

**Mendelova univerzita v Brně**

**Lesnická a dřevařská fakulta**

**Ústav nauky o dřevě**

**Analýza vad vzniklých při strojním ohýbání bukových  
hranolků**

Diplomová práce

**2014/2015**

**Bc. Jitka Ondroušková**

### **Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem práci: *Analýza vad vzniklých při strojním ohýbání bukových hranolků* zpracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím 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 a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací. Jsem si vědoma, 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:..... podpis studenta

**Poděkování:**

Poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Aleši Dejmalovi, Ph.D. za trpělivost, cenné rady a odborné vedení. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům TPV a ohýbárny firmy Ton a.s. za umožnění pozorování a měření a za postřehy k problematice. V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za podporu během mého studia.

# Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá analýzou podmínek a parametrů vstupujících do vybraných operací při ohýbání bukových hranolků. Dále jsou v práci definovány požadavky na vlastnosti a kvalitu materiálu. Analýza byla provedena na operaci plastifikace pařením a na operaci ohýbání na ohýbačce s otočným jádrem. Dále popisuje a vymezuje vliv vytipovaných faktorů na vznik a charakter vad.

Měření a pozorování bylo provedeno ve výrobním závodě Ton a.s. V závěru práce byly vyvozeny obecné závěry v konfrontaci s literaturou zabývající se daným tématem v minulosti.

**Klíčová slova:** bukové dřevo, deformace, ohýbání, plastifikace, trhlina, vybočení vláken

This thesis analyzes the conditions and parameters entering the selected operations while bending beech scantlings. Then it deals with the requirements for the properties and quality of the material. The analysis was performed on the plasticization steaming operation and the bending operation on the bending machine with rotating core. It also describes and clarifies the effect of selected factors on the origin and nature of the defects.

The measurements and observations were carried out at the factory Ton plc. The general conclusions confronted with the literature concerned with the topic in the past were inferred in the end of the thesis.

**Key words:** beech wood, bending, buckling, cracking, deformation, plasticization

## Obsah:

Úvod.....	7
Cíl práce.....	8
Současný stav řešené problematiky .....	9
1 Tvarování dřeva ohýbáním .....	9
2 Materiál vhodný k ohýbání .....	10
2.1 Charakteristické znaky dřeva z pohledu ohýbání.....	10
2.2 Chemické složení dřeva .....	11
2.3 Struktura dřeva .....	11
2.4 Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva.....	12
2.5 Požadavky na materiál pro ohýbání .....	17
3 Plastifikace.....	21
3.1 Princip plastifikace.....	21
3.2 Dělení metod plastifikace.....	22
3.3 Hydrotermická plastifikace .....	23
4 Ohýbání.....	26
4.1 Princip ohýbání .....	26
4.2 Způsoby ohýbání .....	28
4.3 Popis základního vybavení.....	28
4.4 Parametry ohybu .....	30
4.5 Faktory ovlivňující kvalitu ohybu .....	31
5 Sušení a stabilizace .....	32
5.1 Vady vysušeného dřeva.....	32
5.2 Faktory ovlivňující kvalitu stabilizovaného dílce .....	35
6 Klimatizace .....	36
Praktická část .....	37
7 Popis současného stavu.....	37
7.1 Příprava přířezů.....	37
7.2 Plastifikace .....	38
7.3 Ohýbání .....	38
8 Materiál.....	41
9 Metodika .....	42
9.1 Zjištění hodnot podmínek a faktorů .....	42

9.2	Klasifikace vad.....	44
9.3	Analýza zmetků.....	45
9.4	Měření vlivu vytipovaných faktorů na vznik a charakter vad.....	45
10	Výsledky .....	48
10.1	Souhrn měřených podmínek a faktorů .....	48
10.2	Analýza vad .....	50
10.3	Analýza zmetkovitosti .....	55
10.4	Stanovení vlivu vybraných faktorů na výskyt a charakter vad.....	57
11	Diskuze .....	63
12	Závěr .....	70
	Summary .....	72
	Seznam citované literatury.....	74
	Internetové zdroje .....	75
	Zdroje obrázků .....	75
	Seznam tabulek .....	76
	Seznam obrázků .....	76
	Přílohy.....	78

# Úvod

Dřevo patří do skupiny nejstarších materiálů. Pro své nezaměnitelné vlastnosti bylo v minulosti velmi ceněno. A dnes se těší opětovné oblibě díky jeho jedinečnosti, všestrannosti a také nenáročné ekologické likvidaci, v posledních letech ostře sledovanému faktoru pro výběr materiálu. Přispívá k tomu i fakt, že je dřevo relativně snadno obnovitelným a dostupným zdrojem.

Firmy investují nemalé finanční prostředky do zlepšování technologií, aby eliminovaly nedostatky, se kterými se dřevo díky svému anizotropnímu charakteru a hygroskopicitě nesporně potýká.

Přestože přibývá nových technologií a postupů posouvajících hranici nemožného vždy o kousek dál, některé staré technologie a postupy nejsou opouštěny. Naopak se u starších technologií ctí jejich tradice a hledají se cesty, jak je vylepšit při zachování jejich podstaty.

Z hlediska stavby je dřevo biopolymer, jehož největší výhodou je pevnost při relativně nízké hmotnosti. Lze ho tvarovat různými způsoby, ohýbání je ale jedním z technologicky zajímavějších procesů. Schopnost dřeva dočasně měnit svůj charakter, nechat se bez porušení tvarovat a poté si tento vtisknutý tvar zachovat, bylo od počátku objevení této technologie velkou výzvou. A touto výzvou zůstává dodnes, protože je stále co zlepšovat a stále optimalizovat podmínky v souladu s novým poznáním vnitřního fungování a stavby dřeva.

Práce se dřevem se může jevit jako nevděčná, protože každý hranolek je soubor jedinečných vlastností a kombinací vlivu podmínek, kterým byl, je a bude vystaven. Přesto se za tuto práci dřevo odmění.

## **Cíl práce**

Cílem práce je pozorování a měření vytipovaných parametrů při operaci plastifikace hydrotermickou úpravou a operaci ohýbání na stroji s otočným jádrem pro výrobu sedákového ohybu. Dále posouzení vlivu parametrů na výskyt a charakter vad ohýbaných dílců.

Práce je rozdělena na teoretickou část, která sloužila jako podklad k dané problematice, na jehož základě byla stanovena metodika práce.

Praktická část pak obsahuje výsledky pozorování a měření a diskuzi, kde jsou výsledky konfrontovány s literaturou.



# Současný stav řešené problematiky

## 1 Tvarování dřeva ohýbáním

Požadovaného tvaru dílce, jehož základem je polotovár-přířez, je dosahováno tvarovým opracováním přířezu, při kterém se odstraňují tvarové a rozměrové odchylky mezi přířezem a dílcem. Technologickými procesy tvarování je dosaženo požadovaného tvaru, konstrukce, funkce a vlastností (Trávník, 2007).

- Třískový způsob tvarování- dochází k odebrání materiálové hmoty (řezání, frézování, soustružení, vrtání)
- Beztrískový způsob tvarování - nedochází k odebrání materiálové hmoty (ohýbání, lisování, lamelování, obrábění laserem)

Ohýbání je založeno na schopnosti dřeva se plasticky deformovat vlivem působení vnějších sil. Tato schopnost dřeva se zvyšuje plastifikací, procesem, ve kterém působením plastifikačního činidla je znásobena na určitou dobu plasticita dřeva. Po ohnutí se tyto tvarové změny fixují stabilizací sušením, čímž se tvarové změny stanou nevratnými (Trávník, 2007).

### Výhody

Ohýbáním dochází ke zvýšení pevnosti a tuhosti dílců. Povrch ohýbaných dílců je celistvý a kvalitnější oproti dílcům tvarovaných řezáním. Na dílcích je zachován průběh vláken, což zvyšuje estetickou hodnotu výrobku.

Ve vztahu k přířezu má ohýbání vysoké procento výtěžnosti, tím je ohýbání téměř bezodpadovou operací [1].

### Nevýhody

Jedná se o složitější technologii. Vysoké nároky jsou kladeny na kvalitu materiálu, což způsobuje nízkou výtěžnost kulatiny a zvyšuje ekonomickou náročnost. Důležitým faktorem je zkušenost a odbornost pracovníků.

## **2 Materiál vhodný k ohýbání**

Materiál spolu s technologií zásadně ovlivňuje tvorbu, kvalitu a tvar výsledného výrobku. Hodnocení materiálu je komplikováno různými pohledy zájmových skupin v průběhu celého procesu. Dle těchto zájmů je na materiál nahlíženo jako na činitel technický, ekonomický a estetický. Přirozeně dochází ke konfliktu mezi těmito směry. A cílem je dosáhnout maxima ve všech těchto oblastech. Výsledkem je výrobek splňující požadovanou odolnost, vzhled, konkurenceschopnost, dále pak hygienickou a ekologickou nezávadnost (Trávník, 2008).

### **2.1 Charakteristické znaky dřeva z pohledu ohýbání**

#### **2.1.1 Anizotropie**

Rozdílnost vlastností vychází z rozdílné stavby dřeva v základních směrech. Vlastnosti dřeva jsou tak závislé na orientaci a také směru základních stavebních elementů a vazebných sil mezi nimi. Důsledky anizotropie jsou viditelné především na rozměrových změnách dřeva a při mechanickém namáhání.

#### **2.1.2 Pórovitost**

Pórovitost dřeva je dána póry ve dřevě, které tvoří propojený kapilární systém umožňující prostup tekutiny. Prostupnost tekutin je ovlivněna obsahem doprovodných látek nebo tyln, které uzavírají lumény buněk. Tekutina (např. voda) neprostoupí dřevo rovnoměrně.

#### **2.1.3 Hygroskopicita**

Hygroskopicita dřeva je schopnost dřeva měnit svou vlhkost dle vlhkosti okolního prostředí, kterému je vystaveno. Důsledkem toho dochází ve dřevě k rozměrovým změnám (sesychání a bobtnání), dále ke změnám pevnosti a pružnosti při mechanickém namáhání.

#### **2.1.4 Nehomogenita**

Nehomogenita dřeva vzniká již na jeho mikroskopické úrovni a projevuje se na úrovni makroskopické. Pevnost dřeva je ovlivněna podíly letního a jarního dřeva letokruhu. Dále se liší prostupnost vody letním a jarním dřevem. Dalším příkladem je výskyt vad ve dřevě (Gandelová et al. 2009).

## **2.2 Chemické složení dřeva**

### **2.2.1 Celulóza**

Stavba celulózy a její vazby jsou důvodem anizotropních vlastností dřeva, má podobu řetězce biocenóz, které jsou spojeny kovalentními vazbami.

Tento řetězec má krystalický, místy amorfní charakter. Krystalická místa nepřijímají vodu ani rozpouštědla a voda se tak dostává do buňky vodíkovou vazbou na volné hydroxylové skupiny v amorfních částech celulózy. Platí, že čím je delší polymerový řetězec, tím vyšší je pevnost dřeva. Obecně je celulóza odolná v tahu, právě díky kovalentním vazbám. Naopak vodíkové můstky dodávají řetězci tuhost v případě nárazu a schopnost tuto deformaci absorbovat bez porušení vláken.

### **2.2.2 Hemicelulóza**

Sacharidová složka dřeva s kratšími polymerními řetězci. Většinou jsou tyto řetězce amorfní a lze je snadno hydrolyzovat. Slouží tedy k penetraci buněčných stěn pro přístup vody a dalších látek do buňky.

### **2.2.3 Lignin**

Lignin zabezpečuje dřevnatění buněčných stěn. Jeho struktura je velmi složitá. Významný je jeho termoplastický charakter. Jeho hlavní funkcí je spojení vláken mezibuněčných vrstev, dále zpevnění molekul celulózy v rámci buněčné stěny. Lignin dodává dřevu pevnost, především v tlaku (Požgaj et al. 1997).

## **2.3 Struktura dřeva**

### **2.3.1 Letokruhy**

Tloušťkové (radiální) přírůstky dřeva v jednom vegetačním období. Průběh letokruhů v dílci ovlivňuje pevnost dřeva při namáhání na ohyb tlakem. Velmi výrazné letokruhy a rozdílné přírůstky letního a jarního dřeva zmenšují vhodnost k ohýbání (Trávník, 2008).

### **2.3.2 Běl**

Běl je vnější část kmene. Obsahuje živé buňky v dřevním parenchymu. Funkcí běle je vedení vody s obsahem rozpuštěných minerálních látek od kořenů k listům. Je méně odolná proti hnilobě a napadení hmyzem než jádro.

### **2.3.3 Jádro**

Jádro je vnitřní část kmene. Obsahuje méně vody než běl, kvůli své nízké propustnosti, a při sušení sesychá méně. Obsahuje doprovodné látky např. pryskyřice (jehličnany), třísloviny, barviva. U některých dřevin (např. buk, bříza, javor) se jádro netvoří pravidelně, ale vzniká jako výsledek porušení procesů ve dřevě v důsledku působení biotických a abiotických činitelů. Takové jádro označujeme jako nepravé a řadíme jej k vadám dřeva.

### **2.3.4 Dřeňové paprsky**

Dřeňové paprsky jsou složeny z parenchymatických buněk a jsou uloženy kolmo na podélnou osu kmene. Zastávají zásobní a vodivou funkci. Dřeňové paprsky mají všechny dřeviny. Šířka a výška dřeňových paprsků a také jejich podíl ve dřevě záleží na druhu dřeviny a v rámci jednoho druhu na podmínkách pro růst. Dřeňové paprsky mají vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Především významně určují štípatelnost (Gandelová et al. 2009).

## **2.4 Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva**

### **2.4.1 Hustota**

Hustota dřeva je definována jako podíl hmotnosti dřeva a jeho objemu. Jednotkou hustoty je  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  nebo  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Hmotnost i objem dřeva jsou v důsledku hygroskopicity proměnlivé a je obtížné je přesně určit.

Hustota dřevní substance je vyjádřena jako poměr dřevní substance (hmota buněčných stěn bez submikroskopických dutin) a příslušného objemu. Hodnoty se pohybují v rozmezí 1460 až 1570  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a jsou závislé na chemickém složení dřeva. Tato veličina je důležitá při výpočtech pórovitosti dřeva, maximální vlhkosti (nasáklivosti) a technologických procesech impregnace dřeva.

Celková hustota dřeva zahrnuje i objem pórů, tedy objem mezibuněčných prostor a lumenů. Její hodnota je dána výpočtem poměru hmotnosti a objemu dřeva při

dané vlhkosti. Vlivem vlhkosti se hustota dřeva mění, ale objem a hmotnost nerostou stejným způsobem. Hmotnost dřeva roste až do maximálního nasycení buněčných vláken (BNV). Objem dřeva roste pouze do meze hygroscopicity (MH), a dále už k jeho změnám nedochází. Hustota dřeva se tedy zjišťuje pro hodnoty hustoty absolutně suchého dřeva a pro hustotu dřeva při určité vlhkosti. Většina parametrů a vlastností dřeva jsou obecně udávány pro vlhkost 12 %. Pro hustotu absolutně suchého dřeva je udáváno rozpětí 130 až 1360 kg.m<sup>-3</sup>.

Hustotu také ovlivňuje podíl jarního a letního dřeva v letokruzích. Jarní dřevo má nižší hustotu, než dřevo letní. U listnatých druhů dřev je obecně větší podíl letního dřeva. U dřev jehličnatých je více jarního dřeva a s rostoucí šířkou letokruhů se jeho podíl ještě zvyšuje.

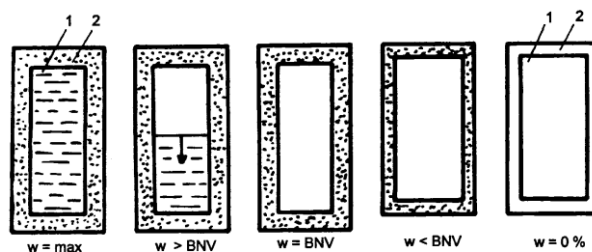
Hustota ovlivňuje pórovitost dřeva. Čím větší je hustota dřevní substance, tím menší je objem pórů, respektive tím méně je dřevo tvarově nestálé v důsledku působení vlhkosti (Gandelová et al. 2009).

#### **2.4.2 Vlhkost**

Vlivem hygroscopicity přijímá dřevo ze svého okolí kapaliny v kapalném i plynném skupenství. Z praktického hlediska je nejdůležitější kapalinou voda. Dřevo téměř vždy vodu v některé z forem obsahuje. S obsahem vody ve dřevě se pojí změny hustoty, často dochází k negativnímu ovlivnění vlastností dřeva, dochází k rozměrovým změnám (bobtnání a sesychání), snižuje se odolnost dřeva vůči biotickým činitelům (Gandelová et al. 2009).

Voda ve dřevě je rozdělena dle charakteru vazby na dřevní hmotu:

- Voda chemicky vázaná - jako součást chemických sloučenin
- Voda vázaná - v buněčných stěnách anatomických elementů
- Voda volná - v buněčných a mezibuněčných prostorech



1 – lumen, 2 - buněčná stěna

**Obr. 1** Rozložení vody v buňce při různé vlhkosti (Trebula, 2002)

Voda volná se nachází v buněčných a mezibuněčných prostorách, a to po dosažení meze nasycení buněčných vláken (BNV), tedy po zaplnění buněčných stěn vodou vázanou. Množství vody volné ve dřevě se pohybuje od bodu BNV až po úplné nasycení vodou a může přesahovat i 100 %. Záleží na objemu lumenů buněk a mezibuněčných prostorů.

Voda vázaná je součástí buněčných stěn, kde je poutána vodíkovými vazbami. Pohybuje se v rozmezí 0 % až 30 % (BNV). Mez nasycení buněčných vláken je tedy stav, kdy buňky obsahují pouze vodu vázanou a žádnou vodu volnou, pro naše dřeviny je uváděno rozmezí 22 až 35 % (Požgaj et al. 1997).

Absolutní vlhkost  $w_{abs}$  je dána podílem hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu. Mluvíme-li o relativní vlhkosti  $w_{rel}$ , ta je dána podílem hmotnosti vody a hmotnosti vlhkého dřeva (Gandelová et al. 2009).

Pokud je dřevo vystaveno po delší dobu konstantním podmínkám (teplota a relativní vzdušná vlhkost), dochází k ustálení jeho vlhkostní rovnováhy. Tento stav je nazýván rovnovážnou vlhkostí dřeva. Vztah vlhkosti dřeva a relativní vlhkosti vzduchu popisuje sorpční izoterma.

Vlhkost dřeva pro výrobu nábytkářského dílce se pohybuje od 8-10 %. Do závodů se však dřevo dodává s jinou počáteční vlhkostí a na požadovanou vlhkost je třeba jej vysušit. Proces sušení a přípravy na výrobu musí být proveden s ohledem na rizika vzniku trhlin, borcení, zkornatění nebo nežádoucího zbarvení dřeva. Dále je důležité udržet dosaženou vlhkost v průběhu dalšího opracování a nevystavovat dřevo extrémním podmínkám. Proto je třeba sledovat klimatické podmínky ve výrobních prostorách a meziskladech (Trávník, 2008).

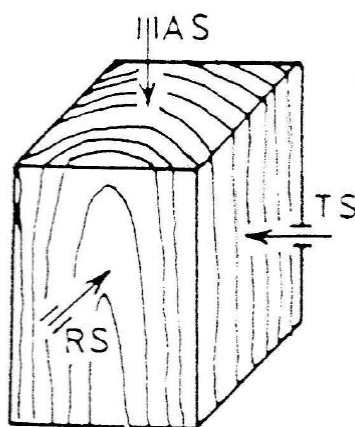
### 2.4.3 Rozměrové změny

Dřevo je porézní materiál, a je schopné zvyšovat nebo snižovat svoji vlhkost přijímáním či odevzdáváním vody vázané v rozsahu 0 % až BNV v podmínkách, kterým je vystaveno. V závislosti na změně obsahu vody mění také své rozměry. Tyto objemové změny mohou být různé a záleží jak na druhu dřeviny, tak na uložení dřevních vláken v dílci. Obecně lze říci, že především sesychání (respektive bobtnání) v radiálním a tangenciálním směru není zanedbatelné (Trávník, 2008).

Rozeznáváme bobtnání (sesychání) lineární (v jednotlivých anatomických směrech), plošné (změna plochy těles) a objemové (objemové změny tělesa). Tyto změny jsou popsány koeficienty, které vyjadřují podíl změny rozměrů k původnímu rozměru (Gandelová et al. 2009).

### 2.4.4 Pevnost a modul pružnosti

Dřevo má anizotropní charakter a jeho vlastnosti se liší podle směru dřevních vláken. U dřeva pro ohýbání je nejdůležitější vlastností pevnost v ohybu a modul pružnosti. Pevnost dřeva vyjadřuje odolnost dřeva proti trvalému porušení vlivem působení vnější síly. Mez pevnosti je pak definována napětím, při kterém dojde k porušení struktury dřeva. Negativně na ni působí přirozené vady dřeva (suky, hniloba), dále je negativně ovlivněna nevhodným zpracováním dřeva (Trávník, 2008).



AS – axiální směr

TS – tangenciální směr

RS – radiální směr

Obr. 2 Základní směry ve dřevě (Gandelová et al. 2009)

#### **2.4.4.1 Pevnost v tahu**

Rozlišujeme pevnost v tahu ve směru podél a napříč dřevních vláken. Porušení tělesa při namáhání v tahu podél vláken se projevuje roztržením dřevních elementů v namáhané vrstvě. Tahová pevnost je ovlivněna pevností kovalentních vazeb mezi elementy a je redukována podílem amorfni části celulózy a přítomností dřeňových paprsků. U dřeva vysoké pevnosti je porušení charakteristické vláknitou nebo třískovou strukturou. U dřeva s menší pevností je porušená část schodovitá až hladká. Pevnost v tahu napříč vláken má nejmenší hodnoty oproti ostatním typům pevností. Význam má při stanovení režimu sušení, kdy je třeba zohlednit velikost vnitřních napětí a eliminovat tak vznik vnitřních trhlin (Gandelová et al. 2009).

#### **2.4.4.2 Pevnost v tlaku**

Rozlišujeme pevnost v tlaku ve směru podél a napříč dřevních vláken. Působení síly ve směru vláken vyvolá deformace, projevující se zkrácením délky tělesa. Důležitými faktory jsou hustota a vlhkost dřeva. U suchého dřeva s vysokou hustotou a vysokou pevností vzniká porušení formou smýknutí vrstev dřeva proti sobě.

U vlhkého dřeva s nízkou hustotou a nízkou pevností dochází ke stlačení vláken na čelech a k vybočení stěn namáhaného tělesa. Působením tlaku na dřevo napříč vláken nedochází k porušení přířezu, ale k deformaci a zhušťování dřevní struktury (Gandelová et al. 2009).

#### **2.4.4.3 Pevnost v ohybu**

V praxi je sledována pevnost napříč vláken. Mez pevností v ohybu v tangenciálním a v radiálním směru nevykazuje významné rozdíly. Při zatížení přířezu na ohyb, vzniká na konkávní straně tlak a na konvexní straně tah. Mezi tahovým a tlakovým napětím pak vzniká i napětí smykové jako důsledek jejich působení.

Pevnost dřeva v tlaku je menší než pevnost dřeva v tahu, a proto nejprve vznikají deformace tlakem. Deformace v tlakové zóně se projevují vybočením vláken a záhyby.

Konečné porušení v tahové zóně se projevuje po překročení meze pevnosti odštěpením vnějších vláken až po úplné zlomení tělesa. Dřevo křehké s nízkou pevností má téměř hladký zlom. Houževnaté dřevo s vysokou pevností má zlom třískovitý až vláknitý (Gandelová et al. 2009).



**Tab. 1 Průměrné hodnoty vlastností dřeva běžných listnatých dřevin (Trávník, 2008)**

Vlastnosti	Měrná jednotka	Dřeviny		
		buk	dub	jasan
Hustota				
při 15 % vlhkosti	g.cm <sup>-3</sup>	0,72	0,69	0,69
při 0% vlhkosti	g.cm <sup>-3</sup>	0,68	0,65	0,65
Lineární sesýchavost od bodu nasycení vláken absolutně suchému stavu				
podél vláken	%	0,3	0,4	0,2
radiálně	%	5,8	4	5,8
tangenciálně	%	11,8	7,8	8
Pevnost v tlaku při 12 % vlhkosti				
podél vláken	MPa	62	65	52
napříč vláken	MPa	9.10	11	11
Pevnost v ohybu při 12 % vlhkosti	MPa	123	110	120
Modul pružnosti v ohybu při 12% vlhkosti	GPa	16	13	13,4
Pevnost ohybu rázem při 12% vlhkosti	MPa	0,1	0,06	0,068

## 2.5 Požadavky na materiál pro ohýbání

### 2.5.1 Druh dřeviny

V zásadě lze ohýbat všechny dřeviny. Nejvhodnější pro ohýbání jsou ale dřeviny listnaté, tvrdé s roztroušenou a kruhovitě pórovitou stavbou. Například buk, dub, jilm, jasan a další. Nejpoužívanější dřevinou je buk, především pro jeho relativně snadnou dostupnost, dostatek množství a v porovnání s jinými listnatými dřevinami má příznivější cenu (Vaněk, 1952).

Modifikací lze dosáhnout požadovaných vlastností i u jiných dřevin a tím rozšířit možnosti jejich použití. Gáborik et. al (2004) ve své analýze srovnává ohybové schopnosti buku s dřevem topolu. Z hlediska ohybových vlastností je dřevo topolu vhodné, ale samostatně se kvůli jeho měkkosti, nižší pevnosti a problematickému obrábění použít nedá. Je tu však možnost kombinace s jinými dřevinami a jiných typů produktů. Dále je možnost zvýšení hustoty a tvrdosti dřeva kompresí.

## **Dřevo buku**

Buk má dřevo středně tvrdé, těžké a dobře štípatelné. Dřevo má narůžovělou barvu, ale vlivem fotodegradace přechází do žluta až hněda. Podléhá vlivu vlhkosti a reaguje rozměrovými změnami a borcením. Běžně rostlý a zdravý buk neobsahuje jádro. Tvoří se u něj nepravé jádro. Nepravé jádro vzniká v zóně vyzrálého dřeva, nebo ve středové části kmene bělových dřevin s roztroušeně pórovitou stavbou dřeva. Kromě buku nepravé jádro vzniká ve větší míře také u břízy. Nepravé jádro má nepravidelný tvar, charakteristické zbarvení se zřetelným rozhraním.

Vlivem stavby základních elementů, má buk rovnoměrně rozloženou hustotu letního a jarního dřeva (Vaněk, 1952).

### **2.5.2 Vlhkost**

Vlhkost materiálu je určena operací plastifikace, kdy je za neoptimálnější vlhkost považována 25-30 %, což je vlhkost pod MNBS. Pro vstupní vlhkost do operace plastifikace je pak považována limitní vlhkost 19%, při nižší vlhkosti se proces plastifikace zbytečně prodlužuje. Příčný průřez hranolku ovlivňuje dobu, po kterou je třeba dřevo plastifikovat pro dosažení požadovaných vlastností pro ohyb (Trávník, 2008).

### **2.5.3 Anatomická stavba**

Z anatomického hlediska je žádoucí, aby ohýbané dřevo mělo co nejdelší vlákna, rovnoměrnou šířku letokruhů a kruhovitě pórovité dřeviny minimální podíl jarního dřeva. Optimální šířka letokruhu asi 2 až 3 mm, nejvhodnější je dřevo staré do 80 let. Hranolky by v rovině ohýbání neměly mít větší odklon vláken než 1°, v boční rovině pak do 10° (Trávník, 2008).

Nejvhodnější je dřevo ze zimní těžby ze spodní části kmene. Nežádoucí je dřevo s obsahem jádra, rychle nebo naopak pomalu rostené dřevo (nestejněměrné letokruhy) nebo dřevo přestárlé (Trebula, 2002).

### **2.5.4 Vady dřeva**

Gandelová et al. (2009) definuje vadu dřeva jako odchylku od normální stavby dřeva, která se projevuje vnější změnou a také změnou struktury, výsledkem je negativní dopad na účelové využití.

Obecně jsou vady dřeva výsledkem procesu růstu stromu, procesu těžby, manipulace nebo uskladnění dřeva. V procesu růstu stromu jsou vady způsobovány dědičnou dispozicí, nesprávnými pěstebními a těžebně pěstebními zásahy, vlivem biotických (dřevokazné houby a hmyz, ptactvo) nebo abiotických činitelů (teplota, vítr, sníh, oheň).

Plíseň je nežádoucí. Materiál s projevy hniloby je také nežádoucí, ale na tahové straně se hniloba prvního stádia může vyskytovat. Nepravé jádro může být v 1/3 přířezu, při ohybu tak, že na tahové straně je bělová část.

Zapařený a tmavý materiál se může použít pro ohyby tmavých odstínů. Zapařený materiál má sníženou schopnost ohybu a ohýbá se při menším koncovém tlaku. Je nutné ale prodloužit u takovýchto přířezů dobu paření, ta způsobuje tmavnutí dřeva. Vlasové trhliny jsou povoleny. Suky jsou kvůli odklonu vláken ve svém okolí a rozdílným mechanickým vlastnostem nežádoucí. Eventuelně se může přistoupit k ohybu dřeva se sukou do 5 mm, bez narušení estetických požadavků na výrobek. Odklon vláken v rovině ohybu maximálně 3 až 4°, v boční rovině až 10°. Vlnitý průběh letokruhů a závitky nejsou dovoleny. Důležité je dodržení rozměrů, protože odchylky mají negativní vliv na působení a rozložení koncového tlaku (Trebula, 2002).

Zdravé nepravé jádro je považováno za estetickou vadu a u kvality A není povoleno (Tab. 2). Ve dřevě je provázáno ucpáváním cév a tím zhoršuje prostupnost vlhkosti. Ostrá jádra (plamencovitá, hvězdovitá) ukazují na určitý stupeň hniloby, a řadí se do skupiny vad způsobených houbami (Trávník, 2007).

Tab. 2Přípustné vady dřeva u bukových hranolků pro ohýbání (Trávník, 2008)

Přípustné vady dřeva u bukových hranolků			
Druh vady	Kvalita A	Kvalita I	
<b>suky</b> zdravé úplně srostlé (nesmí být černé)	povolují se na hranolcích určených k soustružení v místech, která se odstraní dalším opracováním	povoluje se jeden na 500 mm délky hranolku do průměru 5 mm (větší na místech, která budou odstraněna další opracováním)	
<b>nepravé jádro</b> okrouhlé, jednoduché zdravé	není povoleno	je povoleno, pokud rozsah nepřesahuje 1/2 povrchu u 30% dodaných kusů	
<b>plíseň</b>	není povolená	není povolená	
<b>zbarvení</b> neorganického původu	povoluje se do hloubky 1 mm		
<b>trhliny</b>	vlasové	povolují se do hloubky 1 mm a délky 10 mm	
	ostatní	na plochách a na bocích se nepovolují; trhliny přecházející z čel na plochu a boky se dovolují, pokud jejich hloubka nepřesahuje přírůstek na délku	
<b>odklon vláken</b>	povoluje se 3%	povoluje se 8%	
<b>vlnitý průběh letokruhů</b>	nepovolují se	nepovolují se	
<b>zakřivení</b>	<b>podélné</b>	povolují se, pokud výška oblouku nepřesahuje:	povolují se, pokud výška oblouku nepřesahuje:
		u přířezů délky 200 až 500mm 3 mm	5 mm na 1 m délky přířezu
		u přířezů délky 510 až 900 mm 7 mm	
		u přířezů délky 910 až 1200 mm 10 mm	
		u přířezů délky 1210 až 1500mm 20 mm	
	u přířezů délky nad 1500 mm 40 mm		
	<b>podélné dvojité</b>	nepovoluje se	nepovoluje se
<b>příčné</b>	povolují se, pokud výška oblouku nepřesahuje:		
	u přířezů šířky max. 120 mm	1,5 mm	
	u přířezů šířky max. 125 mm	2,0 mm	
<b>oblíny tupé</b>	povolují se na jedné hraně u přířezů určených na soustružení, pokud nepřesahují 1/5 šířky nebo tloušťky přířezu		

## 3 Plastifikace

### 3.1 Princip plastifikace

Proces plastifikace zvyšuje plasticitu dřeva, což je schopnost dřeva měnit svůj tvar působením vnějších sil bez porušení na makroskopické úrovni. Plastifikace je fyzikálně-chemický proces, který je charakterizován působením plastifikačního činidla na dřevo, přičemž dochází k dočasným, ale i trvalým změnám fyzikálních, mechanických a chemických vlastností dřeva (Trebula, 2002).

S rostoucí plasticitou se zvyšuje tvárnost dřeva. Dochází při ní však ke snižování pevnostních vlastností změnou lignin-sacharidové matrice. Cílem plastifikace je tedy stav, kdy je dřevo snadno tvarovatelné, má nejvyšší možný stupeň plasticity při současné minimální degradaci lignin-sacharidové matrice, tzn. při zachování celistvosti (Trávník, 2007).

Stupeň plasticity dřeva pak udává celkovou deformaci ve směru podél vláken. Tato deformace je vyjádřena poměrem mezi zkrácením (prodloužením) k původní délce (Požgaj et al. 1997).

Na změnu fyzikálních a chemických vlastností dřeva mají největší vliv tři hlavní složky lignin-sacharidové matrice dřeva. Jsou jimi celulóza, hemicelulóza a lignin. Plastifikací dochází k hydrolýze hemicelulózy a vzniku vedlejších látek, mimo jiné i látek kyselého charakteru (např. kyseliny octové). Tyto látky pak dále působí jako katalyzátory zrychlující průběh reakcí. Sledovanou vlastností je tedy termoplasticita jednotlivých elementů.

Lignin je za normálního stavu (teploty) pevnou látkou. Přidáním tepla se mění na látku plastickou. Tento bod přechodu je charakterizován teplotou, která se nazývá teplota skelného přechodu ( $T_g$ ). Lignin zůstává plastickým- měkkým až do dosažení teploty  $T_m$ , což je teplota tání.

Teplota skelného přechodu ligninu je v běžných podmínkách (teplota, vlhkost) vysoká. Jedná se o 160-180 °C (Putna, 2010).

Lze ji však snížit přidáním vhodného plastifikačního činidla. Takovým činidlem je například voda. Je dokázáno, že přidáním vody, se teplota skelného přechodu ligninu sníží až na 72 až 128 °C (Požgaj et al. 1997).

Celulóza je krystalická látka s malým podílem amorfních částí, proto se na termoplastických vlastnostech podílí jen z malé části. Má také mnohem vyšší teplotu skelného přechodu než lignin, proto odolává působení plastifikačního činidla více.

Plasticita dřeva závisí na změkčení ligninu, který je nejvíce zastoupen ve střední lamelle a primární buněčné stěně anatomických elementů dřeva.

Působením plastifikačního činidla dochází k porušení vazeb mezi jednotlivými elementy a tím k přechodu lignin-sacharidové matice do vizkoelastického stavu. Tedy nastává přechod dřeva do stavu plastického. Porušením vazeb však dochází ke snížení pevnosti. Při klimatizaci dochází k obnovení těchto vazeb a tím i obnovení pevnosti (Gandelová et al. 2002).

### **3.2 Dělení metod plastifikace**

Dělení dle použité metody a charakteru plastifikačního činidla:

- Hydrotermická plastifikace
  - Přímé paření
  - Nepřímé paření
  - Vaření
  - Vlhký vzduch
- Chemická plastifikace
  - Plynný amoniak
  - Kapalný amoniak
  - Amoniová voda
  - Močovina
- Elektromagnetická plastifikace
  - Vysokofrekvenční el. proud
  - Ultrazvuk

Základem hydrotermických a elektromagnetických metod plastifikace jsou poznatky o vztahu vlhkosti dřeva, teploty a doby působení tepla na dřevo. Při chemických metodách je pak plastifikačním činidlem nízkomolekulární látka např. amoniak, močovina (Trávník, 2008).

Angelski (2014) provedl analýzu metod plastifikace a došel k závěru, že vysoká míra plasticity dřeva, lze dosáhnout jeho vařením ve vodě, ale také působením amoniaku. Z technologického hlediska je však nejvýhodnější plastifikace masivního dřeva pařením. Při použití paření dřevo dosahuje vysokého stupně plasticity bez

výrazných změn barvy a pevnosti. V praxi se vaření příliš nevyužívá, přestože je s metodou paření srovnatelné. Jeho nevýhodou jsou barevné změny, což v případě použití povrchových úprav nevádí. Hydrotermická úprava je také oproti jiným ekologická a univerzální. Nejvyšší produktivitu vykazuje metoda plastifikace vysokofrekvenčním ohřevem. Tato metoda je však ekonomicky výhodná pouze pro sériové výroby. Jiné metody se potýkají s nízkou produktivitou nebo ekologickou náročností.

### **3.3 Hydrotermická plastifikace**

Hydrotermická úprava dřeva využívá kombinace působení tepla, páry nebo kapaliny na dřevo. Tímto způsobem je dosaženo změny teploty, vlhkosti nebo zlepšení technologických nebo užitných vlastností.

Změny jsou trvalé nebo dočasné a jejich vliv na fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti dřeva se užívá k:

- Snížení řezné síly, zlepšení kvality řezu
- Změně tvaru přířezu při ohýbání- zvýšení přechodné plastičnosti
- Uvolnění růstových napětí
- Změně barvy dřeva
- Sterilizaci
- Snížení vlhkostního spádu a napětí v procesu sušení

#### **3.3.1 Paření**

Paření je způsob uložení hranolků do pařících kádí a vystavení zvýšené teplotě, tlaku a vlhkosti. Za využití tlaku a páry dochází k plastifikaci dřeva. Paření vysokotlakou parou je časově efektivnější, ale v praxi se využívá především páry nízkotlaké, která je lepší z několika pohledů. Především jde o oblast bezpečnosti práce. Nízkotlaká pára neklade vysoké nároky na odolnost strojního zařízení proti působení vysokého tlaku, dále nezpůsobuje barevné změny takové intenzity jako vysokotlaká pára. Pro paření je nutné, aby pára nebyla přehřátá a tím nezpůsobovala vysušování dřeva. Lze tomu předejít rozprašováním vody v pařícím prostředí (Trávník, 2008).

Vaněk (1952) uvádí, že použití vysokotlaké páry víceméně ohýbací vlastnosti dřeva nezvyšuje. K paření se tedy používá nenasyčená pára s mírným přetlakem asi 0,02 až 0,5 MPa o teplotě 102 až 105°C. Dřevěné hranolky při vkládání do pařící

komory musí mít teplotu 22 až 25 °C a vlhkost mezi 25 až 30 %. Doba paření je dána velikostí průřezu hranolku při daných podmínkách (Tab. 3).

**Tab. 3 Doba plastifikace v závislosti na rozměrech hranolku a počáteční vlhkosti (Trávník, 2008)**

<b>Příčný rozměr hranolku [mm]</b>	<b>Počáteční vlhkost [%]</b>	<b>Čas paření [min]</b>
25 x 25	okolo meze hygroskopicity	30 až 10
25 x 25	15 až 17	60 až 70
25 x 90	okolo meze hygroskopicity	90 až 120
25 x 90	15 až 17	150 až 180
40 x 40	okolo meze hygroskopicity	120 až 150
40 x 40	15 až 17	220 až 240
40 x 60	okolo meze hygroskopicity	180 až 200
40 x 60	15 až 17	nedoporučuje se

U dřeva s nižší vlhkostí zvyšujeme dobu paření o pět minut na každé procento pod 25%. Prodlužování času paření je neekonomické a způsobuje při ohýbání zvlnění na vnitřní straně ohybu. Zmrzlé hranolky nebo hranolky s nízkou teplotou je třeba nejprve klimatizovat na teplotu prostředí před vložením do autoklávů (Trávník, 2008).

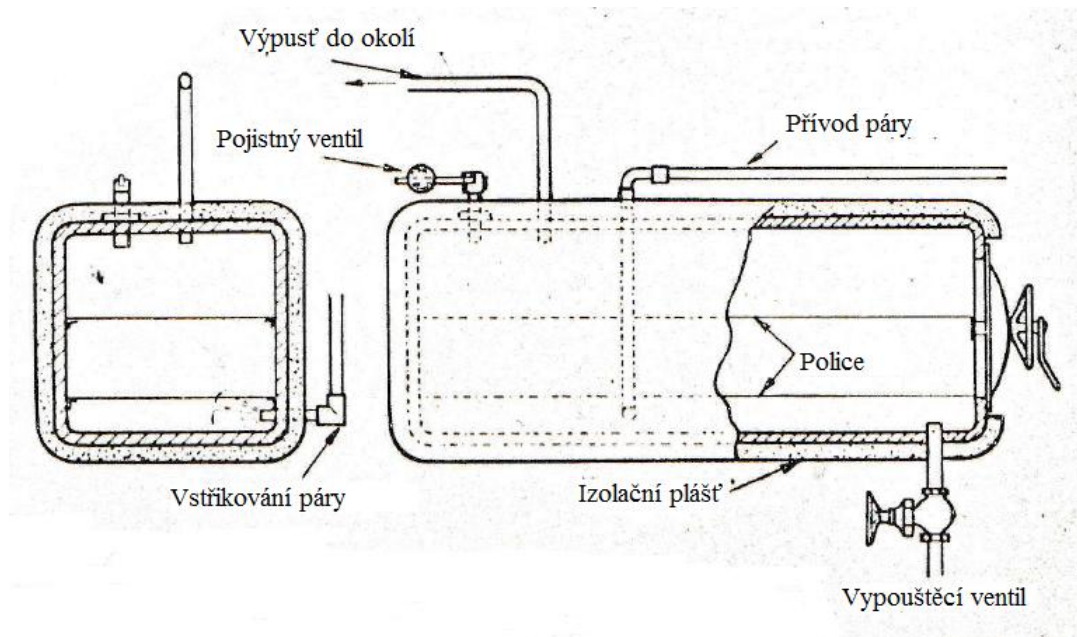
### **3.3.1.1 Parametry ovlivňující kvalitu plastifikace**

Podle Trebuly (2002) je čas paření ovlivněn uložením hranolků v autoklávu. Neproložením hranolků je omezen přístup tepla. Při použití prokladových lišt, ale dochází ke snížení kapacity autoklávu a tím se prodlužují celý proces zpracování a manipulace. Dalším parametrem je dostatečné odvětrání autoklávu. Odvětráním autoklávu na asi 5 minut dochází k rovnoměrnějšímu rozložení teploty. Hranolky by měly být vloženy do předehřátého autoklávu. Přířezy se ukládají tak, aby došlo k dobrému propaření stran, které budou přiléhat k pásnici a tvárnici, tedy na budoucích tahových stranách ohybu. Po ukončení paření se hranolky ihned ohýbají. V případě, že jsou autoklávy u ohýbacích zařízení, dochází k odebrání ihned. V opačném případě se napařené hranolky převážně ohýbají v zásobnících. Doporučený čas mezi pařením a ohýbáním je u přířezů 40 x 40 mm 10 až 15 s a u rozměrů 80 x 80 mm 20 až 30 s.



### 3.3.1.2 Popis pařícího zařízení (autoklávu)

Autoklávy jsou nadzemní celokovové komory kruhového nebo obdélííkového průřezu. Rozměry jsou dané především délkou přířezů. Konstrukce se může napříč závody lišit, doporučeny jsou tyto konstrukční zásady: přívod páry umístěný v přední části, odtok umístěný v nejnižší části konstrukce, ventily pro přívod a regulaci páry v přední části pro snadnou dosažitelnost, víko musí umožňovat rychlé uzavření a mít pojistku zamezující otevření při stále otevřeném přívodu páry (Trebula, 2002).



Obr. 3 Schematické znázornění autoklávu (Stevens et al. 1970)

### 3.3.2 Vaření

Plastifikace vařením je šetrnější, než úprava pařením, ale dochází ke zvýšené vlhkosti materiálu. Používá se pro plastifikaci přesušeného řeziva nebo pro plastifikaci části přířezu. Nevýhodou vaření jsou barevné změny povrchu přířezu a velká spotřeba vody. Ohýbatelnost se zdánlivě zvyšuje, ale na úkor oslabení dřevních vláken a je tedy nutné především časy paření důsledně dodržovat. Při vaření vkládáme materiál pod hladinu vody o teplotě okolo 90°C na pevný rošt. V prostoru pod roštem jsou uložena topná tělesa (Trebula, 2002).

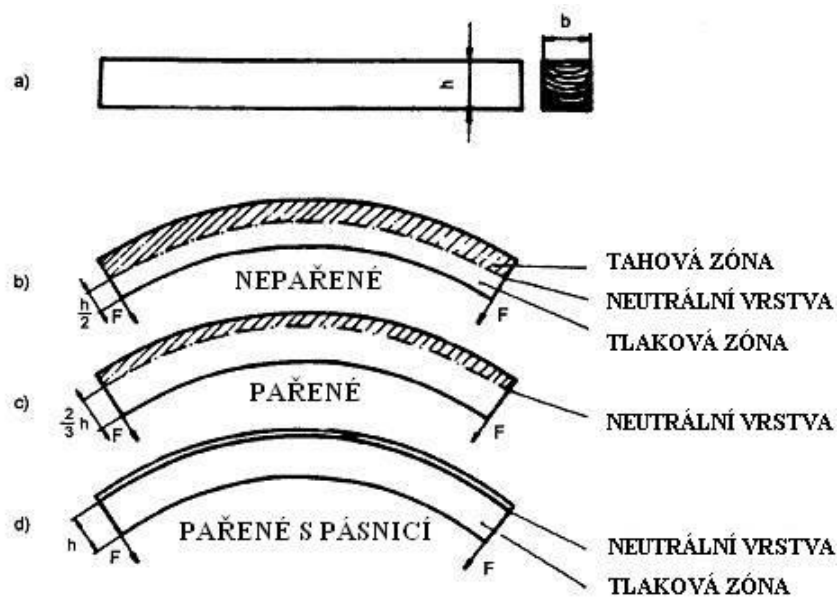
## 4 Ohýbání

### 4.1 Princip ohýbání

Ohýbání je tvarování přířezu kolmo nebo příčně k jeho podélnému směru. Změna tvaru je způsobena ohybovým momentem. Cílem je ohnout přířez do požadovaného tvaru a docílit toho, aby tato změna zůstala trvalá. Na vnější straně ohybu vzniká tahové napětí, na vnitřní straně ohybu tlakové napětí. Mezi nimi je neutrální vrstva s nulovými napětími. Protože dřevo má větší pevnost v tlaku než v tahu, dochází k posunutí neutrální vrstvy ke vnější straně ohybu. Dále vznikají napětí smyková v závislosti na směru a velikosti napětí tahových a tlakových.

Snížením tahového napětí na vnějších stranách je dosaženo přiložením pásnice. Pro zabránění posunutí a přetrhnutí vláken v počáteční fázi ohybu na vnější straně přířezu je nutné dodat pásnici počáteční předpětí, které musí působit rovnoměrně po celém průřezu čela. Dále také musí pásnice dokonale přiléhat k vnější straně ohybu. Dochází ke vzniku tzv. koncového tlaku, který je menší než pevnost tlaku dřeva podél vláken. Koncový tlak je vyvolán působením mechanismů k tomu určených např. dotahové kolo, úhelníky na koncích pásnice.

Trebula (2002) uvádí, že hodnota koncového tlaku se mění v průběhu ohýbání a je proto žádoucí vytvořit prostor pro jeho regulaci. Koncový tlak závisí na rychlosti ohýbání (ta je závislá na náročnosti ohybu).

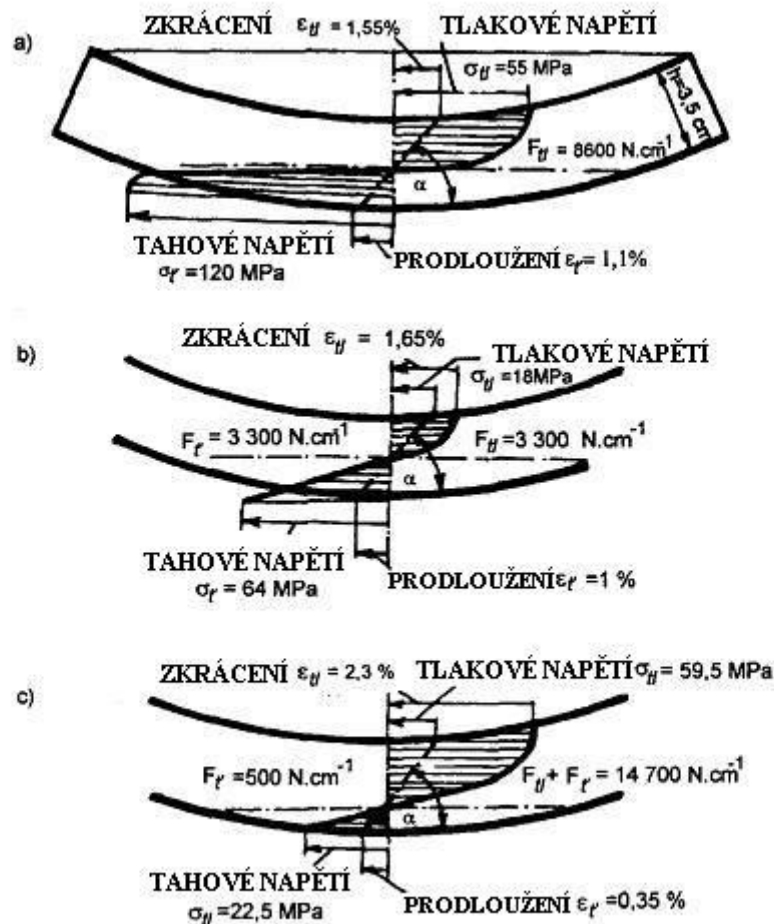


Obr. 4 Pohyb neutrální vrstvy v důsledku paření při ohýbání (Trebula, 2002)

#### 4.1.1 Napětí a deformace při ohýbání

Velikost deformací způsobených tahem a tlakem je závislá na poloměru ohybu, vlhkosti a tloušťce přířezu. Čím menší je poloměr ohybu, tím větší je nebezpečí překročení pevnosti dřeva a porušení vláken. Dřevo má větší pevnost při vystavení tlaku podél vláken (30 až 33 %) než v tahu (asi 2 %). Schopnost deformace tlakem je také dána posunutím neutrální vrstvy co nejbližší vnější straně ohybu. Proto je principem a cílem vytvořit takové podmínky, aby vnější vrstvy ohybu byly minimálně namáhány na tah a vnitřní strana ohybu byla maximálně namáhána na tlak (Trebula, 2002).

Kúdela (2002) uvádí, že čím se u dřeviny dosáhne větší stlačitelnosti do porušení, tím se dosáhne menšího poloměru ohybu. Je počítáno s tím, že vhodnými prostředky vyloučí zatížení v tahu, protože pevnost dřeva v tahu se ani plastifikací příliš nezvýší.



Obr. 5 Napětí a změna tvaru na příčném řezu ohýbaných přířezů z dubového dřeva (Trebula, 2002)

## **4.2 Způsoby ohýbání**

### **4.2.1 Ruční ohýbání**

Ruční ohýbání je velmi namáhavé a náročné na zručnost a zkušenost pracovníků. Dále je možno ho klasifikovat do několika skupin. Ohýbání ve volných tvárnících, často s pomocí pásnice fixované závitovou svěrkou nebo ve vyhřívaných tvárnících, kde jsou vyfrézované drážky podle tvaru přířezu. Dále je možno ohyb zajistit pásnicí s koncovou zarážkou, která vytváří přepětí.

### **4.2.2 Strojní ohýbání**

Strojní ohýbání zvyšuje produktivitu práce a snižuje zmetkovitost. Podle tvaru ohybu stroje rozlišujeme:

- Uzavřené ohyby - používá se otočných tvárníc, ke kterým jsou připojeny pásnice
- Ohyby tvaru „U“ - pomocí ramen ohýbačky, za použití volných pásnic
- Excentrické ohyby - pomocí dvou ramen a pevné tvárnice (ohýbacího jádra), za použití volné pásnice
- Ohýbačky s pneumatickým pístem

Při ohýbání je nutné, aby obsluha stála tak, aby ji v případě prasknutí pásnice vymršťený plech neporanil. Elektrické rozvody stroje musí odpovídat předpisům a normám. Dále musí docházet k pravidelným revizím. Pohonné mechanismy a pohyblivé části stroje musí být zabezpečeny krytem, aby nedošlo k poranění. Materiál na paletách a vozících musí být zajištěn proti sesunutí. Při manipulaci ohybů s pásnicí, nesmí docházet k úchopu za sponu. Nastavení a mazání stroje je povoleno jen při klidovém stavu (Trebula, 2002).

## **4.3 Popis základního vybavení**

### **4.3.1 Pásnice**

Pás plechu (např. nerezového), který se přikládá na vnější stranu ohybu. Materiál se může lišit, některé závody si pásnice vyrábějí samy. V případě, že se jedná o korozivní materiál, je třeba mezi přířez a pásnici vkládat mezivrstvu papíru, dýhy, nebo povrch pásnice pogumovat, jinak dochází k přenesení koroze na hranolek a k jeho

znehodnocení. Tloušťka pásnice se pohybuje od 0,2 do 2 mm. Pásnice má několikanásobně větší modul pružnosti než dřevo, tím po přiložení dochází k posunu neutrální zóny až k pásnici. Dochází k vyššímu stlačení vrstev dřeva, čímž přirozeně klesá tahové napětí, které kompenzuje právě pásnice. Pásnice musí být širší než ohýbaný přířez (soubor přířezů), aby svou funkci mohla plnit po celé ploše ohýbané strany přířezu. Délka pásnice odpovídá délce přířezu se započtením prodloužení vláken na vnější straně (Trebula, 2002).

- Pásnice spojená s tvárnicí - jeden konec pásnice je pevně spojen s tvárnicí
- Pásnice volná - délka pásnice odpovídá délce přířezu, po ohnutí je ohyb zajištěn koncovým tlakem (spojením úhelníků na koncích pásnice)

Vlivem vysoké teploty a vlhkosti propařeného dřeva a také namáhání pásnice dochází k jejímu opotřebení. Opotřebení je také ovlivněno manipulací s pásnicí při ohýbání a při srážení ohybů.

Vaněk (1952) uvádí, že se pásnice deformují, mění rozměry (vytahují se) a brzy se trhají. Tomuto lze předcházet zvolením vhodného materiálu nebo úpravou pásnice a opatrnou manipulací.

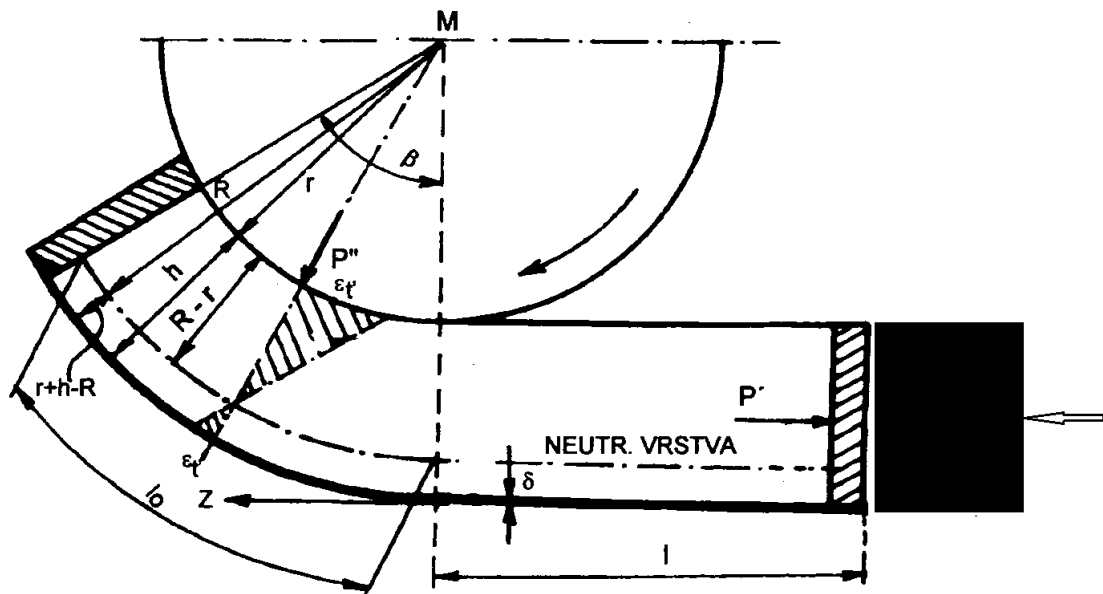
#### **4.3.2 Tvárnice**

Forma požadovaného tvaru ohybu. Obvykle se jedná o slitinu hliníku nebo o dřevěnou tvárnici, jejíž povrch je oplechovaný. Při strojním ohýbání na ohýbačce s otočným jádrem zůstává tvárnice pevně spojena s hranolkem pásnicí a k jejímu odstranění dojde až po stabilizaci ohybu. U jiných strojů je tvárnice pevnou součástí stroje a ohyb se jistí jiným způsobem (Trebula, 2002).

#### **4.3.3 Spony**

Zajišťovací prvky slouží k zajištění pásnice k ohybu, aby po dobu stabilizace nedošlo k uvolnění nastavených deformací.

#### 4.4 Parametry ohybu



$M$  - střed ohýbací formy (tvárnice),  $h$  - tloušťka přířezu,  $r$  - poloměr tvárnice (na otočném jádře),  $R$  - poloměr ohybu,  $\beta$  - poloměr ohybu,  $Z$  - rovina ohybu,  $l$  - rozměr vnější plochy přířezu,  $l_0$  - prodloužení vnější plochy přířezu

Obr. 6 Znárodnění parametrů ohybu (Trebula, 2002)

Při ohýbání je materiál namáhán na tah na vnější straně ohybu a na tlak na vnitřní straně ohybu. V důsledku toho vzniká ve dřevě napětí a dochází k tahovým a tlakovým deformacím. Ohýbatelnost dřeva je pak dána velikostí těchto deformací. Respektive ohýbatelnost jednotlivých dílců je dána tzv. kritickým ohybem, který vyjadřuje poměr tloušťky dílce k poloměru ohybu  $h/r$ .

Napětí dále narušuje vnitřní strukturu dřeva, dochází ke stlačování, natahování a posunu stavebních elementů a tyto změny se pak projevují na povrchu dřeva.

Kritickým místem je tahová zóna. Vzniká na vnější straně ohybu. Dřevo je tažené za běžných podmínek 0,75-1 %. Hydrotermickou úpravou dochází k navýšení těchto hodnot na 1,5-2% (Trávník, 2008).

Kúdela (2002) uvádí, že nejdůležitější je naopak u ohýbaného dřeva jeho stlačitelnost. Čím se u dřeviny dosáhne větší stlačitelnosti do porušení, tím se dosáhne menšího poloměru ohybu. Je počítáno s tím, že vhodnými prostředky vyloučí zatížení v tahu, protože pevnost dřeva v tahu se ani plastifikací příliš nezvýší

## 4.5 Faktory ovlivňující kvalitu ohybu

Kvalitu ohybu hodnotíme dle hladkosti povrchu a stability ohybu. Důležité je dostatečné propaření hranolku. Vlhkost hranolků pro ohýbání je určena vlhkostí, kterou získá hranolek při plastifikaci. S poklesem vlhkosti pod BNV roste síla potřebná pro ohýbání. Dále nízká vstupní vlhkost, která neumožní dostatečnou plastifikaci, způsobuje v procesu ohýbání lámání. Dřevo s nižší vlhkostí má tendenci se vracet do původního stavu. Volná voda ve dřevě způsobuje během ohýbání deformace. V tlakových zónách dochází k jejímu vytlačování z mezibuněčných prostor, čímž vznikají trhliny nebo praskání vedoucí k uvolnění hranolku z pásnice. Hladkost povrchu je neméně důležitým faktorem pro ohýbání. Nerovnosti na tahové straně hranolku zabraňují úplnému přilnutí pásnice a snižují její účinnost- vyrovnávání napětí.

Parametry ovlivňující kvalitu opracování povrchu jsou rychlost posuvu, naostření nástroje, plynulý chod stroje a jeho pravidelná údržba. Rozměrová přesnost je dalším faktorem vstupujícím do operace ohýbání. Délková přesnost má vliv především při ohýbání více kusů a kompenzuje se vypořádáním chybějící hmoty materiálu, kterou se dále přenáší deformace na hranolek.

Dále kolmost čel, která zajišťuje přenos koncového tlaku po všech vrstvách hranolku. Čelní tlak, realizovaný přítlačným pevným nebo pohyblivým elementem, slouží k vyrovnávání tahového napětí působícího na hranolek. Při ohybu 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, 2007).

## 5 Sušení a stabilizace

Pro fixaci tvaru je nutné ohyb stabilizovat. Stabilizaci tak můžeme popsat jako změnu dočasně tvarové změny na trvalou. Principem je snížení vlhkosti a teploty, a tím vrácení dřeva z plastického do původního stavu. Stabilizace se pro urychlení a regulaci vlhkosti provádí v komorových sušárnách, kde jsou dílce ošetřeny na vlhkost kolem 8%. Doba sušení závisí na mnoha faktorech (rozměry ohybu, požadavky na jakost, objemová hmotnost dřeva, směr vláken, rychlost proudění a teplota vzduchu).

Během sušení se převádí dočasná tvarová změna dílce na změnu trvalou i po uvolnění z pásnice.

Tento stav je způsobený přechodem lignin-sacharidové struktury z plastického stavu do bodu sklovitého přechodu. Při tomto tuhnutí však nedochází k organizaci do krystalické struktury, tedy uspořádání s minimální potenciální energií, ale k omezení stupně volnosti kmitání v lignin-sacharidové matici. Postupně se tvoří vazby porušené při procesu plastifikace. Stabilizace je dosaženo vysušením dřeva na vlhkost prostředí. Pro sušení jsou používány komorové, tunelové, kontaktní, vakuové aj. sušárny. Dílce jsou na paletách, vozících nebo dopravníkovém pásu.

Podmínky se stanovují dle typu dílce a materiálu, druhu sušárny. Obecně se dílce stabilizují při teplotě 65 až 110 °C, relativní vlhkosti vzduchu 10 až 15 %, po dobu nejvýše 24 hodin.

Rychlost proudění vzduchu okolo 2 m.s<sup>-1</sup>. Regulace podmínek během procesu je velmi složitá, lze ji zlepšit rovnoměrným prouděním vzduchu a správným uložením dílců. Nejvhodnější je ukládat dílce v pásnici, proti směru proudění vzduchu volnou stranou a použít prokladové latě (Trebula, 2002).

### 5.1 Vady vysušeného dřeva

- vady dřeva způsobené jeho vlastnostmi
- vady dřeva způsobené jeho vlastnostmi při určitých podmínkách sušení nebo skladování
- vady dřeva způsobené neodbornými podmínkami sušení



Viditelné vady:

- deformace a kroucení
- trhliny
- kolaps
- změna barvy
- vypadávání suků
- 

Neviditelné vady:

- vnitřní napětí
- nerovnoměrně rozdělená vlhkost v dílci

### **5.1.1 Borcení a deformace**

Borcení je definováno jako změna tvaru řeziva, která je způsobena rozdílným sesycháním v tangenciálním a radiálním směru, vadami ve stavbě dřeva a vnitřními napětími ve dřevě. Borcení i deformace dřeva vedou jednoznačně ke ztrátám - zvýšení spotřeby řeziva, nižší výtěžnost, větší nároky na pracovní síly a na, energie (Trebula, 2002).

### **5.1.2 Trhliny**

Trhliny jsou definovány jako rozdělení dřeva podél vláken. Trhliny způsobují narušení dřeva, jeho celistvosti a zhoršení mechanických vlastností.

- Jádrové trhliny se vyskytují u středových hranolů a výřezů, které obsahují jádro. Většinou se vyskytují v radiálním směru a směřují ze středu k obvodu. Nelze jim úplně zamezit.
- Trhliny vytvořené proměnlivou točivostí vláken se dají rozměrově opatrným sušením eliminovat. Vycházejí ale z anatomické stavby, podmínky sušení je nezpůsobují.
- Odlupčivé trhliny jsou kruhové trhliny kopírující letokruhy.
- Trhliny způsobené růstovým napětím se projevují v částech kmene v příčném průřezu, ale také v podélném směru a mohou prostupovat celý kmen. Růstové napětí lze snížit pomocí paření.

### **Povrchové trhliny**

Jedná se o výsušné trhliny do hloubky 2 mm (vlasové trhliny), při dalším opracování dochází k jejich odstranění. Dochází k nim během rychlého sušení při nízké relativní vzdušné vlhkosti. Ve vnějších vrstvách pak dochází k sesychání, které ještě neprostoupilo do středních vrstev. To má za následek silné napětí, které způsobuje trhliny a snižuje pevnost dřeva. Po vyrovnání napětí dochází k uzavírání těchto trhlín do doby, než na dalších operacích dojde ke změně klimatických podmínek nebo povrchovému opracování. V takovém případě dochází často k jejich opětovnému otevření a tím komplikují průběh jednotlivých operací. Počet a hloubka trhlín na frézovaném povrchu je menší. Proto se doporučuje před sušením předběžné frézování materiálu.

Středové trhliny jsou speciálním typem povrchových trhlín a vyskytují se převážně v tangenciálním řezivu. Mezi délkou a hloubkou trhlín je vzájemná souvislost.

### **Vnitřní trhliny**

Vznikají v celé hmotě přířezu. Tyto trhliny jsou způsobeny nevhodnými podmínkami sušení (vysoká teplota a  $w$  nad BNV), dochází ke strmému vlhkostnímu gradientu ve dřevě, což je doprovázeno napětími. Při překročení pevnosti v tahu pak vznikají trhliny a dřevní vlákna jsou porušena. Vnitřní trhliny nejsou viditelné, proto je nemožné je identifikovat.

### **Čelní trhliny**

Tvoří se v důsledku rychlejšího odpařování vody z čel, než z plochy. Vzniká tak vlhkostní spád v podélném směru, způsobující tlak v tahu a při překročení pevnosti v tahu porušení vláken. Čelní trhliny probíhají do délky řeziva i několik centimetrů až decimetrů. Negativní vliv na výskyt a rozsah čelních trhlín má velká rychlost proudění vzduchu, nízká vlhkost vzduchu, nesprávné uložení řeziva, tvrdý sušící režim. Běžně se čela ošetřují ochranným nátěrem nebo obalením hráně.

## 5.2 Faktory ovlivňující kvalitu stabilizovaného dílce

- druh dřeviny
- poloha přířezu ve kmeni a sklon letokruhů
- anatomická stavba - určuje mechanické a fyzikální vlastnosti
- přítomnost juvenilního dřeva
- vliv tloušťky a šířky přířezu
- způsob změny tloušťky přířezu (zda frézujeme stranu od středu - zakřivení se zvyšuje, pokud frézujeme stranu od obvodu, zakřivení klesá)
- vlhkostní spád ve dřevě - nerovnoměrně rozložená vlhkost, hustota, běl a jádro, šířka letokruhů
- nestejná výška prokladových latí v hrání
- nerovnoměrná nebo velká vzdálenost prokladových latí
- podmínky sušení
- nerovnoměrné sušení
- nedosušení řeziva na požadovanou vlhkost
- vnitřní napětí ve dřevě po sušení – pokud ve dřevě zůstanou vlivem sušení vlhkostní a pružné deformace, mohou se projevit později, např. při rozebrání hráně před úplným dokončením procesu a vychladnutí
- absence konečného ošetření řeziva (zlahodnění)
- technický stav sušárny
- řezivo je po sušení uloženo v nevyhovujících podmínkách ke klimatizaci a není dodržen čas této klimatizace

V úvahu je třeba brát také působení atmosférické degradace dřeva. Atmosférickou degradací dřeva se rozumí proces stárnutí dřeva vlivem abiotických činitelů (voda, roztoky látek, kyslík, plyny a imise, prach, písek, teplo, záření, proudění vzduchu). Dále na dřevo působí i faktory biotické, jimiž jsou vytvořeny lepší podmínky pro existenci právě v důsledku abiotických faktorů (mikroorganismy). Přestože je s tímto jevem počítáno během přirozeného sušení, je třeba si uvědomit, že dřevo je vystaveno těmto degradačním procesům prakticky od okamžiku těžby (Trebula, 2002).

## 6 Klimatizace

Z důvodu nerovnoměrného sušení napříč dílcem (povrch spojený s pásnicí se nesuší takovou rychlostí jako volná strana ohybu) vzniká na průřezu dílce vlhkostní spád. Vlivem rozdílné počáteční vlhkosti a nerovnoměrnosti sušení vznikají také rozdíly ve vysušení mezi jednotlivými dílci. Z těchto důvodů je třeba klimatizovat dílce na stejnou teplotu a vlhkost s cílem odstranit vlhkostní rozdíly a napětí ve dřevě.

Dílce se klimatizují v místnosti, kde je regulována vlhkost a teplota vzduchu. Vlhkost vzduchu je stanovena dle vlhkosti prostředí, ve kterém bude výrobek umístěný.

Po sušení jsou dílce 2 až 3 hodiny v běžných podmínkách, než dojde k jejich ochlazení (snížení teploty ze sušárny). Poté jsou dílce oddělovány od pásnic. Kladivem je vyražena spona a ohyb je uvolněn z pásnice. Ohnuté dílce jsou skládány na paletu a poté přepraveny do meziskladu ke klimatizaci. Zároveň probíhá třídění zmetků. Do meziskladu tak odcházejí pouze dobré dílce, určené k dalšímu zpracování.

Klimatické podmínky se obvykle pohybují v rozmezí teplot 18 až 25 °C, vlhkosti vzduchu 43 až 46 %, pro dosažení vlhkosti dílce okolo 8 %. Doba klimatizace se stanovuje dle druhu dílce, 6 až 20 dní (Trebula, 2002).

# Praktická část

## 7 Popis současného stavu

### 7.1 Příprava přířezů

Hranolky jsou po převzetí dodávky od dodavatele uskladněny v hráních ve vnějším skladě řeziva. Jsou naformátovány na hrubé rozměry. Sušeny přirozeně v hráních v zastřešeném skladu. V případě vysoké vlhkosti jsou hranolky předsušeny v komorové sušárně.

Při převzetí přířezů od dodavatele dochází ke kontrole a předepsanému procentu přířezů s nepovolenou vadou. Podmínky stanovují možnost pozastavení převzetí dodávky do doby, než bude odpovídat procento vadných kusů popřípadě pozdější reklamaci vadných kusů.

V období května až září jsou čela hranolků ošetřována vhodným prostředkem proti rychlému úniku vlhkosti pro přířezy, u nichž jeden z rozměrů přesahuje 35 mm.

Po vysušení jsou hranolky přepraveny do prostoru, meziskladu, kde probíhá příprava materiálu na ohýbání. Tento prostor není klimatizován. Přípravný proces zahrnuje kontrolu absolutní vlhkosti materiálu vlhkoměrem. Dále opracování hranolků na čistý rozměr- krácení konců, kde je nutné dbát na kolmost čel. Krácení konců je provedeno na kotoučové pile se strojním posuvem. Rizikem je neúměrné vyštípání vláken na ploše řezu.

Poté jsou hranolky frézovány na plochách, aby byl zaručen hladký povrch přesných rozměrů. Frézování je provedeno na tloušťkovací dvoustranné fréze ze všech čtyř stran hranolku. Tato operace se provádí nejen pro tloušťkovou egalizaci, ale především pro přípravu hladkosti povrchu. Hladký povrch je důležitou podmínkou pro přilnutí pásnice k hranolku.

Třídění vadných dílců po operaci frézování provádí pracovník při odběru ze stroje. Třídění je provedeno vizuálně a jeho dostatečnost záleží na zkušenosti a schopnosti pracovníka.

Poté je paleta převezena na ohýbárnu- prostor s pařícími komorami a ohýbacími stroji. Vzhledem k tomu, že díky činnosti strojního vybavení je v prostoru vysoká teplota, v případě okamžitého (do 1 dne) nezpracování hranolků jsou tyto hranolky

přepraveny zpátky na přípravnu. Důvodem je vysychání a praskání čel hranolků při příliš dlouhé expozici podmínek na ohýbárně.

## **7.2 Plastifikace**

Plastifikace hranolků probíhá v prostoru ohýbárny. Hranolky jsou umístěny na paletě u vstupů do pařících komor. Požadovaná vlhkost hranolků je 20 – 25 %. Celý proces je řízen obsluhou pracoviště. Na začátku směny jsou hranolky v požadovaném počtu naskládány do pařící komory bez proložení (max. 120 ks).

Parametry páry jsou sledovány a regulovány v centrálním potrubí. Teplota páry je předepsána na 102 až 106 °C a tlak páry v rozmezí 0,2 až 0,4 MPa. Tlak páry lze odečíst na teploměru umístěném nad vstupem do každé pařící komory. Teplotu páry lze vyčíst z teploměru u rozvaděče pro celou ohýbárnu. Během pohybu páry k jednotlivým pracovištím může docházet ke ztrátám nebo změnám parametrů

Pracovník dle svého uvážení a zkušeností reguluje čas paření (110 až 120 min) a vlhčení materiálu. Vlhčení je prováděno během procesu paření přívodem vody do pařící komory nebo postřikem hadicí.

Teplota vzduchu a vlhkost prostředí mají vliv při dlouhodobém působení, kterému je vystavena paleta s hranolkami před plastifikací. Při příliš dlouhé expozici, dochází k vysušování hranolků vlivem vysoké teploty prostředí.

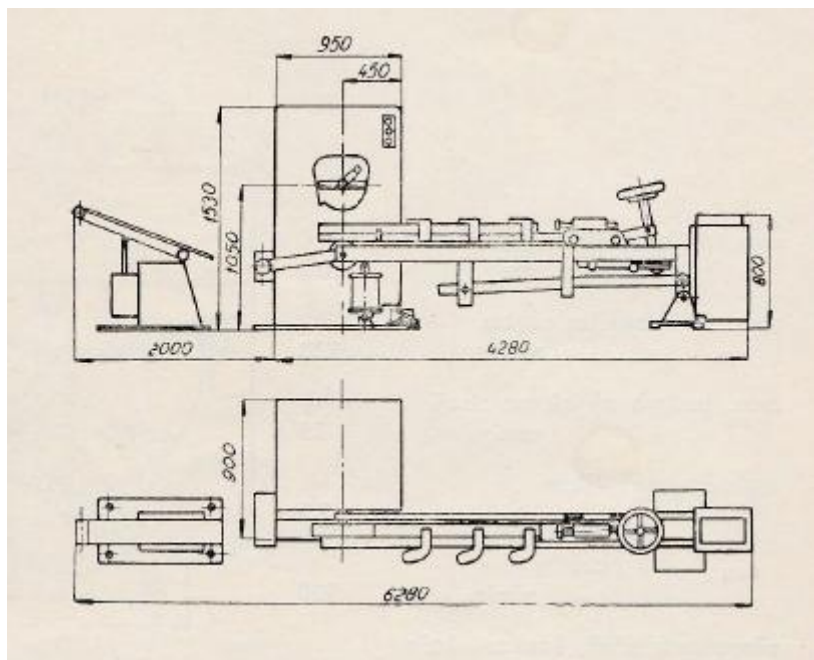
## **7.3 Ohýbání**

Ohýbání bylo provedeno na stroji s otočným jádrem pomocí tvárnice a pásnice.

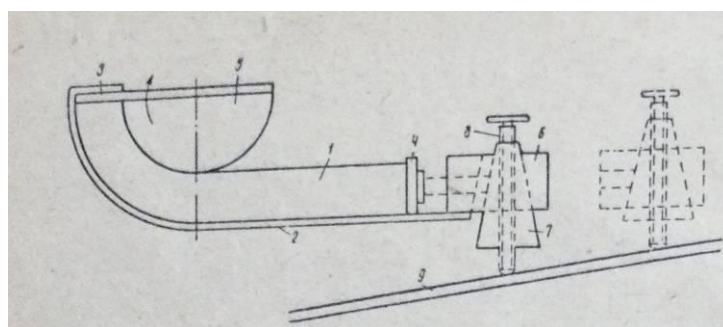
- 1) Nejprve je na otočné jádro nasazena tvárnice, ke které je jedním koncem upevněna pásnice. Tvárnice se poté k otočnému jádru připevní přitlačným mechanismem, aby nedošlo k jejímu uvolnění během navíjení hranolku.
- 2) Druhý konec pásnice je vsunut a pomocí malých plíšků upevněn do otvoru vodící kolejnice odpovídající šířce pásnice.
- 3) K vypnutí pásnice nedochází samovolně. Vypnutí je způsobeno zvednutím pojízdného vozíku hydraulickým zařízením. Tento proces spouští pracovník poté, co se ujistil o bezpečném upevnění obou konců pásnice.

- 4) Po vyjmutí hranolku z pařící komory je hranolek vložen do kolejnice s pásnicí a zajištěn otočnými zajišťovacími prvky na kolejnici. Hranolek se ukládá do pásnice tak, aby dřevěné paprsky byly na ploše přiléhající k pásnici.
- 5) Mezi konec hranolku a přítlačné zařízení vyvozující koncový tlak se obvykle vkládá hranolek (železný, dřevěný), pro lepší regulaci koncového tlaku a vyrovnání rozdílů rozměrů (na témže stroji se ohýbají i dílce větších délek).
- 6) Počáteční koncový tlak je dán obsluhou, která nastaví přepětí dle svého uvážení pomocí přitažení otočného šroubu (dotahového kola).
- 7) Dále je pak opět mechanicky pracovníkem spuštěn chod stroje. Dochází k postupnému navinutí hranolku v pásnici kolem tvárnice. Rychlost navíjení a chod stroje je pravidelně kontrolován a prováděna údržba. Rychlost je odborně odhadnuta a přizpůsobena schopnosti pásnice vyvažovat deformace a rychlosti pracovníka. Rychlost stroje při ohýbání se pohybuje mezi 30 až 50 m.s<sup>-1</sup>.
- 8) V průběhu ohýbání je pracovník povinen dodržovat bezpečnostní pokyny, a to především nevstupovat do prostoru v rovině ohybu, kdy dochází k porušení dílce nebo k porušení pásnice, především v bodě spojení s tvárnicí.
- 9) Po ukončení ohýbání, kdy je zastavení stroje provedeno automaticky, pracovník uvolní hydraulické zařízení. Zajišťovacím element, že dojde k sepnutí pásnice, ohybu a tvárnice dohromady. Šroub zajišťovacího prvku utáhne pomocí ráčny tak, aby pevně držel ohyb a nepovolil při další manipulaci s celou sestavou.
- 10) Po zajištění ohybu je uvolněna tvárnice povolením zajišťovacích mechanismů.
- 11) Tvárnice je pracovníkem vyjmuta z otočného jádra a složena na vozík nebo paletu.
- 12) Pojízdny vozík se vrátí zpět do výchozí polohy.
- 13) Vozíky s tvárnici se odváží po ukončení ohýbání výrobní dávky do sušárny, kde se ohyby stabilizují při stanovených podmínkách po dobu 24 hodin.
- 14) Srážení ohybů z tvárnice provádí pracovník při dalším ohýbání tak, že v době, kdy stroj navíjí ohyb, srazí 2 až 4 stabilizované ohyby z tvárnice, které následně použije k ohýbání napařených přířezů. Tímto se šetří čas a zvyšuje se efektivita práce.
- 15) Srážení ohybu se provádí kladivem. Vyklepáním ohybu z pásnice.
- 16) Pracovník vizuálně sražené ohyby kontroluje a třídí zmetky. Dobré kusy skládá na paletu.

17) Paleta s ohnutými dobrými dílci, zajištěnými fólií proti sesuvu, je zavezena do klimatizačního skladu, kde jsou dílce po dobu 12 až 24 dní klimatizováni.



Obr. 7 Schematický náčrt ohýbacího stroje s otočným jádrem (Ton)



1 – hranolek, 2 – pásnice, 3 – nehybná zarážka, 4 – zadní zarážka, 5 – tvárnice, 6 – vozík, 7 – klín, 8 – stavěcí šroub, 9 - vedení

Obr. 8 Princip dotahového kola udávající počáteční přepětí (Vaněk, 1952)



## 8 Materiál

Měření bylo provedeno na hranolcích z bukového dřeva. Rozměry hranolků dle požadavků výroby byly 164 x 40 x 40 mm. Anatomické směry hranolku byly zvoleny LxTxR. Jedná se o složitý ohyb s relativně malým poloměrem ohýbání ve čtyřech místech přířezu, sedákový díl číslo 056.

Vzorky byly nařezány na požadované rozměry a frézovány na všech plochách. Počet vzorků byl stanoven dle jednotlivých měření (velikostí výrobní dávky, počtem sledovaných výrobních dávek). Vstupní vlhkost materiálu do procesu plastifikace byla požadována 25 až 30 %.

Dále byla požadována kvalita hranolků odpovídající povoleným vadám dřeva pro ohýbání (Tab. 1).

## 9 Metodika

Během roku 2014 bylo provedeno pozorování operací plastifikace a ohýbání ve firmě Ton a.s. Plastifikace byla provedena v pařících komorách. Ohýbání bylo provedeno na ohýbače s otočným jádrem (Sádlík). Po stabilizaci ohybů byla provedena analýza výskytu a charakteru vad. Celkem bylo provedeno 11 sad měření, v průběhu roku od dubna do listopadu. Vyhodnoceno bylo 814 ohnutých dílců

### 9.1 Zjištění hodnot podmínek a faktorů

Před operací plastifikace bylo provedeno hodnocení hranolku jako vstupního materiálu. Sledovány byly rozměry hranolku, které byly měřeny svinovacím metrem a zaznamenávány byly odchylky od požadovaných rozměrů.

Hodnocena byla kvalita opracování. Toto hodnocení bylo provedeno vizuálně a sledovaným parametrem byla drsnost opracování jednotlivých ploch přířezu.

Dále byly zaznamenány vady materiálu neodpovídající povoleným parametrům. Vizuálně byl hodnocen odklon vláken od podélné osy a přítomnost suků.

Pozorováním během pracovního procesu byl vypracován popis zahrnující předepsané technologické podmínky, faktory a vlastnosti materiálu během každé operace. Zvoleny byly operace plastifikace v pařících komorách a strojní ohýbání na ohýbače s otočným jádrem. Ke sledování a měření bylo použito měřících přístrojů, které poskytl podnik Ton a.s. Dále byly tyto hodnoty porovnány s hodnotami doporučenými.

Tab. 4 Přehled měřených faktorů a způsob jejich zjištění

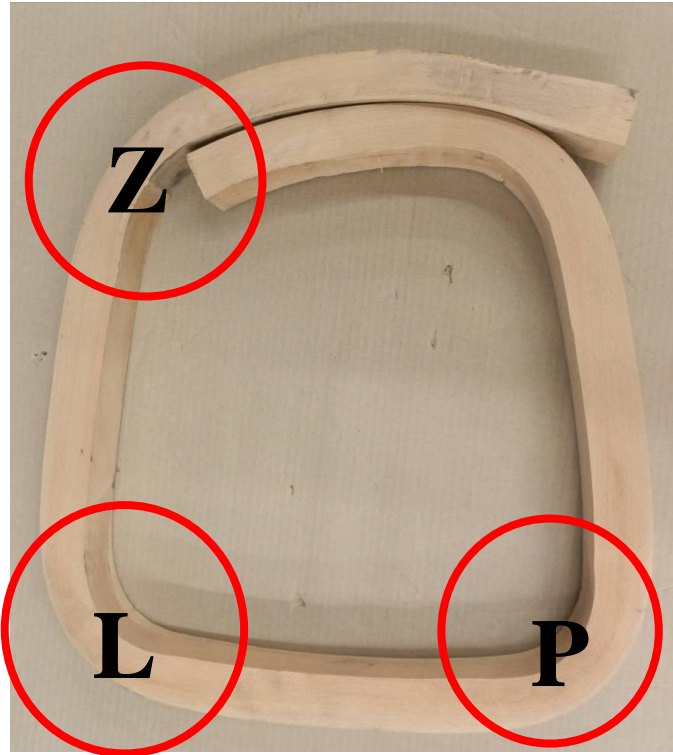
Faktor	Měrná jednotka	Měřeno
Tlak páry při plastifikaci	MPa	Tlakoměr
Teplota páry	°C	Teploměr
Teplota prostředí	°C	Přenosný teploměr
RVV	%	Přenosný vlhkoměr
Čas plastifikace 1.hranolku	min	Stopky
Čas ohýbání (prodleva)	s	Stopky
Čas plastifikace všech hranolků	min	Stopky

### **9.1.1 Popis pomůcek**

- Svinovací metr
- Číselník umístěný nad vstupem do pařící komory.
- Teploměr umístěný u rozvodny páry do všech pařících komor na ohýbárně.
- Stopky
- Přenosný vlhkoměr a teploměr (typ přístroje: GFTH 95 Digital hygro-thermometer Greisinger)
- Záznamový arch
- Psací potřeby
- Fotoaparát
- Arch s povolenými vadami pro ohýbání hranolků

## 9.2 Klasifikace vad

Po srážení ohybů z pásnice po jejich stabilizaci (sušení) bylo provedeno detailní hodnocení a zaznamenání vad.



**Obr. 9** Grafické znázornění hodnocených oblastí

Byly pozorovány a zaznamenávány tyto hodnoty:

- a) Porušení na vnější straně ohybu v místech P a L. Hodnoty byly zaznamenány v mm. V případě, že hloubka porušení byla na každé straně rozdílná, byla vypočítána průměrná hodnota.
- b) Porušení na vnější straně ohybu v místě Z. Hodnoty byly zaznamenány v mm. V případě, že hloubka porušení byla na každé straně rozdílná, byla vypočítána průměrná hodnota pro obě strany.
- c) Trhliny v ploše byly změřeny a zaznamenána byla jejich četnost.
- d) Trhliny na čelech. Zaznamenán byl stav bez nebo s výskytem těchto trhlín.
- e) Záhyby (zvlnění) na vnitřní straně ohybu.

Hodnoty byly zaznamenány do záznamového archu společně s číslem dílce.

### 9.3 Analýza zmetků

Po ukončení veškerého měření a pozorování byly kvantitativně stanoveny počty zmetků na operaci ohýbání a celkové procentuální vyjádření. Procentuální zmetkovitost byla porovnána s povoleným procentem zmetků na příslušné operaci ve výrobě. Dále byl stanoven podíl jednotlivých vad na počtu zmetků. Následně byly hledány souvislosti mezi výskytem a charakterem jednotlivých vad a zjištěných faktorů.

### 9.4 Měření vlivu vytipovaných faktorů na vznik a charakter vad

Byly vytipovány faktory ovlivňující vznik vad na ohýbaných dílcích. Výběr faktorů není úplný a odpovídá možnostem výroby a požadavkům zadavatele (TPV).

Byla stanovena metodika zjišťování vlivu těchto faktorů na výskyt a charakter vad na dílcích. K měření bylo použito měřících přístrojů podniku Ton a.s.

#### 9.4.1 Vliv časové prodlevy mezi plastifikací a pařením

Hranolky byly z pařicí komory vytahovány po třech (v některých případech, kdy je třeba zrychlit čas celé operace, po čtyřech) kusech. Po vytažení byly položeny na odkládací plochu u ohýbacího stroje a postupně ohýbány. Zaznamenán byl čas vytažení hranolku z pařicí komory a dále pak čas vlastního ohybu hranolku. Časová prodleva byla vypočtena odečtením těchto časů a vyjádřena v minutách. Dále bylo zaznamenáno číslo dílce. Hodnoty časové prodlevy byly na základě čísla dílce propojeny s jejich konečným vyhodnocením a byly hledány souvislosti mezi počtem jednotlivých vad v závislosti na časové prodlevě.

**Sledované parametry:** čas vytažení z pařicí komory, čas ohýbání, mezičas, číslo dílce

**Pomůcky:** stopky, záznamový arch, tužka

#### 9.4.2 Vliv počátečního přepětí

Počáteční přepětí je vyvíjeno dotahovým kolem a jeho velikost je určena pracovníkem. Měření bylo provedeno porovnáním rozdílů ústupu pístu dotahového mechanismu před a po ohnutí hranolku. Pracovník provedl uložení hranolku do pásnice, zajištění zajišťovacími patkami, vyložení prokladovým hranolkem a ruční vypnutí (dotažení). Poté byla změřena délka pístu.

Ručně byl spuštěn chod stroje. Po ukončení ohýbání, bez zásahu obsluhy, byla změřena délka pístu.

Po umístění tvárnice s ohybem na paletu bylo na plochu hranolku napsáno celkové pořadí v celé dávce.



**Obr. 10**Měření pístu před ohýbáním

Pracovník spustil chod stroje. Po jeho automatickém zastavení bylo okamžitě provedeno měření pístu v témže místě a zaznamenána hodnota.



**Obr. 11**Měření pístu po ohýbání

**Sledované parametry:** délka pístu před a po ohýbání

**Pomůcky:** svinovací metr, záznamový arch, tužka

### 9.4.3 Změna polohy konce hranolku vůči konci pásnice (nedostatečně zajištěný ohyb)

Pro zjištění dostatečné fixace ohybu v tvárnici bylo provedeno měření změny polohy čelní plochy hranolku vůči konci pásnice.

Změna polohy byla provedena porovnáním stopy roviny procházející čelem hranolku před a po stabilizaci ohybu.

Po ukončení ohýbání a umístění ohybu na paletu bylo čelo hranolku proloženo pevnou rovinou, jejíž stopa byla zaznačena lihovým fixem na pásnici.

Po operaci stabilizace před sražením hranolku z pásnice bylo provedeno označení stejným způsobem, ale jinou barvou fixu a následně změřen rozdíl mezi oběma úsečkami na pásnici.



Obr. 12 Značení stopy roviny čelní plochy hranolku

**Sledované parametry:** rozdíl do kladného i záporného směru posunu vůči původní stopě roviny (tedy původní poloze hranolku)

**Pomůcky:** lihový fix dvou barev, pevná plochá destička, pravítko, záznamový arch, tužka

## 10 Výsledky

### 10.1 Souhrn měřených podmínek a faktorů

Byly zjištěny odchylky od požadovaných rozměrů hranolku, před operací plastifikace. Ve všech rozměrech byly zjištěny záporné odchylky, žádný hranolek nepřekročil požadované rozměry. Maximální hodnota odchylky od požadované délky hranolku byla -3 mm, od šířky hranolku -1 mm a od tloušťky -3 mm.

Tab. 5 Zjištěné rozměry hranolků před operací plastifikace

Počet vzorků	Rozměry	Požadované	Naměřené			
			Průměr	$\sigma$	Min	Max
n		[mm]				
60	Délka	1640	1638,6	0,053	1637	1639
60	Šířka	40	39,92	0,276	39	40
60	Tloušťka	40	39,05	0,973	37	40

Při kontrole kvality materiálu náhodně vybraného souboru dílců připraveného k plastifikaci bylo zjištěno množství nepovolených vad. Kvalitu opracování nesplňovalo 62 % kontrolovaných hranolků. Dále požadavky na vady materiálu (odklon vláken a suky) nesplňovalo celkem 50 % hranolků. Procentuální zastoupení vad v tabulce Tab. 6 bylo hodnoceno zvlášť a nezohledňuje vzájemné kombinace na jednom dílci.

Tab. 6 Četnost a charakter nepovolených vad na hranolcích určených k ohýbání

Nepovolená vada	Počet vzorků	Vyhovující	Nevyhovující	
Kvalita opracování	60	23	37	62 %
Odklon vláken	60	39	21	35 %
Suky	60	51	9	15 %

Znázornění rozložení kombinací vad v hodnoceném souboru je zobrazeno v tabulce Tab. 7. Alespoň 2 vady byly vyhodnoceny na 32 % hranolků.

Tab. 7 Rozložení počtu vad na celkovém počtu dílců

Hodnoceno	n	
Počet vzorků	60	100 %
Bez vady	15	25 %
Jedna vada	26	43 %
Alespoň 2 vady	19	32 %



Zjištěné hodnoty technologických podmínek jsou zapsány v tabulkách (Tab. 8 a Tab. 9) a jsou srovnány s hodnotami doporučenými literaturou Trávník (2008) a Trebula (2002).

**Tab. 8 Technologické podmínky ve výrobě**

<b>Podmínka</b>	<b>Naměřená hodnota</b>	<b>Doporučená hodnota</b>	<b>Jednotka</b>
Tlak páry při plastifikaci	0,026 - 0,03	0,02 - 0,05	MPa
Teplota páry	104 - 109	102 - 105	°C
Teplota prostředí	22 - 30	-	°C
RVV	41,9 - 54,3	-	%

**Tab. 9 Hodnoty vybraných faktorů**

	<b>Naměřená hodnota</b>			<b>Doporučená hodnota</b>	<b>Jednotky</b>
	Min	Max	Průměr		
Čas plastifikace	77	134	90	120 - 150	min
Doba hranolku v komoře	77	252	143	120 - 150	min
Prodleva ohýbání	0	480	148	10 - 15	s

## 10.2 Analýza vad

Hodnoty v tabulkách vyjadřují četnost vad v průběhu jednotlivých měření. Tabulky jsou zpracovány pro každou vadu zvlášť a vady jsou hodnoceny ve třech skupinách:

<b>Skupina A</b>	s vadou hloubky do 4 mm
<b>Skupina B</b>	s vadou hloubky nad 4 mm včetně
<b>Skupina C</b>	dílce, na kterých se vada nevyskytovala

Tab. 10 Četnost podélného porušení (L+P) v průběhu jednotlivých měření

Podélné porušení na vnější straně ohybu (L+P)				
Číslo měření	Počet vzorků	A	B	C
1	48	16	0	32
2	60	36	38	22
3	62	36	36	26
4	56	15	15	41
5	65	30	31	34
6	38	17	18	20
7	67	20	23	44
8	64	30	38	20
9	62	33	35	27
10	124	44	45	79
11	168	59	61	107
<b>Celkem</b>	<b>814</b>	<b>41%</b>	<b>42%</b>	<b>56%</b>

Celkem bylo hodnoceno 814 hranolků. V tabulce Tab. 10 jsou uvedeny hodnoty pro podélné porušení na vnější straně ohybu (L+P). Dílců bez výskytu této vady bylo evidováno 56 %. Vady hloubky do 4 mm byly vyhodnoceny u 41 % hranolků a nad 4 mm u 42 % hranolků.

**Tab. 11 Četnost podélného porušení (Z) v průběhu jednotlivých měření**

<b>Podélné porušení na vnější straně ohybu (Z)</b>				
Číslo měření	Počet vzorků	A	B	C
1	48	25	6	17
2	60	36	2	27
3	62	32	3	27
4	56	19	17	20
5	65	31	13	21
6	38	14	1	23
7	67	20	3	44
8	64	21	9	34
9	62	14	6	42
10	124	38	21	65
11	168	55	25	88
<b>Celkem</b>	<b>814</b>	<b>37%</b>	<b>13%</b>	<b>50%</b>

Tabulka Tab. 11 vykazuje hodnoty pro podélné porušení (Z) na vnější straně ohybu. Tato vada nebyla vyhodnocena na 50 % hranolků. Porušení do hloubky 4 mm bylo vyhodnoceno u 37 % hranolků a nad 4 mm u 13 % hranolků.

**Tab. 12 Četnost vybraných vad v průběhu jednotlivých měření**

<b>Trhlina čela, trhlina plocha, záhyby</b>				
Číslo měření	Počet vzorků	Trhliny čela	Trhliny plocha	Záhyby
1	48	0	4	5
2	60	0	1	11
3	62	0	4	2
4	56	1	8	14
5	65	34	4	7
6	38	6	1	5
7	67	0	10	21
8	64	30	6	14
9	62	19	3	22
10	124	0	0	39
11	168	0	4	45
<b>Celkem</b>	<b>814</b>	<b>11%</b>	<b>6%</b>	<b>22%</b>

Bylo zjištěno 22 % dílců s výskytem záhybů. Trhliny na čele byly vyhodnoceny u 11 % hranolků a na plochách u 6 % hranolků.

Na obrázcích Obr. 13 až Obr. 20 jsou znázorněny projevy jednotlivých vad. Dále byla provedena analýza četnosti těchto vad v rámci hodnocených hranolků.



**Obr. 13** Ohyb bez vad celý



**Obr. 14** Ohyb bez vad - detail konvexní plochy



**Obr. 15** Jemné podélné porušení vláken na konvexní ploše



**Obr. 16** Porušení vláken v příčném směru



**Obr. 17** Porušení vláken v příčném směru



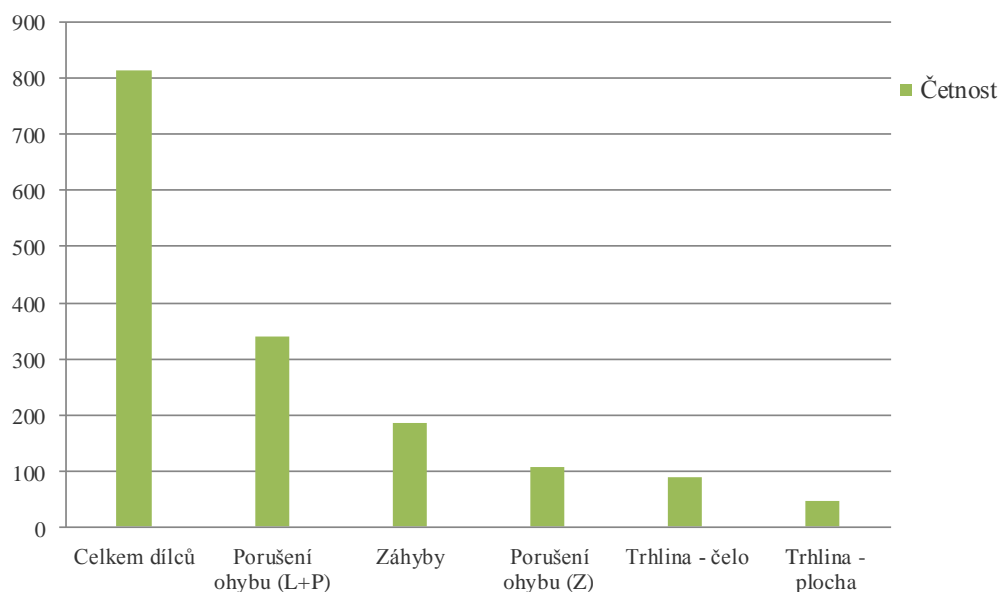
**Obr. 18** Trhlina na ploše



**Obr. 19** Trhliny na čele hranolku



**Obr. 20** Záhyby na vnitřní straně ohybu



Obr. 21 Grafické znázornění četnosti jednotlivých vad

### 10.3 Analýza zmetkovitosti

Během měření byly evidovány vyřazené vadné dílce a hodnocen jejich stav. V tabulce Tab. 13 je uvedena četnost zmetků během jednotlivých měření a procentuálně vyjádřena celková zmetkovitost.

Tab. 13 Podíl zmetků v průběhu jednotlivých měření

Zmetkovitost				
Číslo měření	Počet vzorků	Bez vad	Dobrych	Zmetků
1	48	6	36	6
2	60	9	49	2
3	62	7	54	1
4	56	11	39	6
5	65	6	54	5
6	38	9	25	4
7	67	9	54	4
8	64	3	59	2
9	62	6	50	6
10	124	32	90	2
11	168	32	133	3
<b>Celkem</b>	<b>814</b>	<b>16%</b>	<b>79%</b>	<b>5%</b>

Celkově bylo vyhodnoceno 814 ohnutých dílců. Za použitelné bylo označeno 95 % ohnutých dílců, z toho na 16 % dílců nebyla vyhodnocena žádná sledovaná vada. Vady na zbylých 79 % dílců nebyly příčinou vzniku zmetku a v průběhu následujících operací budou z dílce odstraněny.

Reálná stanovená průměrná zmetkovitost na tomto typu dílce je okolo 5 % a zjištěná hodnota tomu odpovídá. Na zmetcích se v nejvyšší míře podílí přítomnost vady materiálu, podélné porušení vláken a záhyby na vnitřní straně ohybu.

**Tab. 14 Podíl jednotlivých příčin na počtu zmetků**

<b>Počet zmetků</b>	<b>Příčina</b>
13	Porušení v důsledku přítomnosti vady materiálu (odklon vláken, suk, sval)
12	Podélné porušení na vnější straně ohybu v důsledku překročení meze pevnosti v tahu
11	Záhyby na vnitřní straně ohybu v důsledku překročení meze pevnosti v tlaku
1	Porušení v důsledku nekvalitního opracování plochy
2	Přítomnost trhliny na ploše
2	Porušení v důsledku uvolnění zajišťovacího prvku pásnice



## 10.4 Stanovení vlivu vybraných faktorů na výskyt a charakter vad

### 10.4.1 Vliv časové prodlevy mezi plastifikací a vlastním ohýbáním hranolku

Celkově byl vliv časové prodlevy hodnocen na 298 kusech hranolků. Sledována byla četnost vad, které byly vyhodnoceny jako vady s největším podílem na vzniku zmetků.

U 69 kusů nebyla vyhodnocena žádná ze sledovaných vad. U 229 kusů byla vyhodnocena jedna nebo více vad.

Pro přehlednost byla četnost jednotlivých vad hodnocena samostatně, bez ohledu na vzájemné kombinace. V tabulce (Tab. 15) je uvedeno celkové zastoupení jednotlivých vad, tedy četnost výskytu vady na celkovém počtu dílců.

Časová prodleva mezi plastifikací a vlastním ohýbáním hranolku se pohybovala v rozmezí 0 – 8 min. Bylo vytvořeno 5 skupin podle délky časové prodlevy.

Tab. 15 Podíl vadných dílců na celkovém počtu dílců v jednotlivých skupinách

Prodleva [min]	Celkem dílců	Bez vad	Vadné dílce	
<2	84	16	68	81 %
2	61	19	42	69 %
3	61	12	49	80 %
4	36	6	30	83 %
4<	56	16	40	71 %
Celkem	298	69	229	77 %

Tabulka Tab. 16 uvádí četnosti zjištěných vad v jednotlivých skupinách.

Tab. 16 Četnost jednotlivých vad podle časové prodlevy

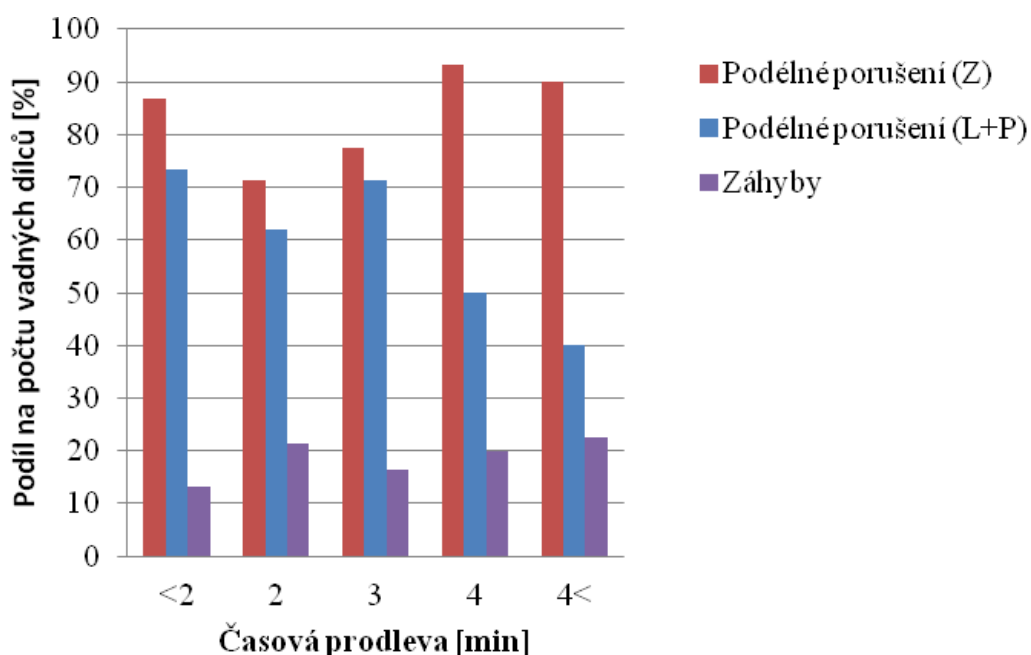
Prodleva [min]	Podélné porušení (L+P)	Podélné porušení (Z)	Záhyby
<2	50	59	9
2	26	30	9
3	35	38	8
4	15	28	6
4<	16	36	9

Z důvodů nestejného počtu vzorků v jednotlivých skupinách byla pro lepší názornost vytvořena tabulka s procentuálním zastoupením jednotlivých vad v rámci vytvořených skupin.

Tab. 17 Procentuální vyjádření výskytu vad na počtu vadných dílců [%]

Prodleva [min]	Podélné porušení (L+P)	Podélné porušení (Z)	Záhyby
<2	74	87	13
2	62	71	21
3	71	78	16
4	50	93	20
4>	40	90	23

Z hodnot procentuální zastoupení jednotlivých vad byl vytvořen graf. Průběh četností vad v závislosti na délce časové prodlevy je u podélného porušení (L+P) znázorněn jako mírně klesající. Četnost vad podélného porušení (Z) se v jednotlivých skupinách příliš neměnila. Lze však sledovat mírně rostoucí tendenci. Rostoucí trend vykazuje také četnost záhybů.



Obr. 22 Procentuální zastoupení jednotlivých vad na vadných ohybech podle časové prodlevy

#### 10.4.2 Vliv počátečního přepětí (koncového tlaku)

Celkově byl vliv této změny hodnocen na 277 kusech hranolků. Sledována byla četnost vad, které byly vyhodnoceny jako vady s největším podílem na vzniku zmetků.

U 65 kusů nebyla vyhodnocena žádná z pozorovaných vad. U 212 kusů byla vyhodnocena jedna nebo více vad.

Pro přehlednost byla četnost jednotlivých vad hodnocena samostatně, bez ohledu na vzájemné kombinace. Změna délky pístu se pohybovala v rozmezí 0 – 4,4 cm. Byly vytvořeny 4 skupiny podle změny délky. V tabulce (Tab. 18) je uvedena vždy skupina změny a celkový počet příslušných dílců a z toho počet vadných dílců.

Tab. 18 Podíl vadných dílců na celkovém počtu dílců v jednotlivých skupinách

Změna délky [cm]	Celkem dílců	Bez vad	Vadné dílce	
<2,1	73	19	54	74 %
2,2	67	12	55	82 %
2,3	64	20	44	69 %
2,4<	73	14	59	81 %
Celkem	277	65	212	77 %

Dále byla vytvořena tabulka s četností jednotlivých vad podle skupin změny délky pístu.

Tab. 19 Četnost jednotlivých vad podle změny délky pístu

KT[cm]	Podélné porušení (L+P)	Podélné porušení (Z)	Záhyby
<2,1	38	46	8
2,2	26	47	10
2,3	24	35	7
2,4<	44	49	13

Pro srovnání byla vytvořena tabulka s procentuálním zastoupením jednotlivých vad v rámci vytvořených skupin.

Tab. 20 Procentuální vyjádření výskytu vad na počtu vadných dílců podle změny délky pístu[%]

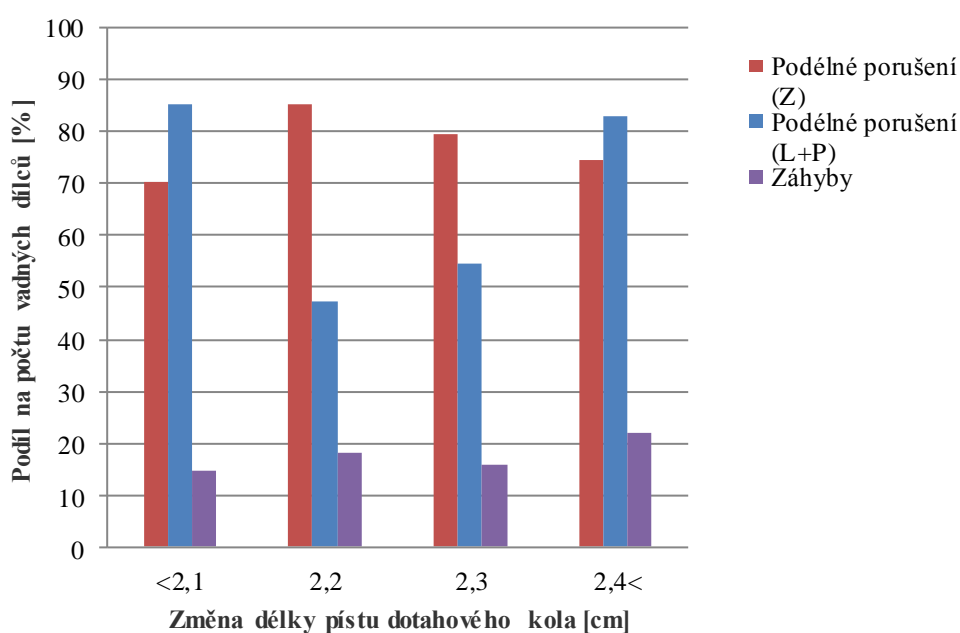
KT [cm]	Podélné porušení (L+P)	Podélné porušení (Z)	Záhyby
<2,1	85	71	14
2,2	47	85	18
2,3	55	80	16
2,4<	83	75	22

Z tabulky (Tab.20) byl sestrojen graf procentuálního zastoupení jednotlivých vad podle změny délky pístu.

Procentuální zastoupení vady podélného porušení (L+P) je nejnižší u změny délky pístu 2,2 a 2,3 cm. U nižších nebo vyšších hodnot změny je podíl této vady až 85 %.

Zastoupení vady podélné porušení (Z) má rovnoměrný podíl okolo 80 %. Největší hodnoty nabývá pro 2,2 cm a to 85 %.

Zastoupení záhybů pozvolna roste a nejvyšší výskyt je vykazován u změny délky větší než 2,4 cm. V této skupině se záhyby vyskytly u 22 % dílců.



Obr. 23 Procentuální zastoupení jednotlivých vad podle změny délky pístu [%]

### 10.4.3 Vliv povolení zajišťovacího prvku pásnice

Celkově bylo hodnoceno 123 kusů hranolků v pásnicích. Sledována byla četnost vad, které byly vyhodnoceny jako vady s největším podílem na vzniku zmetků.

U 40 hranolků nebyla vyhodnocena žádná z pozorovaných vad. U 83 hranolků byla vyhodnocena jedna nebo více vad.

Pro přehlednost byla četnost jednotlivých vad hodnocena samostatně, bez ohledu na vzájemné kombinace.

Změna polohy čela hranolku vůči konci pásnice se pohybovala v rozmezí od -2 do 2 mm. Byly vytvořeny 3 skupiny (zkrácení - čelo hranolku ustoupilo, 0 – nenastala změna, prodloužení – čelo hranolku se přiblížilo konci pásnice). V tabulce (Tab. 21) je uvedena vždy skupina změny a celkový počet příslušných dílců a z toho počet vadných dílců.

Tab. 21 Podíl vadných dílců na celkovém počtu dílců v jednotlivých skupinách

Změna [mm]	Celkem dílců	Bez vad	Vadné dílce	
zkrácení	34	18	16	47 %
0	48	17	31	65 %
prodloužení	41	5	36	88 %
Celkem	123	40	83	67 %

V tabulce (Tab. 22) je uvedeno celkové zastoupení jednotlivých vad, tedy četnost výskytu vady na celkovém počtu dílců.

Tab. 22 Četnost jednotlivých vad podle změny polohy hranolku

Změna [mm]	Podélné porušení (L+P)	Podélné porušení (Z)	Záhyby
zkrácení	11	11	4
0	16	21	15
prodloužení	20	29	15

Pro srovnání byla vytvořena tabulka s procentuálním zastoupením jednotlivých vad v rámci vytvořených skupin.

**Tab. 23** Procentuální vyjádření výskytu vad u vadných dílců podle změny polohy hranolku [%]

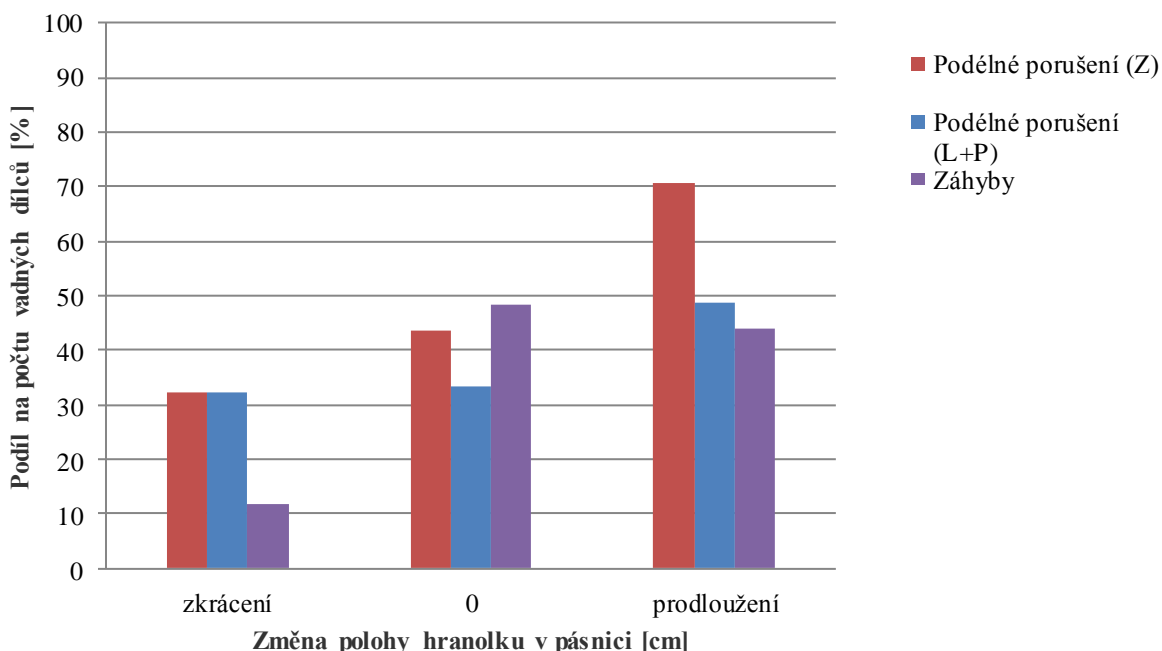
Změna [mm]	Podélné porušení (L+P)	Podélné porušení (Z)	Záhyby
zkrácení	32	32	12
0	33	44	48
prodloužení	49	71	44

Z tabulky Tab.23 byl sestrojen graf procentuálního zastoupení jednotlivých vad podle změny délky pístu.

Zastoupení vady podélné porušení (L+P) vykazuje nejmenší četnost u změny zkrácení, tedy ústupu čela hranolku, a to 32 %. Dále výskyt této vady roste až do podílu 49 %.

Zastoupení vady podélné porušení (Z) má rostoucí tendenci. Nejnížší hodnoty nabývá při změně polohy zkrácení a to 32 %. Nejvyšší hodnoty pak vykazuje u změny prodloužení, kdy je výskyt této vady v rámci vaných dílců 71 %.

Zastoupení záhybů je nejnížší u změny zkrácení 12 %. Naopak nejvyšší podíl mají záhyby pro změnu 0 a prodloužení 48 % a 44 %.



**Obr. 24** Procentuální zastoupení vad podle změny polohy hranolku v pásnici

# 11 Diskuze

## Materiál

Při hodnocení materiálu na náhodně vybraných hranolcích bylo zjištěno, že nejvyšší naměřená odchylka od požadované délky hranolku měla hodnotu **-3 mm**.

Maximální hodnota zjištěné odchylky od požadované šířky a tloušťky hranolku byla **-3 mm a -1 mm**. Nedodržení délky snižuje pracnost výroby, protože pracovník musí chybějící rozměry doplňovat přidáním menšího hranolku a dle potřeby upravit polohu přitlačného elementu.

Při ohýbání hranolků při výrobě sedákového dílce 056 se nejedná o odchylku vedoucí k tvorbě zmetků. U jiných typů dílců, především dílců ohýbaných v souborech, je nutné rozměry dodržovat, pro rovnoměrné rozložení koncového tlaku všech hranolků.

Ve výrobě je velkým problémem kladná odchylka u požadovaného průřezu. Hranolek se při ohýbání vkládá s pásnicí do vodící kolejnice, jejíž rozměry odpovídají požadovaným rozměrům hranolku. Při větších rozměrech není možné hranolek do kolejnice vpassovat.

Měřením bylo zjištěno, že rozměry hranolků používaných pro ohýbání i přes drobné odchylky vyhovují výrobním požadavkům.

U hranolků byly hodnoceny také četnost a charakter vad materiálu. Sledovány byly nepovolené vady: odklon vláken a přítomnost suků. Také byl vyhodnocen počet hranolků s nedostatečnou kvalitou povrchu (drsností).

Bylo zjištěno, že 62 % hranolků nemělo kvalitně opracovaný povrch. Drsnost povrchu byla způsobena nesprávným seřízením stroje (frézy), což ukázaly vlnky na povrchu hranolku. Dále mohlo dojít k otupení řezného nástroje, což ukázala vytrhaná vlákna dřevových paprsků. Určité procento nerovností mohlo být způsobeno špatnou kvalitou dodaného materiálu a nevyhovujícími rozměry, kdy při opracování na čisté rozměry ve výrobě nelze pro jejich zachování odstranit veškeré nerovnosti povrchu.

Nerovnoměrný povrch zabraňuje úplnému přilnutí pásnice k hranolku, a tak snižuje její účinnost (Trávník, 2008).

Nepovolený odklon vláken byl zjištěn u 35 % hranolků. Odklon vláken způsobuje během ohýbání nerovnoměrné rozložení tlaku a tahu. To vede k vybočení vláken a záhybům na konkávní straně a podélným porušením na straně konvexní.

Nepovolené suky (větší než 5 mm) byly zjištěny u 15 % hranolků. Většina suků nevede ke vzniku zmetků, protože nejsou příliš hluboké a při dalších operacích dojde k jejich odstranění. Záleží však na velikosti, hloubce, poloze suku a jeho mechanických vlastnostech.

Obecně lze říci, že požadavky na materiál nejsou z velké části splněny a je velké riziko vzniku zmetků. Přes přítomnost těchto vad, lze riziko eliminovat na dalších stupních výroby důsledným dodržáním podmínek nebo jejich úpravou.

Řešením by bylo zvážit upravení podmínek pro dodavatele přířezů, zvýšení kontroly při přebírání dodávek, přidání průběžných vizuálních kontrol pro zachycení vadného dílce na co nejnižším stupni výroby, dále při ohýbání ukládat dílec do pásnice v závislosti na jeho směru vláken a otočení dřevných paprsků, pravidelná kontrola a údržba chodu frézy.

### **Vlhkost materiálu**

Během experimentu byly před plastifikací provedeny namátkové kontroly hrotovým vlhkoměrem. Hodnoty nebyly zjištěny přesnou metodikou, a proto nejsou uvedeny ve výsledcích. Přesto bylo patrné, že vlhkost je velmi proměnlivá nejen v rámci jednotlivých dávek, ale také v rámci jedné palety hranolků. A je třeba říct, že předepsaných hodnot často nedosahuje.

Vlhkost je ovlivněna ročním období, především v létě dochází u přirozeně sušených hranolků k poklesu vlhkosti a vzniku trhlin. Tento problém se řeší zakrytím čel hranolků během sušení a v procesu plastifikace jsou hranolky polévány a je prodloužena doba paření. Vliv má samozřejmě i vlhkost dodávaného materiálu a šetrnost sušení a zpracování kulatiny na hrubé přířezy dodavatelem.

Dalším faktorem je doba stání palety s hranolky přichystanými k plastifikaci na ohýbárně, kde je vysoká teplota kolem 30 °C a nízká vlhkost kolem 45 %.

Vlhkost je faktorem s velkým vlivem na kvalitu ohýbání, v praxi je však také velmi složité ji zajistit, vzhledem k variabilitě každé dávky. Lze ji však pečlivou a pravidelnou kontrolou sledovat a na základě zjištěných hodnot přijmout příslušná opatření. Dalším faktorem je investice do strojního zařízení a do výrobních prostor a pravidelné údržby. Nemalý podíl na dosažení požadované vlhkosti mají zaměstnanci na jednotlivých stupních výroby a jejich disciplíně, zkušenosti a možnosti případného zásahu.



## **Technologické podmínky**

Technologické podmínky jako tlak páry a parametry prostředí (teplota a RVV) byly srovnány s literaturou a nebyly zjištěny výrazné odchylky.

Pouze u teploty páry bylo naměřeno rozmezí teplot 102 – 109 °C oproti doporučenému rozsahu 102 – 105 °C (Trávník, 2008).

Kúdela (2002) uvádí, že s rostoucí teplotou páry klesá bod nasycení vláken, zároveň by ale vlhkost dřeva neměla pod tento bod klesnout.

Doba paření byla naměřena v rozmezí 77 až 134 minut (první hranolek) až 252 (poslední hranolek). Předepsaná hodnota literaturou je 120 – 150 min (Trávník, 2008).

## **Analýza výskytu a charakteru vad**

Z výsledků analýzy vad v měsících od dubna do listopadu vyplývá, že největší procentuální zastoupení mají dílce s podélným porušením na vnější straně ohybu. Sledována byla především hloubka tohoto porušení nad 4 mm. Podíl dílců s výskytem podélného porušení (L+P) byl 41,77 % a podélného porušení (Z) 13,02 %.

Přítomnost trhlin na ploše byla vyhodnocena u 5,53 % dílců. Trhliny na čelech, jejichž markantní výskyt byl vyhodnocen u 11,06 % dílců, jsou běžným jevem a v malé míře se vyskytují na všech dílcích.

Záhyby, ve formě zvlnění vláken nebo vybočení vláken z roviny ohybu byly vyhodnoceny u 22,73 % dílců.

Tyto zjištěné vady korespondují s výčtem nejčastějších vad v literatuře Kúdela (2002). Zde je uvedeno, že při ohýbání nejčastěji dochází k porušení na konvexní (tahové) straně a k záhybům na straně konkávní (tlakové).

Dále uvádí nejčastější vady vznikající při stabilizaci ohybů a to čelní trhliny a podélné porušení vláken. Ke stejným závěrům při analýze vad při použití technologie strojního ohýbání došel také Schwarz (2011).

## **Analýza zmetkovitosti**

Zmetkovitost byla hodnocena na 814 dílcích v období od dubna do listopadu. U 130 dílců nebyla zjištěna žádná sledovaná vada. Jako použitelných bylo vyhodnoceno 684 dílců. Vytříděno bylo 41 zmetků, což odpovídá 5% zmetkovitosti. Tato hodnota zmetkovitosti odpovídá procentu povolených zmetků na příslušném pracovišti.

Asi 30 % zmetků bylo způsobeno vybočením vláken z roviny ohybu nebo porušením materiálu vlivem přítomnosti vady materiálu (odklonem vláken, přítomností svalu nebo suku). Odklon vláken vede k porušení na konvexní straně a záhybů na straně konkávní.

Kúdela (2002) uvádí, že úhel odklonu vláken od podélné osy tělesa je dán sbíhavostí výřezu a je velká pravděpodobnost přenesení této sbíhavosti do hranolku. Odklon vláken způsobuje vznik porušení na tahové straně a záhyby, kterým ale nelze předejít dostatečnou plastifikací, protože vysoký stupeň plastifikace vede k poklesu pevnosti v tahu kolmo na vlákna a ve smyku. Při ohýbání dílců s odklonem vláken tak na konkávní straně vznikají porušení právě vlivem tlaku kolmo na vlákna a smyku.

Odklon vláken jako nepovolená vada, byl zároveň před operací plastifikace vyhodnocen u 30 % hranolků

Dalších 30 % zmetků bylo způsobeno podélným porušením vláken a stejně tak i 30 % ohybů bylo vytříděno kvůli záhybům na konkávní straně ohybu (vybočení vláken nebo vrstev dřeva).

Zbýlých 10 % zmetků bylo způsobeno porušením materiálu vlivem přítomnosti trhlin na ploše, kvalitou opracování a uvolněním spony pásnice. Fixování konců dílce v ohybu je uvedeno v literatuře jako jedna z hlavních příčin vzniku vad (Kúdela, 2002).

V období mezi měřeními 8 a 9 došlo k revizi strojního zařízení a k výměně kolejnice. Skokové zvýšení podílu zmetků u měření 9 bylo důsledkem nevhodného seřízení stroje s novou kolejnicí a zkoušení nastavení otočného jádra. Po odstranění všech závad je znatelný pokles podílu zmetků. Z tohoto lze odvodit vliv stavu strojního zařízení na tvorbu zmetků. Toto zjištění odpovídá výsledkům pozorování, která provedl Kubinský et.al (1959), ten zkoumal vliv opotřebení strojního zařízení na podíl zmetků a došel k jasnému prokázání tohoto vlivu.

### **Vliv časové prodlevy mezi plastifikací a vlastním ohýbáním**

Z důvodu vytahování hranolků v souborech z pařících komor a postupném ohýbání jednotlivých hranolků byl zkoumán případný vliv doby vystavení hranolků teplotním a vlhkostním podmínkám ohýbárny po dobu až několika minut.

Z výsledků nevyplývá souvislost mezi výskytem a charakterem vad a časovou prodlevou mezi plastifikací a vlastním ohýbáním.

### **Vliv hodnoty počátečního přepětí (koncového tlaku)**

Dále byl zkoumán vliv ústupu pístu dotahového kola. Otočením dotahového kola se přes píst a prokladový hranolek přenáší tlak na čelo hranolku před ohýbáním. Při vlastním ohýbání píst tlakem na konec hranolku kompenzuje tahové napětí v hranolku a zároveň dochází ke stlačení hranolku ve směru rovnoběžně s vlákny.

Nastavení počátečního tlaku, ale není konstantní a vždy záleží na obsluze stroje. Pozorováním bylo zjištěno, že při nedostatečném nastavení počátečního přepětí, dochází k porušení hranolku na tahové straně (v případě použití opotřeбенé pásnice, pak tato pásnice neudrží tah dřeva a při ohýbání dojde k jejímu porušení, a tím úplnému znehodnocení hranolku).

Změna délky pístu byla tedy zkoumána s předpokladem, že délka pístu se mění podle ručního nastavení počátečního přepětí, tedy že čím větší přepětí, tím větší je délka pístu.

Otázkou bylo, zda tato změna má vliv na charakter a četnost sledovaných vad.

Literatura uvádí, že čelní tlak, realizovaný přítlačným pevným nebo pohyblivým elementem, slouží k vyrovnávání tahového napětí působícího na hranolek. Při ohybu čelní tlak prudce stoupá a v závěru pohybu ustupuje. Zejména při ohýbání navinutím je nutné zajištění plynulé 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, 2008).

Dále je uvedeno, že zajištění plně účinného (rovnoměrného) koncového tlaku a jeho adekvátní hodnoty vede k markantnímu snížení zmetků (Kubinský et. Al, 1959).

Z naměřených výsledků je patrný mírný pokles podílu jednotlivých vad a to především podélného porušení (Z) a záhybů u rozdílu délky pístu 2,2 a 2,3 cm.

Při menším rozdílu byl podíl záhybů menší, ale podíl podélného porušení znatelně vzrostl. Vysvětlení by mohlo být v nedostatečném nastavení počátečního tlaku,

kdy nebyl dostatečně kompenzován tah ve dřevě, proto došlo k nárůstu podélných porušení na konvexní straně ohybu.

Naopak pro hodnoty změny délky pístu větší, než 2,3 je patrný nárůst podílu záhybů. Růst podílu záhybů je dán větším počátečním tlakem, než hranolek vyžadoval a tak došlo k vybočení (porušení) vláken na konkávní straně v důsledku překročení meze pevnosti dřeva v tlaku ve směru vláken. Tuto skutečnost podporuje odklon vláken, který je, jak bylo zjištěno přítomen ve 30 % hranolků.

Závěrem lze říci, že počáteční přepětí (koncový tlak) má vliv na charakter a výskyt vad. V průběhu posledních třech měření bylo na stroji instalováno kolo s momentem pro zajištění konstantní hodnoty přepětí na každém hranolku. V průběhu posledních měření lze sledovat nárůst dílců bez vad a pokles zmetků, což potvrzuje předešlé tvrzení o vlivu počátečního přepětí na hranolek.

### **Vliv povolení zajišťovacího prvku pásnice**

Vzhledem k četnosti podélného porušení na konvexní straně ohybu, byla hledána další možná příčina. Vytipováno bylo splnění funkce pásnice při operaci stabilizace. Byla sledována změna polohy čela hranolku vůči konci pásnice. Zjištěné změny byly v rozmezí -2 až 2 mm. Tedy změna -2 mm znamenala, že hranolek se vzdálil konci pásnice o 2 mm (zkrácení), změna 2 mm pak znamenala přiblížení čela hranolku k pásnici (prodloužení).

Z Obr. 24 je patrný nárůst podílu jednotlivých vad s prodloužením, respektive přiblížením hranolku ke konci pásnice.

Vysvětlením je povolení hranolku v pásnici. Záporné hodnoty jsou výsledkem seschnutí hranolku při zachování stability pásnice. Nulová změna, nesoucí s sebou zvýšené procento vadných dílců je výsledkem seschnutí hranolku a zároveň určitého uvolnění pásnice a snaha hranolku se vrátit do původního stavu. V případě kladné změny až 2 mm je podíl vad nejvyšší a je to dáno větším uvolněním hranolku v pásnici.

Pásnice na hranolku zajišťuje svěrka se šroubem. Svěrka se na pásnici a tvárnici nasazuje po ukončení ohýbání a šroub se utáhne ráčnou. Následně se ohyb vysadí s otočného jádra stroje. Při špatné výšce jádra, nebo seřízení upevňovacích elementů tvárnice na jádru, je třeba vyvinout značnou sílu na vysazení ohybu. Při této manipulaci

může dojít vybočení svěrky a částečnému povolení, které nemusí být bezprostředně rozpoznáno.

Při srážení ohybu z pásnice, je svěrka mírně uvolněna a kladivem sražena z ohybu. Tento postup je z časového hlediska úspornější, ale dochází k porušení svěrky a ohrožení její funkce.

Dalším možným důvodem je deformace pásnice, která při opakovaném používání získává vlnkovaný tvar. Takovouto pásnici nelze již dostatečně vypnout a hranolek pak k pásnici dostatečně nepřiléhá, a tím pásnice ztrácí část své funkce.

Pozorováním bylo zjištěno, že nové pásnice zanechávají na povrchu dřeva hnědo-šedé zbarvení a při vyhodnocování bylo vysledováno, že použití nové pásnice má pozitivní vliv na výskyt podélného porušení na konvexní straně. S tímto problémem souvisí požadavky na kvalitu a nízké opotřebení pásnice, to by znamenalo výrazné zvýšení kvality pásnic nebo jejich vyřazení při vykazování deformací. Z finančního hlediska je však toto řešení velmi nákladné, a to především kvůli relativně pomalému oběhu pásnic a tvárnic (pásnice a tvárnice jsou blokovány na operaci stabilizace).

## 12 Závěr

Během roku 2014 bylo provedeno pozorování operací plastifikace a ohýbání ve firmě Ton a.s. Plastifikace byla provedena v pařících komorách. Ohýbání bylo provedeno na ohýbačce s otočným jádrem (Sádlík). Po stabilizaci ohybů byla provedena analýza výskytu a charakteru vad. Celkem bylo provedeno 11 sad měření, v průběhu roku od dubna do listopadu. Vyhodnoceno bylo 814 ohnutých dílců

Byla provedena analýza výskytu a charakteru vad. Jako nejčastější vada vyskytující se samostatně nebo v různých kombinacích na dílcích byla zjištěna vada podélné porušení v místech prvního a druhého vnějšího ohybu (L+P) a to u 42 % dílců. Dále bylo zjištěno podélné porušení v místech třetího vnějšího ohybu (Z) u 13 % dílců. Záhyby na konkávní straně ohybu byly vyhodnoceny u 23 % dílců.

Zmetkovitost za sledované období byla celkově vyhodnocena jako 5%, což odpovídá povolené zmetkovitosti na pracovišti. Viz tabulka (Tab. 26).

**Tab. 24 Celkové hodnocení kvality dílců**

<b>Měření</b>	<b>Počet vzorků</b>
Hodnoceno	814
Bez vad	130
Dobrých	684
Zmetků	41
<b>Podíl zmetků</b>	<b>5 %</b>

Následně byla u každého zmetku provedena analýza záznamů a určena příčina jeho vzniku. Tímto postupem byly stanoveny příčiny a počty zmetků jimi způsobené. Jako nejčastější příčina vzniku zmetku byla vyhodnocena přítomnost nepovolených vad v materiálu (odklon vláken, suk, svalovitost) a dále porušení na vnější straně ohybu vlivem překročení meze pevnosti v tahu.

V návaznosti na zjištěné skutečnosti byla provedena namátková kontrola materiálu a u 62 % byla zjištěna nedostatečná kvalita opracování a u 50 % přítomnost nepovolených vad materiálu (odklon vláken a suky nepovolených rozměrů).

Dále bylo provedeno ověření vlivu vytipovaných faktorů na četnost a charakter vad. Zjišťován byl vliv časové prodlevy mezi plastifikací a vlastním ohýbáním.

Při vyhodnocování výsledků nebyla nalezena souvislost mezi časovou prodlevou a vznikem vad.

Ověřován byl vliv počátečního tlaku na čelo hranolku. Z výsledků je možné dojít k závěru, že při nedostatečném přepětí vznikají podélná porušení na konvexní straně hranolku. Při nastavení příliš velkého přepětí, pak vznikají na konkávní straně hranolku záhyby. Následně bylo v průběhu měření na stroji instalováno kolo s momentem a byl zaznamenán pokles podílu vad, čímž byl ověřen vliv konstantního tlaku na kvalitu dílců.

Bylo provedeno sledování uchycení hranolku v pásnici během procesu stabilizace. Ukázalo se, že při nedostatečném uchycení hranolku v pásnici, vznikají ve vnější vrstvě dřeva tahová napětí, což vede k růstu podílu vad typu podélné porušení na konvexní straně. Příčinu je třeba hledat ve stabilitě zajišťovacího elementu a stavu pásnice, dále také neopatrném zacházení s ohybem během vysunutí z otočného jádra stroje a ukládání na paletu.

Během průběhu experimentu byla provedena výměna strojního vybavení za nové, což mělo za následek snížení zmetkovitosti.

## Summary

Observations of plasticization and bending operations were made in company Ton plc. during the year 2014. The plasticization was performed in the steaming chambers. The bending was carried out on the bender with a rotary core (Sádlík). The incidence and character of defects were analyzed after the stabilization of the bends. In total, 11 sets of measurements were done during the year from April to November. 814 bends were evaluated.

Then the analysis of incidence and character of defects were done. The most common defects detected were occurring in separate or various combinations of parts where the longitudinal violation happened in the point of the first and second bend (L + R) which occurred in 41.77% of the parts. Furthermore there was found a longitudinal infringement of the bend in the point of the third bend (Z), this happened in 13.02% of the parts. Folds on the concave side of the bend were evaluated in 22.73% of the parts.

The wastage rate during the reporting period reached 5%, which corresponds to the wastage rate allowed in the workplace.

Subsequently, the analysis of records of every reject was done and its cause was detected. By this technique the causes and numbers of rejects were defined. After this survey a random inspection of the material was done and 62% were found to have insufficient processing quality and 50% presence of unauthorized material defects (diversion threads and knots of unauthorized dimensions).

Furthermore, the verification of the influence of selected factors on the frequency and nature of the defects was made. Main focus was directed to the influences of the time lag between the plasticizing and the bending. The lowest percentage of defective parts was evaluated for 2 minutes delay, interdependence was not proved.

The influence of the initial pressure on the forehead of the scantling was examined. It was found that insufficient overvoltage arises longitudinal infringement on the convex side of the scantling. Too high voltage causes the concave side of the scantling to curve. Subsequently, during the on-machine measurement there was a wheel torque installed and a decline in the proportion of defects was recorded, which was verified by the influence of constant pressure on the forehead of the scantling.

The monitoring of the scantling stability was conducted in the flange during the stabilization process. It turned out that in case of insufficient clamping of the scantling in the flange, tensile stresses occur, which leads to growth of defects such as



longitudinal infringement on the convex side. The possible cause may be the stability and state of the hedging element flange, as well as careless handling of bending during ejection from the rotating core machine and placing on the pallets.

During the experiment a machinery revitalization was conducted, which resulted in a sudden reduction in scrap rate. The influence of the state of the machinery on the quality of the bend was thus proved.

The aim of the study to demonstrate the influence of selected parameters on the incidence and nature of the defects was achieved.

## Seznam citované literatury

GANDELOVÁ, Libuše, Petr HORÁČEK a Jarmila ŠLEZINGEROVÁ. *Nauka o dřevě*. Vyd. 3., nezměn. V Brně: Mendelova univerzita, 2009, 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2.

GANDELOVÁ L., ŠLEZINGEROVÁ J. *Stavba dřeva*. Vyd. 3., nezměn. V Brně: Mendelova univerzita v Brně, 2002, 176 s. ISBN 978-80-7375-966-7.

KUBINSKÝ, Eugen, Milan SOCHOR a Jaromír RAK. Příčiny nepodarkovosti při ohýbání nábytkových dílců a možnosti jej snížení. *Dřevo*. 1959, roč. 14, s. 325-330.

KÚDELA, Jozef. Analýza príčin defektov plastifikovaného bukoveho dreva v procese ohýbania. *Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva: III. Medzinárodná vedecká konferencia*. 2002, s. 117-122.

POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M., *Struktura a vlastnosti dreva*. Bratislava: Príroda a.s., 1997, 488 s. ISBN 80-07-00960-4

PUTNA, Ondřej. *Metody plastifikace, tváření a ohýbání dřeva*. Brno, 2010. 55 s. Bakalářská práce.

TRÁVNÍK, Arnošt. *Technologické operace výroby nábytku*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova univerzita, 2008, 178 s. ISBN 978-80-7157-865-9.

TRÁVNÍK, Arnošt a Jaroslav SVOBODA. *Technologické procesy výroby nábytku*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova univerzita, 2007, 222 s. ISBN 978-80-7375-056-5.

TREBULA, Pavel; KLEMENT, Ivan. *Sušenie a hydrotermická úprava dreva*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2002. 449 s. ISBN 80-228-1182-3

VANĚK, Jaroslav. *Ohýbaný nábytek*. Praha : Průmyslové vydavatelství, 1952. 112 s. ISBN 80-228-1292-7

## Internetové zdroje

ANGELSKI, Dimitar H. Comparative analysis of method for plastification of solid wood. [online]. 2014 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.scientific-publications.net/en/article/1000182/>

GABORIK, Jozef, Juraj DUDAS a Milan GAFF. The modification of aspen wood for the purpose of its shaping. [online]. [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.ejpau.media.pl/volume7/issue2/wood/art-02.html>

SCHWARZ, Ulrich a Alexander PFRIEM. Technologies and manufacturing equipment for the forming of solid wood. *COST Action FP0904 Thermo-Hydro-Mechanical Wood Behaviour and Processing* [online]. 2011 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: [http://www.cost-fp0904.ahb.bfh.ch/NR/rdonlyres/DAD46132-6811-4F9F-9DC4-41B8F2190C6A/0/Tagungsband\\_komplett\\_roa\\_klein\\_20110201\\_high\\_res.pdf](http://www.cost-fp0904.ahb.bfh.ch/NR/rdonlyres/DAD46132-6811-4F9F-9DC4-41B8F2190C6A/0/Tagungsband_komplett_roa_klein_20110201_high_res.pdf)

[1] Nábytkářský informační systém. [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/technologicka-priprava/page/496/>

## Zdroje obrázků

MERENDA, Lukáš. *Lisování smrkového dřeva v transverzálním směru a modifikace jeho materiálových vlastností pomocí dielektrického ohřevu a vysoké teploty*. Brno, 2009. 129 s. Diplomová práce.

STEVENS, W.C. a N TURNER. *Wood Bending Handbook*. Londýn: Her Majesty's Stationery Office, 1970.

TON, a.s., *Katalog strojů vyrobených v národním podniku TON*, Bystřice pod Hostýnem,

ZEMIAR, Ján. *Výroba nábytku: Technicko-technologická příručka*. 1. vyd. Zvolen: TU vo Zvoleně, 2003, 207 s. ISBN 80-228-1292-7.

## Seznam tabulek

Tab. 1 Průměrné hodnoty vlastností dřeva běžných listnatých dřevin (Trávník, 2008) ..	17
Tab. 2 Přípustné vady dřeva u bukových hranolků pro ohýbání (Trávník, 2008) .....	20
Tab. 3 Doba plastifikace v závislosti na rozměrech hranolku a počáteční vlhkosti (Trávník, 2008) .....	24
Tab. 4 Přehled měřených faktorů a způsob jejich zjištění .....	42
Tab. 5 Zjištěné rozměry hranolků před operací plastifikace .....	48
Tab. 6 Četnost a charakter nepovolených vad na hranolcích určených k ohýbání .....	48
Tab. 7 Rozložení počtu vad na celkovém počtu dílců .....	48
Tab. 8 Technologické podmínky ve výrobě .....	49
Tab. 9 Hodnoty vybraných faktorů .....	49
Tab. 10 Četnost podélného porušení (L+P) v průběhu jednotlivých měření .....	50
Tab. 11 Četnost podélného porušení (Z) v průběhu jednotlivých měření .....	51
Tab. 12 Četnost vybraných vad v průběhu jednotlivých měření .....	51
Tab. 13 Podíl zmetků v průběhu jednotlivých měření .....	55
Tab. 14 Podíl jednotlivých příčin na počtu zmetků .....	56

## Seznam obrázků

Obr. 1 Rozložení vody v buňce při různé vlhkosti (Trebula, 2002) .....	14
Obr. 2 Základní směry ve dřevě (Gandelová et al. 2009) .....	15
Obr. 3 Schematické znázornění autoklávu (Stevens et al. 1970) .....	25
Obr. 4 Pohyb neutrální vrstvy v důsledku paření při ohýbání (Trebula, 2002) .....	26
Obr. 5 Napětí a změna tvaru na příčném řezu ohýbaných přířezů z dubového dřeva .....	27
Obr. 6 Znázornění parametrů ohybu (Trebula, 2002) .....	30
Obr. 7 Schematický náčrt ohýbacího stroje s otočným jádrem (Ton) .....	40
Obr. 8 Princip dotahového kola udávající počáteční přepětí (Vaněk, 1952) .....	40
Obr. 9 Grafické znázornění hodnocených oblastí .....	44
Obr. 10 Měření pístu před ohýbáním .....	46
Obr. 11 Měření pístu po ohýbání .....	46
Obr. 12 Značení stopy roviny čelní plochy hranolku .....	47
Obr. 13 Ohyb bez vad celý .....	52
Obr. 14 Ohyb bez vad - detail konvexní plochy .....	52

Obr. 15 Jemné podélné porušení vláken na konvexní ploše.....	52
Obr. 16 Porušení vláken v příčném směru.....	53
Obr. 17 Porušení vláken v příčném směru.....	53
Obr. 18 Trhlina na ploše .....	53
Obr. 19 Trhliny na čele hranolku.....	54
Obr. 20 Záhyby na vnitřní straně ohybu .....	54
Obr. 21 Grafické znázornění četnosti jednotlivých vad .....	55
Obr. 22 Procentuální zastoupení jednotlivých vad na vadných ohybech podle časové prodlevy .....	58
Obr. 23 Procentuální zastoupení jednotlivých vad podle změny délky pístu [%].....	60
Obr. 24 Procentuální zastoupení vad podle změny polohy hranolku v pásnici.....	62

## **Přílohy**



**Nerovnoměrně stlačené letokruhy vlivem rozdílné hustoty jarního a letního dřeva**



**Vytržení vláken při porušení pásnice v průběhu ohybu**



**Vliv přítomnosti suku na konkávní ploše**



**Zbarvení ohybu od nové pásnice**



**Drsnost opracování**



**Vliv drsnosti opracování na kvalitu ohybu**



**Vliv přítomnosti svalu ve dřevě během ohýbání**





**Vytříděné hranolky před operací plastifikace (odklon vláken, kvalita opracování)**



**Detail vytříděných hranolků**



**Ulpění kovového fragmentu pásnice ve dřevě**



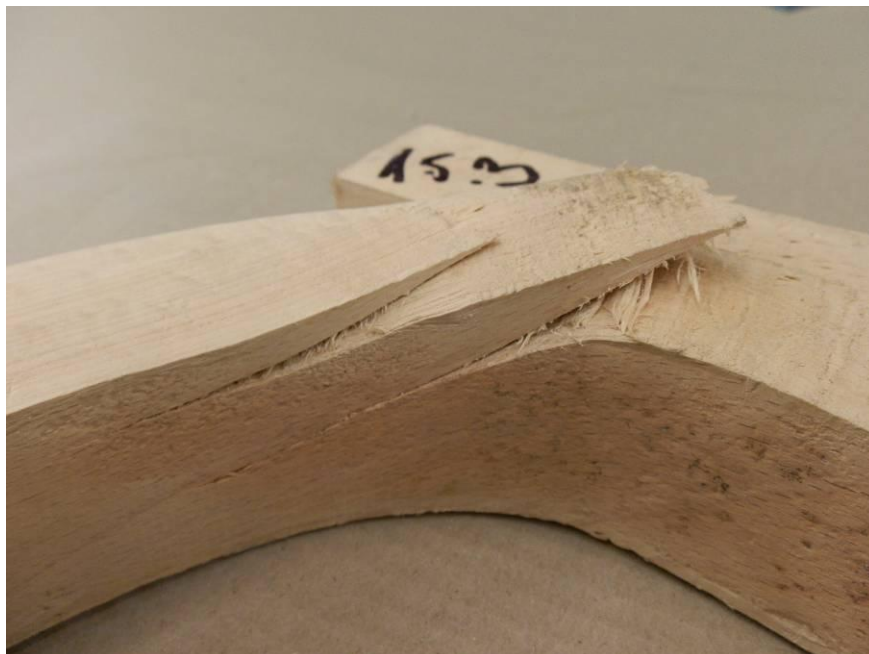
**Ukázka správného uložení dřevěných paprsků k rovině ohybu**



**Vytrhaná zrcátka (dřeňové paprsky) vlivem nekvalitního opracování povrchu**



**Příčné porušení dřevních vláken (lom)**



**Usmýknutí vrstev dřeva v důsledku odklonu vláken**