Plastifikace byla provedena v parní troubě. Od tohoto poloměru jsme se odrazili a určili si další 2 poloměry pro experiment 150 a 200mm. Dále jsme zjišťovali v jakém směru (rovině) bude nejvhodnější vzorky ohnout, jestli v radiálním nebo



v tangenciálním.

Na Obr. 7 vidíme při pohledu z vrchu vzorek ohýbaný v radiálním směru bez plastifikací. Druhý vzorek je plastifikovaný a je ohýbán v tangenciálním směru. Třetí je ohýbán v radiálním směru, ale s provedenou plastifikací. Poslední vzorek je ohýbaný v tangenciálním směru bez plastifikace. Vzorky byly cíleně namáhány až po úplné porušení. Zjistili jsme hraniční možnosti ohybu borovice.

Obr. 7 Vzorky prvotního experimentu

4.4 Výroba zkušebních tělísek

Desky jsme nakrátili a podélně rozřezali na přířezy. Poté následovalo rovinné a tloušťkové frézování. Dále jsme přířezy nakrátili na potřebný rozměr a uložili je do plastové kádě s vodou.



Obr. 8 Vzorky jsou řádně popsané a svázané do skupin o stejné tloušťce



Obr. 9 Ponořené vzorky

Bělové dřevo jsme dále nerozlišovali od jádrového kvůli podobným mechanickým vlastnostem. Podstatný je co největší počet letokruhů na jeden centimetr. Juvenilní dřevo je tvořeno velmi širokými letokruhy, v nichž je větší podíl jarního dřeva než letního. Počáteční vlhkost vzorků byla 12.8 %. Pro dostatečnou plastifikaci se musela výrazně zvýšit vlhkost vzorků. Jádrové dřevo je špatně propustné a z toho důvodu jsme vzorky máčeli ve vodě. (po prvním týdnu byly vyzkoušeny první vzorky).

4.5 Experiment

Paření vzorků:

Vzorky se tedy nechaly jeden týden máčet ve vodě, aby nabraly vlhkost kolem 27%. Namočené vzorky jsme zvážili a zapsali si jejich hmotnost a označili jsme je. Poté jsme vzorky vložili do parní trouby Obr. 10 a zapnuli při 100 °C po dobu 1 hodiny.



Obr. 10 Parní trouba



Ohýbání:

Po napaření se musí jednat velice rychle, proto je potřeba mít vše připravené. Napařený hranolek jsme vložili do pásnice, v které byl připravený papír. Tento soubor jsme vzali a vložili do přípravku. Přiložili jsme střed matrice k středu vzorku k sobě a přitáhli zámečnickou svěrkou, aby nedošlo k oddělení vzorku od matrice a pásnice, jak jde vidět na Obr. 11. Nepřetržité přitisknutí pásnice k vzorku a matrice je velice důležitou podmínkou pro dobrý výsledek. Poté se truhlářským stužidlem stahuje matrice dolů, dokud nebude matrice maximálně ovinuta, jak vidíte na Obr. 14, Obr. 13, Obr. 12. Poté se vzorek zajistí a stáhne přípravkem. Na Obr. 15 můžeme vidět zafixovaný ohnutý vzorek připravený k sušení.

Obr. 11 Přitisknutí sestavy k pásnici

Mendelova univerzita v Brně



Obr. 13 Poloměr patrice je 120mm



Obr. 14 Poloměr patrice je 200mm



Obr. 12 Poloměr patrice je 150mm

Sušení:

Jak vidíme na Obr. 16 k pásnici jsou fixovány dřevěné špalíky, které nám pomáhají k dokonalému přitlačení čel vzorků. Zabraňují usmyknutí a nerovnoměrnému stlačení v průřezu a tloušťce vzorku. Při ohýbání bez těchto špalíčků docházelo k odklánění železných úhelníků od čel vzorků. Vlivem postupného stahování vzorku s pásnicí dolů a vlivem pouhého dvoubodového opření, které se vytvářelo na přípravku. Bez těchto špalíků by nedošlo k dodržení



Obr. 15 Vzorek o tloušťce 12mm.

pravého úhlu čela u vzorků



Obr. 16 Špalík přilepený k pásnici tlačí na čelo vzorku, aby nedošlo ke smyku letokruhů po sobě

Klimatizace:

V zajištěném stavu se soubor musel nechat vysušit a poté mohlo dojít k povolení. Takto povolené vzorky se nechali týden klimatizovat, aby nedošlo k rozevření, musejí se vložit do fixačního rámu na Obr. 17, Obr. 18



Obr. 17 Fixační rám

5 Výsledky

Zde jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty a výsledky u ohnutých vzorků u jednotlivých průměrů, ANO nebo NE označuje, jestli se ohyb povedl nebo nepovedl.

Tab. 4, Tab. 5, Tab. 6. Značka **ja** - značí dřevo jádrové, **ju** - značí dřevo juvenilní, ANO nebo NE označuje, jestli se ohyb povedl nebo nepovedl.

Tab. 4 Tabulka s hodnotami pro vzorky o tloušťce 12mm

Tloušťka 12mm	m_w [g]	W_{abs} [%]	Druh dřeva	Výsledek ohybu
1.	49,35	45,42	ja	ano
2.	46,20	28,33	ju	ano
3.	47,93	33,14	ja	ano
4.	46,85	30,14	ja	ano
5.	50,70	40,83	ja	ano
6.	46,94	30,39	ja	ano
7.	49,80	38,33	ja	ano
8.	45,95	27,64	ju	ne
9.	46,15	28,20	ju	ano
10.	46,77	29,92	ju	ano
11.	47,91	33,09	ja	ne
12.	53,55	48,75	ja	ne
13.	51,49	43,03	ja	ano
14.	52,73	46,47	ja	ne
15.	50,72	40,88	ja	ano
16.	46,16	28,22	ju	ano
17.	51,15	42,08	ja	ano
18.	48,07	33,51	ja	ano
19.	45,47	26,30	ju	ano
20.	45,40	26,11	ju	ano
Úspěšnost	80%			
Stř. hodnota hmotnosti			48.64g	
Stř. hodnota vlhkosti			35.52%	

Tab. 5 Tabulka s hodnotami pro vzorky o tloušťce 15 mm

Tloušťka 15mm	m_w [g]	W_{abs} [%]	Druh dřeva	Výsledek ohybu
1.	66,32	42,37	ja	ano
2.	63,50	41,11	ja	ne
3.	67,20	49,33	ja	ne
4.	61,89	37,53	ja	ano
5.	59,46	32,13	ju	ano
6.	58,65	30,33	ju	ano
7.	59,10	31,33	ju	ano
8.	67,32	49,60	ja	ne
9.	57,94	28,76	ju	ne
10.	61,70	37,11	ja	ano
11.	59,77	32,82	ja	ano
12.	57,71	28,24	ju	ano
13.	62,97	39,93	ja	ano
14.	63,56	41,24	ja	ano
15.	59,22	31,60	ju	ano
16.	57,80	28,44	ju	ano
17.	66,72	48,27	ja	ne
18.	56,74	26,09	ju	ano
19.	63,51	41,13	ja	ano
20.	64,30	42,89	ja	ano
Úspěšnost	75%			
Stř. hodnota hmotnosti			61,77g	
Stř. hodnota vlhkosti			37,02%	

Tab. 6 Tabulka s hodnotami pro vzorky o tloušťce 20 mm

Tloušťka 20mm	m_w [g]	W_{abs} [%]	Druh dřeva	Výsledek ohybu
1.	76,40	29,37	ju	ano
2.	83,81	39,68	ja	ano
3.	78,90	31,50	ju	ano
4.	82,70	37,83	ja	ne
5.	88,81	48,02	ja	ne
6.	87,85	46,42	ja	ne
7.	83,85	39,75	ja	ano
8.	83,46	39,10	ja	ano
9.	85,43	42,38	ja	ano
10.	89,12	48,53	ja	ano
11.	77,80	29,67	ju	ano
12.	80,98	34,97	ju	ano
13.	85,24	42,07	ja	ne
14.	80,20	33,67	ju	ne
15.	86,71	44,52	ja	ne
16.	79,64	32,73	ju	ano
17.	84,32	40,53	ja	ne
18.	86,21	43,68	ja	ne
19.	88,82	48,03	ja	ano
20.	83,53	39,22	ja	ano
Úspěšnost	60%			
Stř. hodnota hmotnosti			83,67g	
Stř. hodnota vlhkosti			39,58%	

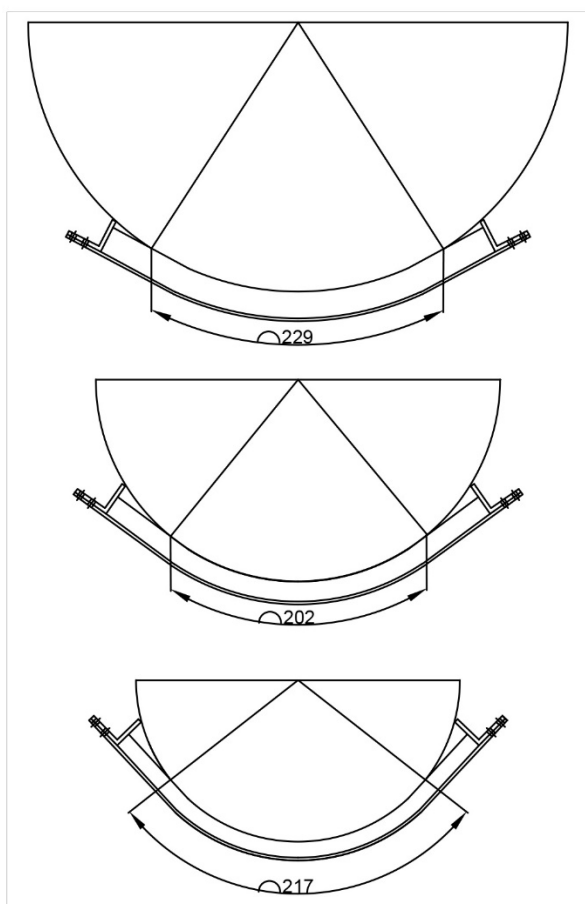
Tab. 7 Shrnuté výsledky

	Jádrové 39 kusů	Juvenilní 21kusů
Počet povedených pokusů ze všech poloměrů	25	18
Celkový počet povedených pokusů	43	
r=200mm	12 kusů	
r=150mm	14 kusů	
r=120mm	17 kusů	

5.1 Kritéria hodnocení

- Reálnost ohybu
- Hloubka závalu a jejich počet na vzorcích
- Barevné znehodnocení

Vzhledem k tvaru a velikosti koncových zarážek pásnice jsme museli hodnocenou oblast omezit jen na část vyznačenou na Obr. 19.



Obr. 19 Vyznačená oblast hodnocení kvality ohybu

Ve vyznačených oblastech byly popsány způsobené vady a podle nich bylo určeno, zda by se dal vzorek považovat za použitelný pro uplatnění v konstrukci po strojním opracování (broušení, frézování) bez nadměrného úběru materiálu, který by kriticky oslabil vzorek. Z předešlého vyplývá, že jsme si museli určit vady, které vzorky postihují a jejich přesné rozměry. Nejčastěji se jednalo o závaly Obr. 25. Které budou a nebudou vyhovovat Tab. 8 a Tab. 7. U prasklin jsme se zaměřili na jejich délku a umístění. Velké množství mělkých

závalů v pravidelné vzdálenosti od sebe se neberou za vadu Obr. 23. Vznikaly praskliny jak na straně vnitřní, tak na straně vnější Obr. 21. Při tvrdém sušení vzorku se vytvořily výsušné trhliny Obr. 20

Dále byly sledovány barevné změny. Barevné změny nastaly, jak vlivem máčení kdy se dřevo vyluhovalo týden, tak vlivem koroze oceli na pásnici při sušení napařených a ohnutých vzorků Obr. 22.

Tab. 8 Uvedené požadavky na kvalitu ohybu

	Hloubka	Délka	Umístění
Závaly	Max 0.5 – 0.8mm		Vnitřní strana ohybu
Praskliny		5 – 10mm	Vnitřní strana ohybu



Obr. 23 Vidíme zde mělké drobné závaly



Obr. 22 Barevná změna po korozi



Obr. 21 Prasklina na vnější straně ohybu



Obr. 20 Výšňové trhliny s výrony pryskyřice

Vlivem zahřívání vzorků se u borovice vytvořily výrony pryskyřice
Obr. 24



Obr. 24 Zde vidíme výrony pryskyřice



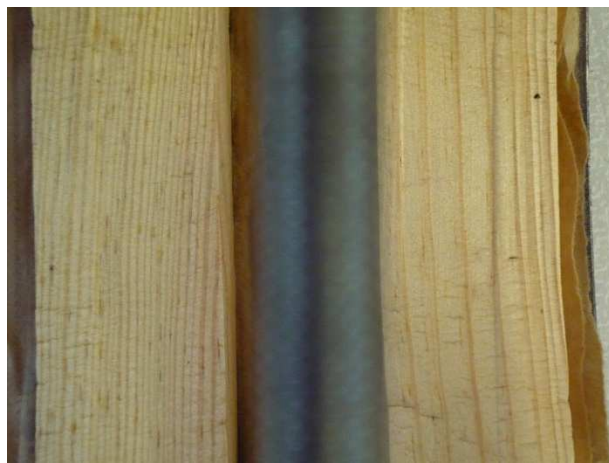
Obr. 25 Závaly hluboké nad 1 mm

5.2 Ohnuté vzorky bez porušení:

Vlivem dodržení potřebné doby namáčení, dostatečné plastifikace napařením a vlastního umu při ohýbání jsme dosáhli použitelných vzorků bez jakéhokoliv zjevného porušení.



Obr. 28 ohnuté poloměry 120mm, 150mm, 200mm



Obr. 26 Vnitřní stran ohybu bez viditelných vad



Obr. 27 Čela vzorků jsou bez porušení, nedošlo ke smyku po letokruzích

6 Diskuze

V diskuzi se chci věnovat srovnání zjištěných informací z uvedené literatury s mými výsledky.

Má borovice vlastnosti vhodné k ohýbání? Toto je otázka, kterou jsem si musel položit již na začátku. Borovice se nehodí na ohyby s malým poloměrem. Je to způsobeno rozdílnou stavbou jarního a letního dřeva a poměrně ostrým přechodem mezi jarním a letním dřevem. Dochází k častému vytváření záhybů (závalů) projevuje se tak zatlačení letního dřeva do jarního. Jarní dřevo s menší hustotou je zhuštěno, jak uvedl Trebula ve své knize (2002). Ale navzdory tomu se nám povedlo ohnout vzorky do poloměru 120mm do 180 ° ohybu. Je otázkou dalšího výzkumu zda by se dala ohnout do stejného poloměru, ale ve 360 ° ohybu.

Jaké jsou vhodné rozměry hranolku k ohýbání? Jako vhodné rozměry jsme si ověřili 12 x 30 x 300mm, 15 x 30 x 300mm, 20 x 30 x 300mm. Nejlepším pravidlem je zde dodržet poměr šířky a tloušťky vzorečku v poměru 2:1

Je rozdíl mezi ohýbáním jádrového a juvenilního dřeva? Jak uvádí Požgaj v knize Štruktúra vlastností dřeva (1997). Dřevo juvenilní není vhodné k ohýbání kvůli nerovnoměrnému obsahu jarního a letního dřeva, kdy jarní vrstva je až 3 větší než zóna letního dřeva. Jarní dřevo má malou hustotu a tím pádem nemůže odolávat příčným deformacím vyvolaným zhušťováním dřeva letního. V Tab. 7 se uvádí výsledky, které nám říkají sic se povedlo vícekrát ohnout dřevo juvenilní než dřevo jádrové. Ale vysvětlují si to tím, že u některých hranolků z jádrového dřeva nebyla dodržena podmínka úplné kolmosti letokruhů k rovině ohybu, což mohlo být příčinou usmyknutí do kosočtvercového tvaru průřezu a tvoření závalů.

V jakém směru je nejvhodnější ohýbat borovici? Z knihy Ohýbaný nábytek od Jaroslava Vaňka (1952) je u kruhovitě pórovitých dřevin lepší ohýbat ve směru radiálním. U jehličnanů a roztroušeně pórovitých dřevin je tomu naopak. Borovice není výjimkou a lze ji bez porušení a ve velké míře ohnout jen ve směru tangenciálním, jak jsme si ověřili experimentem.

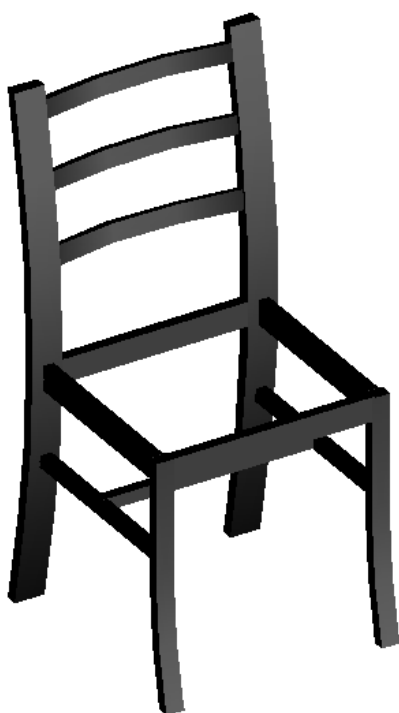
Má vlhkost vzorků vliv na ohýbatelnost? Jak uvedl Vaněk (1952) ve své knize optimální vlhkost pro hranolky k ohýbání je 22 – 32%. Kvůli jádrovému dřevu a jeho schopnosti hůře přijímat vlhkost než běl jsme vzorky máčeli ve vodě. Tím nám vzrostla vlhkost až nad hranici 40%. Možné nepovedené pokusy si zdůvodňuji právě touto vysokou vlhkostí.

omezen poloměr ohybu u borovice? Nejdůležitější podmínkou pro kvalitní ohyb je si určit ideální tloušťku dílce k požadovanému poloměru. Samozřejmě dále platí čím je tloušťka vyšší tím velikost poloměru stoupá. Řekl bych že se zde může jednat o o přímou úměru jak jsme si ověřili experimentálně. Dále je velmi důležité dodržet pravý úhel mezi letokruhy a rovinou tvárnice při samotném ohýbání.

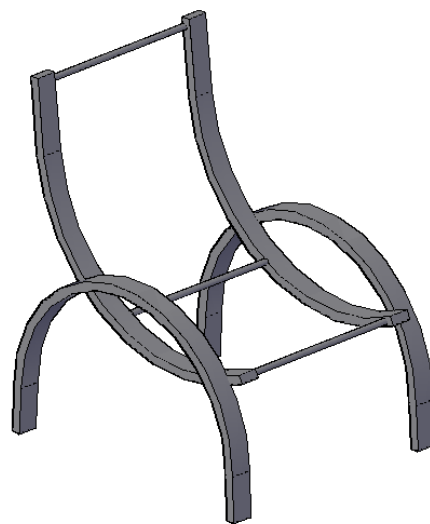
7 Závěr

V závěru se věnuji možnému použití ohýbaných dílců z borovice. Ohýbané dílce z borovice lze použít zejména k výrobě sedacího nábytku a to technologií kombinovanou (ohýbání a řezání) Obr. 30. Můžeme ji použít na výrobu předních nohou, zadních nohou, opěradla a doplnit konstrukci řezanými luby a trnožemi. I v konstrukci křesel. Dále můžeme vyrábět oblá čela zásuvek nebo ohýbané loketníky u křesel. Obecně můžeme uplatnit ohýbané dílce vyrobené z borovice do různých konstrukčních řešení u daného typu nábytku, záleží pouze na daném návrhu a vhodném vyřešení spojení v konstrukci Obr. 29.

Ohýbané dílce z borovice můžeme kombinovat s jinými, lépe ohýbatelnými dřevinami, jako je například buk, dub, nebo jasan. Při konstrukci židle, bych použil ohýbanou borovici pro výrobu nohou a opěrek. A k výrobě ohýbaného sedáku bych použil buk.



Obr. 30 Židle vyrobená řezáním a ohýbáním



Obr. 29 Křeslo ohýbané z borovice

8 Summary

In the end I refer to the possible use of the bent components made of pine. The bent parts from pine can be used by combined technology primarily in the manufacture of seating furniture (bend, cut) Fig. 30. It can also be used for production of front legs, hind legs, back and sides cut to complement the design and ties. Regarding the design of the seats, we can also produce rounded drawers or bent elbow seats. Generally we use curved panels made of pine for various designs. The type of furniture depends only on the design and convenient connections in resolving construction Fig. 29 parts of pine can be combined with other, more bendable trees such as beech, oak or ash. When designing the chair, I would use the bent pine for the manufacture of foot and armrests. For the manufacture of bent seat I would use beech.

9 Citovaná literatura

Horáček, P. (2008). Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. V P. Horáček, *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I.*

Larson et. al. (2001). Formation and Properties of Juvenile woodin souther pines. V e. a. Larson, *Formation and Properties of Juvenile woodin souther pines.*

Merenda, L. (2006). *Využití multifunkčního experimentálního autoklávu.* Brno.

Požgaj et. al., A. e. (1997). Štruktúra vlastností dřeva. V A. e. Požgaj, *Štruktúra vlastností dřeva.*

RNDr. Libuše Gandelová et.al. (2002). *Nauka o dřevě.* Brno: Medelova zemědělská a lesnická univerzita.

Trávník et. al. (2007). *Technologické procesy výroby nábytku.* Brno: Skripta. MZLU.

Trebula, e. (2002). *Sušení a hydrotermická úprava dřeva.*

Vaněk, J. (1952). Ohýbaný nábytek. V J. Vaněk, *Ohýbaný nábytek*.
Praha : Průmyslové vydavatelství.

10 Seznam obrázků:

Obr. 1 Na obrázku vidíme směr příčná a dva směry podélné radiální a tangenciální. (htt6).....	9
Obr. 2 Na obrázku vidíme seschnutí dřeva v různých příčných směrech (RNDr. Libuše Gandelová et.al., 2002).....	10
Obr. 3 Závislost hustoty na šířce letokruhu (Horáček, 2008).....	11
Obr. 4 Zobrazení deformace hranolku v jednoduchém ohybu. (a nedeformovaný nosník, b, c deformovaný nosník. (Požgaj et. al., 1997).....	13
Obr. 5 Autokláv a jeho konstrukce. 1 - pařící autokláv, 2 - perforovaný rošt, 3 - perforovaná trubička pro přívod páry, 4 - víko, 5 - izolace, 6 - manometr, 7 - teploměr, 8 - těsnění, 9 - otočné rameno uzávěru, 10 - výkyvný přítlačný trn uzávěru, 11 - uzávěr, 12 - stavoznak, 13 - kondenzační přístroj, 14 - páka na zajištění uzávěru a současné regulování přívodu páry a odvzdušnění, 15 - odvzdušňovací trubička.....	21
Obr. 6 Zobrazení deformačních zón v délce přířezu	27
Obr. 7 Vzorky prvotního experimentu.....	37
Obr. 8 Vzorky jsou řádně popsány a svázané do skupin o stejné tloušťce	38
Obr. 9 Ponořené vzorky.....	38
Obr. 10 Parní trouba	39
Obr. 11 Přitisknutí sestavy k pásnici.....	40
Obr. 14 Poloměr patrice je 150mm.....	41
Obr. 12 Poloměr patrice je 120mm.....	41
Obr. 13 Poloměr patrice je 200mm.....	41
Obr. 15 Vzorek o tloušťce 12mm	42
Obr. 16 Špalík přilepený k pásnici tlačí na čelo vzorku aby nedošlo ke smyku letokruhů po sobě.....	45
Obr. 17 Fixační rám	45
Obr. 18 Fixační rám - každý druh vzorků musel mít vlastní kvůli rozdílným rozměrům.....	45
Obr. 19 Vyznačená oblast hodnocení kvality ohybu	50
Obr. 20 Výsušné trhliny s výrony pryskyřice.....	52
Obr. 21 Prasklina na vnější straně ohybu.....	52

Obr. 22	Barevná změna po korozi	52
Obr. 23	Vidíme zde mělké drobné závaly	52
Obr. 24	Zde vidíme výrony pryskyřice	53
Obr. 25	Závaly hluboké nad 1 mm.....	53
Obr. 26	Čela vzorků jsou bez porušení, nedošlo ke smyku po letokruzích.....	55
Obr. 27	Vnitřní stran ohybu bez viditelných vad.....	55
Obr. 28	ohnuté poloměry 120mm, 150mm, 200mm	55
Obr. 29	Křeslo ohýbané z borovice	58
Obr. 30	Židle vyrobená řezáním a ohýbáním.....	58