

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

VLIV VLHKOSTI NA MECHANICKO-  
FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI OSB

Disertační práce

EVALUATING THE INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT ON  
THE MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF OSB

Dissertation thesis

2008

Martin Böhm

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma „Vliv vlhkosti na mechanicko-fyzikální vlastnosti OSB“ vypracoval samostatně, a že jsem čerpal pouze ze zdrojů, které uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Praze dne 20. 8. 2008

---

## Poděkování

Chtěl bych poděkovat rodině a přátelům především za psychickou a materiální pomoc. Děkuji Doc. Ing. Františku Friessovi, CSc., za vedení při zpracovávání disertační práce a pracovníkům firmy Kronospan CR, za poskytnutí zkušebního materiálu a potřebných údajů.

Disertační práce byla vypracována za finanční podpory Grantové agentury České zemědělské univerzity v Praze:

- Grant IG 39/2006 – Hodnocení mechanicko-fyzikálních vlastností desek z orientovaných plochých třísek.
  - Grant IG 41230027/2007 – Vliv vlhkosti na modul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu u OSB desek.
-

---

## Obsah

### VLIV VLHKOSTI NA MECHANICKO- FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI OSB

1	Úvod .....	9
2	Cíle.....	11
2.1	Dílčí cíle práce:.....	11
3	Literární řešerše .....	13
3.1.1	Historický vývoj OSB.....	13
3.1.2	Produkce OSB .....	14
3.2	Faktory ovlivňující mechanicko-fyzikální vlastnosti OSB.....	16
3.2.1	Surovina .....	16
3.2.2	Geometrie a velikost třísek .....	17
3.2.3	Orientace třísek.....	19
3.2.4	Vlhkost třísek.....	20
3.2.5	Lisovací faktory.....	21
3.2.6	Lepidla .....	24
3.2.7	Hustota.....	26
3.2.8	Vlhkost.....	29
3.2.9	Podmínky užívání.....	32
3.3	Vliv vlhkosti na mechanicko-fyzikální vlastnosti.....	33
3.3.1	Tloušťkové bobtnání .....	33
3.3.2	Lineární roztažnost.....	35
3.3.3	Pevnost.....	36
3.4	Postupy pro zlepšování odolnosti proti vlhkosti .....	38
3.4.1	Tepelná úprava .....	38
3.4.2	Tepelná úprava desek.....	39
3.4.3	Tepelná úprava třísek.....	39
3.4.4	Chemická úprava.....	40
3.5	Shrnutí literární řešerše .....	41
4	Materiál a metodika .....	42
4.1	Materiál .....	42
4.1.1	Technologie výroby OSB/3 – Superfinish.....	42
4.1.2	Stanovení počtu zkušebních těles.....	48
4.1.3	Rozměry a odběr zkušebních těles .....	49

---

---

4.2	Metodika .....	50
4.2.1	Klimatizace .....	50
4.2.2	Zjišťování obsahu vlhkosti .....	51
4.2.3	Zjišťování hustoty .....	52
4.2.4	Lineární roztažnost.....	52
4.2.5	Tloušťkové bobtnání.....	53
4.2.6	Zkoušky pevnosti a modulu pružnosti v ohybu.....	54
4.2.7	Formální stránka práce.....	55
5	Výsledky a diskuze .....	56
5.1	Vlhkost.....	56
5.2	Hustota.....	58
5.3	Lineární roztažnost.....	59
5.4	Tloušťkové bobtnání.....	63
5.4.1	Podíl nevratného tloušťkového bobtnání.....	64
5.5	Modul pružnosti v ohybu.....	66
5.5.1	Extrémní hodnoty.....	66
5.5.2	Testy normality.....	66
5.5.3	Analýza rozptylu .....	70
5.5.4	Regresní analýza .....	73
5.6	Pevnost v ohybu .....	78
5.6.1	Průhyb .....	81
5.7	Variabilita .....	83
5.8	Tvorba plísní.....	85
6	Závěr.....	86
7	Seznam literatury .....	88
8	Přílohy .....	96
9	Summary .....	104

---

## Seznam obrázků

Obrázek 3-1: Výrobní kapacita OSB v Severní Americe, Evropě a Jižní Americe.....	14
Obrázek 3-2: Výrobní závody OSB v Evropě.....	15
Obrázek 3-3: Tvary třísek používaných pro výrobu OSB.....	18
Obrázek 3-4: Histogram orientace třísek.....	20
Obrázek 3-5: Vliv uzavíracího času lisu na tvorbu příčného hustotního profilu .....	22
Obrázek 3-6: Vztah hustoty a pevnosti v ohybu pro 4 různé hustoty třískových desek.....	27
Obrázek 3-7: Lisování třískového koberce při výrobě OSB .....	29
Obrázek 3-8: Sorpční izotermy třískových desek lepených různými druhy lepidel .....	30
Obrázek 3-9: Vztah mezi tloušťkovým bobtnáním a obsahem vlhkosti .....	31
Obrázek 3-10: Tloušťkové bobtnání OSB.....	35
Obrázek 3-11: Lineární roztažnost OSB.....	36
Obrázek 3-12: Pevnost v ohybu a modul pružnosti v ohybu OSB .....	36
Obrázek 3-13: Hodnoty rozlupčivosti v závislosti na podílu nevratného tloušťkového bobtnání .....	37
Obrázek 4-1: Schéma výrobní linky OSB .....	43
Obrázek 4-2: Uspořádání ohybové zkoušky Obrázek 4-3: Zatěžovací křivka.....	54
Obrázek 5-1: Hysterezní křivky OSB/3 – Superfinish .....	56
Obrázek 5-2: Lineární roztažnost OSB/3 při 20°C (sorpce – podélný směr).....	62
Obrázek 5-3: Lineární roztažnost OSB/3 při 20°C (sorpce – příčný směr).....	62
Obrázek 5-4: Poměr lineární roztažnosti v podélném a příčném směru jednotlivých vzorků .	61
Obrázek 5-5: Tloušťkové změny OSB při sorpci a desorpci vlhkosti .....	63
Obrázek 5-6: Tloušťkové bobtnání v závislosti na vlhkosti OSB při 20°C .....	65
Obrázek 5-7: Normální pravděpodobnostní graf modulu pružnosti v ohybu.....	67
Obrázek 5-8: Analýza rozptylu hodnot modulu pružnosti v ohybu – podélný směr.....	70
Obrázek 5-9: Analýza rozptylu hodnot modulu pružnosti v ohybu – podélný směr.....	71
Obrázek 5-10: Porovnání hodnot modulu pružnosti v ohybu pro podélný a příčný směr.....	73
Obrázek 5-11: Závislost modulu pružnosti v ohybu na obsahu vlhkosti OSB – podélný směr .....	74
Obrázek 5-12: Závislost modulu pružnosti v ohybu na tloušťkových změnách OSB – podélný směr.....	75
Obrázek 5-13: Histogram posouzení normálnosti pozorovaných a předpovídaných hodnot...	76
Obrázek 5-14: Normální pravděpodobnostní graf reziduí.....	77

---

Obrázek 5-15: Porovnání hodnot pevnosti v ohybu pro podélný a příčný směr.....	79
Obrázek 5-16: Závislost pevnosti v ohybu na tloušťkových změnách OSB.....	80
Obrázek 5-17: Krabicový graf hodnot průhybu při maximální zatěžující síle.....	82
Obrázek 5-18: Příklady zkušebních těles OSB/3 – Superfinish.....	83
Obrázek 5-20: Počátek růstu plísní při relativní vlhkosti vzduchu 85 % .....	85
Obrázek 8-1: Příklad nařezávacího plánu odběru vzorků dle ČSN EN 326-1 .....	97
Obrázek 8-2: Zkušební zařízení pro zjišťování modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu .....	98
Obrázek 8-3: Pracovní diagram – modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu OSB/3.....	98
Obrázek 8-4: 3D diagram závislosti vlhkosti OSB, vlhkosti vzduchu a tloušťkových změn..	99
Obrázek 8-5: 3D diagram závislosti vlhkosti OSB, vlhkosti vzduchu a tloušťkových změn s proložením trendu pro sorpci.....	99
Obrázek 8-6: 3D diagram závislosti vlhkosti OSB, vlhkosti vzduchu a tloušťkových změn s proložením trendu pro desorpci.....	100

---

---

## Seznam tabulek

Tabulka 3-1: Výrobní závody OSB v Evropě. ....	15
Tabulka 3-2: Obsah vlhkosti desek na bázi dřeva v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu .	31
Tabulka 4-1: Fyzikální vlastnosti zkušebního materiálu OSB/3 – Superfinish .....	42
Tabulka 4-2: Lisovací faktory .....	42
Tabulka 5-1: Obsah vlhkosti OSB pro 6 různých vlhkostních stupňů.....	56
Tabulka 5-2: Hustota OSB pro 6 různých vlhkostních stupňů.....	58
Tabulka 5-3: Lineární roztažnost OSB při 20°C – podélný směr .....	59
Tabulka 5-4: Lineární roztažnost OSB při 20°C – příčný směr.....	59
Tabulka 5-5: Tloušťkové změny OSB – Superfinish.....	63
Tabulka 5-6: Vlhkost vzduchu, vlhkost OSB a odpovídající podíl tloušťkových změn .....	64
Tabulka 5-7: Modul pružnosti v ohybu – podélný směr.....	68
Tabulka 5-8: Modul pružnosti v ohybu – příčný směr .....	68
Tabulka 5-9: Výsledky Post-hoc testu pro modul pružnosti v podélném směru – sorpce .....	71
Tabulka 5-10: Výsledky Post-hoc testu pro modul pružnosti v podélném směru – desorpce .	72
Tabulka 5-11: Pevnost v ohybu – podélný směr.....	78
Tabulka 5-12: Pevnost v ohybu – příčný směr.....	78
Tabulka 5-13: Průhyb při $F_{\max}$ – podélný směr.....	81
Tabulka 5-14: Průhyb při $F_{\max}$ – příčný směr.....	81
Tabulka 8-1: Požadavky na desky OSB/3 podle ČSN EN 300.....	96

---



## 1 Úvod

S rostoucí lidskou populací se neustále zvyšují nároky na energii. Je proto v zájmu společnosti zvýšit spotřebu obnovitelných surovin a snížit využívání fosilních zásob. Jediná obnovitelná surovina široce použitelná ve stavitelství, zajišťující trvale udržitelný rozvoj, je dřevo. V současnosti se se vzrůstajícím technologickým a technickým pokrokem množství konstrukčních materiálů na bázi dřeva zvyšuje. Nově vznikající materiály mají specifitější vlastnosti odpovídající jejich různým způsobům využití.

Desky vyráběné z lisovaných velkoplošných dřevních částí bývají v anglické literatuře nazývány „waferboard“ a „oriented strand board“. Protože anglický název materiálu „oriented strand board – OSB“ by se do češtiny překládal jako „desky z orientovaných velkoplošných třísek“, je v dnešní době již zažitý, a běžně se používá i v českém jazyce, souhrnné označení OSB.

OSB je materiál tvořený ze slisovaných dřevních částí uspořádaných do vrstev (obvykle tří), které jsou vzájemně orientovány do pravého úhlu a za užití tlaku a tepla spojeny voděodolným lepidlem. Orientace vrstev má stejný význam a výhody, jako křížové lepení dýh u překližek (omezení anizotropních vlastností a rozměrových změn). Jelikož dřevo má lepší mechanicko-fyzikální vlastnosti ve směru podél vláken, kolmá orientace dřevních částí dodává deskám pevnost v podélném i příčném směru. Výběrem uspořádání a vzájemnou polohou dřevních vláken při výrobě desek je umožněna konstrukce materiálů s vlastnostmi optimalizovanými pro daný účel použití (Baker, 2002).

OSB desky jsou svými vlastnostmi primárně určeny pro aplikace ve stavebnictví, kde nahrazují především překližku, jež by v těchto případech byla patřičně dražší. Nejčastěji se používají jako konstrukční materiál stěn, střech, podlah a pro výrobu tzv. I-nosníků. V těchto případech aplikace jsou desky OSB vystaveny podmínkám měnící se vzdušné vlhkosti.

Dřívější výzkumné práce zabývající se touto problematikou prokázaly, že vysoká vzdušná vlhkost působící na velkoplošné materiály na bázi dřeva má výrazný vliv na jejich mechanické vlastnosti (snížování pevnosti a pružnosti), fyzikální vlastnosti (zejména tloušťkové bobtnání) a může způsobit nevratné poškození. Poškození se projevuje obzvláště blízko hran desky a v extrémních případech vede až k porušení spojovacích prostředků, ke ztrátě pevnosti a kompaktnosti celé konstrukce. To následně způsobuje větší zranitelnost vůči abiotickým a biotickým činitelům a celkově nižší trvanlivost stavby.

Cílem této práce je vyhodnocení vlivu vlhkosti na nejdůležitější parametry konstrukčních desek OSB/3 – Superfinish. Zejména na modul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu, tloušťkově bobtnání a lineární roztažnost.

## 2 Cíle

Nejširší možnosti nacházejí desky OSB při konstruování staveb. Trvanlivost těchto staveb (stejně tak jako u ostatních staveb na bázi dřeva) je ohrožována zejména zvýšenou vlhkostí konstrukce a s ní souvisejícími hnilobami. Při provádění staveb se mnohdy stane, že nedokončené konstrukce nejsou chráněny proti dešti a navlhnou. Zvýšená vlhkost konstrukce může být také způsobena špatným konstrukčním řešením (např. tepelnými mosty), nevhodným způsobem užívání, nebo poruchou hydroizolace či parozábrany.

Po navlhnutí jsou dalšími zdroji vlhkosti v konstrukci tapety, koberce, obložení a jiné materiály, které mohou způsobit růst plísní a následnou degradaci konstrukčního materiálu již během několika desítek hodin (Ojanen, Ahonen, 2005).

Zabránění tvorby negativních vlhkostních podmínek v konstrukci je přitom v případě OSB obzvláště důležité, neboť používání tohoto materiálu pro stavební účely je limitováno především velkým tloušťkovým bobtnáním spojeným s následnou ztrátou pevnosti. Ovšem ne vždy je zhoršenými vlhkostními podmínkami trvanlivost konstrukce negativně ovlivněna a naopak, některé podmínky na první pohled nevypadající nevhodně mohou mít v důsledku fatální následky.

Pro plné porozumění interakcí mezi vstupní surovinou, výrobními faktory, mechanicko-fyzikálními vlastnostmi výsledných produktů a podmínkami používání je proto nezbytné zabývat se vývojem a výzkumem těchto moderních materiálů.

Záměrem této disertační práce je zpracovat a uceleně zhodnotit problematiku vlivu vlhkosti na mechanicko-fyzikální vlastnosti OSB a objasnit příčiny změn technických parametrů. Zjištěné výsledky by měly přispět ke správným způsobům aplikace těchto moderních materiálů na bázi dřeva v konstrukcích a k rozvoji jejich uplatnění.

### 2.1 Dílčí cíle práce:

- Vypracovat literární rešerši na danou problematiku (z důvodu téměř neexistující tuzemské literatury na dané téma nutnost čerpání převážně ze zahraničních zdrojů).
- Sestrojit hysterezní křivky a zpracovat tabulky rovnovážných vlhkostí OSB odpovídající vlhkosti okolního prostředí.
- Vyhodnotit lineární roztažnost OSB.

- Porovnat hodnoty tloušťkového bobtnání při různých vlhkostních stupních (posoudit vliv tloušťkového bobtnání na snížení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu, vliv nevratných tloušťkových změn).
- Provéřit následky působení vyšší vzdušné vlhkosti na prvky z OSB a vyhodnotit pokles jejich pevnosti, ke kterému dochází nejen následkem hygroskopicity materiálu, ale především kvůli nevratným změnám rozměrů a porušení adhezních sil pojiva při bobtnání.
- Nalézt závislosti charakterizující vliv vlhkosti na modul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu.

## 3 Literární rešerše

### 3.1.1 Historický vývoj OSB

První patent na výrobu dřevěných desek z velkoplošných třísek pochází z USA z roku 1954 (č. 2697677). Tyto desky nechal patentovat Armin Elmendorf a byly nazvány „embedded wall board“. Jednalo se o třískové desky pojené cementem a sádrou. Později A. Elmendorf patentoval desky podobné konstrukce, ale jako pojivo již bylo použito lepidlo na bázi fenolu. Ideou vedoucí ke vzniku těchto desek byla výroba velkoplošného materiálu, který by dosahoval podobných vlastností jako překližka, ale který by byl tvořen z drobnějších částic (Peraza et. al., 2004).

Průmyslově začal desky z velkoplošných třísek vyrábět kanadský výrobce MacMillan v roce 1963. Byly vyráběny z dřevěných částic 150 – 300 mm dlouhých a 7,5 – 150 mm širokých. Tyto částice se nazývaly „wafers“ a odtud pocházel název desek „waferboard“. V roce 1976 bylo zjištěno, že desky dosahují vyšší pevnosti, pokud jsou třísky v povrchových vrstvách orientované. V tomto roce Derek Barnes, pracovník ze společnosti MacMillan Bloedel Ltd., patentoval třívrstvé desky z orientovaných velkoplošných třísek „oriented strand board“ (Peraza et. al., 2004).

V 80. letech 20. století začal masový nárůst využití OSB desek v Severní Americe, zejména díky jejich výraznému poklesu cen. Třívrstvá konstrukce tohoto materiálu umožnila redukci výrobních nákladů za současného plnění požadavků platných norem (Štefka, 2002).

V roce 1979 byla postavena první továrna na výrobu OSB v Evropě v německém Bevenu (Peraza et. al., 2004).

V polovině roku 2006 byla v Jihlavě do provozu uvedena první linka pro výrobu OSB desek v České Republice. Linka byla vybavena kontinuálním lisem od firmy Dieffenbacher v délce 38,5 m s kapacitou výroby 500 000 m<sup>3</sup> OSB/rok. Tento projekt si vyžádal investici přesahující 2,4 miliardy korun. V dalších letech je plánováno zvýšení výrobní kapacity až na 800 000 m<sup>3</sup>/rok (Kronospan CR).

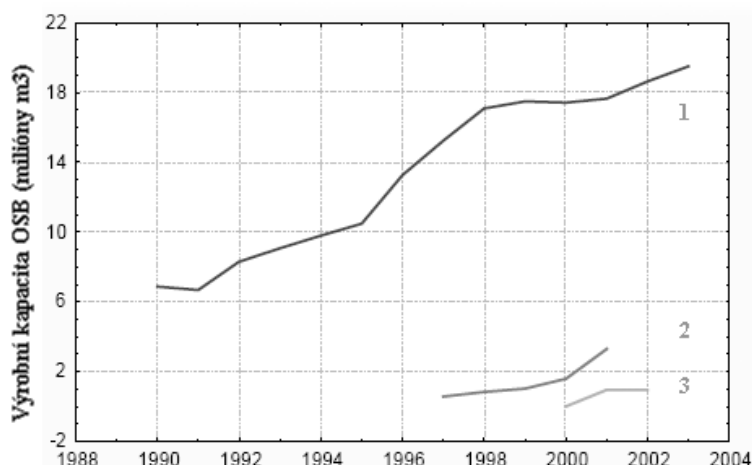
### 3.1.2 Produkce OSB

OSB desky se používají zejména ve stavebnictví, kde jsou využívány pro stejné účely jako překližka, kterou postupně nahrazují. V USA a Kanadě činí podíl bytových staveb ve kterých jsou použity velkoplošné materiály na bázi dřeva přibližně 80 – 90 %. Zatímco produkce překližky postupně klesá, výroba OSB se za posledních dvacet let více než zdvojnásobila (Spelter et. al., 2006). Technické parametry těchto dvou produktů jsou přibližně srovnatelné. Hlavní rozdíl spočívá ve větším tloušťkovém bobtnání OSB při nepříznivých vlhkostních podmínkách (Geimer, Kwon, 1999; Wu, Piao, 1999; Hrázský, Král, 2004). U OSB desek může být tloušťkové bobtnání (a s ním spojená ztráta pevnosti) o 25 až 30 % vyšší než u překližky (Hrázský, Král, 2004).

Tuto nevýhodu OSB vyvažuje cena, která je přibližně o 25 % nižší. To jednak z důvodu nižších nároků na vstupní surovinu a dále díky vyšší produktivitě při výrobě (produktivita měřená výstupní kapacitou na zaměstnance je cca 4 krát větší pro výrobní závod OSB než pro závod vyrábějící překližku) (Spelter et. al., 2006).

Výroba překližky dosáhla vrcholu v roce 1989, kdy v USA a Kanadě bylo vyrobeno 24 milionů m<sup>3</sup>. V roce 2006 klesla na 16 milionů m<sup>3</sup>. Oproti tomu výroba OSB stoupá téměř nepřerušovaně (až na 23 milionů m<sup>3</sup> v roce 2006 a pro rok 2008 se předpokládá výroba 26 milionů m<sup>3</sup>) (Spelter et. al., 2006). V současnosti jsou OSB desky vyráběny ve více než 60 výrobních závodech na celém světě (APA).

**Obrázek 3-1:** Výrobní kapacita OSB v Severní Americe (1), Evropě (2) a Jižní Americe (3) v letech 1990 až 2003 (Skinner et. al., 2006)



Se zvyšující se poptávkou po OSB se zvyšuje také počet výrobců. V první polovině roku 2007 byly OSB desky produkovány již ve 13 výrobních závodech v Evropě.

**Obrázek 3-2:** Výrobní závody OSB v Evropě (EPF).



**Tabulka 3-1:** Výrobní závody OSB v Evropě (EPF, \*AITIM).

Společnost	Skupina	Místo
<b>Bělorusko</b>		
Mostodrev *		Hrodna
<b>Belgie</b>		
Norbord		Genk
<b>Bulharsko</b>		
Kronobourgas	Kronospan	Bourgas
<b>Česká republika</b>		
Kronospan CR		CR
<b>Francie</b>		
Isoroy	Sonae Indústria	Chatellerault
Kronofrance	Krono Swiss Group	Sully sur Loire
<b>Irsko</b>		
SmartPly Europe Ltd.		Waterford
<b>Lucembursko</b>		
Kronospan	Kronospan	Sanem
<b>Německo</b>		
Fritz Egger		Wismar
Glunz	Sonae Indústria	Nettgau
Kronotex	KronoSwiss Group	Heiligengrabe
<b>Polsko</b>		
Kronopol Ltd	KronoSwiss Group	Žary
<b>Velká Británie</b>		
Norbord Ltd		Inverness

## 3.2 Faktory ovlivňující mechanicko-fyzikální vlastnosti OSB

OSB desky stejně jako ostatní velkoplošné materiály překonávají do značné míry nevýhody dřeva (heterogenitu, anizotropii, rozměrovou nestálost), přičemž uchovávají většinu jeho příznivých vlastností (Hrázský, Král, 2000). Mezi další významné výhody tohoto materiálu patří:

- možnost výroby produktů v rozměrech, které jsou omezovány pouze použitou výrobní technologií
- možnost efektivnějšího využití přírodního materiálu
- snadnější přizpůsobení měnícím se požadavkům trhu
- menší zatížení životní prostředí z důvodů minimální spotřeby chemických látek, které jsou ve výrobku obsaženy (Thelandersson, Larsen, 2003)

Na mechanicko-fyzikální vlastnosti OSB a materiálů na bázi dřeva mají výrazný vliv téměř všechny výrobní faktory. Mezi nejpodstatnější se obvykle uvádí: druh dřeviny, geometrie a kvalita třísek, orientace a formování třísek, obsah vlhkosti, typ a množství použitého lepidla a přídatných látek. Dále potom lisovací faktory (lisovací čas, teplota a tlak, rychlost uzavírání lisu, vlhkost, chemické reakce při lepení třísek, plastifikace, formát výrobku), které vzájemnou interakcí v průběhu lisování třískového koberce usměrňují zejména tvorbu hustotního profilu charakterizující rozložení hustoty v deskách.

### 3.2.1 Surovina

Kompozitní materiály na bázi dřeva jsou vyráběny ze sortimentů nízké kvality převážně z rychle rostoucích druhů dřevin. Skutečnost, že surovina nízké kvality může být použita pro výrobu vysoce kvalitního produktu, je pokládán za jednu z největších výhod OSB a to zejména v případech, kdy jsou pro výrobu používány malé průměry kulatin. Další výhodou je, že díky různým technologickým postupům mohou být z několika málo druhů dřevin vyráběny materiály se širokou škálou vlastností pro odlišné aplikace (Breyr, 1993; Štefka, 2002).

V Severní Americe se na výrobu OSB používají převážně rychle rostoucí dřeviny jako topol, borovice (vejmutovka) nebo bříza. V Evropě se nejčastěji zpracovávají jehličnany, převážně borovice a smrk (Esteban et. al., 2002). Je také možné zužitkovávat dřevo cypřišku nebo jalovce (Cai et. al., 2004) a dokonce i bambusu (Kelemwork et. al., 2005). V podstatě lze pro výrobu OSB používat dřeviny, jejichž hustota leží v rozmezí 350 – 700 kg/m<sup>3</sup>. Nižší hustota výchozí dřevní hmoty vyvolává pokles pevnostních vlastností. Desky vyrobené ze



dřevin s vyšší hustotou mají lepší mechanické vlastnosti, ale projevují se u nich problémy s uzavíráním hran a velkou váhou (Štefka, 2002).

Druh použité dřeviny určuje nejen výsledné mechanicko-fyzikální vlastnosti, ale ovlivňuje také barvu desek. Na výslednou barvu má dále vliv druh použitého lepidla a lisovací faktory (Peña, Rojas, 2006).

Pro výrobu OSB jsou vhodné průměry kulatiny 80 – 100 mm (kdežto pro výrobu řeziva a překližek je nutný minimální průměr 230 – 250 mm). Je možno rovněž zpracovávat pilařské krajiny a zbytkové loupárenské válečky (Štefka, 2002).

Výroba třísek pro OSB desky probíhá tzv. tangenciálním řezem (kmeny jsou při vstupu do třískovacího stroje orientovány tangenciálním směrem k sekacím nožům). Jednotlivé třísky jsou získávány ve směru rovnoběžném s vlákny dřeva (nejčastěji v prstencových nebo diskových sekačkách) (Esteban et. al., 2002).

### **3.2.2 Geometrie a velikost třísek**

Kompozitní materiály na bázi dřeva vykazují, stejně jako použitá výrobní surovina, anizotropní chování. Nicméně, na rozdíl od dřeva, lze stupeň anizotropie kompozitních materiálů upravovat velikostí a orientací částic. To je další podstatná výhoda těchto materiálů, neboť jejich vlastnosti v jednotlivých směrech mohou být řízeny podle požadavků na konečný produkt. Také variabilita mechanických vlastností je u kompozitních materiálů menší než v případě nehomogenního přírodního materiálu – dřeva (Baker, 2002).

Již v minulosti se různí autoři zabývali studiem velikostí částic používaných pro výrobu velkoplošných materiálů a jejich vlivem na mechanicko-fyzikální vlastnosti (Brumbaugh, 1960; Kelly, 1977; Suchsland, 1968; Marra, 1992; Barnes, 2001).

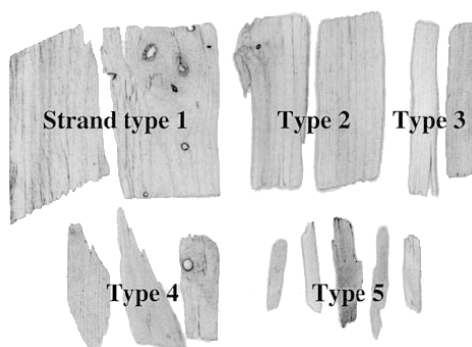
Marra (1992) uvádí, že pro materiály se stejnou hustotou, se zmenšující se velikostí částic klesá pevnost. S rostoucí velikostí částic se současně také zvyšuje variabilita hustotního profilu a tím i potenciální vnitřní pnutí. Se zmenšující se velikostí částic se zlepšuje možnost jejich formování, což má za následek stoupající hustotu.

Post (1958) zjišťoval vliv délky a tloušťky třísek na ohybové vlastnosti a tuhost dřevotřískových desek. Výzkum uzavřel zjištěním, že se vzrůstajícím poměrem délka/tloušťka třísek vzrůstá velikost překrývajících se částí. Delší třísky zajišťují deskám větší pevnost a naopak tlustší třísky pevnost snižují.

Suchsland (1968) dokázal, že pevnost v tahu u třískových desek je ovlivněna pevností jednotlivých slepených kontaktních ploch třísek. Při větší velikosti třísek se zvětšují překrývající se části a tím umožňují lepidlu větší přenos sil (ovšem pouze do té míry, kdy by velikost překrývajících se ploch přesáhla velikost smykového napětí od dalších vrstev).

Nishimura a kolektiv autorů (2004) klasifikovali vliv velikosti a tvaru třísek na mechanické vlastnosti. Třísky pro výrobu OSB rozdělili do pěti tříd, které znázorňuje následující obrázek.

**Obrázek 3-3:** Tvary třísek používaných pro výrobu OSB. Nejlepší výsledky pevnostních zkoušek dosahují desky vyrobené z dlouhých tenkých třísek (typ 3) (Nishimura et. al., 2004).



Obvyklá velikost třísek pro výrobu OSB se liší podle druhu dřeviny a použité výrobní technologie. Lam (2001) ve své práci uvádí, že velikost typické třísky pro výrobu OSB má rozměry  $0,8 \times 6 \times 100$  mm. Naproti tomu Štefka (2002) uvádí tyto rozměry:  $0,6 \times 25 \times 75$  mm.

Při výrobě třísek pro produkci OSB pomocí moderních technologií je snaha o výrobu velmi tenkých dlouhých třísek. Obecně lze charakterizovat optimální velikost třísek rozměry: tloušťka 0,4 – 0,6 mm, šířka 5 – 20 mm, délka 60 – 120 mm (Peña, Rojas, 2006). Délka třísek vyráběných pomocí prstencového roztřískovače dosahuje až 150 mm (Kronospan).

Brochmann a kolektiv autorů (2004) ověřili, že OSB desky, které jsou vyrobeny z tenčích třísek dosahují lepších mechanických vlastností (za předpokladu, že vlivem tenčích třísek obsahují poměrně k hmotnosti sušiny víc lepidla).

Nejdelší, a tudíž nejkvalitnější třísky, se používají pro povrchové vrstvy OSB, menší na středové vrstvy. Jemný podíl třísek (pod 6 mm) bývá obvykle využit pro jiné účely, což zajišťuje jeden z hlavních smyslů při výrobě OSB – tj. odstranění drobné frakce dřevěných částí před aplikací lepidla. Tento postup umožňuje užití nižšího obsahu lepicí směsi v porovnání s ostatními aglomerovanými materiály na bázi dřeva (Štefka, 2002).

Podíl velmi drobných dřevních částic se u OSB obvykle pohybuje mezi 3 – 10 %. Vyšší obsah jemné frakce (až do 30 %) sice může mít příznivý vliv na rozlupčivost, ale snižuje mo-

dul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu a zvyšuje lineární roztažnost. Stoupající podíl drobných částic převážně ve středové vrstvě vede také k větší nesouměrnosti mechanických vlastností mezi dvěma hlavními směry. Naopak, se zvyšujícím se obsahem jemného podílu (zejména v povrchových vrstvách) se snižuje potenciální stresové napětí v deskách, protože drobné částice vyplňují dutiny v místech s nižší hustotou a tím přispívají ke tvorbě rovnoměrnějšího hustotního profilu. (Han et. al., 2006, 2007).

### 3.2.3 Orientace třísek

Mechanicko-fyzikální vlastnosti a struktura desek nejsou ovlivňovány pouze samotnou velikostí a geometrií třísek, ale také jejich orientací, rozprostřením a formováním v průběhu lisování (Sharma, Sharon, 1993; Oudjehane et. al., 1998).

Předchozí výzkumné práce udávají, že velikost a tvar třísek mají nejvýraznější vliv na hustotní profil desek (Steiner, Xu, 1995, Oudjehane, Lam, 1998) a dále jsou určujícími činiteli pro formování a orientaci třísek (Nishimura, Ansell, 2002).

V současnosti se při výrobě OSB více uplatňuje postup, kdy jsou třísky střední vrstvy orientovány a svírají pravý úhel s třískami v povrchových vrstvách. Postupně se upouští od výrobního způsobu, kdy byly třísky střední vrstvy uspořádané náhodně. Lepší mechanicko-fyzikální vlastnosti a menší vlhkostní roztažnost dřeva ve směru podél vláken, při kolmé orientaci dřevních částí dodávají deskám pevnost v podélném i příčném směru a snižují koeficient lineární roztažnosti (Baker, 2002).

Pro měření úhlu odchylky třísek od hlavní výrobní osy OSB při procesu formování je využíváno různých metod. Geimer (1976) například založil výpočet odchylky třísek od hlavní osy na rovnici:

$$PA (\%) = 100 \times \sum (45 - \Phi_i) / 45,$$

kde  $\Phi$  je úhel jednotlivých třísek dosahující hodnot od 0 do 90 stupňů a PA nabývá hodnot od 0 do 100.

Později byly prováděny mnohé další studie a modely, pro zjišťování orientace třísek a jejího vlivu na hustotní profil a mechanické vlastnosti, pomocí empirických výpočtů, které zohledňovaly různé vstupní a výrobní faktory (např. Dai, Steiner, v roce 1993 založili jejich model výpočtu distribuce třísek na pravděpodobnosti Poissonova rozdělení, Painter a kolektiv autorů (2006) na průmyslově naměřených hodnotách blízkých normálnímu rozdělení).

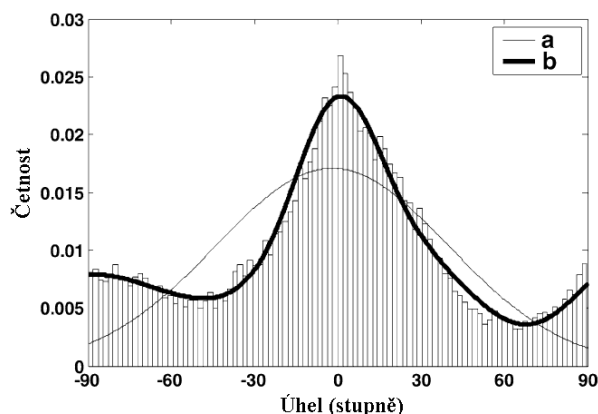
V současnosti je nejrozšířenější měření orientace třísek pomocí obrazové analýzy, kdy je po-

mocí kamer a počítačového programu proveden snímek a vizualizace desky (Xu, 2002; Nishimura a kol, 2002; Nishimura a kol, 2004; Painter et. al., 2006).

Orientace vláken jednotlivých třísek je faktorem, který nejvíc ovlivňuje pevnost v ohybu a modul pružnosti v ohybu OSB desek (Geimer, 1986; Xu, 2002; Nishimura et. al., 2004). Optimalizaci mechanických vlastností a koeficientu lineární roztažnosti lze dosáhnout nejen důslednou orientací třísek, ale také řízením poměru třísek střední vrstvy a povrchových vrstev (Xu, 2000).

Obvyklá orientace třísek (odklon třísek od hlavní výrobní osy) u komerčně vyráběných OSB je znázorněna na následujícím obrázku.

**Obrázek 3-4:** Histogram orientace třísek a porovnání empiricky naměřených hodnot (b) s normálním rozdělením (a). Data byla získána z téměř 250 000 třísek vrchní vrstvy komerčně vyráběných OSB (Painter et. al., 2006a).



Vzhledem k rozmanitým způsobům využívání OSB ve stavebnictví není pokaždé vyžadován materiál s důslednou orientací třísek. Na hodnoty rozlupčivosti a tloušťkové bobtnání nemá orientace třísek vliv, ale modul pružnosti ve smyku se zlepšující se orientací třísek klesá. Vyšší stupeň orientace třísek zvyšuje pevnost i tuhost v podélném směru, ale také způsobuje větší rozdíl vlastností mezi oběma hlavními směry, což není výhodné zejména v případě nesoustředěných směrů zatížení desek (McNatt et. al., 1992).

### 3.2.4 Vlhkost třísek

Vlhkost dřeva při výrobě třísek by neměla poklesnout pod 60 %. Nižší vlhkost způsobuje křehkost třísek a vyšší podíl jemné frakce. Po roztřískování a roztřídění je vlhkost třísek snížena z původní vlhkosti na technologickou vlhkost 2 – 4 % (Hrázský, Král, 2000), případně 3 – 7 % v závislosti na použitém druhu lepidla a způsobu aplikace (Lam, 2001).

Vlhkost třísek ovlivňuje rychlost přenosu tepla v průběhu lisování. Při procesu lisování je vlhkost přeměněna na páru, která pronikáním do středu desky napomáhá vytvrzování lepidla a plastifikaci třísek. V případě nízké vlhkosti třískového koberce dochází k nižší plastifikaci povrchových třísek, což snižuje jejich schopnost formování (Kelly, 1977; Kamke, 2004). Vlhkosti třískového koberce se podrobněji věnuje část kapitoly 3.2.5.

### 3.2.5 Lisovací faktory

Proces lisování ovlivňuje vlastnosti výsledného produktu víc než kterákoliv jiná výrobní etapa. V průběhu lisování dochází k mnoha interakcím mezi fyzikálními faktory a k chemickým reakcím, jež dosud nejsou plně popsány. Polymery dřeva (zejména jejich amorfní části) projevují širokou škálu chování v závislosti na teplotě, vlhkosti a lisovacím času. Od křehkého stavu při nízkých vlhkostech, teplotě a krátkém lisovacím času až po plastický stav při vysoké lisovací teplotě, vlhkosti a dlouhém času (Suchsland, 1962; Kamke, Casey, 1988).

Vlhkostní a teplotní gradient v průběhu lisování způsobuje rozdílný stupeň plastifikace dřevěných elementů, což má za následek nestejněměrné vlastnosti a hustotu napříč deskami (Suchsland, 1962). Předchozí výzkumné práce prokázaly významný vliv příčného hustotního profilu na vlastnosti desk (Xu, Winistorfer, 1995; Xu, 1999).

Při výrobě OSB se využívají dva hlavní způsoby lisování: lisování vyhřívanými lisami a lisování pomocí parní injektáže. Při tradičním lisování ve vyhřívaných etážových lisech (nebo v modernějších kontinuálních lisech) je třískový koberec formován mezi dvěma vyhřívanými kovovými deskami (pásky) až do úplného stlačení. Čas potřebný pro tento proces je závislý na rychlosti transferu tepla do středové vrstvy a času dostačujícího k odpovídajícímu vytvrzení lepidla (Oudjehane et. al., 1998; Wang et. al., 2000).

Lisování pomocí parní injektáže využívá zcela odlišný způsob transferu tepla a vlhkosti. Přenos tepla do střední vrstvy desky pomocí vysokotlaké páry je mnohem rychlejší než v případě přenosu tepla mezi vrstvami kondukcí. Výsledkem je rovnoměrnější teplota, vlhkost a tlak vodní páry v průřezu desky během lisování, což má za následek rovnoměrnější příčný hustotní profil a snížení času nezbytného pro lisování (Kelly, 1977, Geimer, Price, 1986; Geimer, Kwon, 1999).

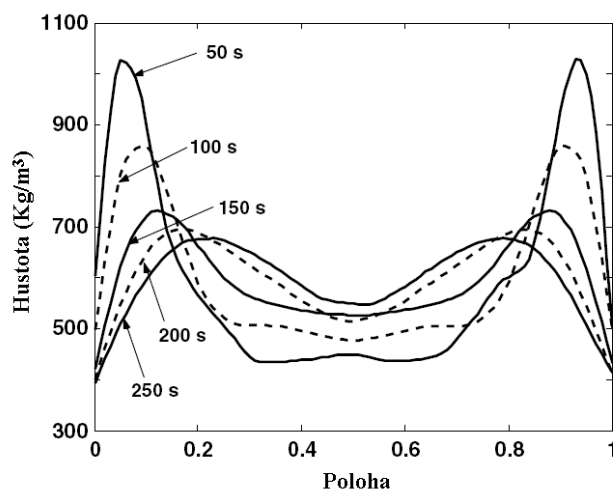
#### Čas uzavírání lisu

Proces lisování se skládá ze tří etap: uzavírání lisu pro dosažení požadované tloušťky desky, stabilizované lisování požadované tloušťky a času otevírání lisu (Oudjehane et. al., 1998). Uzavírací čas lisu je faktorem, který nejvíce usměřňuje tvorbu příčného hustotního profilu

desek. Hustotní profil v povrchových vrstvách se v podstatě vytváří v době mezi uzavíráním lisu a dosažením požadované tloušťky. Ve středové vrstvě se vytváří hustotní profil teprve poté (Hrázský, Král, 2000).

Krátký uzavírací čas (dosažení max. lisovacího tlaku v co nejkratší době) má za následek velké zhuštění třísek v povrchových vrstvách třískové desky a naopak menší zhuštění třísek vrstvy středové (Hrázský, Král, 2000). Při pomalejším uzavírání lisu se i třísky středové vrstvy stávají plastičtějšími (v důsledku prohřátí a přívodu vlhkosti) a dají se tak lépe zhustit. Delší čas uzavírání lisu vede k výrobě desek s rovnoměrnějším příčným hustotním profilem (Kelly, 1977; Hrázský, Král, 2000; Painter et. al. 2006a,b). Wang et. al. (2000) se ve své práci podrobněji zabývají výzkumem výroby rovnoměrnějšího příčného hustotního profilu OSB řízením uzavíracího času lisu.

**Obrázek 3-5:** Vliv uzavíracího času lisu na tvorbu příčného hustotního profilu OSB (modelovaná data) (Painter et. al., 2006a).



#### Vlhkost třískového koberce

V průběhu procesu lisování voda přeměněná teplotou lisovacích desek na páru proniká z povrchových vrstev do středu desky a ze středu uniká směrem k okrajům desky. Protože propustnost OSB pro vodní páru je v příčném směru nízká, vlhkost uniká hranami desek ve větším množství než v případě ostatních velkoplošných materiálů na bázi dřeva. V případě OSB je významný rozdíl mezi tlakem vodní páry ve středu desky a hranami desky, což způsobuje větší variabilitu mechanických vlastností v různých částech (Zavala, Humphery, 1996).

Vlhkost třískového koberce je faktorem rozhodujícím o kvalitě a kapacitě výrobního zařízení. Vysoká vlhkost třískového koberce vyžaduje vyšší spotřebu tepelné energie na odpaření vody, čímž prodlužuje lisovací cyklus (Hrázský, Král, 2000).

Obsah vlhkosti dřevěných elementů při lisování ovlivňuje nejen délku času lisování ale i jejich stlačitelnost. Má také výrazný vliv na tvorbu příčného hustotního profilu. Vlhkost třísek v celém průřezu třískového koberce může být konstantní, nebo se může v jednotlivých vrstvách lišit. Větší obsah vlhkosti u třísek v povrchových vrstvách zapříčiňuje strmější příčný hustotní profil. Větší obsah vlhkosti v celém třískovém koberci také způsobuje větší rozdíl mezi hustotou povrchových vrstev a hustotou středové vrstvy (Kelly, 1977).

#### Lisovací čas, teplota a tlak

Lisovací čas je závislý na rychlosti pronikání tepla do střední vrstvy desky, kterou ovlivňuje zejména vlhkost třískového koberce, teplota lisovací desky a tloušťka vyráběného sortimentu (Kelly, 1977). PF lepidla vyžadují lisovací čas v rozmezí 16 – 20 s/mm tloušťky desky. Při použití MDI lepidla je tento lisovací faktor cca 10 × kratší. (Hrázský, Král, 2000).

U obou hlavních způsobů lisování se lisovací teploty pro PF lepidla pohybují v rozmezí 160 až 190 °C (Kamke, Casey, 1989). V případě MUF a MDI lepidel lisovací teploty dosahují až 220 °C. Použití vyšší lisovací teploty zkracuje lisovací čas, ale zároveň snižuje mechanické vlastnosti desek (Geimer et. al., 1985).

Volbou lisovacího tlaku se může měnit stupeň zhuštění, zformování a jakosti lepení. Velikost lisovacího tlaku, druh ohřevu a lisovací diagram se projeví též v hustotě třískových desek (v hustotním profilu) a na ostatních fyzikálních a mechanických vlastnostech (Kelly, 1977; Hrázský, Král, 2000). Zatímco pro lisování překližky se používá tlak v rozmezí od 500 do 700 kPa, pro výrobu OSB je nutný několikanásobně větší – obvykle od 4 000 do 6 000 kPa (Geimer et. al., 1998).

#### Parní injektáž

Podle Stricklera (1959) existují 3 základní způsoby transferu tepla do třískového koberce při lisování: vedením (kontaktem s kovovou deskou lisu), prouděním (vstříknutím proudu přehřáté páry) a vnitřním ohřevem (pomocí vysokofrekvenčních elektrických polí).

Při tradičním lisování vyhřívanými lisy probíhá transfer tepla vedením od kovových desek lisu a prouděním tepelné energie (pomocí vodní páry) do středu desky. Rychlost prostupu páry (transfer tepla) je přímo úměrný propustnosti desek.

Využití technologie parní injektáže při lisování OSB desek snižuje jejich nízká propustnost pro vodní páru. Se stoupající tloušťkou desky propustnost klesá a i v případě lisování desek

s menší tloušťkou se nároky na energii oproti klasickým třískovým deskám rapidně zvyšují (Geimer et. al., 1998).

Přesto technologie lisování pomocí parní injektáže a vysokofrekvenční ohřev mohou být efektivně využity pro minimalizování hustotních rozdílů mezi jádrovou vrstvou a povrchovými vrstvami a k produkci OSB desek s rovnoměrnějším příčným hustotním profilem (Geimer et. al., 1998; Geimer, Kwon, 1999).

Průměrná hustota desek vyrobených postupem lisování pomocí parní injektáže je vyšší a tloušťkové bobtnání nižší – v přímé úměrnosti s časem působení přehřáté páry. Snížení tloušťkového bobtnání je vysvětlováno kombinací plastifikace třísek a chemickou modifikací ligninu. Pevnost u ohybových zkoušek (zejména pevnost v ohybu) je nižší než u OSB vyrobených běžně používanými vyhřívanými lisy (Geimer, Kwon, 1999; Geimer et. al., 1998).

### 3.2.6 Lepidla

V dřevozpracujícím průmyslu se pro výrobu velkoplošných konstrukčních materiálů nejčastěji používají tyto druhy lepidel: močovino-formaldehydové (UF), fenol-formaldehydové (PF), melamino-formaldehydové (MF), izokyanátové a jeho polymery (MDI, pMDI). Díky nízké ceně jsou UF lepidla nejrozšířenější – především u výrobků pro interiérové využití. Tato lepidla ale nejsou vhodná pro výrobky do vlhkého prostředí, proto se někdy vylepšují MF lepidly, která mají podobnou strukturu a jsou odolnější proti vlhkosti. Obvykle však ani tato kombinace nesplňuje podmínky pro použití výrobku v exteriéru (Sedláčik, 1998). Proto se v praxi jako pojivo pro OSB užívají převážně PF, MF a MDI lepidla (Baker, 2002).

Moderní továrny pro výrobu OSB většinou používají PF lepidla (rozšířeno hlavně v Severní Americe), nebo kombinaci MF lepidel na třísky pro povrchové vrstvy a MDI lepidel na třísky pro středovou vrstvu. Výhodou MDI lepidel je snížení lisovacího času, které vede ke snížení nákladů. Za jejich nevýhodu je možno považovat dobrou lepící schopnost a přídržnost k oceli vedoucí k nutnosti používání chemických separátorů při lisování (Sun et. al., 1994).

Nevýhodou při užívání PF lepidel je jejich sklon k ředění a unikání ze středu desky v průběhu lisování, což vede ke slabším spojům. Současně ale PF lepidlo může zvýšit plasticitu povrchových třísek, čímž umožní jejich lepší spojení, a tím i zvýšení hydrofobních vlastností desek (Brochmann a kol, 2004).

MF lepidla jsou často z důvodu vyšší ceny melaminu modifikována UF lepidly. Takto upravená lepidla pak bývají značena zkratkou MUF (melamino-močovino-formaldehydová



lepidla). Váhový poměr melamin/močovina se během více než 40 let průmyslového využívání dostal z původně 70/30 až na dnešních 40/60. Existují i lepidla kde poměr melamin/močovina je 30/70, ale jejich použití je po výrobky do exteriéru nevhodné (Zanetti et. al., 2003).

Evropské závody, používající při výrobě OSB víceetážových lisů, většinou kombinují lepidla na bázi MUF a MDI. V některých provozech jsou na kontinuálních lisech vyráběny OSB lepené pouze MDI lepidly. Kombinace MUF lepidla pro povrchové vrstvy a MDI pro jádrovou vrstvu dosahuje velmi dobrých výsledků v pevnostních zkouškách (Thelandersson, Larsen, 2003), zejména díky větší pevnosti lepidel na bázi MDI. Větší pevnost lepidel MDI je vysvětlována jeho vyšší odolností proti teplu a prostorově sesíťovanými spoji, které jsou vytvářeny reakcí isokyanátové skupiny s vodou (Sun et. al., 1994; Sedliačik, 1998, Paul et. al., 2005).

Na fyzikální vlastnosti produktu má dále vliv množství použitého lepidla. Tloušťkové bobtnání a odolnost proti vlhkosti se se zvyšujícím obsahem lepidla zlepšují (Kelly, 1977; Beech, 1975; Sun et. al., 1994). Tento fakt je vysvětlován snížením hygroskopicity, snížením prostupnosti ztenčenin buněčných stěn, a dále pak možným vznikem nových vnitrobuněčných vazeb (Sun et. al., 1994). Se stoupajícím obsahem lepidla se zlepšují i mechanické vlastnosti (Kelly, 1977, Sun et. al., 1994), ale protože lepidlo je nejdražší složkou při výrobě desek, zvyšuje se také jejich cena.

Naopak na lineární roztažnost OSB nemá množství lepidla téměř žádný vliv (Sun et. al., 1994; Wu, 1999). Někteří autoři pozorovali nepatrné zvýšení lineární roztažnosti při velmi malém množství lepidla (Kelly, 1977).

Výjimečně se jako pojivo pro výrobu OSB používá cement. Jako v případě ostatních lepidel se stoupajícím množstvím cementu se zlepšují mechanické vlastnosti. Oproti deskám lepeným syntetickými lepidly mají OSB lepené cementem větší hustotu a dosahují nižších hodnot při zkoušce rozlupčivosti (Papadopoulos et. al., 2005).

### Přísady lepidel

Lepidlo je nejčastěji nanášeno ve směsi s ostatními přídavnými látkami jako jsou tvrdidla, hydrofóbizační přísady, biocidní prostředky a retardéry hoření.

Obvyklý obsah MUF lepidel při výrobě OSB bývá pro povrchovou vrstvu třísek kolem 8,5 % a lepidel MDI pro středovou vrstvu 2 – 2,75 % hmotnosti suchých třísek (Lam, 2001; Kronospan). Maximální nános fenol-formaldehydového lepidla ve formě prášku je 3 %, při větším množství na třísky nepřilne (Štefka, 2002). Pro dosažení požadovaných vlastností kladených na desky OSB pro použití ve vlhkém prostředí se používají tekutá PF lepidla v množství 5,5 – 6 % (Lam, 2001; APA).

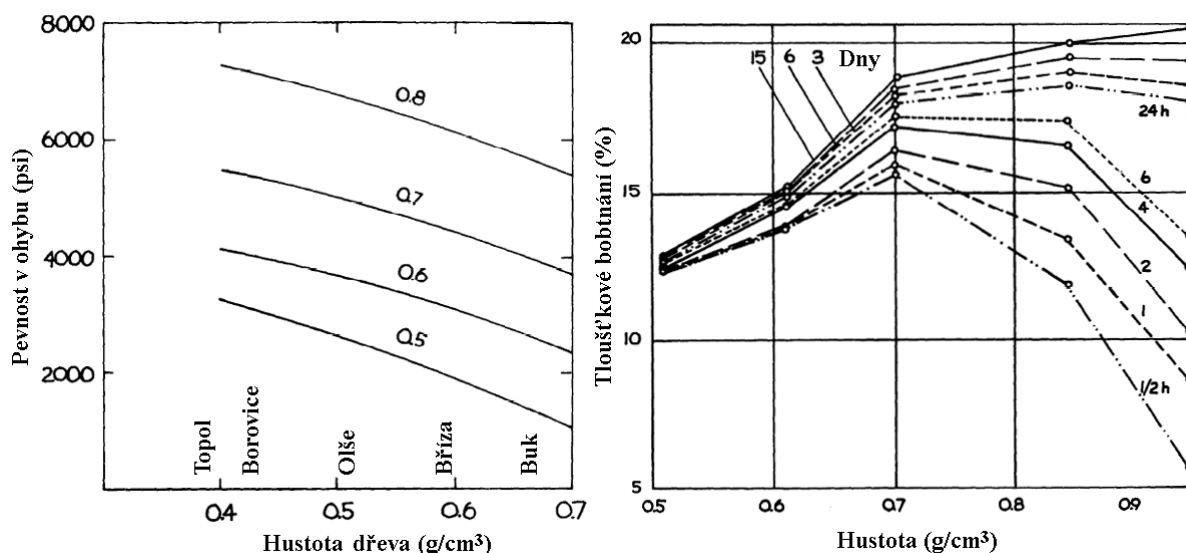
Pro snížení bobtnání a zvýšení odolnosti vůči vodě a vodní páře jsou po aplikaci lepidla přidávány hydrofóbizační přísady (nejčastěji látky na bázi parafínu) v množství 0,5 – 1,5 váhových procent (Lam, 2001). Tento způsob je rozšířený zejména v Severní Americe. V Evropě se více využívá způsob nanášení parafínu formou emulze, kdy je parafínová emulze o koncentraci 25 – 60% obsažena i s dalšími přísadami ve směsi s lepidlem. Parafín snižuje bobtnání aglomerovaných materiálů velmi výrazně, ale hydrofobizace je účinná jen při krátkodobém působení kapalné vody a méně při působení vodní páry (Štefka, 2002).

Lepidla používaná pro výrobu OSB uvolňují jen velmi málo (nebo v případě MDI lepidel vůbec) emisí formaldehydu a bezproblémově splňují limity pro emisní třídu E1 (Peña, Rojas, 2006). Mezi další těkavé látky uvolňované OSB patří terpeny (zejména v případě použití borovicového dřeva) a aldehydy vznikající oxidací nenasycených mastných kyselin v závislosti na použité výrobní technologii a způsobu skladování (Makowski, Ohlmeyer, 2005).

### **3.2.7 Hustota**

U dřevěných kompozitních materiálů se podle hustoty (nebo příčného hustotního profilu) často odvozují mechanické vlastnosti. Obecně platí, že s vyšší hustotou se mechanické vlastnosti desek zlepšují, ale také dochází ke většímu bobtnání (Strickler, 1959; Suchsland, 1962; Kelly, 1977; Wang et. al., 2000).

**Obrázek 3-6:** Vztah hustoty a pevnosti v ohybu pro 4 různé hustoty třískových desek (Stegman, Durst, 1965 v Kelly, 1977) a vliv hustoty třískových desek na tloušťkové bobtnání (Roffael, Rauch, 1972 v Kelly, 1977). U OSB desek jsou tyto vlastnosti ovlivněny ještě dalšími faktory, zejména pak orientací třísek a hustotním profilem. (1 psi = 6 894 Pa)



Rice a Carey (1978) ve svých výzkumech hodnotili vliv hustoty na modul pružnosti v ohybu u desek z velkoplošných třísek lepených fenol-formaldehydovým lepidlem pro čtyři různé dřeviny. Potvrdili zvyšující se modul pružnosti v ohybu při zvyšující se hustotě u všech druhů. Xu a Suchsland (1998) vyvinuli model pro výpočet modulu pružnosti v ohybu pro desky s rovnoměrným hustotním profilem. Dokázali zlepšující se modul pružnosti v ohybu v souvislosti se stoupajícím stupněm komprese. U desek s nerovnoměrným hustotním profilem mají na ohybové vlastnosti největší vliv povrchové vrstvy (Xu, Winistorfer, 1995).

#### Hustotní profil OSB

Při výrobě OSB desek požadovaných rozměrů je z dřevěných částí zformován produkt s nerovnoměrnou hustotou. Ve směru rovnoběžném s povrchem desky je proměnlivost hustoty ovlivněna převážně tvarem, rozměry a uspořádáním dřevěných částic (Suchsland, 1962, 1973; Steiner, Xu, 1995). V příčném směru je hustotní profil při lisování ovlivněn dalšími faktory jako jsou čas uzavírání lisu, obsah vlhkosti, lisovací teplota a tlak (Strickler, 1959; Suchsland, 1962; Kelly, 1977; Wu, Piao, 1999; Cai et. al., 2004).

Hustotní profil ve směru rovnoběžném s povrchem je ovlivněn geometrií a formováním třísek. Při vrstvení třískového koberce dochází nezbytně k tomu, že některé oblasti obsahují více vzájemně se překrývajících částí třísek než jiné. Při lisování třískového koberce na konstantní tloušťku jsou tyto oblasti více zhuštěny než oblasti, které obsahují překrývajících se

částí méně. Suchsland (1962) prokázal, že třísky větších rozměrů mohou způsobit větší variabilitu hustotního profilu ve směru rovnoběžném s povrchem. Rozdílné schopnosti tloušťkového bobtnání mezi těmito oblastmi s různou hustotou potom způsobují větší vnitřní pnutí desek (Suchsland, 1973, Suchsland, Xu, 1991).

V příčném směru je hustotní profil nejvíce ovlivňován rychlostí zavírání lisu. Krátký čas uzavírání lisu má za následek velké zhuštění třísek v povrchových vrstvách. Následkem toho se zvyšují hodnoty pevnosti v ohybu a tím i modulu pružnosti v ohybu a snižují hodnoty pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky. Naopak dlouhé časy zavírání lisu vedou k většímu zhuštění střední vrstvy a menšímu u povrchových vrstev. Třískové desky s tímto hustotním profilem vykazují lepší hodnoty pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky a nižší hodnoty pevnosti v ohybu (Hrázský, Král, 2000).

U komerčně vyráběných OSB desek mají povrchové vrstvy větší hustotu než vrstva středová (Xu, Winistorfer, 1995). Při ohybových zkouškách působí největší síla v povrchových vrstvách zkušebního tělesa. Proto je výhodné vyrábět OSB s příčným hustotním profilem ve tvaru písmene „U“ s větší hustotou v povrchových vrstvách než ve vrstvě středové. Takto vyrobené desky dosahují vyšších hodnot ohybové pevnosti a modulu pružnosti v ohybu než desky s rovnoměrným příčným hustotním profilem při stejné průměrné hustotě OSB (Painter et. al., 2006a).

Poměr třísek v povrchových vrstvách a ve středové vrstvě je závislý převážně na tloušťce desky a obvykle se pohybuje od 40 do 60 %. Nejčastější procentuální podíl bývá 30-40-30 nebo 25-50-25, přičemž hustota povrchové vrstvy může být až 130 % a středové vrstvy 70 % průměrné hustoty (Lam, 2001).

Průměrná hustota OSB závisí na typu produktu a bývá ovlivňována hlavně druhem vstupní suroviny a výrobním postupem. Obvykle se pohybuje v rozmezí 600 – 680 kg/m<sup>3</sup> (APA; Peña, Rojas, 2006).

Struktura OSB desek (třísky velkých rozměrů) a jejich poměrně vysoký stupeň komprese způsobuje nižší propustnost desek pro vodní páru. V případě, že je OSB použito pro opláštění dřevěné konstrukce je za normálních klimatických podmínek propustnost pro vodní páru cca 10 × nižší než v případě překližky (Ojanen, Ahonen, 2005).

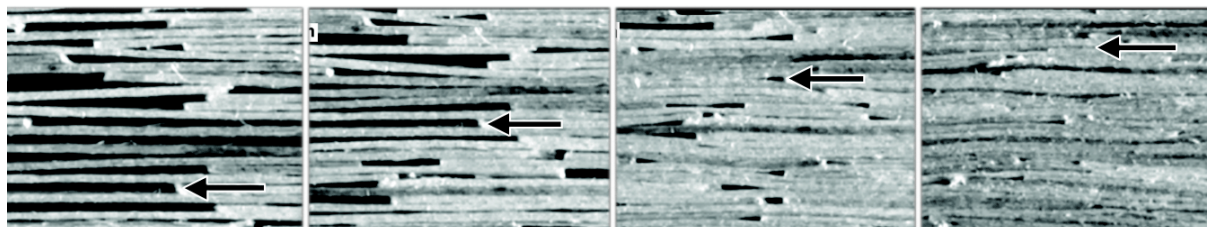
### Vnitřní dutiny

Stejně jako v případě ostatních desek na bázi dřeva vyráběných z velkoplošných třísek má na mechanické vlastnosti OSB, kromě hustotního profilu a orientace částic, také velký vliv velikost a rozprostření vnitřních dutin, které jsou větší než v případě desek vyrobených z třísek malých rozměrů. Přítomnost a rozprostření těchto prázdných prostorů je způsobena nepravidelnou délkou dřevěných částic a jejich částečně nahodilým rozložením v průběhu procesu formování (Kamke, 2004).

Ačkoliv přítomnost a rozprostření vnitřních dutin ovlivňuje mechanicko-fyzikální vlastnosti dřevěných kompozitních materiálů, stanovení jejich množství a rozměrů je obtížné. Charakteristika a distribuce těchto „makro-dutin“ je možná např. pomocí rentgenových paprsků a digitálních nástrojů (Zhang et. al., 2005). Nižší stupeň komprese snižuje výrobní cenu desek, ale zvyšuje počet vnitřních dutin.

Vznik dutin a změny jejich rozměrů v závislosti na síle stlačení třískového koberce zobrazuje následující obrázek.

**Obrázek 3-7:** Lisování třískového koberce při výrobě OSB. Šipka označuje stejnou dutinu před začátkem lisování, při 25, 50 a 75 % stlačení (Lenth, Kamke, 1996 v Kamke, 2004).

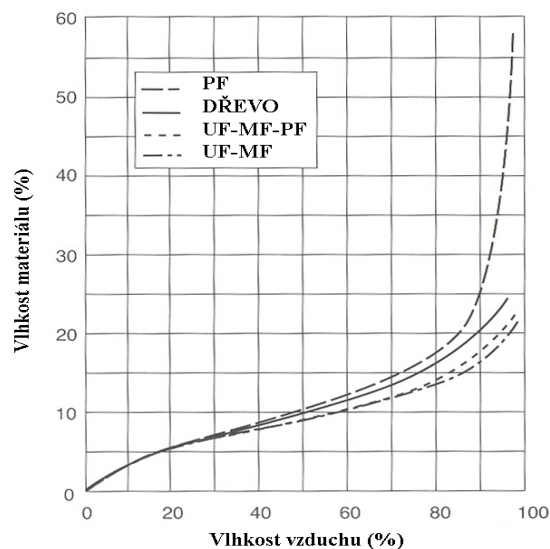


### **3.2.8 Vlhkost**

Jákykoliv materiál na bázi dřeva, ať již pro konstrukční nebo nekonstrukční účely, přijímá z okolního prostředí vlhkost ve formě vodní páry a to v závislosti na vlhkosti materiálu, teplotě a relativní vlhkosti okolního vzduchu (Hrázský, Král, 2004). Po působení vyšší vzdušné vlhkosti na materiály na bázi dřeva obvykle dojde ke snížení jejich pevnostních vlastností (Suchsland, 1973; Suchsland, Xu, 1991) a k trvalému tloušťkovému nabobtnání (Halligan, 1970; Suchsland, 1973; Wu, Piao, 1999). Mnohdy dochází také ke změně vzhledu (Suchsland, 1962; Baker, 2002) a v extrémních případech může vlivem vlhkosti dojít až k porušení celistvosti desek (Suchsland, 1973).

U dřevotřískových desek má na sorpční vlastnosti rozhodující vliv druh a množství lepidla a použitých hydrofobních látek, technologie výroby, velikost a orientace třísek, stupeň komprese a kvalita povrchu. Čím hutnější jsou povrchové vrstvy tím pomalejší je průchod vlhkosti do materiálu. (Hrázský, Král, 2000). Vliv použitého druhu lepidla na sorpční vlastnosti desek je zobrazen na následujícím obrázku.

**Obrázek 3-8:** Sorpční izotermy třískových desek lepených různými druhy lepidel (Peña, Rojas, 2006).

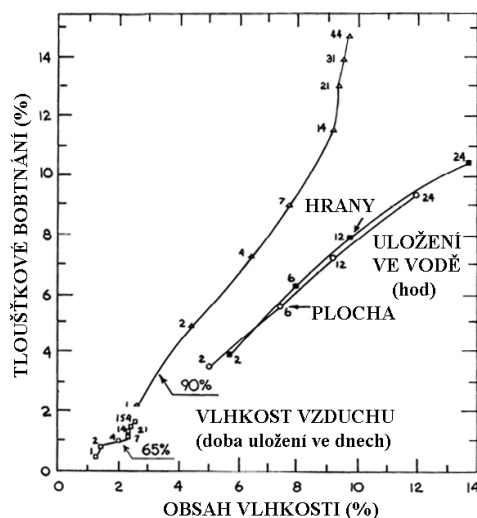


Schopnost dřeva a materiálů na bázi dřeva absorbovat vodu z okolního vzduchu ve formě vodní páry (navlhavost) je považována za nežádoucí, zejména pro následné změny rozměrů materiálu a negativní vliv na mechanické vlastnosti. Odstraněním vlhkosti ze dřeva dojde k navrácení jeho původních rozměrů. Naproti tomu u materiálů na bázi dřeva je možnost tohoto vratného bobtnání nižší (Matovič, 1993).

Množství vratného bobtnání u těchto materiálů přímo souvisí s hygroskopicitou dřevěných částí (bobtnání přírodního dřeva). Oproti tomu nahromadění energie při lisování (pružení slisovaných třísek a vláken, které mají snahu vrátit se do původního stavu před slisováním) a nestejný stresový potenciál materiálu při bobtnání zapříčiňuje změny nevratné (Matovič, 1993; Kelly, 1977; Wu, Piao, 1999).

Tloušťkové bobtnání třískových desek při navlhavosti (působení vzdušné vlhkosti) a nasákavosti (uložení ve vodě) zobrazuje následující obrázek.

**Obrázek 3-9:** Vztah mezi tloušťkovým bobtnáním a obsahem vlhkosti (Johnson, 1964 v Kelly, 1977).



### Rovnovážná vlhkost OSB

Stejně jako ostatní materiály na bázi dřeva, je i OSB materiál, u kterého se projevuje hystereze. V současné literatuře zatím není hystereze OSB podrobněji prozkoumána a údaje rovnovážné vlhkosti jsou většinou zjišťovány pouze při sorpci vlhkosti. Zjištění rovnovážné vlhkosti OSB při adsorpci a desorpci je jedním z cílů této disertační práce.

Vysoká teplota při sušení a tlak při procesu lisování poněkud redukuje hygroskopicitu dřevěných částí. To má za následek snížení rovnovážného obsahu vlhkosti u OSB až o 3 % oproti rovnovážnému obsahu dřeviny použité k výrobě (Hsu et. al., 1989).

Orientační hodnoty rovnovážné vlhkosti materiálů na bázi dřeva jsou zobrazeny v následující tabulce.

**Tabulka 3-2:** Obsah vlhkosti desek na bázi dřeva v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu při 20 °C (Zylkowski, 2002).

Obsah vlhkosti (%)			
Vlhkost vzduchu	Masivní dřevo	Překlížka	OSB
10	2,5	1,2	0,8
20	4,5	2,8	1,0
30	6,2	4,6	2,0
40	7,7	5,8	3,6
50	9,2	7,0	5,2
60	11,0	8,4	6,3
70	13,1	11,1	8,9
80	16,0	15,3	13,1
90	20,5	19,4	17,2

Standardně se rovnovážná vlhkost OSB při 20 °C a 65% vlhkosti okolního vzduchu pohybuje v závislosti na použitém druhu lepidla okolo 9,5 % (MUF, PMDI) a 10,5 % (PF). Desky spojené PF lepidly mají ve velmi vlhkém prostředí vyšší rovnovážnou vlhkost. Příčina spočívá ve velmi vysoké relativní vlhkosti vytvořené fenolické pryskyřice (Hrázský, 2000) vlivem vyšší hygroskopicity zásadité složky lepidla (Paul et. al., 2005).

### 3.2.9 Podmínky užívání

Podle ČSN EN 300 jsou klasifikovány čtyři typy OSB desek, které se rozlišují následovně:

- OSB/1 Desky pro všeobecné účely a desky pro vnitřní vybavení (včetně nábytku) pro použití v suchém prostředí.
- OSB/2 Nosné desky pro použití v suchém prostředí.
- OSB/3 Nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí.
- OSB/4 Zvlášť zatížitelné nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí.

Nosné desky jsou určeny pro navrhování a provádění nosných a výztužných stavebních dílců, např. stěnových, podlahových, střešních konstrukcí nebo I-nosníků.

Suché prostředí je definováno vlhkostí OSB, která odpovídá teplotě 20°C a relativní vlhkosti vzduchu, jenž jen několik týdnů v roce překročí 65 %. Vlhké prostředí je definováno vlhkostí OSB, která odpovídá teplotě 20°C a relativní vlhkosti vzduchu, jenž jen několik týdnů v roce překročí 85 %.

Z výroby jsou OSB desky zpravidla dodávány s vlhkostí 8 až 12 %. Obvyklá vlhkost v interiéru se v průběhu roku pohybuje v rozmezí 15 až 80 % a tomu odpovídá vlhkost OSB 2 až 16 % (Zylkowsky, 2002).

Při aplikacích v konstrukcích s kontinuálním vytápěním vlhkost OSB kolísá v rozmezí 5 – 7 %, v budovách s nesouvislým vytápěním v rozmezí 8 – 10 % a u nevytápěných budov přesahuje 15 % (APA).

Opakované kolísání vlhkosti v takto velkém rozmezí je dostačující ke vzniku stresového napětí a může vést až k viditelné devastaci desek (Wu, Suchsland, 1997). Je proto nutné důsledně dodržovat třídy použití materiálu a nezaměňovat třídu použití podle ČSN EN 300 s třídou použití podle názvosloví normy ČSN ENV 1995-1-1, která se zabývá navrhováním dřevěných konstrukcí a kde jsou podmínky užívání označovány názvem „třídy vlhkosti“. OSB/2 je materiál určený pro použití v suchém prostředí, tzn. v prostředí, kdy v průběhu roku u většiny jehličnatých druhů dřeva není překročena rovnovážná vlhkost 14 %.



### 3.3 Vliv vlhkosti na mechanicko-fyzikální vlastnosti

#### 3.3.1 Tloušťkové bobtnání

Výzkumné práce týkající se tloušťkového bobtnání materiálů na bázi dřeva v souvislosti se zvyšováním obsahu vlhkosti byly realizovány mnoha autory (např. Wu, Piao, 1999; Wu, Suchsland, 1997; Halligan, 1970). Bylo zjištěno, že celkové tloušťkové bobtnání se skládá ze dvou součástí: vratného a nevratného tloušťkového bobtnání (Halligan, 1970). Vratné bobtnání je zapříčiněno bobtnáním dřevních vláken způsobeným změnami obsahu vlhkosti vlivem hygroskopicity. Nevratné bobtnání je výsledkem dvou faktorů: působením vnitřních pnutí vzniklých při technologickém procesu lisování a odlišnými možnostmi bobtnání vycházejících z rozdílné místní hustoty materiálu (Wu, Piao, 1999). Toto vnitřní pnutí je často tak velké, že vede k porušení adhezivních sil pojiva (Suchsland, Xu, 1991).

Při procesu lisování dochází k vysušování povrchových vrstev desek. To způsobuje vlhkostní spád mezi jádrovou zónou a povrchovými zónami (stejně tak to vede k vlhkostnímu spádu mezi jednotlivými buňkami dřevěných částic) a vznik vnitřního pnutí. Gradient vnitřního pnutí je vyvolán rozdílnou možností smršťování buněčných stěn a buněčných dutin, rozdílnou možností smršťování různých dřevních pletiv a odlišnou rychlostí transportu vlhkosti podél a napříč vláken (Suchsland, 1962, Kelly, 1977).

Rice a Carey (1978) prokázali, že u desek vyrobených z velkoplošných třísek s větší hustotou stoupá tloušťkové bobtnání. Studie tloušťkového bobtnání a adsorpce vody u kompozitních dřevěných materiálů v závislosti na příčném hustotním profilu zpracovali také Xu a Winistorfer, (1995); Winistorfer, Xu, (1996); Wang, Winistorfer (2003). Výše uvedení autoři se shodují na souvislosti tloušťkového bobtnání s hustotou jednotlivých vrstev desek, i když vzájemný vztah mezi tloušťkovým bobtnáním a hustotou jednotlivých vrstev vykazuje lepší hodnoty korelace pro desky vyrobené z malých částic (MDF a třískové desky) než pro OSB (Xu and Winistorfer, 1995). Povrchové vrstvy OSB (oblasti s vyšší hustotou) bobtnají více než vrstva středová.

Wang a Winistorfer (2003) pomocí optické metody schopné měřit podíl jednotlivých vrstev na celkovém tloušťkovém bobtnání došli u OSB tloušťky 12 mm k poznání, že povrchové vrstvy s podílem 39 % na celkové tloušťce desky po 2, 8 a 24 hodinovém uložení ve vodě přispěly k celkovému bobtnání 74, 64 a 57 %. Menší tloušťkové bobtnání vlivem vlhkosti se projevuje u OSB s uniformním (plochým) příčným hustotním profilem (Gu et. al., 2005). Dal-

ší autoři (McNatt et. al., 1992) dokázali předpoklad, že tloušťkové bobtnání není ovlivňováno orientací třísek.

Maximální tloušťkové bobtnání OSB ze suchého stavu po bod nasycení vláken je přibližně 35 % (zatímco masivní dřevo a překližka bobtná pouze od 6 do 12 % (Geimer et. al., 1998).

Z celkového tloušťkového bobtnání u materiálů tvořených slisovanými velkoplošnými dřevnými třískami může podíl nevratného bobtnání překročit 40 % (Wu a Piao, 1999) nebo až 60 % (Adcock a Irle, 1997).

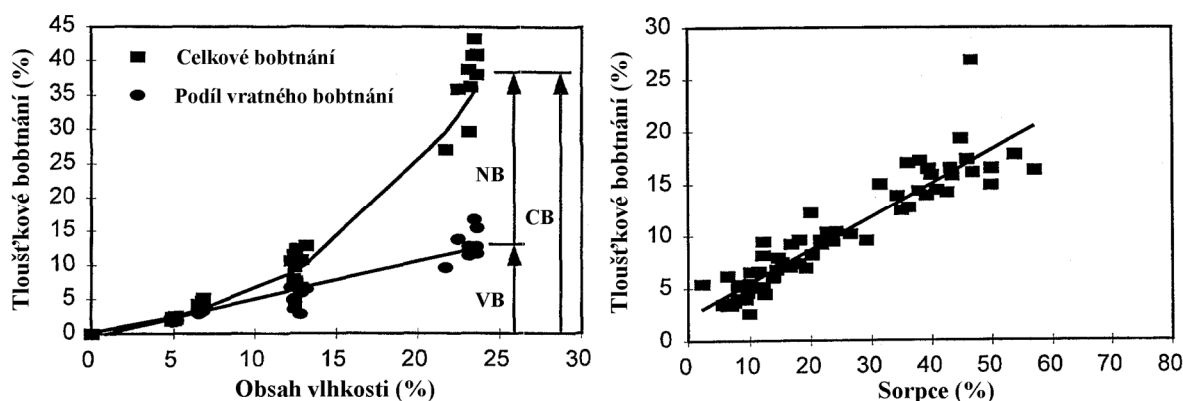
#### Ztráta pevnosti způsobená tloušťkovým bobtnáním

Tloušťkové bobtnání způsobuje ztráty pevnosti desek jednak tím, že vlivem nevratného tloušťkového bobtnání dochází ke snižování hustoty, a dále vznikem vnitřního napětí vlivem nestejně možnosti bobtnání sousedících dřevních elementů (Suchsland, 1973, Wu, Piao, 1999). Tloušťkové bobtnání má také výrazný vliv na trvanlivost OSB.

Zjištění podílu nevratného tloušťkového bobtnání OSB na velikosti celkového tloušťkového bobtnání se jeví jako užitečnější informace pro jejich praktické využívání v konstrukcích než pouze zjištění tloušťkového bobtnání po ponoření ve vodě. Při aplikacích ve stavebnictví jsou desky často vystavené opakujícím se vlhkostním změnám, což vede k většímu či menšímu trvalému tloušťkovému nabobtnání (Paul et. al., 2005).

Wu a Piao (1999) zjišťovali snižování pevnosti spoje u OSB v závislosti na nevratné složce tloušťkového bobtnání. Došli k poznatku, že při absorpci vlhkosti, dochází u OSB desek k průměrnému poklesu pevnosti o 0,0138 MPa na každé procento nevratného tloušťkového bobtnání. Tyto ztráty pevnosti jsou vysvětlovány porušením adhezivních sil pojiva. Prokázali rovněž rozdíly v nevratném tloušťkovém bobtnání OSB při navlhavosti a nasáklivosti. Ačkoliv zkušební vzorky po 24 hodinovém uložení ve vodě obsahovaly více vlhkosti než při zkoušce navlhavosti, tloušťkové bobtnání bylo u těchto vzorků nižší. Po 24 hodinovém uložení ve vodě tyto vzorky nebyly kompletně nasycené vodou a kromě toho voda pronikala do zkušebních vzorků ze stran a zaplňovala vnitřní dutiny. Také tyto výsledky potvrzují větší důležitost zjišťování ztrát pevnosti OSB v závislosti na nevratných tloušťkových změnách nežli pouze v závislosti na obsahu vlhkosti.

**Obrázek 3-10:** Tloušťkové bobtnání OSB desek vyrobených z borovice v závislosti na obsahu vlhkosti. Levý obrázek znázorňuje podíl vratné a nevratné složky tloušťkového bobtnání při navlhavosti. Spojnice představuje regresní křivku dat. Na pravém obrázku je zobrazeno tloušťkové bobtnání z testu nasákavosti (24 hodinové uložení ve vodě). Spojnice představuje lineární trend dat (Wu, Piao, 1999).



### 3.3.2 Lineární roztažnost

Lineární roztažnost v závislosti na obsahu vlhkosti je další z důležitých vlastností velkoplošných materiálů na bázi dřeva používaných ve stavebnictví. Pokud je v konstrukci omezeno volné rozpínání desek při zvýšení vlhkosti, může vzniklé vnitřní napětí být natolik velké, že způsobí porušení desek, vytrhání spojovacích prostředků a separaci prvku od konstrukce (Suchsland, 1972).

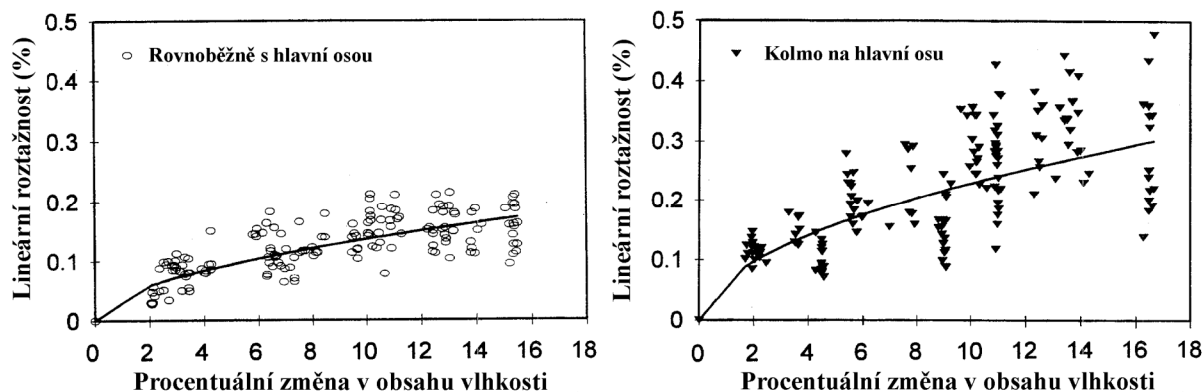
Lineární roztažnost a tuhost OSB je převážně určována jejich konstrukcí. V průběhu výroby lze volbou výrobních faktorů ovlivnit takové důležité parametry jako jsou poměr třísek středové vrstvy k povrchovým vrstvám, hustotní profil a orientace třísek pro dosažení požadovaných vlastností pro rozdílné aplikace (Wu a Suchsland, 1996, Baker, 2002).

U obvykle vyráběných typů OSB je lineární roztažnost převážně ovlivňována roztažností masivního dřeva v podélném směru, která bývá menší než 0,5 %. Ačkoliv OSB jsou vyráběny nejčastěji ve třívrstevné konstrukci se vzájemně kolmou orientací vrstev, jednotlivé třísky nejsou perfektně uspořádány do úhlu 90°, takže při adsorpci vlhkosti se kromě délkové roztažnosti objevuje také prvek příčné roztažnosti dřevěných částic. Protože délková roztažnost dřeva již nemůže být snížena, může být nízké lineární roztažnosti dosaženo lepším uspořádáním třísek, poměrem třísek v povrchových a středové vrstvě, volbou příčného hustotního profilu a obsahem lepidla (Wu a Suchsland, 1996).

Bylo zjištěno (Wu, Suchsland, 1996), že při vlhkostních změnách při nižší vlhkosti dochází k větší expanzi desek než při vyšší vlhkosti. Protože závislost mezi lineární roztažností a

stoupající vlhkostí nevykazuje lineární trend, není příliš vhodné používat konstantní poměr pro přepočítání změny rozměrů při měnící se vlhkosti (Wu, Suchsland, 1996; Wu, 1999, Wu, Piao, 1999).

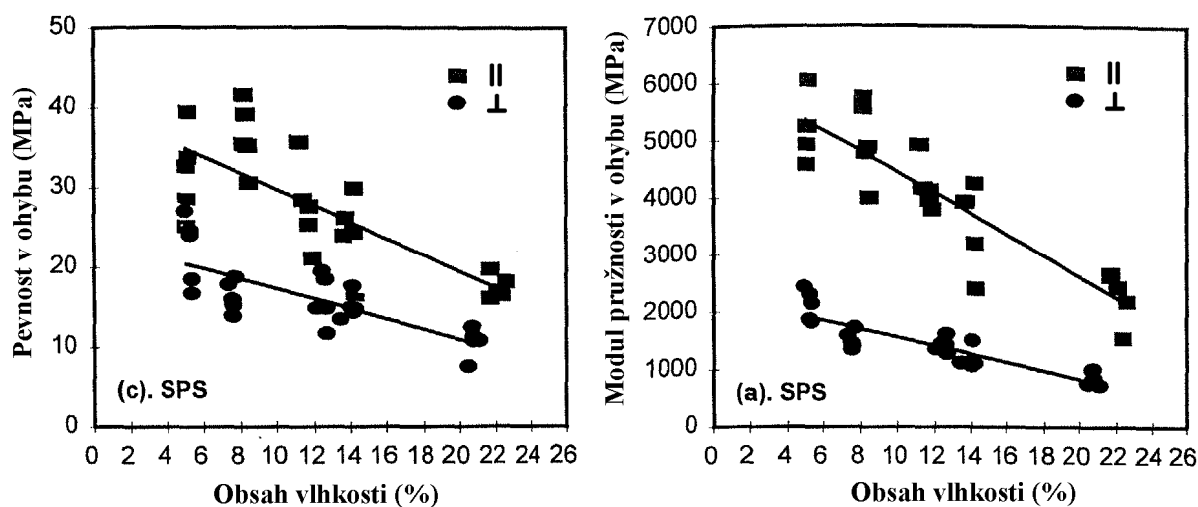
**Obrázek 3-11:** Lineární roztažnost OSB (5 různých druhů) v závislosti na změně obsahu vlhkosti. Průměrná počáteční vlhkost byla 6,1 % (Wu, Suchsland, 1996).



### 3.3.3 Pevnost

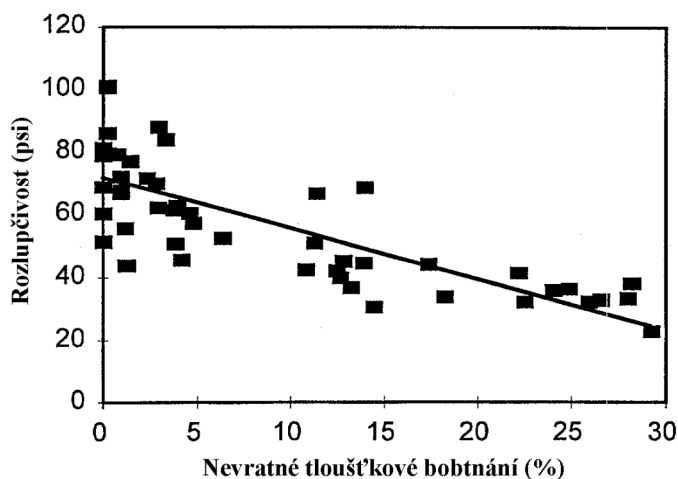
Zvýšenou vlhkostí je u OSB nejvíce negativně ze všech mechanických vlastností ovlivněna právě pevnost. Wu a Suchsland (1997) studovali snižování modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu u běžně vyráběných druhů OSB v závislosti na tloušťkovém bobtnání. Dospěli ke zjištění, že při zvýšení obsahu vlhkosti ze 4 na 24 % a s tím souvisejícím nabobtnáním dojde k poklesu modulu pružnosti a pevnosti v ohybu o 72 až 83 % v podélném směru a o 58 až 67 % ve směru příčném.

**Obrázek 3-12:** Pevnost v ohybu a modul pružnosti v ohybu OSB desek vyrobených z borovice v závislosti na obsahu vlhkosti. Spojnice představuje lineární trend dat (Wu, Suchsland, 1997).



Další výzkumy prokázaly, že ztráta pevnosti OSB není závislá pouze na obsahu vlhkosti (rozdíly mezi navlhavostí a nasákavostí), ale je přímo úměrná podílu nevratného tloušťkového bobtnání (porušení vazeb mezi lepidlem a dřevěnými elementy). Hodnoty zkoušky rozlupčivosti klesají téměř lineárně se zvyšujícím se obsahem nevratných tloušťkových změn. (Wu, Piao, 1999).

**Obrázek 3-13:** Hodnoty rozlupčivosti v závislosti na podílu nevratného tloušťkového bobtnání (1 psi = 6 894 Pa). Spojnice představuje lineární trend dat (Wu, Piao, 1999).



V případě, že je materiál jako OSB použit pro výrobu I-nosníků, je vliv vlhkosti na ohybové vlastnosti ještě výraznější. Kolektiv autorů (Chen et. al., 1989) zjišťoval snižování pevnosti vlivem vlhkosti u dřevěných trámů a I-nosníků z kompozitních materiálů, kdy pro nosnou vrstvu I-nosníku bylo použito OSB, deska z velkoplošných náhodně rozprostřených třísek a překližka. V suchém prostředí byla pevnost I-nosníku z OSB výrazně vyšší než u ostatních materiálů. Se stoupající vlhkostí nosníky z OSB ztrácely nosnost rychleji než ostatní skupiny nosníků a ve vlhkém prostředí mezi nosnostmi nosníků nebyly významné rozdíly.

Plastické deformace OSB způsobené dlouhodobým zatížením (tzv. tečení) jsou ve vlhkém prostředí (nebo v prostředí s cyklicky se měnící vlhkostí) větší, než v případě masivního dřeva (Laufenberg et. al., 1999).

### 3.4 Postupy pro zlepšování odolnosti proti vlhkosti

Výrobci dřevěných kompozitních materiálů se již dlouhou dobu snaží o nalezení technologického postupu, který by zvyšoval jejich rozměrovou stabilitu a odolnost proti vlhkosti a zároveň by zachovával dobré mechanické vlastnosti. Nejčastěji se pro úpravu vlastností desek využívá působení tepla v průběhu lisování, nebo po lisování (Hsu et. al., 1989). Méně časté jsou aplikace chemických látek (Smith, Wu, 2005; Papadopoulos et. al., 2006).

#### 3.4.1 Tepelná úprava

Zvyšování rozměrové stability a trvanlivosti masivního dřeva pomocí tepelné úpravy je v dřevozpracujícím průmyslu dlouho známý a dobře zavedený proces. Tímto způsobem je možné zvýšit odolnost proti působení vlhkosti i u materiálů na bázi dřeva.

Ošetření dřeva zvýšenou teplotou vede k chemickým modifikacím hemicelulóz, celulózy a ligninu. Podrobněji je to popsáno v mnoha odborných publikacích (např. Sandermann, Augustin, 1963; Kollmann et. al., 1975; Babiak, Dubovský, 2001).

Tepelná degradace dřeva začíná rozpadem hemicelulóz okolo 200 °C, přibližně u 240 °C následuje celulóza a u 280 °C lignin. Tyto hodnoty jsou platné pro atmosférický tlak. Při lisování za zvýšeného tlaku a vlhkosti dochází k degradaci dřívě (Tjeerdsma, 1998).

Nižší sorpce vlhkosti u tepelně ošetřeného dřeva je zapříčiněna snížením počtu volných hydroxylových skupin hemicelulóz. Při sorpci vlhkosti (nižší než bod nasycení vláken) hydroxylové skupiny hemicelulóz, celulózy a ligninu vážou molekuly vody, čímž dochází k rozpínání materiálu. Protože hemicelulózy jsou nejreaktivnější polymery ve dřevě, jsou také nejsnadněji ovlivnitelné působením zvýšené teploty, kdy vytváří prostorově sesíťované spoje s ostatními polymery a ligninem (Tjeerdsma, 1998).

Tepelná úprava delší čas při nižších teplotách nemá stejný dopad na chemické změny jako kratší čas při vyšších teplotách. Degradace hemicelulóz je více ovlivněna vyšší teplotou, kdy množství volných hydroxylových skupin klesá a tím se snižuje rovnovážná vlhkost (Paul et. al. 2006).

Při tepelné úpravě může docházet ke změnám barvy desek. Tyto změny jsou zapříčiněny dvěma mechanismy: oxidací fenolických skupin a ligninu a rozkladem hemicelulóz (Kollmann et. al., 1975).

Stupeň plastifikace dřevěných částic v průběhu lisování je závislý na jejich pozici v desce. Vliv vlhkosti a zvýšené teploty současně s chemickou modifikací ligninu zvyšuje možnosti

jejich tvarování a zhuštění. Postupně, se vzrůstající teplotou, dochází k úniku molekul vody a vznikají nové vazby mezi polymery dřeva. Při poklesu teploty setrvávají amorfní části polymerů propojeny v nové pozici (v plastické deformaci), čímž zvyšují rozměrovou stabilitu desek. Avšak následkem zvýšené teploty působící na desky dochází ke zvýšení molekulární oscilace a teplotní roztažnosti krystalických částí celulózy, což vede ke zvýšení křehkosti desek (Kollmann et. al., 1975). Pro zvýšení plasticity dřevěných částic se v průmyslové praxi nejčastěji využívá technologie parní injektáže a vysokofrekvenčního ohřevu (Geimer et. al., 1998; Geimer, Kwon, 1999).

### 3.4.2 Tepelná úprava desek

Kolektiv autorů (Hsu et. al., 1989) se zabýval zjišťováním změn ve vlastnostech desek ošetřených přímým působením teplot v rozmezí 230 – 250 °C po různě dlouhou dobu (tuto metodu rozměrové stabilizace užitím horkých kovových desek patentoval Dr. Hsu roku 1986). Došli k zjištění, že podíl nevratného bobtnání, které je způsobeno nahromaděním energie při lisování, tvoří hlavní část celkového tloušťkového bobtnání OSB. Chemicko-fyzikální změny způsobené tepelným ošetřením desek snížily podíl tohoto nevratného bobtnání. U desek tloušťky 19 mm bylo celkové bobtnání sníženo o 20 %, přičemž hodnoty modulu pružnosti v ohybu a rozlupčivosti byly srovnatelné s neošetřenými deskami. Naproti tomu pevnost v ohybu byla prokazatelně snížena.

### 3.4.3 Tepelná úprava třísek

Přípravné tepelné ošetření jednostupňovým procesem při sníženém obsahu kyslíku a normálním atmosférickém tlaku je dalším ze způsobů pro zvýšení rozměrové stability OSB. Řešitelský tým (Paul et. al., 2006) aplikoval na třísky již vysušené a připravené k výrobě proces, při kterém byly ve speciálním zařízení při sníženém obsahu kyslíku vystaveny teplotě 220 a 240 °C po dobu 30 minut. Po ochlazení byly použity pro výrobu OSB. Pro slepení třísek byla použita lepidla MDI, PF a MUF bez přidaných hydrofobizačních látek. Poté byly testovány důležité mechanicko-fyzikální vlastnosti všech vzorků a porovnány s deskami, pro jejichž výrobu byly použity tepelně neupravené třísky. Tloušťkové bobtnání se po 24 hodinovém uložení ve vodě u neupravených vzorků pohybovalo od 19,5 do 23,5 % (v závislosti na druhu lepidla). U vzorků z třísek vystavených teplotě 240 °C bylo tloušťkové bobtnání sníženo na 10 až 11,5 %. Modul pružnosti ošetřených vzorků byl snížen poměrně málo, od 6 do 30 %, avšak pevnost v ohybu byla nižší o 35 až 50 %.

### 3.4.4 Chemická úprava

Jedním ze způsobů pro snížení rozměrových změn OSB je acetylace třísek anhydridem kyseliny octové nebo propionanhydridem. Papadopoulos a kolektiv autorů (2006) zkoumal vlastnosti takto upravených třískových desek a OSB. Tloušťkové bobtnání u desek vyrobených z upravených třísek bylo výrazně sníženo. Avšak, v porovnání s kontrolními vzorky, byly sníženy také hodnoty rozlupčivosti. V případě lepidel na bázi MDI nejsou rozdíly v mechanických vlastnostech ošetřených desek tak výrazné jako v případě fenol-formaldehydových lepidel. Větší snížení hodnot pevnosti u fenol-formaldehydového lepidla je vysvětlováno špatnou smáčivostí upravených třísek, která způsobuje ředění lepidla vlhkostí.

Využití této metody v průmyslové praxi je limitováno především špatnou možností lepení upravených třísek při běžně využívaných postupech při výrobě desek na bázi dřeva.



### 3.5 Shrnutí literární rešerše

Vlastnosti OSB jsou ovlivňovány převážně použitým druhem lepidla, obsahem vlhkosti a hustotou (hustotním profilem). Zatímco vyšší obsah lepidla má na fyzikálně-mechanické vlastnosti pozitivní vliv, vliv vlhkosti je zcela opačný.

Vliv hustoty je závislý na druhu posuzované vlastnosti a může být příznivý nebo negativní. Nerovnoměrnost hustoty (rozložení plošné hmotnosti) v OSB deskách je zdrojem vnitřního pnutí, které následně snižuje pevnost a zvyšuje hodnoty bobtnání. Naproti tomu nerovnoměrnost příčného hustotního profilu je jedním z faktorů, jímž lze fyzikálně-mechanické vlastnosti nejvíce ovlivňovat. Na hodnoty ohybových zkoušek má největší vliv hustota povrchových vrstev desek. Se stoupající celkovou hustotou desek se zlepšují hodnoty smykových zkoušek a rozlupčivosti, ale současně se zvyšuje tloušťkové bobtnání. Na utváření příčného hustotního profilu má největší vliv uzavírací čas lisu, lisovací teplota a tlak, vlhkost a geometrie třísek.

Geometrie a orientace třísek má na mechanické vlastnosti a rozměrovou stabilitu také výrazný vliv. Delší a tenčí třísky stejně tak jako jejich pečlivá orientace zvyšují pevnost, tuhost a rozměrovou stabilitu desek. Důležité jsou i další faktory, jako např. interakce mezi vrstvami, adhezní síly lepidla a přídavné látky, druh dřeviny atd.

Kvůli vysoké variabilitě vlastností OSB je proto nutné zvolit optimální kompromis mezi mechanickými a fyzikálními vlastnosti pro každý specifický způsob aplikace.

## 4 Materiál a metodika

### 4.1 Materiál

Pro měření byly použity vzorky komerčně vyráběných desek OSB/3 – Superfinish (nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí – ČSN EN 300). Základní charakteristiky zkušebního materiálu jsou uvedeny v tabulkách 4-1 a 4-2. Technologie výroby desek Superfinish je podrobněji popsána v kapitole 4.1.1 dle materiálů dodaných firmou Kronospan CR.

**Tabulka 4-1:** Fyzikální vlastnosti zkušebního materiálu OSB/3 – Superfinish

Charakteristiky desek	Lepidla
Tloušťka: 12 mm	povrch:
Surovina: smrk (80 %), borovice (20 %)	MUF 8,5 %
Poměr třísek střed/povrch: cca 50/50	tvrdidlo: 2,4 %
Vlhkost třísek: střed 10,5 %, povrch 5,5 %	střed:
Parafín: 1,2 %	MDI 3,5 %

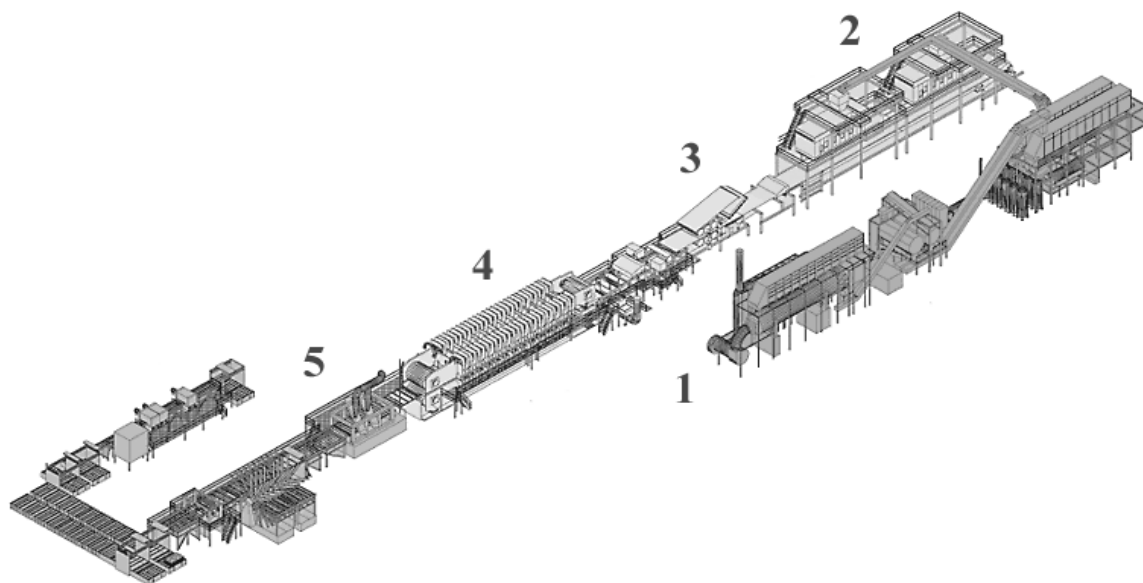
**Tabulka 4-2:** Lisovací faktory

Kontinuální lis Dieffenbacher CPS 280-53; délka: 53 m, rychlost: 276 mm/s		
Vstupní zóna:	220-225 °C	3 N/mm
	215-230 °C	1,6 N/mm
Středová zóna:	205-215 °C	1,7 N/mm
	205-215 °C	0,8 N/mm
Výstupní zóna:	180-200 °C	0,05 N/mm

#### 4.1.1 Technologie výroby OSB/3 – Superfinish (Kronospan)

Konstrukční desky Superfinish jsou vyráběny firmou Kronospan CR (člen nadnárodní skupiny Kronospan). Výroba OSB ve výrobním závodě v Jihlavě začala v červnu 2005 na 38 m dlouhém kontinuálním lisu Dieffenbacher s kapacitou 300 tis. m<sup>3</sup> ročně. Prodloužením lisu na 53 m, zdvojením odkorňovačů, roztřískovačů a sušáren byla kapacita výroby v srpnu 2006 zvýšena na dnešních asi 450 tis. m<sup>3</sup>. Firma Kronospan v Jihlavě v současnosti vyrábí také dřevotřískové a dřevovláknité desky, pro které lze použít třísky jemné frakce odloučené z výroby OSB.

Schéma vrstvicí a lisovací linky Dieffenbacher je zobrazeno na obrázku 4-1.

**Obrázek 4-1:** Schéma výrobní linky OSB (Dieffenbacher)

- 1) Příprava suroviny – v této části dochází k vysoušení třísek na optimální vlhkost, jejich třídění a následnému nanášení lepicí směsi.
- 2) Formování koberce – zde probíhá vrstvení jednotlivých vrstev, horní a spodní vrstvy mají orientaci třísek ve směru osy výrobního toku, středová vrstva má třísky orientované kolmo na osu výrobního toku.
- 3) Předlisování – zredukování tloušťky navrstveného třískového koberce.
- 4) Lisování – lisování třískového koberce na konečnou požadovanou tloušťku.
- 5) Prvotní formátování (sdružený formát), egalizace, druhotné formátování (jmenovitý formát desek), klimatizace.

### **Výrobní proces:**

#### **Vstupní surovina:**

V podniku se zpracovává převážně dřevní hmota smrková (80 %), zbylých 20 % tvoří borovice. Vlhkost vstupní suroviny se pohybuje v rozmezí 40 – 125 %, průměr zpracovávané kulatiny je 80 – 700 mm, délka 2 – 4 m.

#### **Odkorňování:**

Odkorňovač (HFHN typ WRD 800-2) pracuje ve dvou sekcích, s paralelně umístěnými rotory, ve kterých dochází při rotačním pohybu suroviny vlivem odkorňovacích segmentů a vzájemného kontaktu jednotlivých kusů k odstranění kůry. Dříví je na vstupní části ošetřeno tlakovým vodním postřikem, po odkornění je kulatina dočištěna válci na dočišťovací lince.

**Detekce kovů** (max. citlivost matka M16)**Roztřískování:**

Kulatina je posouvána vozíkem nakládací stanice do řezacího prostoru roztřískovače (prstencový HFHN – typ WZU 25-725-56), kde je stabilizována věží se závažími. Při zdvihu stroje je hydraulickou pístnicí stroj přemístěn ze základní do koncové polohy, přičemž nožový prstenec roztřískuje dřevo ležící v pracovním prostoru. Po ukončení degradační činnosti se roztřískovač vrací do základní polohy. Poté dojde ke zdvihu závaží a nakládací stanice posune kmeny do řezacího prostoru a následuje další zdvih. Průměr nožového prstence je 2 500 mm a je osazen 56 noži, jejichž délka je 725 mm. Na hlavních nožích jsou umístěny nařezávací nožičky.

**Třídění, sušení a zásobníky třísek:****Válečkový třídící stroj:** PAL Quadradyne typ 1-8000 - 2700

V lince je umístěn dvakrát. Oba stroje pracují pomocí rotujících hřídelí, osazených disky čtvercového tvaru. Při transportu třísek dochází k jejich propadávání do dopravníků pod roztřískovačem. Kvalitu třídění je možno regulovat změnou rychlosti otáček hřídelí, roztečí mezi hřídelemi a roztečí mezi disky.

Vytříděné frakce:

- prach a tříška jemné frakce jsou transportovány do třískového sila
- středová tříška je transportována do zásobníku středové třísky
- povrchová tříška je transportována do zásobníku povrchové třísky

**Zásobník na mokré třísky:** Hombak BB 460N

Udržuje zásobu třísek, a tím zajišťuje plynulý chod dalšího zařízení (sušárny).

**Bubnová sušárna:** SPE typ TT 6,6 × 35

Horké spaliny, potřebné pro sušící proces se vytvářejí v ocelové spalovací komoře (vertikálně uspořádaná spalovací komora bez vyzdívky s vestavbami z děrovaného plechu ke smíchání horkých spalin z hořáku se zpětným vzduchem). Vícepalivovým hořákem a přimícháním zpětného vzduchu se spaliny smíchají na požadovanou vstupní teplotu do sušárny. Poté jsou spaliny vedeny bubnem ve stejném proudu s materiálem přiváděným přes turniketový rotační uzávěr. Na konci bubnu je asi 90 % materiálu odděleno ve výpadové komoře od proudu vzduchu a transportováno řetězovými dopravníky do válečkových třídíčů. Vzduch je nasáván ventilátorem a přiváděn do baterie cyklónových odlučovačů, kde je zbývající materiál (jemná frakce) oddělen od vzduchu a vynášen řetězovým dopravníkem umístěným pod

cyklony do sila. Odpadní vzduch od cyklónů je jako zpětný vzduch veden do spalovací komory resp. jako odpadní vzduch do komína. Množství zpětného resp. odpadního vzduchu je regulováno dvěma regulačními klapkami umístěnými ve vedení zpětného vzduchu.

Parametry sušárny:

- vstupní vlhkost max. 120 %
- konečná vlhkost 2,5 % (tolerance  $\pm 0,5$  %)
- teplota na vstupu sušárny 400°C
- teplota na výstupu sušárny 118°C

**Sítový třídící stroj:** PAL typ SUPERSCREEN-DP-3P-26-EJ-AC1/2/3-AF-AE

Síta frakce:

- OSB tříška 3,5 × 30 mm
- DTD tříška 2,97 × 2,97 mm a 0,494 × 0,494 mm
- prach

**Zásobník na suché třísky:** Hombak BB 300 T

Udržuje zásobu OSB – třísek (povrchových a středových) a plynule je dávkuje podle požadavku vrstvení koberce. V lince je instalován dvakrát.

**Zásobník na třísky:** Hombak BB 100 T FS

Udržuje zásobu OSB – třísek z vadného vrstvení a od ořezů naformovaného koberce. Dávkuje je do středových zásobníků pro vrstvení.

**Pásová váha:** SCHENCK FH 5420CZ/0210

Dle údajů z pásové váhy (aktuální množství třísek do nanášecích lepidla) jsou dávkovány jednotlivé komponenty – lepidlo, parafinová emulze, voda, tužidlo. V lince jsou instalovány dvakrát.

**Nanášení lepidla:** Nanášedka Coil, typ 11 × 45 E

Pomocí odstředivé síly třísky ve spodní části přilnou ke stěně bubnu, poté jsou vynášeny do vrchní části, odkud volně padají přes nosný trámec atomizérů (nanášecích rotujících disků).

Dávkování lepicí směsi:

- 1) povrchová vrstva
  - MUF lepidlo 8,5 % sušiny lepidla na hmotnost třísek při 0% vlhkosti
  - Parafinová emulze 1,2 % sušiny emulze na hmotnost třísek při 0% vlhkosti
  - Tvrdidlo 2,4 % na hmotnost třísek při 0% vlhkosti
- 2) středová vrstva

- MDI lepidlo 3,5 % na hmotnost třísek při 0% vlhkosti
- Parafinová emulze 1,2 % sušiny emulze na hmotnost třísek při 0% vlhkosti

Koncentrace:

- MUF 65 %
- MDI 100 %
- Parafinová emulze 34 %
- Tvrdivlo 60 %

Voda je dávkována v přepočtu na požadovanou vlhkost třísek před vstupem do lisu:

- Pro povrchovou vrstvu 10,5 %
- Pro středovou vrstvu 5,5 %

**Vrstvení třískového koberce:** Dieffenbacher CPS 280

- Rozdělovací klapka dvakrát
- Dávkovací zásobník čtyřikrát
- Vrstvicí hlava pro podélnou orientaci dvakrát
- Vrstvicí hlava pro příčnou orientaci dvakrát
- Váha plošné hmotnosti

**Rozdělovací klapka**

Zabezpečuje rovnoměrné plnění obou zásobníků vrstvicích hlav

**Dávkovací zásobník**

Slouží k průběžnému uskladnění třísek. Vyrovnává časové změny objemu posypového materiálu a přesouvá ho dále homogenizovaný. Dávkovací zásobník je plněn šnekovým dopravníkem, který je nad zásobníkem a kyvadlově plní zásobník po celé šířce. Ve vrchní části je řetězový dopravník s hrabovými unášeči, které rozdělují materiál ve směru ke konci zásobníku. Rychlostí podlahového pásu je regulováno vynášené množství materiálu, který je pomocí vynášecích válců dopravován do vrstvicích hlav.

**Vrstvicí hlava pro podélnou orientaci třísek:** L 59

Slouží k vrstvení spodní a vrchní povrchové vrstvy. Celá vrstvicí stanice je výškově nastavitelná dle výrobního sortimentu (výšky navrstveného třískového koberce) z důvodu zachování optimální orientace třísky. U třísek padajících z větší výšky na vrstvený koberec dochází k horší orientaci. Proud třísek z dávkovacího zásobníku je rozvolňovacími válci (5 ks) vyrovnáván v podélném směru a přiváděn k orientačním válcům. Orientační malé a velké válce (5 + 4 ks) jsou střídavě rozmístěné a osazené disky s distančními kroužky mezi nimi. Šířka posypu je 2 750 mm

**Vrstvicí hlava pro příčnou orientaci: S44 Q6**

Slouží k vrstvení třísek středové vrstvy – příčná orientace třísek ke směru pohybu unášecího pásu. Rotující rozvolňovací válce (6 ks) rozdělují vodorovně proud posypového materiálu z dávkovacího zásobníku. Dále jsou třísky přes vodící plechy přiváděny k orientačním válcům. Orientační válce (6 ks) mají trubkový profil, kolem něhož jsou hvězdicovitě seskupené jednotlivé komorové plechy.

**Váha plošné hmotnosti:**

Průběžně měří objem navrstveného koberce pomocí elektro-mechanického měřícího zařízení. Nad formovacím pásem jsou nainstalovány magnety k odstranění kovu a dále detektor kovů. V případě vadného navrstvení koberce nebo detekce kovu je tento koberec vysypán přes sesypku do dopravníku a dále transportován do zásobníku třísek z vadného vrstvení.

**Lisování:** kontinuální lis Dieffenbacher CPS 280-53/OSB

- Délka 53 000 mm
- Šířka 2 880 mm
- Šířka topné desky 2 800 mm
- Ocelový pás tloušťky 3mm

Maximální teplota 250°C je dosažena pomocí vyhřívacího média, kterým je termoolej.

Teploty a specifický tlak na desku lisu:

- 1) vstup 220 – 225°C 3 N/mm<sup>2</sup>  
215 – 230°C 1,6 N/mm<sup>2</sup>
- 2) střed 215 – 225°C 1,7 N/mm<sup>2</sup>  
205 – 215°C 0,8 N/mm<sup>2</sup>
- 3) výstup 180 – 200°C 0,05 N/mm<sup>2</sup>

**Dokončovací operace:**

V této fázi výroby desek dochází nejprve k prvotnímu formátování nekonečného koberce na dílčí sdružené formáty. Tyto formáty jsou poté egalizovány na jmenovitou tloušťku desky o dovolené toleranci. Egalizované sdružené formáty jsou následně naformátovány na jednotlivé požadované formáty OSB desek. Dále následuje klimatizace v klimatizačních turniketech a po této fázi jsou již desky skládány do bloků (hrání) a dopraveny do expedičních skladů.

Základní rozměry vyráběných desek jsou 5 000 × 1250, 2 500 × 1 250 a 2 500 × 625 mm s orientací hlavní osy v podélném směru. Desky jsou vyráběny v tloušťkách 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 22, 25 a 32 mm. Firma v současné době zavádí do výroby desky OSB/3 EKO a OSB/4 EKO, které jsou spojeny pouze MDI lepidlem.

#### 4.1.2 Stanovení počtu zkušebních těles

Při stanovování potřebného rozsahu výběrů pro provedení pokusu byla snaha o dosažení optimálního kompromisu mezi velikostí výběru a intervalem spolehlivosti vymezených průměrných hodnot.

Dle normy ČSN EN 326-1 je pro zjištění hodnot modulu pružnosti v ohybu nutný minimální počet 6 zkušebních těles z každé desky pro oba hlavní výrobní směry. Vzhledem k proměnlivosti uvnitř a mezi deskami je pro získání spolehlivých výsledků pro dané záměry nutné zkoušet určitý počet desek (dle ČSN EN 326-2). Účelem této práce však není kontrola jakosti nebo snaha o stanovení charakteristických hodnot (a vyjádření výsledků dolním 5% kvantilem), nýbrž snaha o porovnání průměrných hodnot zkoumané vlastnosti při různých vlhkostních stupních. Z tohoto důvodu byl počet odebraných vzorků a postup výpočtu a vyjádření výsledných hodnot přizpůsoben pro záměry měření.

Stanovení rozsahu výběru bylo předběžně stanoveno na 35 ks zkušebních těles podle vzorce:

$$n = \frac{t_a^2 \times v^2}{d^2}$$

kde:  $t_a$  je kvantil Studentova rozdělení při zvolené hladině významnosti (koeficient spolehlivosti). Hladina významnosti byla zvolena 0,05, odpovídající koeficient spolehlivosti byl 1,96.

$v$  očekávaný variační koeficient zkoumané vlastnosti (zvoleno 15 % dle Doležal, 1973; Štefka, 1997)

$d$  relativní přesnost odhadu průměrné hodnoty pro základní soubor (zvoleno 5 % dle Štefka, 1997)

Odhad potřebného rozsahu výběrů pro analýzu rozptylu modulu pružnosti v ohybu pomocí kalkulátoru rozsahu souborů programu Statistica 8,0 byl stanoven na minimální počet vzorků ve výběru  $n = 9$ . Pro výpočet byly zvoleny a zadány tyto údaje: modul pružnosti v ohybu, jednocestná ANOVA, počet výběrů = 12, spolehlivost = 0,5, statistická jistota = 0,05.

S ohledem na provedené výpočty, schopnost technického zařízení laboratoře FLD pojmout požadované množství vzorků při klimatizaci a uvážení rozsahu odborných prací pojednávajících o podobné problematice byl počet vzorků ve výběru stanoven na  $n = 10$ . Po konzultacích s firmou Kronospan CR o způsobu odběru vzorků bylo pracovníky této firmy náhodně vybráno 10 různých desek a z každé desky bylo podle ČSN EN 326-1 odebráno 12 zkušebních vzorků pro oba hlavní výrobní směry. Každá deska byla při měření ve 12 vlhkostních stup-



ních reprezentována jedním zkušebním vzorkem s odpovídajícím pořadovým číslem (tzn. jednalo se o dvojstupňový výběr, kdy se po stanovení počtu jednotek prvního stupně ve druhém stupni odebralo vždy jen jedno zkušební těleso pro skupinu, čímž se z dvojstupňového výběru vlastně realizoval jednostupňový výběr).

### **4.1.3 Rozměry a odběr zkušebních těles**

Zkušební tělesa byla pravoúhlá s šířkou ( $50 \pm 1$ ) mm a délkou rovnající se dvacetinásobku jmenovité tloušťky těles plus 50 mm (tj.  $290 \pm 1$  mm). Odběr vzorků a příprava zkušebních těles byla provedena v souladu s normou ČSN EN 326-1 a ČSN EN 310 pro zkoušky modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu, s tím rozdílem, že bylo odebráno dvojnásobné množství těles (12 místo 6) pro oba hlavní výrobní směry, z celkem deseti různých desek. Zkušební tělesa byla poté rozdělena do dvou skupin: skupina 1 obsahovala 120 zkušebních těles pro podélný směr a skupina 2 obsahovala 120 zkušebních těles pro příčný směr (schéma nářezového plánu odběru vzorků zobrazuje obrázek v příloze č. 8-1).

Z dalších šesti desek byly odebrány vzorky stejných, výše popsaných rozměrů, podle normy ČSN EN 326-1 v normovaném množství (6 kusů z jedné desky pro oba hlavní výrobní směry). Vzorky ze tří desek byly použity pro zjištění podílu nevratného tloušťkového bobtnání, zbylé vzorky byly použity jako kontrolní, ke stanovení maximální síly a úpravě rychlosti zatěžování. Celkový počet zkušebních těles použitých k měření byl 312.

Všechna zkušební tělesa byla označena na horní plochu desky značkou zkoušené desky, pořadovým číslem tělesa a směrem výroby. Zkušební tělesa byla při zkouškách uložena spodní plochou dolů.

## 4.2 Metodika

Zkušební vzorky byly klimatizovány ve vlhkostních stupních: 15, 35, 50, 65, 85 a 100 % relativní vlhkosti vzduchu. V každém vlhkostním stupni byly zjišťovány tyto fyzikální a mechanické vlastnosti:

- Vlhkost
- Hustota
- Lineární roztažnost
- Tloušťkové bobtnání
- Modul pružnosti v ohybu
- Pevnost v ohybu

Postup měření:

Vysušení	
15 %	15 %
35 %	35 %
50 %	50 %
65 %	65 %
85 %	85 %
100 %	

Na nákresu je zobrazen celý cyklus měření, který byl realizován pro sorpci i desorpci.

### 4.2.1 Klimatizace

Pro klimatizaci zkušebních těles byla použita klimatizační komora WEISS TECHNIK, typ 12SD/15JU, s rozpětím měření 0–40 °C, 5–100 % relativní vzdušné vlhkosti a rovnoměrným prouděním vzduchu 0,15 m/s při povrchu těles. Zkušební tělesa byla klimatizována do konstantní hmotnosti v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu odpovídající danému vlhkostnímu stupni s odchylkou  $\pm 5$  % a teplotou  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Za konstantní byla hmotnost považována v případě, že výsledky dvou po sobě následujících vážení vykonaných v intervalu 24 h, se nelišily o více než 0,1 % hmotnosti zkušebního tělesa (kromě klimatizace při 100% vzdušné vlhkosti). Kvůli kondenzaci vodní páry na podkladní mřížce, na které byly vzorky uloženy, se vlhkost zkušebních těles při nejvyšším vlhkostním stupni zvyšovala i po dvoutýdenním klimatizování (čas potřebný pro dosažení konstantní hmotnosti při ostatních vlhkostních stupních). V tomto vlhkostním stupni bylo měření provedeno po 14 dnech a poté znovu po 7 dnech. Hodnoty z druhého měření byly použity jako výchozí hodnoty pro desorpci.

#### 4.2.2 Zjišťování obsahu vlhkosti

Podstata zkoušky spočívá ve výpočtu ztráty hmotnosti (v procentech) z hmotnosti zkušební tělesa po vysušení. Konstantní hmotnost tělesa byla dosažena, po klimatizování i po uložení v sušárně při teplotě  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ , když výsledky dvou měření v intervalu 6 hodin se od sebe vzájemně nelišily o víc než 0,1 % hmotnosti zkušební tělesa. Po sušení byly zkušební tělesa ochlazeny na teplotu místnosti v exsikátoru. Vzorky byly váženy na digitální váze Sartorius BP 3100S (přesnost vážení 0,01 g). Vlhkost zkušebních těles byla vypočtena podle vzorce:

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad [\%]$$

kde:  $w$  je vlhkost zkušební tělesa; udává se v procentech hmotnosti

$m_1$  hmotnost zkušební tělesa před vysušením (po klimatizování v jednotlivých vlhkostních stupních) [g]

$m_0$  hmotnost zkušební tělesa po vysušení [g]

### 4.2.3 Zjišťování hustoty

Zjištění hustoty bylo provedeno poměrem hmotnosti zkušebního tělesa k jeho objemu při stejné vlhkosti. Hmotnost byla zjišťována na digitální váze Sartorius BP 3100S (přesnost vážení 0,01 g). Tloušťka zkušebních těles byla měřena digitálním mikrometrem Mitutoyo ID-C125B s kruhovou měřicí plochou s průměrem 16 mm a měřicí silou  $(4 \pm 1)$  N (přesnost měřicího přístroje 0,001 mm, naměřené hodnoty byly zaokrouhlovány na dvě desetinná místa). Tloušťka tělesa byla měřena v podélné ose tělesa ve 3 vyznačených bodech: ve vzdálenosti 2,5 mm od okrajů tělesa a uprostřed tělesa a vyjádřena jako aritmetický průměr z těchto tří měření. Délka zkušebních těles byla měřena digitálním posuvným měřidlem Mitutoyo 500-123U/CD-15B/ (přesnost 0,01 mm). Šířka zkušebních těles byla měřena ve 3 vyznačených bodech digitálním posuvným měřidlem Mitutoyo 500-123U/CD-15B/ (přesnost 0,01 mm) a vyjádřena jako aritmetický průměr z těchto tří měření. Hustota zkušebních těles byla vypočtena podle vzorce:

$$\rho = \frac{m}{l \times b \times t} \times 10^6 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

kde:  $m$  je hmotnost zkušebního tělesa [g]

$l$  délka zkušebního tělesa [mm]

$b$  šířka zkušebního tělesa [mm]

$t$  tloušťka zkušebního tělesa [mm]

### 4.2.4 Lineární roztažnost

Podstatou zkoušky je stanovení procentuálního přírůstku původních hodnot rozměrů zkušebních těles po klimatizaci v jednotlivých vlhkostních stupních. Délka zkušebních těles byla měřena digitálním posuvným měřidlem Mitutoyo 500-123U/CD-15B/ (přesnost 0,01 mm). Zkušební tělesa byla označena tak, aby při následujícím měření byla měřena ve stejné poloze. Pro výpočet lineární roztažnosti byl použit vzorec:

$$\Delta L = \frac{l_c - l_0}{l_0} \times 100 \quad [\%]$$

kde:  $l_0$  je délka zkušebního tělesa po vysušení [mm]

$l_c$  délka zkušebních těles po klimatizování v jednotlivých vlhkostních stupních [mm]

#### 4.2.5 Tloušťkové bobtnání

##### Celkové tloušťkové bobtnání

Podstatou zkoušky je stanovení procentuálního přírůstku původních hodnot rozměrů zkušebních těles po klimatizaci v jednotlivých vlhkostních stupních. Tloušťka zkušebních těles byla měřena digitálním mikrometrem Mitutoyo ID-C125B s kruhovou měřicí plochou s průměrem 16 mm a měřicí silou  $(4 \pm 1)$  N (přesnost měřícího přístroje 0,001 mm, naměřené hodnoty byly zaokrouhlovány na dvě desetinná místa). Tloušťka tělesa byla měřena v podélné ose tělesa ve 3 vyznačených bodech: ve vzdálenosti 2,5 mm od okrajů tělesa a uprostřed tělesa a vyjádřena jako aritmetický průměr z těchto tří měření. Tloušťkové bobtnání bylo vypočteno podle vzorce:

$$\Delta T = \frac{t_c - t_0}{t_0} \times 100 \quad [\%]$$

kde:  $t_0$  je tloušťka zkušebního tělesa po vysušení [mm]

$t_c$  tloušťka zkušebních těles po klimatizování v jednotlivých vlhkostních stupních [mm]

##### Nevratné tloušťkové bobtnání

Skupina vzorků, použitá pro zjištění podílu nevratného tloušťkového bobtnání, byla vysušena, změřena, zvážena a vystavena stejným vlhkostním stupňům jako skupina vzorků pro zjištění pevnosti v ohybu. Po působení vlhkosti byly vzorky změřeny a zváženy (pro zjištění celkového podílu tloušťkového bobtnání) a poté opět po vysušení při teplotě  $(103 \pm 2)$  °C (pro zjištění podílu nevratného tloušťkového bobtnání).

Schéma postupu měření: sušení → klimatizace → sušení.

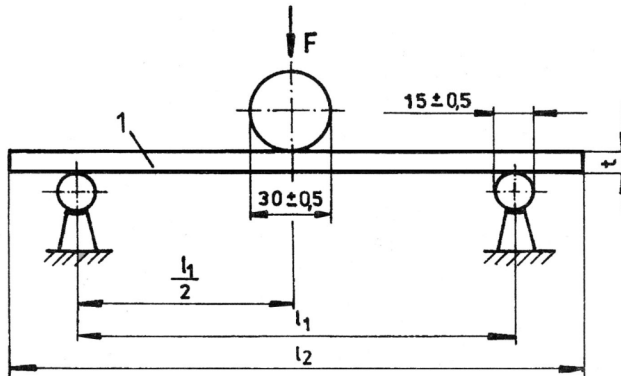
$$\Delta T_N = \frac{t_{c0} - t_0}{t_0} \times 100 \quad [\%]$$

kde:  $t_0$  je tloušťka zkušebního tělesa po prvním vysušení [mm]

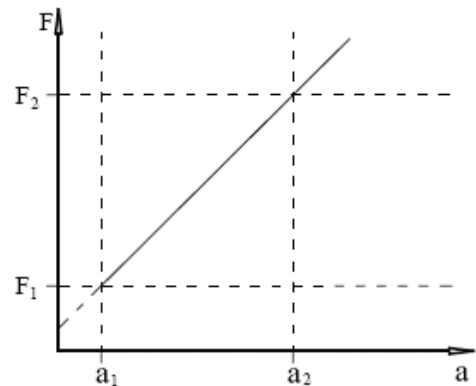
$t_{c0}$  tloušťka opětovně vysušených zkušebních těles po klimatizování v jednotlivých vlhkostních stupních [mm]

#### 4.2.6 Zkoušky pevnosti a modulu pružnosti v ohybu

Modul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu byly stanoveny podle normy ČSN EN 310. Princip zkoušky spočívá v zatížení zkušebních těles v jejich středu při uložení na dvou podpěrách (obr. 4-2). Modul pružnosti se vypočítá z lineární části zatěžovací křivky (obr. 4-3). Vypočtená hodnota je zdánlivý, nikoliv skutečný modul, protože zkušební metoda zahrnuje kromě ohybu také smyk.



**Obrázek 4-2:** Uspořádání ohybové zkoušky



**Obrázek 4-3:** Zatěžovací křivka v oblasti pružné deformace

Pro výpočet modulu pružnosti v ohybu byl použit vzorec:

$$E_m = \frac{(F_2 - F_1)l_1^3}{4bt^3(a_2 - a_1)} \quad \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

kde:  $l_1$  je vzdálenost mezi středy podpěr (tj. 240 mm)

$b$  šířka zkušebního tělesa [mm]

$t$  tloušťka zkušebního tělesa [mm]

$F_2 - F_1$  přírůstek zatížení v přímkové části zatěžovací křivky [N];  $F_1$  musí být přibližně 10 % a  $F_2$  přibližně 40 % z maximálního zatížení

$a_2 - a_1$  přírůstek průhybu ve středu délky zkušebního tělesa [mm], odpovídající  $F_2 - F_1$

Pro měření byl použit zkušební stroj UTS 100K (rozsah měření 5-100 kN). Průhyb uprostřed zkušebního tělesa (pod zatěžovací hlavou) byl měřen s přesností na 0,1 mm (z posunu příčnicku). Hodnoty průhybu, odpovídající zatížení a výpočet modulu pružnosti v ohybu byly zpracovány programem Phoenix (verze 5.04.006, UTS-Testsysteme). Příklad pracovního diagramu zobrazuje příloha 8-3.

Ohybová pevnost každého zkušebního tělesa se vypočítá stanovením poměru ohybového momentu  $M$  při maximálním zatížení  $F_{max}$  k momentu jeho celého průřezu. Zatížení se provádí konstantní rychlostí posuvu a maximálního zatížení se dosahuje do  $(60 \pm 30)$  s.

Vzorec pro výpočet pevnosti v ohybu:

$$f_m = \frac{3F_{max}l_1}{2bt^2} \quad \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

kde  $l_1$  je vzdálenost mezi středy podpěr [mm]

$b$  šířka zkušebního tělesa [mm]

$t$  tloušťka zkušebního tělesa [mm]

$F_{max}$  maximální zatížení [N]

V tabulce výsledků byly hodnoty modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu zaokrouhleny na tři platné číslice (v souladu s normou ČSN EN 310). Pro statistické výpočty byly použity nezaokrouhlené hodnoty. Hodnoty ve výsledných tabulkách modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu jsou uváděny v jednotkách  $N/mm^2$  (v souladu s normou ČSN EN 310). Další platné ČSN EN normy vyžadují pro uvádění výsledků mechanických zkoušek ekvivalent těchto jednotek – MPa.

#### 4.2.7 Formální stránka práce

Doktorandská disertační práce byla zpracována v rámci doktorandského studia programu Lesní inženýrství P4107, oboru Technika a mechanizace v lesním hospodářství P4107V011, na Katedře zpracování dřeva Fakulty lesnické a dřevařské České zemědělské univerzity v Praze.

Zkušební vzorky dodala firma Kronospan CR. Experimentální měření byly provedeny ve fyzikální a mechanické laboratoři Fakulty lesnické a dřevařské ČZU v Praze.

Textová část disertační práce byla zpracována v editoru Microsoft Office Word 2003, tabulky v aplikaci Microsoft Office Excel 2003. Statistické výpočty byly zpracovány programem Statistica 8,0 CZ.

## 5 Výsledky a diskuze

U všech měřených charakteristik byly sledovány základní (výběrové) statistické ukazatele: aritmetický průměr  $\bar{x}$ , směrodatná odchylka  $s$ , variační koeficient  $v$ , rozpětí vyjádřené minimem a maximem a počet platných měření  $n$ . Pro statistické analýzy a zpracování naměřených hodnot byl použit program Statistica 8,0 CZ.

### 5.1 Vlhkost

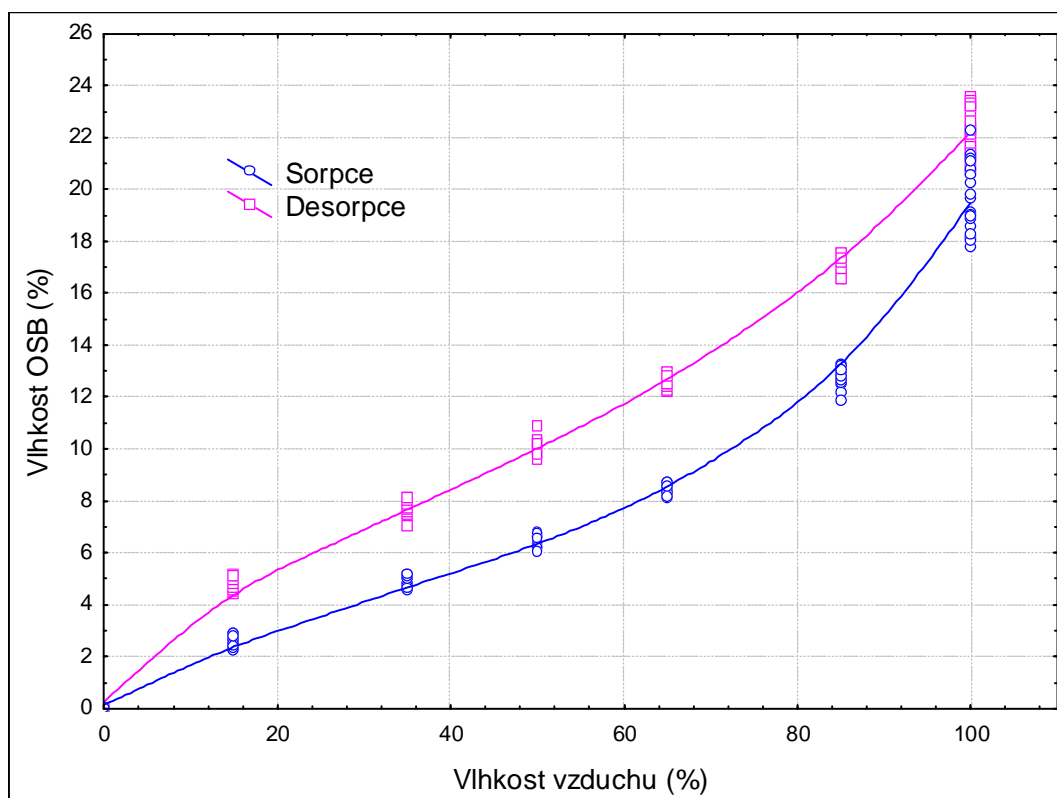
**Tabulka 5-1:** Obsah vlhkosti OSB pro 6 různých vlhkostních stupňů při 20°C

Statistické ukazatele	Sorpce						Desorpce					
	15%	35%	50%	65%	85%	100%	100%	85%	65%	50%	35%	15%
$\bar{x}$ (%)	<b>2,58</b>	<b>4,88</b>	<b>6,39</b>	<b>8,43</b>	<b>12,80</b>	<b>19,61</b>	<b>22,28</b>	<b>17,14</b>	<b>12,56</b>	<b>10,05</b>	<b>7,75</b>	<b>4,83</b>
$s$	0,22	0,22	0,24	0,22	0,37	1,32	0,88	0,35	0,24	0,29	0,27	0,25
$v$ (%)	8,34	4,52	3,70	2,62	2,91	6,75	3,95	2,06	1,95	2,91	3,50	5,27
<i>max.</i>	2,83	5,16	6,74	8,70	13,27	22,24	23,55	17,54	12,94	10,88	8,07	5,18
<i>min.</i>	2,20	4,55	6,02	8,06	11,88	17,74	20,73	16,52	12,19	9,53	6,99	4,35

$n=20$

Z naměřených hodnot byl zpracován graf hystereze OSB, který zobrazuje obrázek 5-1.

**Obrázek 5-1:** Hysterezní křivky OSB/3 – Superfinish pro 20°C





Jak lze pozorovat z tabulky výsledných hodnot a průběhu sorpčních a desorpčních křivek v grafu, rovnovážná vlhkost OSB odpovídající relativní vlhkosti vzduchu je oproti dřevu snížena. Toto je vysvětlováno jednak působením vyšší teploty v průběhu lisování, čímž dochází ke snížení hygroskopicity dřevních vláken (Zylkowski, 2002; Paul et. al., 2005) a použitím hydrofobních látek (parafínu), které výrobci používají pro zvýšení odolnosti proti vlhkosti u desek používaných do prostředí se zvýšenou vlhkostí (Sun et al., 1994; Sedliačik, 1998).

Rovnovážná vlhkost OSB odpovídající vnitřnímu prostředí budov (65% vlhkost vzduchu, 20°C) se pohybuje v rozmezí 8,5 – 12,5 %. Maximální dosažená vlhkost OSB byla cca 22 % v prostředí, kdy vzduch byl zcela nasycen vodní parou.

Z hlediska vzájemného vztahu mezi vlhkostí vzduchu a vlhkostí OSB, kdy trendová funkce mění dvakrát svůj směr, by pro vyjádření závislosti bylo nejvýhodnější použít polynomickou rovnici 3. řádu:

$$\text{Sorpce: } W_{\text{OSB}} = 0,322019 + 0,331005x - 0,004277x^2 + 0,000032x^3 \quad R^2 = 0,9947$$

$$\text{Desorpce: } W_{\text{OSB}} = 0,29733 + 0,332690x - 0,004309x^2 + 0,000032x^3 \quad R^2 = 0,9949$$

Vzhledem k hodnotám korelačních koeficientů vypočtených rovnic lze prohlásit, že mezi vlhkostí vzduchu a vlhkostí OSB existuje velmi silná přímá závislost, která je danými regresními funkcemi popsána z více než 99 %.

## 5.2 Hustota

Základní statistické ukazatele hustoty jsou zobrazeny v tabulce 5-2.

**Tabulka 5-2:** Hustota OSB pro 6 různých vlhkostních stupňů při 20°C

Statistické ukazatele	Sorpce					
	15%	35%	50%	65%	85%	100%
$\bar{x}$ (kg/m <sup>3</sup> )	<b>576,79</b>	<b>592,13</b>	<b>593,07</b>	<b>593,05</b>	<b>592,99</b>	<b>582,12</b>
<i>s</i>	13,53	17,28	18,44	20,17	22,09	16,64
<i>v</i> (%)	2,34	2,92	3,11	3,40	3,72	2,86
<i>max.</i>	610,90	622,64	624,12	627,72	640,61	622,55
<i>min.</i>	553,29	560,12	550,68	556,54	559,06	546,74
	Desorpce					
	100%	85%	65%	50%	35%	15%
$\bar{x}$ (kg/m <sup>3</sup> )	<b>576,66</b>	<b>565,91</b>	<b>563,16</b>	<b>557,28</b>	<b>552,09</b>	<b>550,27</b>
<i>s</i>	26,80	17,85	24,18	23,63	19,28	19,99
<i>v</i> (%)	4,65	3,15	4,29	4,24	3,49	3,63
<i>max.</i>	632,79	597,78	604,83	604,22	582,70	590,75
<i>min.</i>	509,87	533,88	517,64	515,21	519,13	515,04

*n*=20

Hustota (a hustotní profil) je jednou z klíčových vlastností OSB desek. V normě ČSN EN 12369-1 – Charakteristické hodnoty desek na bázi dřeva, je spodní hranice hustoty nosných OSB desek pro použití ve vlhkém prostředí stanovena na 550 kg/m<sup>3</sup>. Hodnoty průměrů hustoty jednotlivých výběrů byly i po celém cyklu klimatizování vyšší než normované hodnoty.

Z hodnot uvedených v tabulce 5-2 je možno pozorovat snížení hustoty zkušebních těles po ukončení zkušebního cyklu. OSB je materiál tvořený z velkoplošných třísek a v porovnání s ostatními třískovými materiály obsahuje významné množství vnitřních dutin velkých rozměrů (Kamke, Brooks, 2004; Wu et al., 2004). Po působení vysoké vzdušné vlhkosti se rozměry i počet těchto vnitřních dutin dále zvyšují a tím negativně ovlivňují výsledky fyzikálních a mechanických vlastností.

### 5.3 Lineární roztažnost

Výsledné hodnoty lineární roztažnosti a základní statistické ukazatele jsou uvedeny v tabulkách 5-3 a 5-4.

**Tabulka 5-3:** Lineární roztažnost OSB při 20°C – podélný směr

Statistické ukazatele	Sorpce					
	15%	35%	50%	65%	85%	100%
$\bar{x}$ (kg/m <sup>3</sup> )	<b>0,09</b>	<b>0,13</b>	<b>0,20</b>	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>	<b>0,25</b>
<i>s</i>	0,02	0,02	0,04	0,05	0,02	0,03
<i>v</i> (%)	24,98	16,18	19,27	23,24	9,89	13,02
<i>max.</i>	0,12	0,16	0,27	0,32	0,27	0,30
<i>min.</i>	0,04	0,10	0,16	0,17	0,19	0,21
	Desorpce					
	100%	85%	65%	50%	35%	15%
$\bar{x}$ (kg/m <sup>3</sup> )	<b>0,33</b>	<b>0,23</b>	<b>0,19</b>	<b>0,17</b>	<b>0,10</b>	<b>0,06</b>
<i>s</i>	0,13	0,07	0,02	0,03	0,03	0,01
<i>v</i> (%)	39,11	28,31	10,95	19,61	27,07	22,60
<i>max.</i>	0,59	0,39	0,21	0,22	0,16	0,08
<i>min.</i>	0,16	0,16	0,14	0,13	0,07	0,04

*n*=10

**Tabulka 5-4:** Lineární roztažnost OSB při 20°C – příčný směr

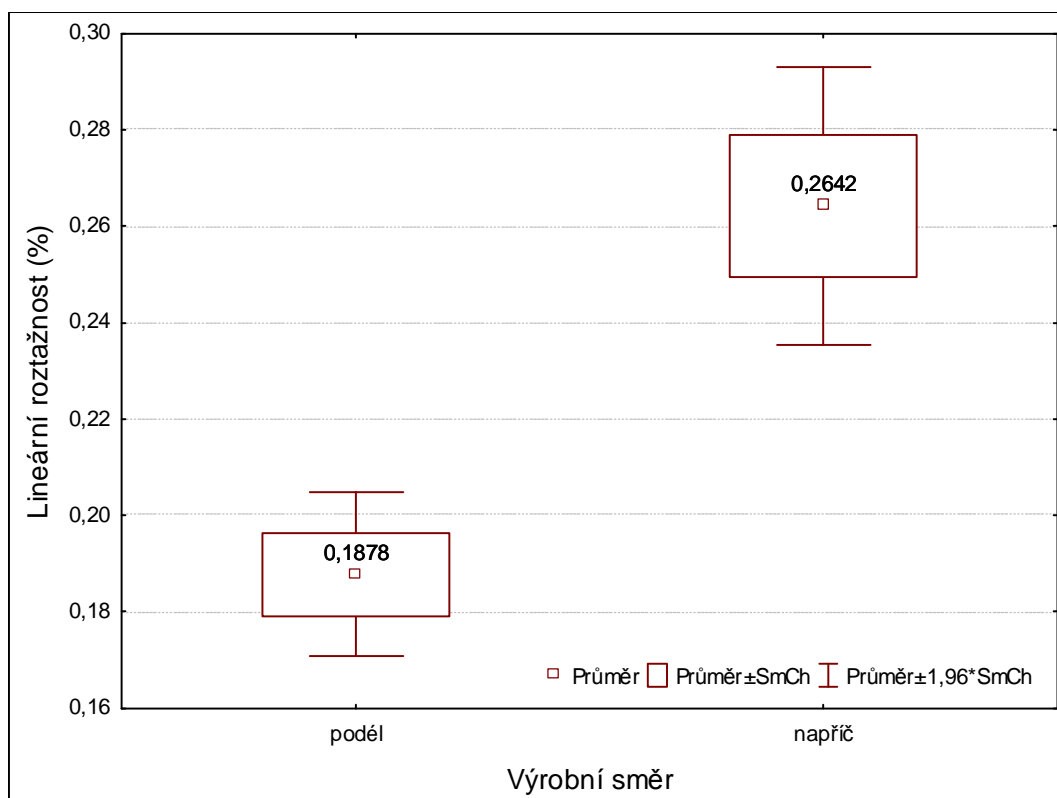
Statistické ukazatele	Sorpce					
	15%	35%	50%	65%	85%	100%
$\bar{x}$ (kg/m <sup>3</sup> )	<b>0,09</b>	<b>0,18</b>	<b>0,24</b>	<b>0,29</b>	<b>0,37</b>	<b>0,41</b>
<i>s</i>	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
<i>v</i> (%)	17,01	11,10	11,76	10,73	12,08	9,14
<i>max.</i>	0,11	0,21	0,28	0,32	0,48	0,49
<i>min.</i>	0,07	0,14	0,19	0,22	0,32	0,36
	Desorpce					
	100%	85%	65%	50%	35%	15%
$\bar{x}$ (kg/m <sup>3</sup> )	<b>0,45</b>	<b>0,37</b>	<b>0,31</b>	<b>0,22</b>	<b>0,18</b>	<b>0,11</b>
<i>s</i>	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02
<i>v</i> (%)	11,47	6,90	12,26	11,42	11,55	14,74
<i>max.</i>	0,53	0,40	0,38	0,25	0,21	0,12
<i>min.</i>	0,38	0,32	0,26	0,17	0,15	0,08

*n*=10

Zjištěné hodnoty lineární roztažnosti odpovídají výsledkům šetření ostatních autorů zabývajících se touto problematikou (Wu, Suchsland, 1996). Lineární roztažnost OSB se blíží hodnotám roztažnosti masivního dřeva v podélném směru, která bývá udávána jako nižší než 0,5 % (Matovič, 1993).

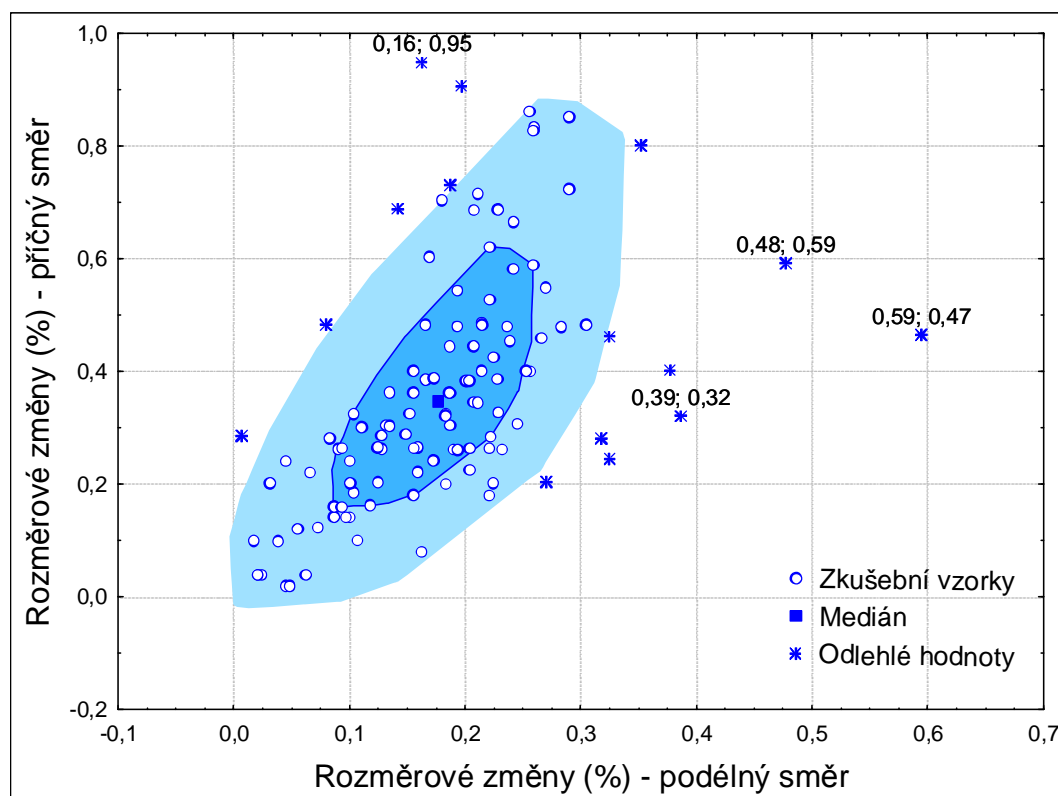
Provedený T-test prokázal statisticky významné rozdíly hodnot lineární roztažnosti jednotlivých skupin vzorků v podélném a příčném směru výroby. Rozdíl průměrných hodnot pro 6 vlhkostních stupňů při sorpci vlhkosti zobrazuje graf 5-2.

**Obrázek 5-2:** Krabicový graf lineární roztažnosti v podélném a příčném směru – sorpce



Poměr roztažnosti jednotlivých těles z hlediska hlavních výrobních směrů znázorňuje obrázek 5-3.

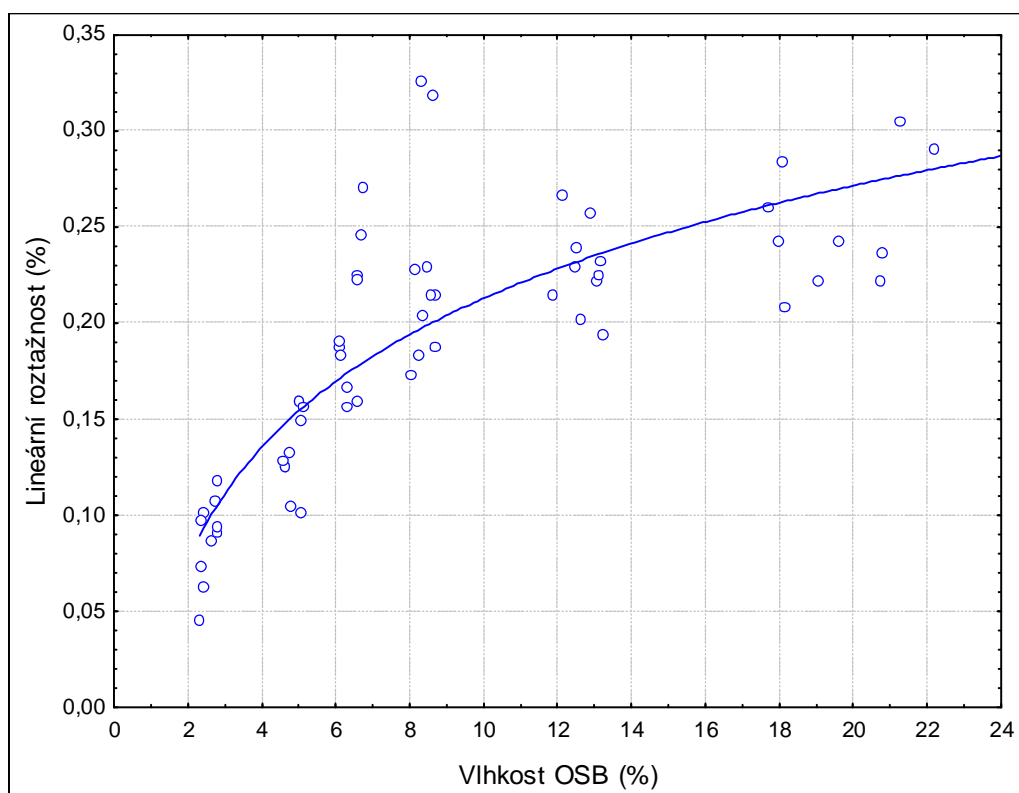
**Obrázek 5-3:** Vzájemná vazba mezi roztažnostmi v podélném a příčném směru zkušebních vzorků (bag plot, skupina 1)



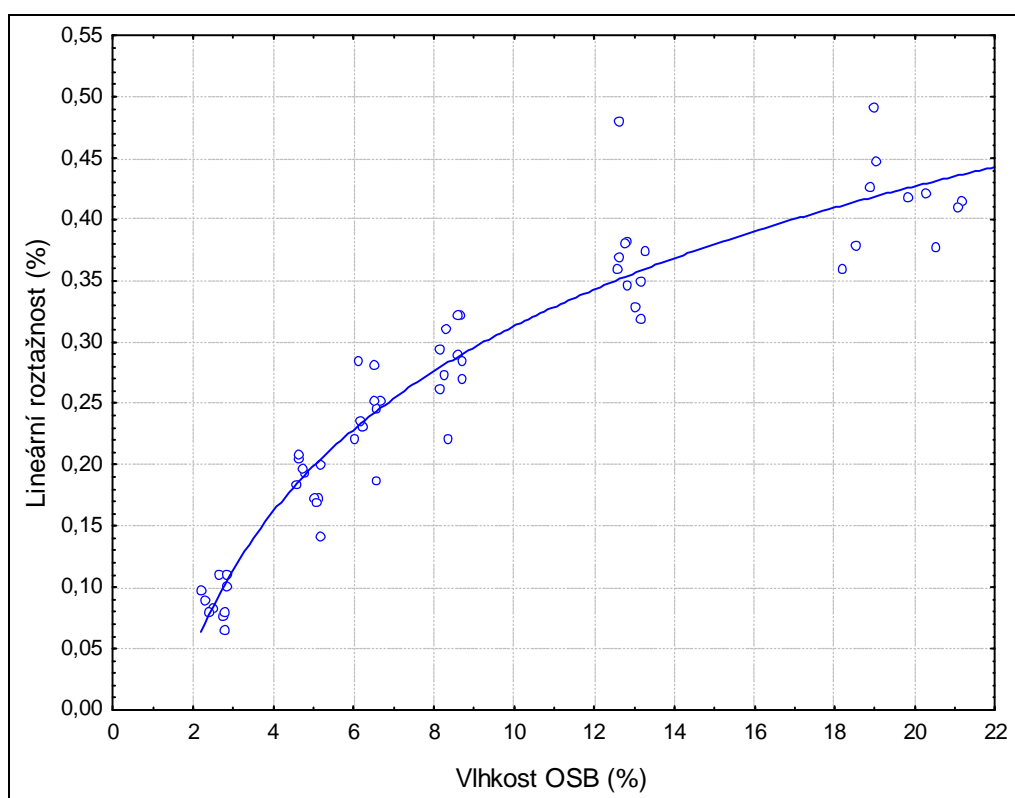
Tmavě-modrá oblast vyznačuje 50 % naměřených hodnot, světle-modrá oblast vyznačuje neodlehle hodnoty (koeficient rozsahu = 1,96).

U zkušebních vzorků byla prokázána určitá závislost lineární roztažnosti s ohledem na hlavní výrobní směry, nicméně naměřené hodnoty jsou dále ovlivňovány vysokým podílem variability zkušebních vzorků. Z grafu je patrné, že téměř 13 % vzorků nesplnilo předpoklady očekávaného poměru roztažnosti mezi příčným a podélným směrem. U některých naměřených hodnot byla lineární roztažnost v podélném směru téměř tak velká jako v příčném směru, u jiných vzorků naopak zase mnohonásobně vyšší. Důvody způsobující poměrně vysokou variabilitu naměřených hodnot u zkušebních těles z OSB desek jsou podrobněji analyzovány v kapitole 5-7 – Variabilita.

Byl potvrzen předpoklad, že při nižší vlhkosti je nárůst lineární roztažnosti rychlejší než při vyšší vlhkosti. Z tohoto důvodu nelze použít lineární modely pro predikci lineární roztažnosti podle vlhkosti OSB. Jako nejvhodnější se osvědčilo použití logaritmického modelu. Závislost lineární roztažnosti na vlhkosti OSB zobrazují grafy 5-4 a 5-5.

**Obrázek 5-4:** Lineární roztažnost OSB/3 při 20°C (sorpce – podélný směr)

Podélný směr:  $L = 0,0182 + 0,1946 \log_{10}(x)$

**Obrázek 5-5:** Lineární roztažnost OSB/3 při 20°C (sorpce – příčný směr)

Příčný směr:  $L = -0,0667 + 0,3795 \log_{10}(x)$

## 5.4 Tloušťkové bobtnání

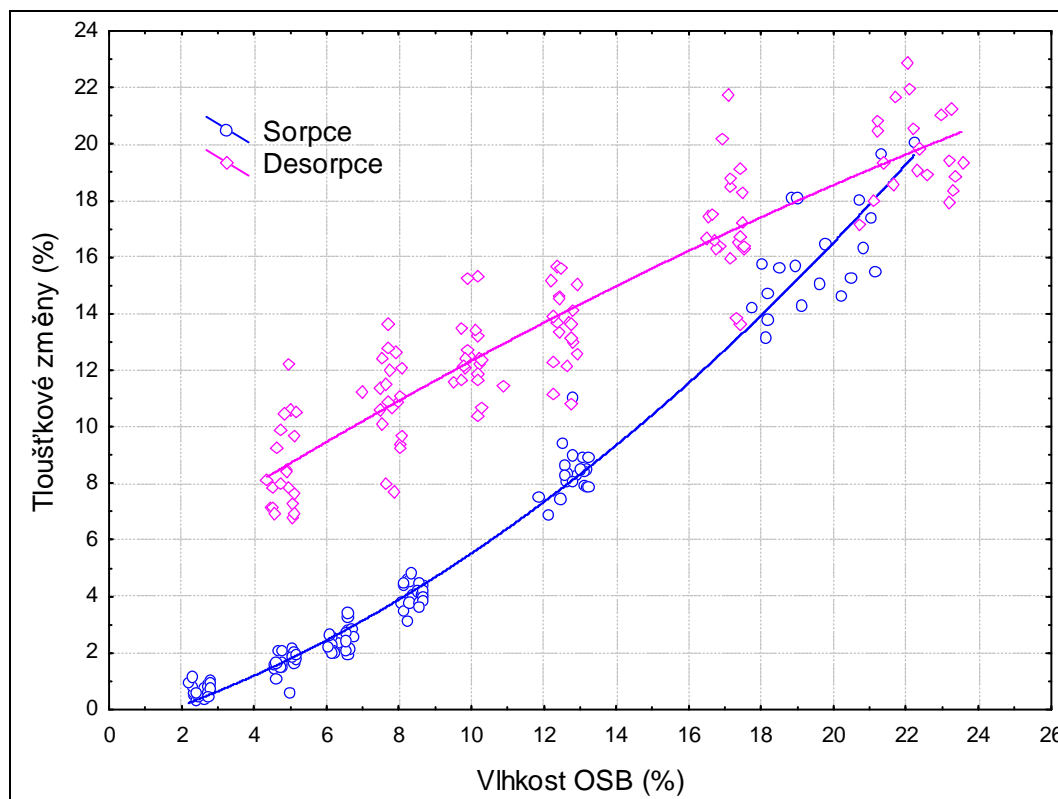
Výsledné hodnoty tloušťkového bobtnání a základní statistické ukazatele udává tabulka 5-5. Grafické zobrazení těchto hodnot je na obrázku 5-6.

**Tabulka 5-5:** Tloušťkové změny OSB

Statistické ukazatele	Sorpce					
	15%	35%	50%	65%	85%	100%
$\bar{x}$ (%)	<b>0,68</b>	<b>1,65</b>	<b>2,41</b>	<b>4,06</b>	<b>8,37</b>	<b>16,07</b>
$s$	0,23	0,36	0,42	0,42	0,86	1,91
$v$ (%)	33,16	21,75	17,44	10,36	10,23	11,91
$max.$	1,10	2,13	3,42	4,83	10,98	20,03
$min.$	0,26	0,59	1,88	3,14	6,83	13,12
	Desorpce					
	100%	85%	65%	50%	35%	15%
$\bar{x}$ (%)	<b>19,78</b>	<b>17,21</b>	<b>13,57</b>	<b>12,44</b>	<b>10,88</b>	<b>8,55</b>
$s$	1,51	1,90	1,36	1,24	1,55	1,53
$v$ (%)	7,64	11,06	10,01	10,00	14,26	17,95
$max.$	22,89	21,75	15,70	15,29	13,60	12,18
$min.$	17,15	13,64	10,78	10,41	7,67	6,77

$n=20$

**Obrázek 5-6:** Tloušťkové změny OSB při sorpci a desorpci vlhkosti



Rovnice vypočtených regresních závislostí:

$$\text{Sorpce: } T = -0,7371 + 0,3882x + 0,0237x^2 \quad R^2 = 0,9787$$

$$\text{Desorpce: } T = 4,7583 + 0,8242x - 0,0067x^2 \quad R^2 = 0,8554$$

Vypočtený model popisuje závislost tloušťkových změn na vlhkosti OSB silnou vazbou s koeficienty determinace 98 % (sorpce) a 86 % (desorpce).

Tloušťkové bobtnání nevykazuje lineární přírůstek v souladu se vzrůstem vlhkosti, ale při vyšší vlhkosti vzrůstá rychleji. Tento fakt byl již dříve potvrzen předchozími výzkumy (např. Wu, Piao, 1999), s tím rozdílem, že vzorky desek OSB/3 – Superfinish, pro jejichž výrobu jsou použity voděodolná MUF a MDI lepidla, dosahují nižších hodnot tloušťkového bobtnání v porovnání s deskami pojenými fenol-formaldehydovými lepidly. V nejvyšším vlhkostním stupni, při vlhkosti OSB odpovídající 22 %, se maximální podíl tloušťkového bobtnání pohyboval kolem 20 %.

Rozdíl tloušťky zkušebních těles mezi skupinami pro sorpci a desorpci při 15% relativní vlhkosti vzduchu je způsoben podílem nevratné složky bobtnání po působení vysoké vzdušné vlhkosti.

Podíl nevratného tloušťkového bobtnání je podrobněji analyzován v kapitole 5.4.1.

#### 5.4.1 Podíl nevratného tloušťkového bobtnání

V tabulce 5-6 jsou uvedeny průměrné hodnoty vratné a nevratné složky tloušťkového bobtnání pro jednotlivé stupně vlhkosti.

**Tabulka 5-6:** Vlhkost vzduchu, vlhkost OSB a odpovídající podíl tloušťkových změn

Vlhkost vzduchu	35%		50%		65%		85%		100%	
Vlhkost OSB	4,32		6,26		8,17		13,32		22,07	
Tloušťkové změny (%)	CTB	NTB	CTB	NTB	CTB	NTB	CTB	NTB	CTB	NTB
	<b>2,23</b>	<b>0,55</b>	<b>2,87</b>	<b>0,71</b>	<b>4,83</b>	<b>1,13</b>	<b>11,66</b>	<b>3,3</b>	<b>22,66</b>	<b>8,75</b>

$n=6$

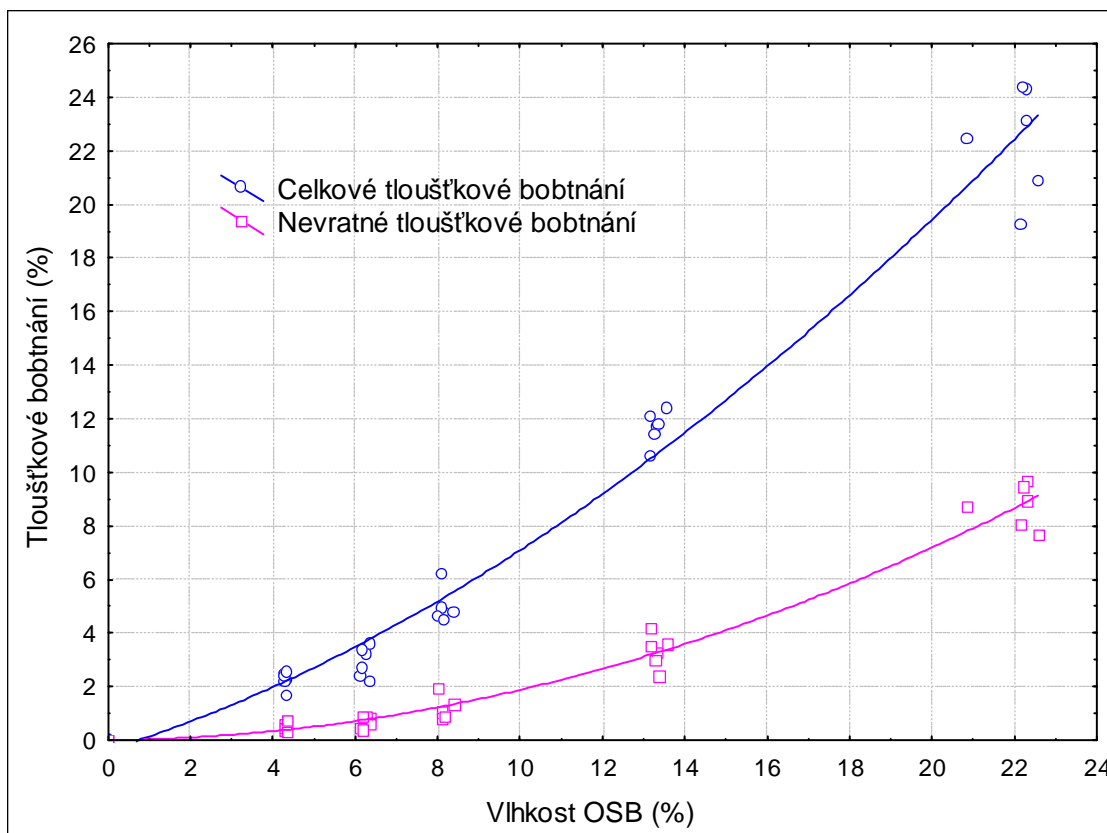
CTB – Celkové tloušťkové bobtnání

NTB – Nevratné tloušťkové bobtnání



Na obrázku 5-7 je znázorněn průběh naměřených hodnot.

**Obrázek 5-7:** Tloušťkové bobtnání v závislosti na vlhkosti OSB při 20°C



Rovnice pro vypočtené regresní závislosti:

$$CTB = -2,3589 + 0,8565x + 0,012x^2 \quad R^2 = 0,9784$$

$$NTB = -0,0029 + 0,0168x + 0,0171x^2 \quad R^2 = 0,9735$$

Výsledky ověřují tendenci závislosti z předchozího příkladu a potvrzují fakt, že tloušťkové bobtnání není na vlhkosti OSB lineárně závislé, ale se stoupající vlhkostí vzrůstá rychleji. Při vyšší vlhkosti se také zvyšuje podíl nevratného tloušťkového bobtnání. Do 65% relativní vzdušné vlhkosti se podíl nevratných změn pohybuje přibližně kolem 1 %. Při 85% relativní vzdušné vlhkosti je tento podíl již trojnásobný a ve vzduchu plně nasyceném vodní párou činí podíl nevratných změn 8,75 %.

Složka nevratného tloušťkového bobtnání dosahuje u vzorků OSB/3 – Superfinish nižších hodnot než u desek OSB pojených fenol-formaldehydovými lepidly. Wu a Suchsland (1997) uvádějí, pro pět druhů komerčně vyráběných OSB, při 95% relativní vzdušné vlhkosti průměrné tloušťkové bobtnání 20 % a podíl nevratné složky 12,5 %.

## 5.5 Modul pružnosti v ohybu

Modul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu patří mezi základní charakteristické hodnoty pro všechny stavební materiály, používají se pro výpočty dimenzování (Kuklík, 2005) a mají hlavní vliv na použitelnost jednotlivých materiálů.

Při použití v konstrukcích jsou OSB desky namáhány především ohybem ve směru rovnoběžném s hlavním směrem výroby. Z tohoto důvodu byla závislost modulu pružnosti (v podélném směru) na vlhkosti detailněji analyzována.

### 5.5.1 Extrémní hodnoty

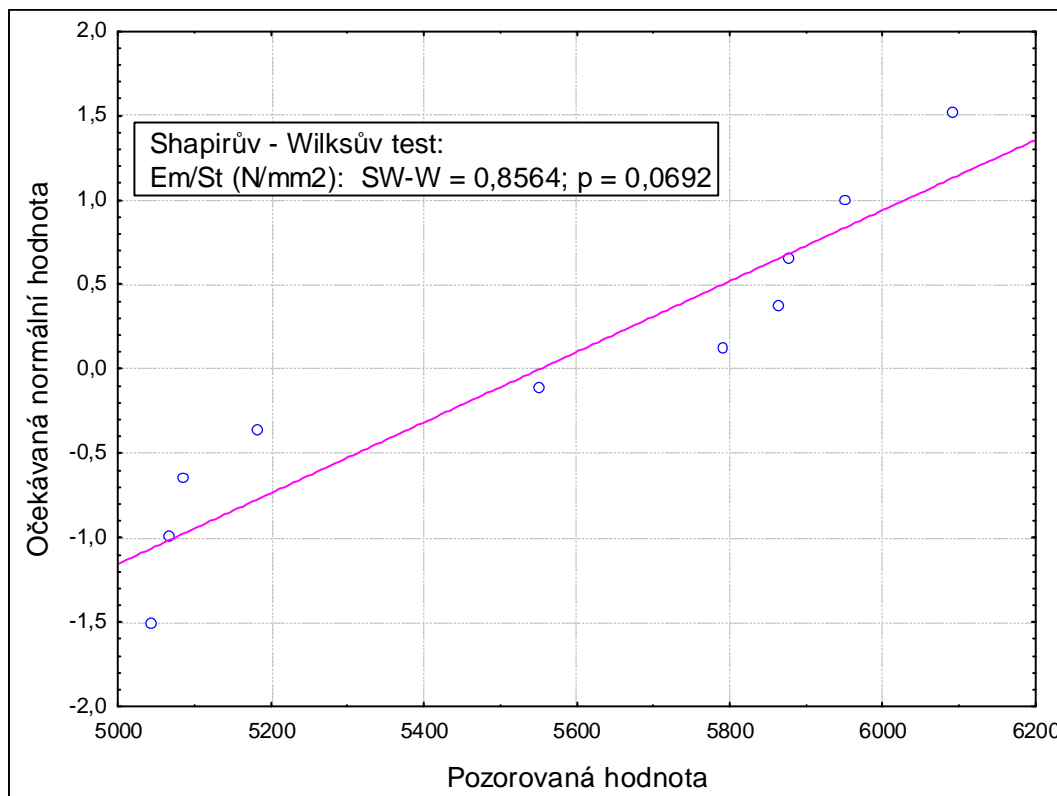
Extrémní hodnoty zvyšují výrazně variabilitu souboru a snižují přesnost odhadu statistických parametrů. Při výpočtu regrese mají značný vliv na výslednou regresní přímku (Drápela, 2002; StatSoft). Všechny vybočující hodnoty byly proto po grafickém zhodnocení dat ověřeny pomocí Grubbsova testu a Dixonova testu. Při tomto testování nebyly zjištěny žádné extrémní hodnoty a bylo rozhodnuto zahrnout všechna měření do statistické analýzy.

### 5.5.2 Testy normality

Normální rozdělení naměřených dat bylo u sledovaných proměnných ověřeno vytvořením histogramů a jejich porovnáním s normálním proložením a dále pomocí normálních pravděpodobnostních grafů (p-graf).

Kromě vizuálního posouzení byl pro ověření normálního rozdělení dat použit Shapiro – Wilksův test (někdy označován jako Shapiro – Wilksův W test). Tento test patří mezi nejrozšířenější metody pro ověření normality (Shapiro et al. 1968; StatSoft, 2007) a bývá často používán v odborné literatuře. Příklad výsledků normálního p-grafu modulu pružnosti v ohybu s výsledkem S-W testu je zobrazen na obrázku 5-8.

**Obrázek 5-8:** Normální pravděpodobnostní graf modulu pružnosti v ohybu – podélný směr, 15% relativní vzdušná vlhkost, 20 °C



Naměřené hodnoty jsou vyneseny na ose  $x$ , na ose  $y$  jsou vyneseny očekávané hodnoty. Lineární trend představuje distribuční funkci standardizovaného normálního rozdělení.

Výsledky S-W testu potvrdily normální rozložení naměřených dat u všech skupin vzorků. Tyto výsledky potvrzují také literární zdroje, která udávají normálnost dat při mechanických a fyzikálních zkouškách vlastností dřeva (Doležal, 1973; Kolman et al., 1975; Matovič, 1993).

Výsledné hodnoty a základní statistické ukazatele modulu pružnosti v ohybu zobrazují tabulky 5-7 a 5-8.

**Tabulka 5-7:** Modul pružnosti v ohybu – podélný směr

Statistické ukazatele	Sorpce					
	15%	35%	50%	65%	85%	100%
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<b>5550</b>	<b>5880</b>	<b>5710</b>	<b>5500</b>	<b>4910</b>	<b>3510</b>
<i>s</i>	416	497	417	721	864	539
<i>v</i> (%)	7,50	8,45	7,31	13,12	17,58	15,37
<i>max.</i>	6090	6820	6500	6520	6120	4480
<i>min.</i>	5040	5290	5100	4200	3590	2890
	Desorpce					
	100%	85%	65%	50%	35%	15%
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<b>3270</b>	<b>3710</b>	<b>3910</b>	<b>4180</b>	<b>4370</b>	<b>4350</b>
<i>s</i>	401	302	274	672	710	606
<i>v</i> (%)	12,27	8,14	7,01	16,09	16,25	13,91
<i>max.</i>	3880	4080	4330	5510	5940	5380
<i>min.</i>	2550	3210	3430	3310	3590	3450

*n=10*

**Tabulka 5-8:** Modul pružnosti v ohybu – příčný směr

Statistické ukazatele	Sorpce					
	15%	35%	50%	65%	85%	100%
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<b>1960</b>	<b>1990</b>	<b>2010</b>	<b>1950</b>	<b>1750</b>	<b>1350</b>
<i>s</i>	189	285	190	196	163	232
<i>v</i> (%)	9,65	14,32	9,46	10,05	9,34	17,24
<i>max.</i>	2240	2400	2230	2260	1920	1840
<i>min.</i>	1690	1470	1580	1510	1320	997
	Desorpce					
	100%	85%	65%	50%	35%	15%
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<b>1210</b>	<b>1370</b>	<b>1500</b>	<b>1570</b>	<b>1540</b>	<b>1460</b>
<i>s</i>	251	160	248	136	170	112
<i>v</i> (%)	20,63	11,66	16,54	8,66	11,06	7,68
<i>max.</i>	1700	1570	1950	1830	1780	1650
<i>min.</i>	797	1120	1210	1410	1220	1300

*n=10*

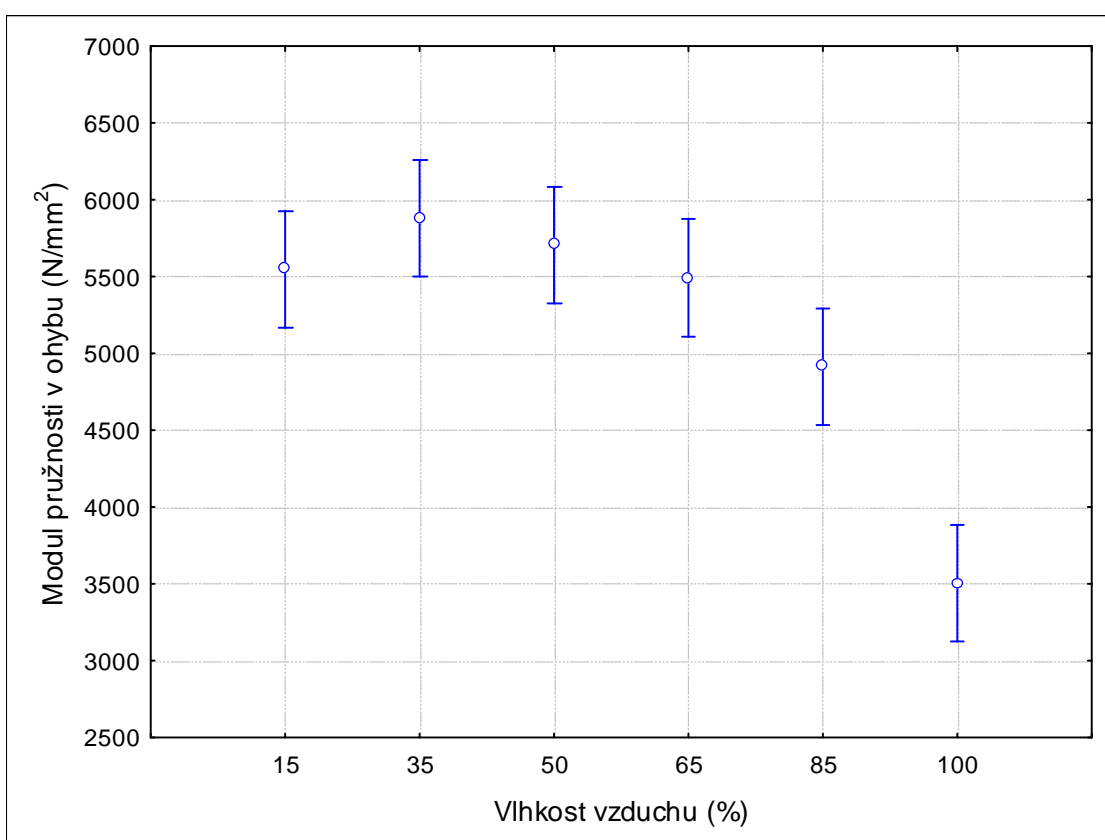
Z tabulek výsledků je zřejmý klesající trend hodnot modulu pružnosti v ohybu při stoupající vlhkosti prostředí. Nejvyšších hodnot modulu pružnosti v ohybu ( $5\,880\text{ N/mm}^2$ ) dosáhla skupina vzorků vystavená relativní vlhkosti vzduchu 35 %. Nejnižší průměrná hodnota modulu pružnosti v ohybu byla  $3\,270\text{ N/mm}^2$  u skupiny vzorků vystavených 100% relativní vzdušné vlhkosti. Tato nejnižší hodnota představuje 56 % procent hodnoty maximální.

Výsledné průměry skupin pro desorpci byly nižší. Zkušební vzorky vystavené působení vysoké vzdušné vlhkosti po vysušení nedosáhly předchozích hodnot. Nejvyšších hodnot modulu pružnosti v ohybu ( $4\,370\text{ N/mm}^2$ ) opět dosáhla skupina vzorků vystavená 35% relativní vzdušné vlhkosti, což je 74 % hodnot dosažených při stejném vlhkostním stupni při sorpci.

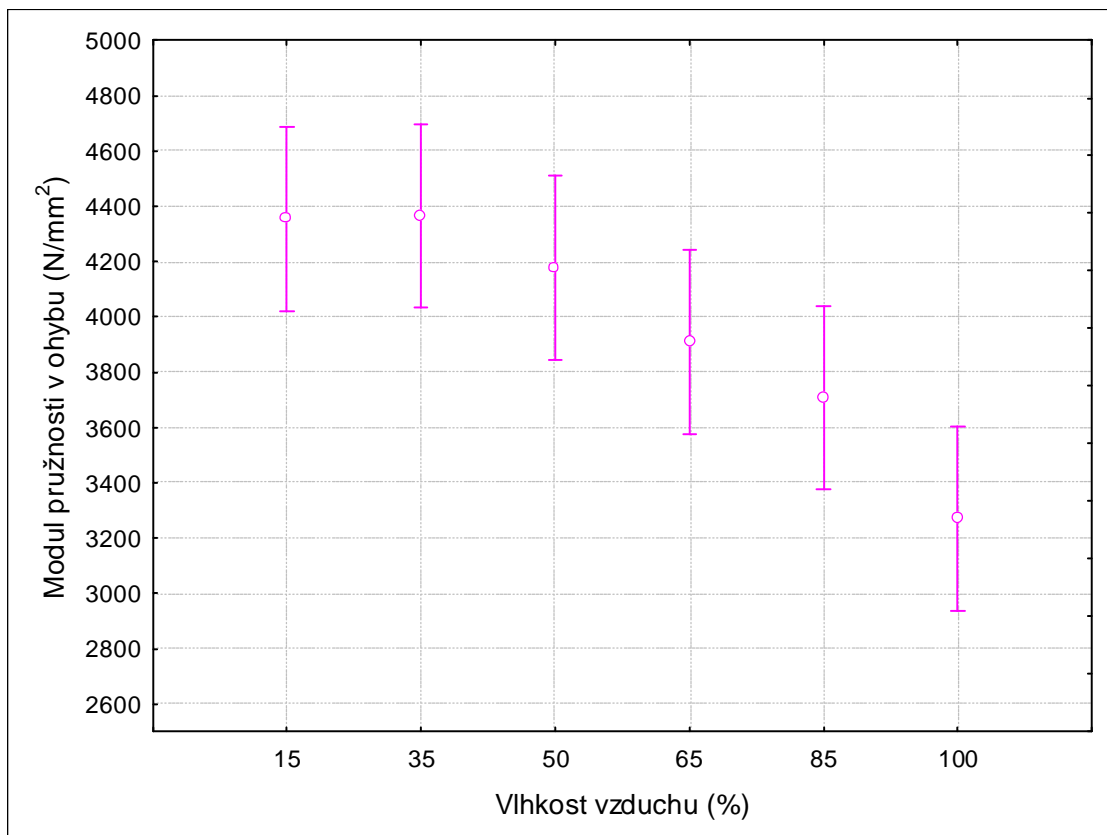
### 5.5.3 Analýza rozptylu

Pro posouzení vlivu vlhkosti na modul pružnosti v ohybu byla použita jednofaktorová Analýza rozptylu (ANOVA), jejíž podstatou je porovnání podílu meziskupinových a vnitroskupinových rozptylů. Jedním ze základních předpokladů, za kterých lze metodu ANOVA uplatňovat je homogenita rozptylů skupin. Pro ověření byl použit Leveneův test, který neprokázal významnou odlišnost homogenity rozptylů jednotlivých skupin. Výsledky metody ANOVA znázorňují obrázky 5-9 a 5-10.

**Obrázek 5-9:** Analýza rozptylu: modul pružnosti v ohybu – podélný směr / vlhkost vzduchu (sorpce)



Vertikální sloupce označují 0,95 intervaly spolehlivosti.

**Obrázek 5-10:** Analýza rozptylu: modul pružnosti v ohybu – podélný směr / vlhkost vzduchu (desorpce)

Vertikální sloupce označují 0,95 intervaly spolehlivosti.

Z výsledných grafů analýzy rozptylu je zřejmý trend snižování hodnot modulu pružnosti v ohybu při zvyšující se relativní vlhkosti vzduchu okolního prostředí. Pro posouzení významnosti rozdílů mezi skupinami byl použit Post-hoc test – Tukeyův HSD test.

**Tabulka 5-9:** Výsledky Post-hoc testu pro modul pružnosti v podélném směru – sorpce

Číslo případu	Vlhkost vzduchu	Tukeyův HSD test					
		1	2	3	4	5	6
		5551,4	5883,6	5708,2	5496,1	4914,7	3507,0
1	15%		0,815114	0,991661	0,999950	0,182510	<b>0,000138</b>
2	35%	0,815114		0,986060	0,698549	<b>0,008279</b>	<b>0,000138</b>
3	50%	0,991661	0,986060		0,967768	<b>0,049012</b>	<b>0,000138</b>
4	65%	0,999950	0,698549	0,967768		0,268163	<b>0,000138</b>
5	85%	0,182510	<b>0,008279</b>	<b>0,049012</b>	0,268163		<b>0,000168</b>
6	100%	<b>0,000138</b>	<b>0,000138</b>	<b>0,000138</b>	<b>0,000138</b>	<b>0,000168</b>	

Statisticky významné rozdíly skupin ( $p=0,05$ ) jsou vyznačeny tučně.

**Tabulka 5-10:** Výsledky Post-hoc testu pro modul pružnosti v podélném směru – desorpce

Číslo případu	Vlhkost vzduchu	Tukeyův HSD test					
		1	2	3	4	5	6
		4354,8	4366,6	4178,2	3908,8	3707,5	3271,3
1	15%		1,000000	0,974078	0,412438	0,080056	<b>0,000463</b>
2	35%	1,000000		0,965736	0,383043	0,071128	<b>0,000405</b>
3	50%	0,974078	0,965736		0,858678	0,352063	<b>0,003946</b>
4	65%	0,412438	0,383043	0,858678		0,954670	0,088069
5	85%	0,080056	0,071128	0,352063	0,954670		0,437252
6	100%	<b>0,000463</b>	<b>0,000405</b>	<b>0,003946</b>	0,088069	0,437252	

Statisticky významné rozdíly skupin ( $p=0,05$ ) jsou vyznačeny tučně.

Provedený Post-hoc test neprokázal statisticky významný rozdíl mezi skupinami vzorků ve vlhkostních stupních od 15 do 65 % relativní vlhkosti vzduchu. Skupina vzorků vystavená 85% vlhkosti vzduchu má prokazatelně rozdílné hodnoty modulu pružnosti v ohybu od hodnot skupin ve vlhkostních stupních 35 a 50 %. Skupina vzorků vystavená nejvyššímu vlhkostnímu stupni má prokazatelně nižší hodnoty oproti všem ostatním skupinám vzorků. Lze tedy prohlásit, že provedený srovnávací test prokázal významný efekt vysoké vlhkosti na snižování hodnot modulu pružnosti v ohybu pro sorpci vlhkosti.

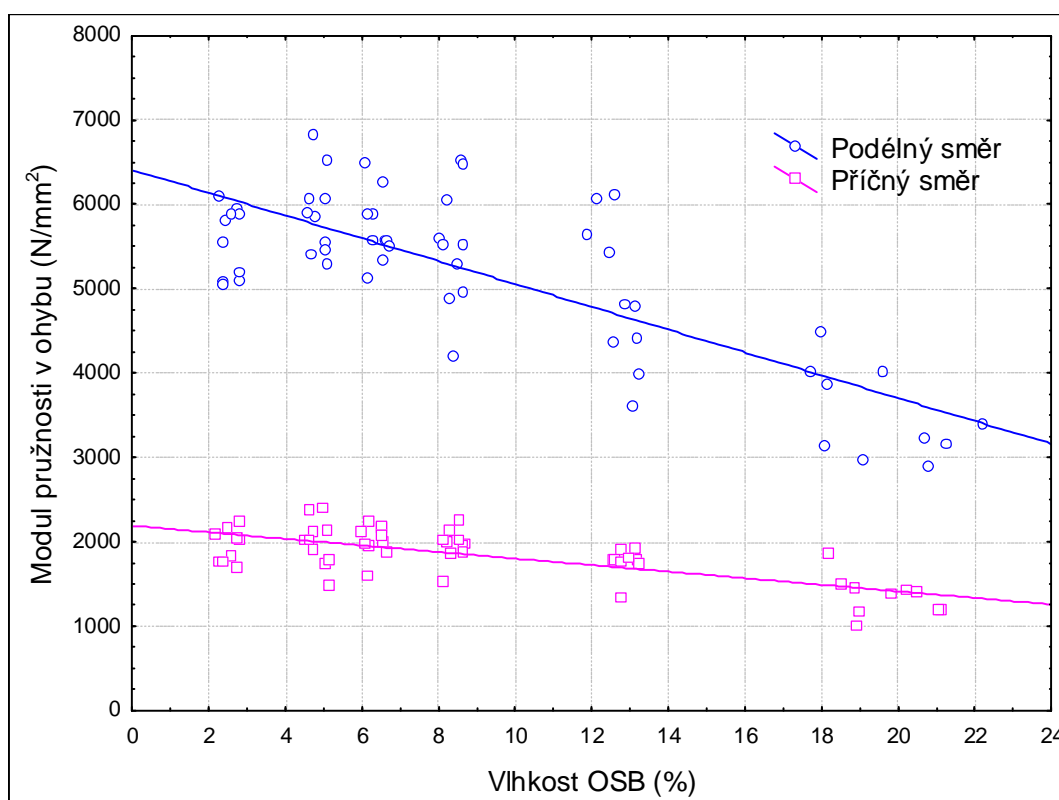
Při desorpci vlhkosti byl prokázán statisticky významný rozdíl hodnot modulu pružnosti v ohybu pouze u skupiny vzorků vystavených 100% relativní vzdušné vlhkosti. Nicméně naměřené hodnoty pro desorpci byly výrazně nižší než pro sorpci a to zejména kvůli ztrátám pevnosti mezi pojivem a kontaktními plochami třísek, ke kterým došlo při vysoké vlhkosti.



### 5.5.4 Regresní analýza

Regresní analýza se používá v případech, kdy je třeba zjistit závislost jedné proměnné na další (případně dalších) proměnných a předem je známo, která proměnná je závislá (tzn. vysvětlovaná). Výpočet závislosti modulu pružnosti v ohybu na vlhkosti OSB a rozdíly hodnot mezi oběma hlavními směry při sorpci zobrazuje graf na obrázku 5-11 a následující rovnice.

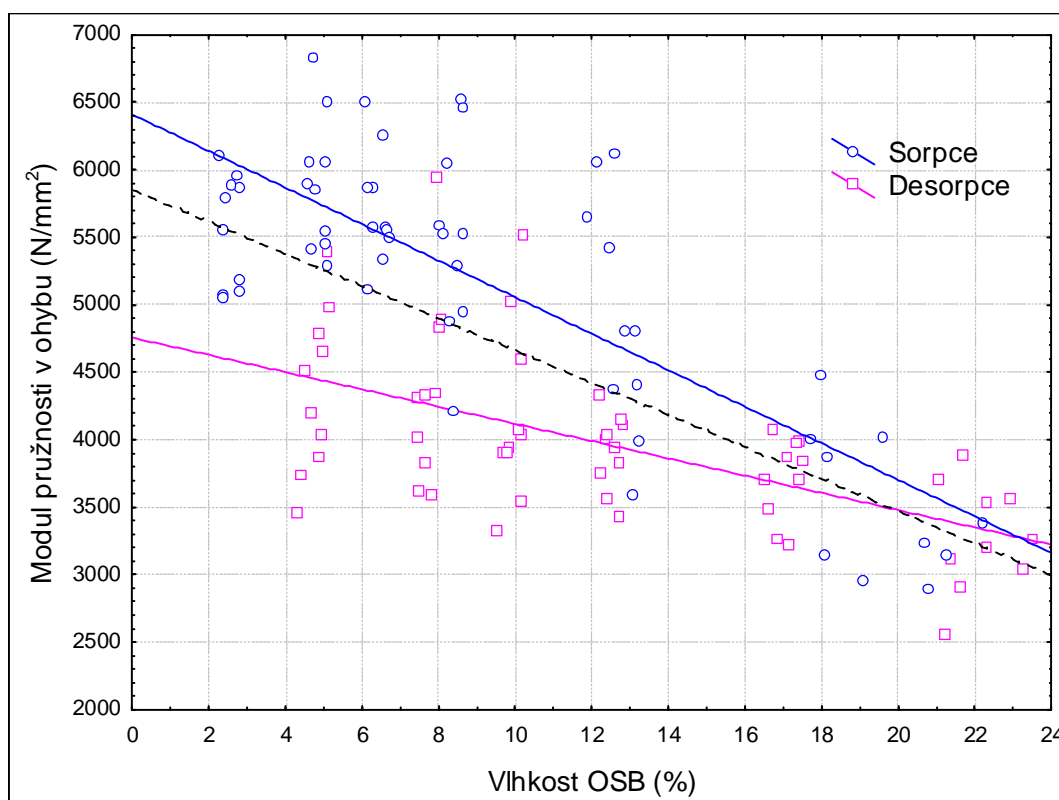
**Obrázek 5-11:** Porovnání hodnot modulu pružnosti v ohybu pro podélný a příčný směr - sorpce



Podélný směr:  $E = 6409,3705 - 135,3673x$   $R^2 = 0,6100$

Příčný směr:  $E = 2189,5432 - 38,8838x$   $R^2 = 0,5123$

Trend snižování modulu pružnosti v ohybu je patrný u hodnot pro oba hlavní směry. Hodnoty v příčném směru jsou nižší, což je způsobeno orientací třísek a průběhem dřevních vláken. Tyto vypočtené závislosti platí pro sorpci vlhkosti, tedy pouze do okamžiku, kdy desky které byly vystavené vysoké vzdušné vlhkosti začnou opět vlhkost snižovat. Výpočet závislosti modulu pružnosti v ohybu na vlhkosti OSB, v podélném směru pro sorpci i desorpci, je znázorněn na obrázku 5-12 a následujících rovnicích.

**Obrázek 5-12:** Závislost modulu pružnosti v ohybu na obsahu vlhkosti OSB – podélný směr

Lineární proložení dat společně pro sorpci i desorpci je vyznačeno čárkovaně.

$$\text{Sorpci:} \quad E_S = 6409,3705 - 135,3673x \quad R^2 = 0,6100$$

$$\text{Desorpci:} \quad E_D = 4756,1826 - 63,9233x \quad R^2 = 0,3471$$

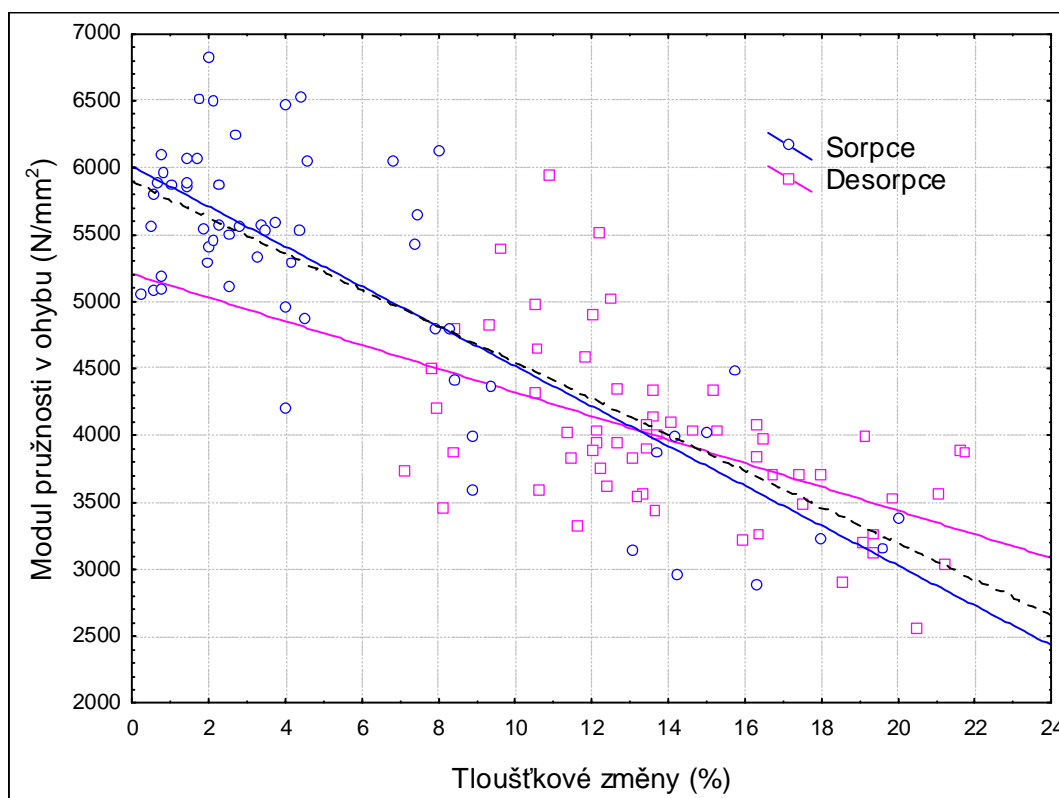
$$\text{Sorpci + Desorpci:} \quad E_{S+D} = 5850,7641 - 119,1349x \quad R^2 = 0,4828$$

Z grafu 5-12 je zřetelně patrný rozdíl ve směrnících lineárního proložení naměřených dat pro sorpci a desorpci.

Pokud se k odhadu modulu pružnosti v ohybu použije jako nezávislá proměnná vlhkost OSB a trendová funkce společná pro sorpci i desorpci, je sledovaná proměnná touto funkcí popsána ze 48 %. Tuto závislost nelze označit za těsnou a není tedy příliš vhodné její používání v průmyslové praxi.

Výpočet závislosti modulu pružnosti v ohybu na jiné, pro tento případ vhodnější proměnné – tloušťkovém bobtnání, je znázorněn na obrázku 5-13 a následujících rovnicích.

**Obrázek 5-13:** Závislost modulu pružnosti v ohybu na tloušťkových změnách OSB – podélný směr



Lineární proložení dat společně pro sorpci i desorpci je vyznačeno čárkovaně.

Sorpce:  $E_S = 6006,6851 - 148,9504x$   $R^2 = 0,6514$

Desorpce:  $E_D = 5206,7095 - 88,4325x$   $R^2 = 0,2857$

Sorpce + Desorpce:  $E_{S+D} = 5895,7614 - 135,088x$   $R^2 = 0,6851$

Z grafu 5-13 je evidentní větší shoda směrnic lineárního proložení naměřených dat pro sorpci a pro desorpci. Trendová funkce pro výpočet modulu pružnosti v ohybu, při použití tloušťkového bobtnání jako nezávislé proměnné, je vhodnější než výpočet založený na vlhkosti. Model výpočtu regresní závislosti při využití tloušťkového bobtnání vzrostl podíl vysvětlené variability na 68,5 %.

Pro další zvýšení podílu vysvětlené variability byla použita metoda vícenásobné lineární regrese, kdy jako nezávislé proměnné byly použity tloušťkové bobtnání ( $tb$ ) a vlhkost OSB ( $w$ ). Pro porovnání vlivu nezávislých proměnných byl použit koeficient Beta (standardizovaná chyba regresního koeficientu).

Výsledky vícenásobné regrese:

$$E = 5865,721 - 144,136(tb) + 11,056(w) \quad R^2 = 0,6861$$

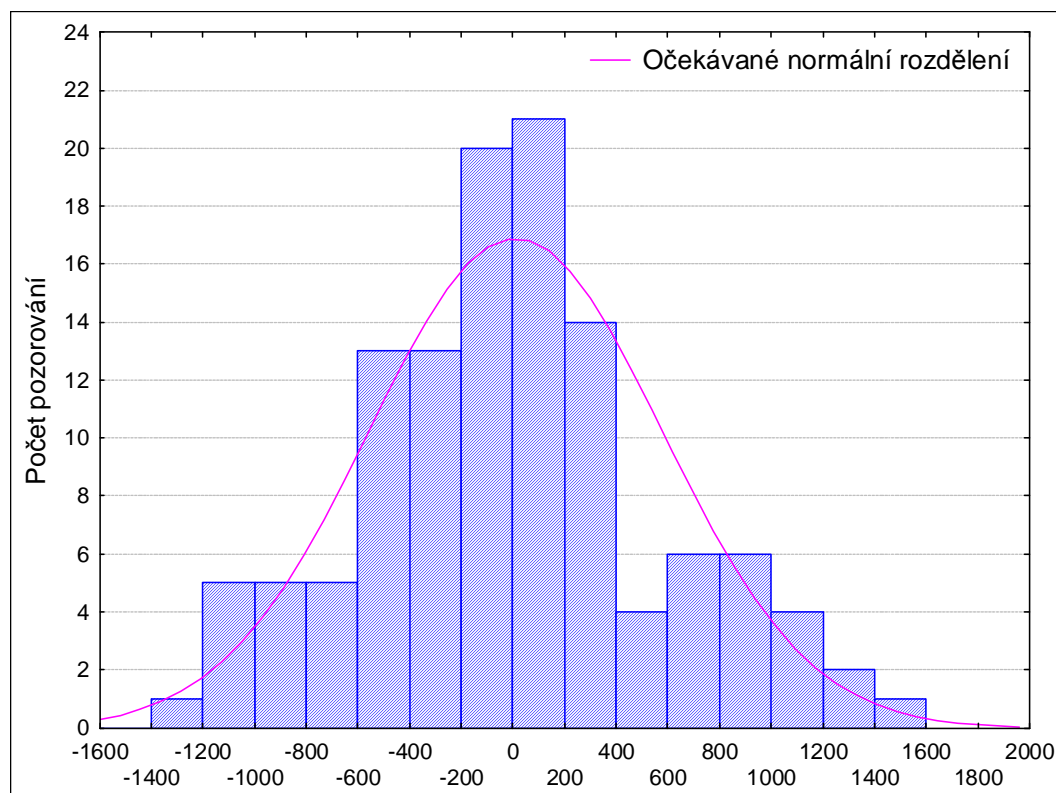
$$\text{Beta}_{(tb)} = 0,883126$$

$$\text{Beta}_{(w)} = 0,064480$$

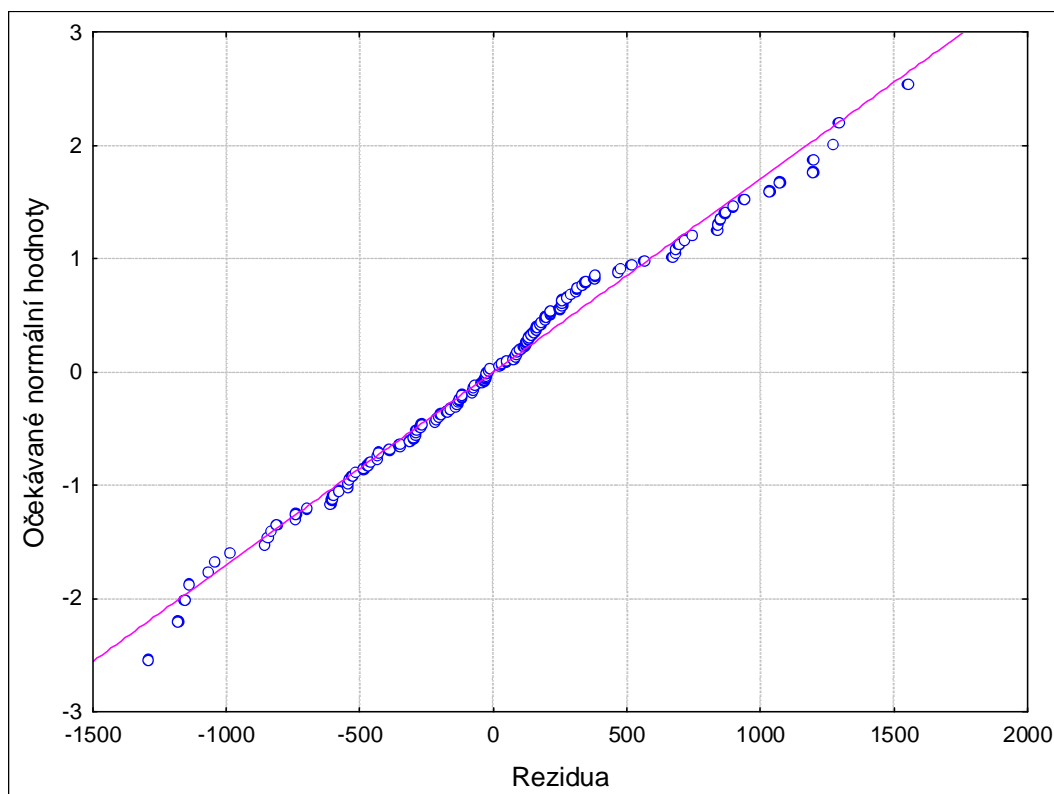
Standardizovaná chyba regresního koeficientu prokázala velmi malý vliv nezávislé proměnné, vlhkosti OSB, na celkovém modelu. Koeficient determinace se téměř nezvýšil a celková nejistota odhadu byla oproti předchozímu modelu zpřesněna o pouhých 0,2 %. Model vícenásobné regrese je jenom nepatrně vhodnější než model jednodušší, založený pouze na tloušťkovém bobtnání, který lze pro stejné závěry spolehlivě použít.

Verifikace modelu pro výpočet modulu pružnosti podle tloušťkového bobtnání byla provedena posouzením histogramu pozorovaných a předpovídaných hodnot a residuální analýzou:

**Obrázek 5-14:** Histogram posouzení normálnosti pozorovaných a předpovídaných hodnot



Z histogramu pozorovaných a předpovídaných hodnot lze pozorovat, že odchylka od normálního rozdělení není nikterak významná.

**Obrázek 5-15:** Normální pravděpodobnostní graf reziduí

Normální pravděpodobnostní graf reziduí také potvrdil normalitu dat. Data neobsahují žádné odlehlé hodnoty a rezidua jsou normálně rozložena. Vypočtený model lze tedy uspokojivě použít pro predikci modulu pružnosti.

## 5.6 Pevnost v ohybu

Výsledné hodnoty pevnosti v ohybu jednotlivých skupin jsou uvedeny v tabulkách 5-11 a 5-12. Grafické porovnání hodnot znázorňuje obrázek 5-16.

**Tabulka 5-11:** Pevnost v ohybu – podélný směr

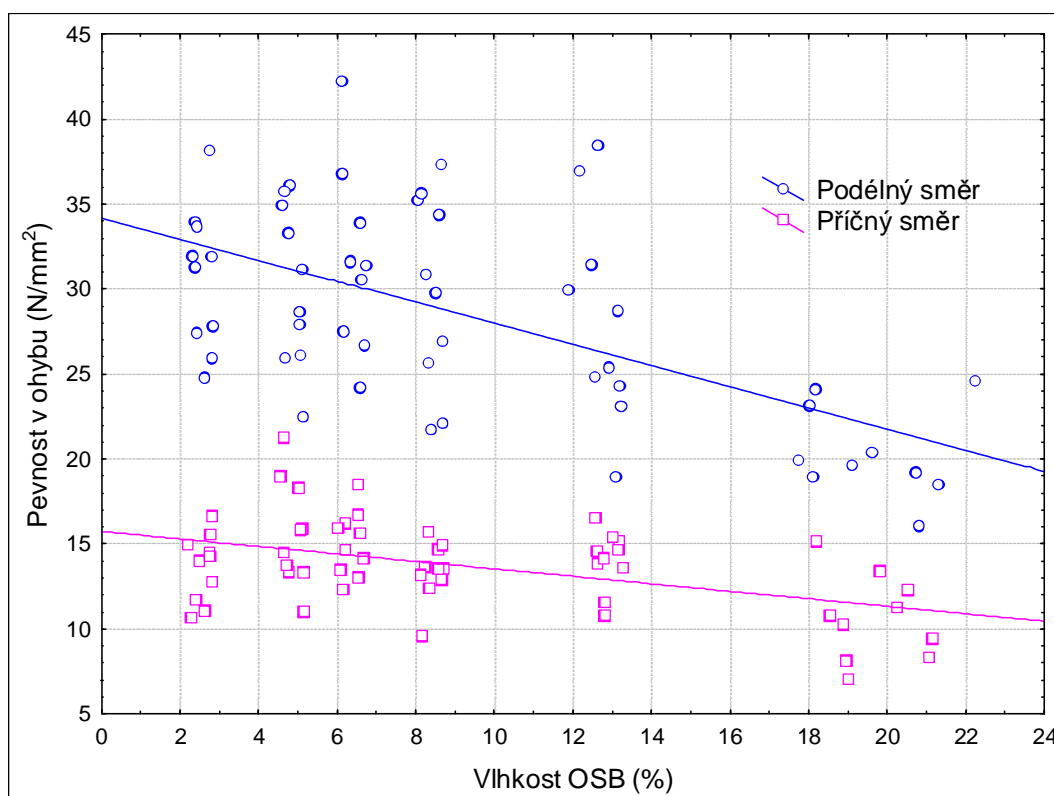
Statistické ukazatele	Sorpce					
	15%	35%	50%	65%	85%	100%
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<b>30,7</b>	<b>30,2</b>	<b>31,7</b>	<b>30</b>	<b>28,2</b>	<b>20,5</b>
<i>S</i>	4,15	4,72	5,19	5,7	6,16	2,7
<i>v</i> (%)	13,52	15,61	16,39	19,02	21,82	13,2
<i>Max.</i>	38,2	36,1	42,3	37,3	38,5	24,6
<i>Min.</i>	24,8	22,5	24,2	21,7	18,9	16,1
	Desorpce					
	100%	85%	65%	50%	35%	15%
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<b>19,3</b>	<b>23,7</b>	<b>25,4</b>	<b>27,6</b>	<b>29,1</b>	<b>27,8</b>
<i>S</i>	2,42	3,07	2,34	5,76	5,60	4,75
<i>v</i> (%)	12,52	12,98	9,24	20,85	19,24	17,13
<i>Max.</i>	23,1	29,3	28,1	38,4	42,8	34
<i>Min.</i>	15,5	19,2	21,8	20,7	22,0	20,1

*N=10*

**Tabulka 5-12:** Pevnost v ohybu – příčný směr

Statistické ukazatele	Sorpce					
	15%	35%	50%	65%	85%	100%
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<b>13,6</b>	<b>15,6</b>	<b>15,1</b>	<b>13,4</b>	<b>14,0</b>	<b>10,6</b>
<i>S</i>	1,99	3,10	1,89	1,68	1,73	2,52
<i>v</i> (%)	14,6	19,83	12,54	12,49	12,3	23,74
<i>Max.</i>	16,7	21,3	18,5	15,7	16,5	15,2
<i>Min.</i>	10,7	11,0	12,3	9,59	10,8	7,06
	Desorpce					
	100%	85%	65%	50%	35%	15%
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<b>10,6</b>	<b>11,7</b>	<b>13,1</b>	<b>13,8</b>	<b>13,2</b>	<b>12,1</b>
<i>S</i>	1,52	1,27	2,38	1,56	2,53	1,58
<i>V</i> (%)	14,28	10,85	18,13	11,24	19,23	13,11
<i>Max.</i>	13,3	13,5	18,8	15,6	16,1	15,0
<i>Min.</i>	8,56	9,96	10,6	11,0	7,94	10,4

*N=10*

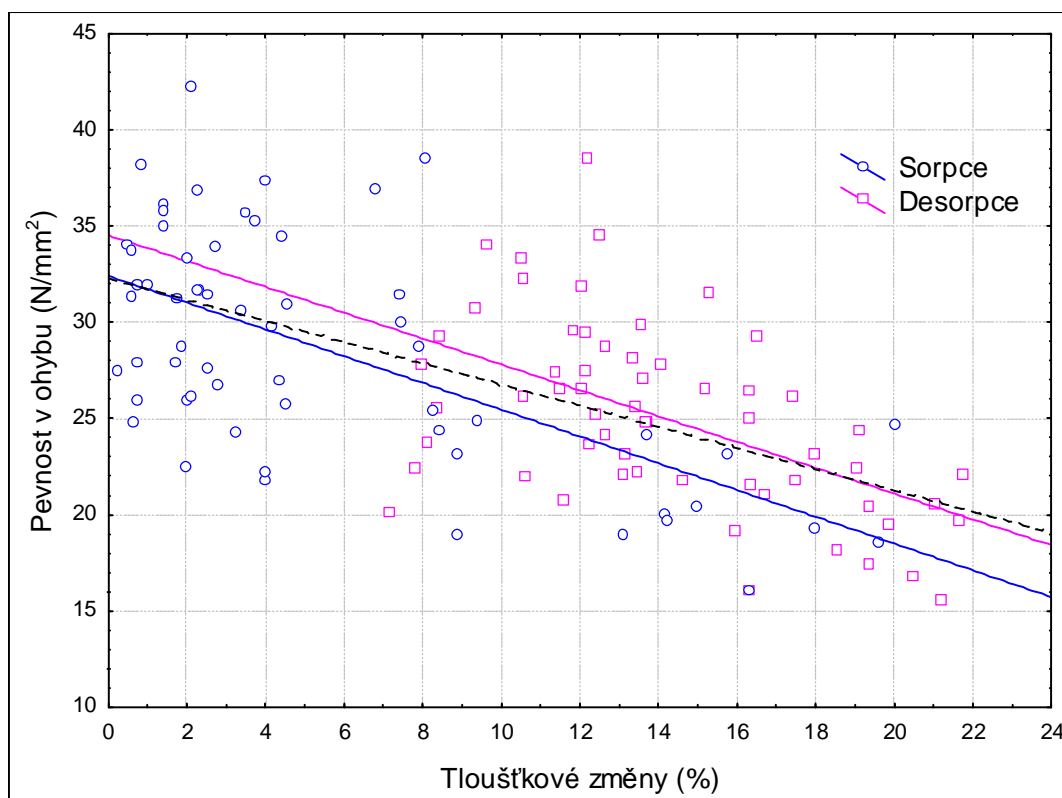
**Obrázek 5-16:** Porovnání hodnot pevnosti v ohybu pro podélný a příčný směr - sorpce

Podélný směr:  $f = 34,1856 - 0,6206x$   $R^2 = 0,3478$

Příčný směr:  $f = 15,7389 - 0,22x$   $R^2 = 0,2265$

Obrázek 5-16 znázorňuje porovnání hodnot pevnosti v ohybu při sorpci vlhkosti. Stejně jako v případě modulu pružnosti v ohybu se hodnoty pevnosti v ohybu zvyšují se snižující se vlhkostí. V porovnání s hodnotami modulu pružnosti v ohybu je z grafu patrná vyšší variabilita jednotlivých vzorků podélného směru. Důvody vedoucí k této variabilitě jsou podrobněji popsány v kapitole 5-7. Vypočtený koeficient determinace byl 34 % pro podélný směr a 22 % pro příčný směr.

Průběh hodnot pevnosti v ohybu byl podroben stejnému statistickému testování jako modul pružnosti v ohybu. Vzhledem k faktu, že průběh závislostí odpovídá výsledkům zjištěným pro modul pružnosti v ohybu, není toto statistické testování začleněno do disertační práce.

**Obrázek 5-17:** Závislost pevnosti v ohybu na tloušťkových změnách OSB – podélný směr

Lineární proložení dat společně pro sorpci i desorpci je vyznačeno čárkovaně.

Sorpce:  $f = 32,4107 - 0,6956x$   $R^2 = 0,3854$

Desorpce:  $f = 34,5205 - 0,6715x$   $R^2 = 0,2813$

Sorpce + Desorpce:  $f = 32,2578 - 0,5496x$   $R^2 = 0,3778$

Závislost pevnosti v ohybu na tloušťkovém bobtnání, stejně jako v případě modulu pružnosti v ohybu, vykazuje při výpočtu větší koeficient determinace než při výpočtu závislosti na vlhkosti. Vzhledem k hodnotě koeficientu determinace nelze u vypočteného modelu hovořit o silné závislosti pevnosti v ohybu na vlhkosti OSB, která je danou regresní funkcí popsána pouze z 38 % (resp. 28 %). Velká část variability zůstala nevysvětlena, což je důsledkem dalších ovlivňujících faktorů, které nebyly předmětem výzkumu této práce. Pro dosažení lepší shody modelu by bylo nutné podrobněji analyzovat zejména orientaci třísek v povrchových vrstvách zkušebních těles.



### 5.6.1 Průhyb

Při zjišťování pevnosti v ohybu byl měřen průhyb zkušebních vzorků v okamžiku působení maximálního zatížení. Výsledné hodnoty průhybu společně se základními statistickými ukazateli udávají tabulky 5-13 a 5-14.

**Tabulka 5-13:** Průhyb při  $F_{\max}$  – podélný směr

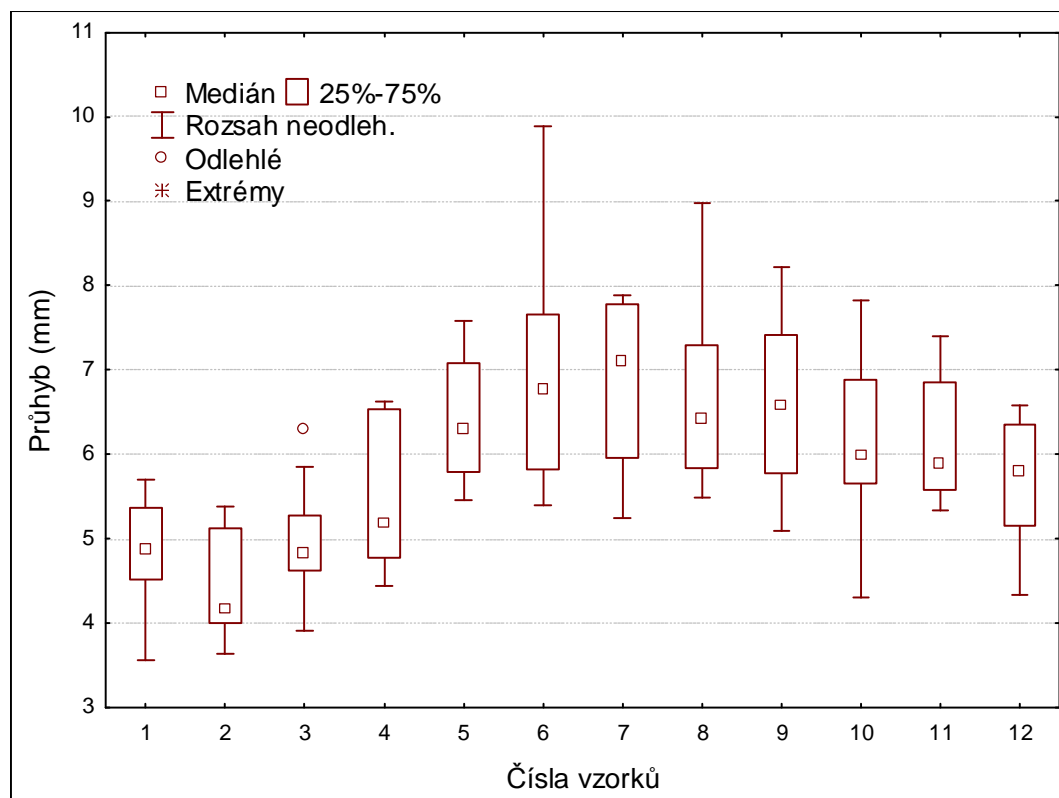
Statistické ukazatele	Sorpce					
	15%	35%	50%	65%	85%	100%
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<b>4,84</b>	<b>4,44</b>	<b>4,97</b>	<b>5,51</b>	<b>6,42</b>	<b>6,97</b>
<i>s</i>	0,64	0,62	0,73	0,92	0,74	1,50
<i>v</i> (%)	13,24	14,02	14,61	16,75	11,51	21,47
<i>max.</i>	5,69	5,38	6,29	6,62	7,58	9,89
<i>min.</i>	3,57	3,64	3,91	4,44	5,45	5,40
	Desorpce					
	100%	85%	65%	50%	35%	15%
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<b>6,79</b>	<b>6,66</b>	<b>6,61</b>	<b>6,14</b>	<b>6,15</b>	<b>5,72</b>
<i>s</i>	0,97	1,07	1,04	1,06	0,71	0,75
<i>v</i> (%)	14,32	16,11	15,72	17,18	11,59	13,06
<i>max.</i>	7,88	8,98	8,22	7,83	7,39	6,58
<i>min.</i>	5,25	5,48	5,09	4,30	5,33	4,33
<i>n</i>	10					

**Tabulka 5-14:** Průhyb při  $F_{\max}$  – příčný směr

Statistické ukazatele	Sorpce					
	15%	35%	50%	65%	85%	100%
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<b>6,35</b>	<b>7,29</b>	<b>7,08</b>	<b>6,87</b>	<b>9,41</b>	<b>10,04</b>
<i>s</i>	1,09	1,09	0,80	0,77	1,57	1,89
<i>v</i> (%)	17,20	15,01	11,29	11,22	16,70	18,82
<i>max.</i>	8,89	9,10	8,76	8,70	11,92	12,98
<i>min.</i>	5,20	5,72	5,69	5,66	6,94	6,52
	Desorpce					
	100%	85%	65%	50%	35%	15%
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<b>10,55</b>	<b>8,56</b>	<b>9,39</b>	<b>8,40</b>	<b>8,22</b>	<b>7,61</b>
<i>s</i>	2,17	1,01	1,06	1,14	1,07	1,10
<i>v</i> (%)	20,56	11,78	11,33	13,62	12,96	14,42
<i>max.</i>	14,48	10,08	11,02	10,81	9,77	9,76
<i>min.</i>	6,57	7,20	7,24	7,01	6,37	6,21
<i>n</i>	10					

Průběh hodnot průhybu v závislosti na vlhkosti OSB zobrazuje graf 5-18.

**Obrázek 5-18:** Krabicový graf hodnot průhybu při maximální zatěžující síle (podélný směr)



Číslo vzorků odpovídají jednotlivým stupňům vlhkosti

(1 = 15% vlhkost vzduchu, 6 a 7 = 100% vlhkost vzduchu)

Při ohybových zkouškách se při zvětšování zátěžové síly zvyšuje průhyb zkušebních těles. V průběhu zkušebního měření byla prokázána také závislost průhybu na vlhkosti. Ačkoliv maximální zatěžovací síla, nutná pro destrukci zkušebního tělesa, se při stoupající vlhkosti OSB snižovala, průhyb se stoupající vlhkostí OSB stoupal a to až do meze hygroskopicity. Toto lze vysvětlit větší plasticitou dřevěných částí a změnou chemicko-fyzikálních vazeb mezi elementy dřeva a pojivem.

## 5.7 Variabilita

OSB je materiál vyrobený z orientovaných a částečně nahodile rozložených plochých třísek. Velkoplošné třísky jsou široké několik centimetrů a mají délku až 15 cm. Stejně tak jako u masivního dřeva je průběhem dřevních vláken způsobena anizotropie (Matovič, 1993), orientace a formování třísek způsobuje výrazně anizotropní chování OSB. Jelikož druh zkoušeného materiálu je činitelem, který výrazně ovlivňuje variabilitu jednotlivých vlastností, je zřejmé, že vzhledem ke konstrukci OSB bude variabilita při fyzikálních a mechanických zkouškách odlišná od běžných třískových desek.

Orientace třísek (a průběh vláken) má výrazný vliv na ohybové zkoušky i lineární roztažnost OSB desek. Při zjišťování modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu podle normy ČSN EN 310, na zkušebním tělese jehož šířka je pouze 50 mm, může snadno dojít k velkým rozdílům naměřených hodnot i u sousedních zkušebních těles odebraných z jedné desky. Ve spodní tahové části (která je z hlediska pevnosti v ohybu, zejména v podélném směru, hlavním určujícím parametrem a ve které dojde nejčastěji k porušení tělesa) může být souvislost povrchu porušena tím, že pod hlavním zatěžovacím trnem se nachází místo kde se spojují dvě povrchové třísky. Takovéto vzorky potom vykazují nižší pevnost a modul pružnosti v ohybu (především u nižších tloušťkových tříd). Uspořádání třísek v povrchové vrstvě je tedy u malých vzorků limitujícím faktorem (viz obr. 5-19).

**Obrázek 5-19:** Příklady zkušebních těles OSB/3 – Superfinish



Výrazné rozdíly mezi jednotlivými zkušebními tělesy, které byly odebrány podle nářezového plánu, lze pozorovat na obrázku 5-19. Třísky na povrchu tělesa mohou být usměrněny přesně podle směru výroby, mohou být orientovány s určitým úhlem odklonu od osy či chaoticky uspořádané, nebo je povrch zkušebního tělesa formován pouze dvěma až třemi velkými třískami.

Při zjišťování modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu podle normy ČSN EN 789 (norma pro zjišťování charakteristických hodnot vlastností materiálů pro použití v konstrukcích) se používají vzorky větších rozměrů. Šířka vzorků je  $(300 \pm 5)$  mm a délka několikanásobně větší. Různorodost formování třísek a skladby povrchu těchto vzorků je potom nižší, stejně tak jako variabilita naměřených hodnot (Böhm, 2006).

I další výzkumné práce (Doležal, 1973; Anděl, 1998) potvrdily statisticky průkazné zvyšování variability vzorků se snižujícími se rozměry zkušebních těles. Optimální je proto zkoušet jednotlivé vlastnosti (především u desek s nehomogenní stavbou) na dostatečně velkých zkušebních tělesech. Toto ovšem v praxi není vždy možné.

Hodnocení závislosti modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu na vlhkosti, bylo v této disertační práci provedeno podle normy ČSN EN 310, zejména z důvodu možnosti porovnání výsledných hodnot s ostatními třískovými materiály.

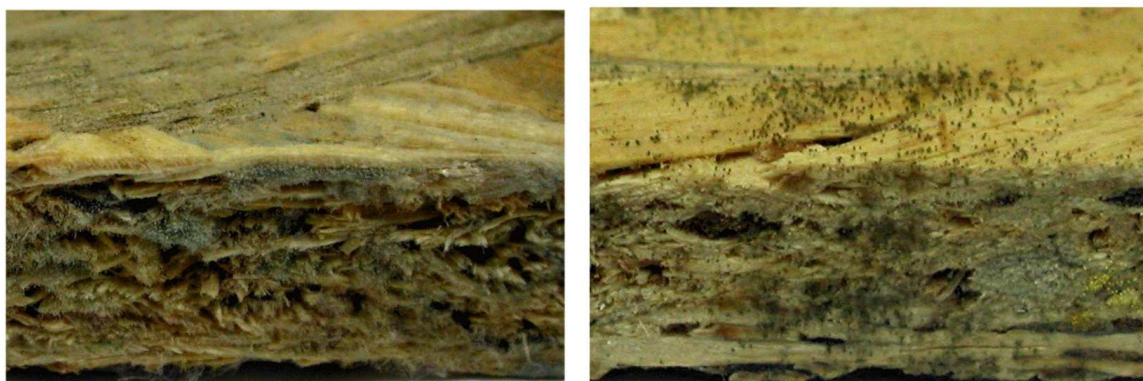
## 5.8 Tvorba plísní

Na zkušebních vzorcích se v druhém týdnu působení 85% relativní vlhkosti vzduchu (při cca 13% vlhkosti OSB) začaly projevovat první příznaky napadení plísněmi. Vzorky proto byly ošetřeny jemným postřikem roztoku chlomanu sodného (SAVO proti plísním). U takto ošetřených vzorků nebyl v dalším průběhu měření (ani po třítýdenním působení 100% vlhkosti vzduchu) výskyt plísně pozorován.

Pro zjištění životnosti a vlivu plísní na OSB bylo 24 z 36 náhradních vzorků ponecháno neošetřených ochranným postřikem a při druhém cyklu měření vystaveno stejným vlhkostrním stupňům jako ošetřené vzorky. Nárůst plísně na neošetřených zkušebních vzorcích negativně působil na pracovní operace a prostředí, ale nebylo prokázáno snížení hodnot modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu oproti kontrolním vzorkům.

Polovina z neošetřených vzorků byla po skončení měření ošetřena působením teploty 150 °C po dobu 6 hodin. U těchto vzorků došlo k likvidaci plísně a po vystavení vzorků 65% vlhkosti vzduchu dále nepokračoval její růst. U druhé poloviny fungicidně neošetřených vzorcích plíseň přešla po působení 15% vlhkosti vzduchu do latentního stádia a po zvýšení vlhkosti vzduchu na 65 % opět pokračoval její růst.

**Obrázek 5-20:** Počátek růstu plísní při relativní vlhkosti vzduchu 85 % (vlevo) a přechod plísní do latentního stádia při 15% relativní vlhkosti vzduchu (vpravo)



## 6 Závěr

Použitý materiál a jeho vlastnosti zásadně ovlivňují koncepci konstrukčních řešení a použitých technologií. OSB je progresivní materiál na bázi dřeva, který často slouží jako výchozí produkt pro výrobu materiálů s různorodými vlastnostmi a širokými možnostmi uplatnění. Pro správnou aplikaci těchto konstrukčních materiálů je důležité vycházet z jejich jednotlivých vlastností a zhodnotit interakci jednotlivých činitelů, které tyto vlastnosti ovlivňují.

Vlhkost, použitý druh lepicí směsi a hustotní profil byly provedeným rozbořem literatury určeny jako činitelé, kteří nejvíce ovlivňující mechanické a fyzikální vlastnosti OSB. Cílem této disertační práce bylo zhodnotit právě vliv vlhkosti a s ní spojenou změnu rozměrů s následnou ztrátou pevnosti, což limituje použití OSB zejména pro aplikace v exteriéru.

Ze zjištěných výsledků vyplývá, že vliv vlhkosti na lineární roztažnost OSB není tak významný jako v případě tloušťkových změn. Hodnoty lineární roztažnosti OSB se v závislosti na orientaci třísek blíží hodnotám bobtnání masivního dřeva v podélném směru, a jsou tedy relativně nízké. Další snížení těchto hodnot lze dosáhnout důslednou kontrolou orientace jednotlivých třísek.

Tloušťkové bobtnání vlivem vlhkosti působí velmi výrazně na mechanické i fyzikální vlastnosti OSB. Se stoupající vlhkostí vzrůstá tloušťkové bobtnání rychleji a při vyšší relativní vlhkosti vzduchu se také rapidně zvyšuje podíl jeho nevratné složky.

Součástí této práce bylo hodnocení změn modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu vlivem vlhkosti a stanovení predikčních modelů. Zjištěné výsledky potvrdily pokles hodnot modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu, který je způsobený ztrátou adhezních sil pojiva po vystavení prostředí s vysokou relativní vzdušnou vlhkostí.

Definované modely prokázaly lepší shodu výpočtu modulu pružnosti v ohybu při vazbě na tloušťkové bobtnání nežli na vlhkost OSB. Lepší shodu výsledků při výpočtu založeném na tloušťkovém bobtnání, než při výpočtu odvozeném od vlhkosti OSB, lze logicky vysvětlit tím, že zatímco tloušťkové bobtnání je závislé na vlhkosti OSB (s určitým podílem variability), modul pružnosti v ohybu více závisí na počtu vazeb mezi pojivem a dřevěnými elementy. Počet chemických vazeb je bezprostředněji ovlivňován tloušťkovými změnami než vlhkostí OSB. Podíl vysvětlené variability byl u modelu výpočtu podle tloušťkového bobtnání 68,5 %.

Model pro výpočet pevnosti v ohybu také prokázal větší přesnost výpočtu podle tloušťkového bobtnání nežli podle vlhkosti OSB, nicméně přesnost výsledného modelu je dále ovlivňována variabilitou jednotlivých zkušebních těles. Pro dosažení lepší shody modelu by bylo

nutné podrobněji analyzovat další faktory, které závislost ovlivňují (především pak orientaci třísek v povrchových vrstvách). Podíl vysvětlené variability při výpočtu činil 38 %.

Dále bylo prokázáno, že působení vysoké vlhkosti má nejvýraznější vliv na tloušťkové bobtnání, snižování modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu a proto je velmi důležité používat OSB/3 v přesném souladu s třídami použití (podle ČSN EN 1995-1-1) a zabránit tvorbě vlhkosti vyšší než 85 % relativní vlhkosti vzduchu při provádění staveb i v celém průběhu jejich užívání.

## 7 Seznam literatury

1. Adcock, T., Irle, M. (1997) *The effect of compaction ratio on the dimensional recovery of wood particles pressed perpendicular to the grain*. Proceedings of the First European Panel Products Symposium. Llandudno, Wales.
2. AITIM – kolektiv autorů (2007) *AITIM Boletín de información técnica 246 Marzo – Abril 2007*. Aitim, Madrid.
3. Anděl, J. (1998) *Statistické metody*. Matfyzpress, 2. vydání, Praha.
4. Babiak, M., Dubovský, J. (2001) *Problémy z mechanických vlastností dřeva*. Technická univerzita vo Zvolene.
5. Baker, W. A. (2002) *Wood Structural Panels* in Wood Handbook, APA – The Engineered Wood Association. McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN: 0-07-136029-8.
6. Barnes, D. (2001) *A model of the effect of strand length and strand thickness on the strength properties of oriented wood composites*. Forest Products Journal, 51 (2): 36-46.
7. Beech, J. (1975) *The thickness swelling of particleboard*. Holzforschung, 29 (1): 11-18.
8. Böhm, M. (2006) *Modul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu u OSB*. In VI. Sympózium, Drevné kompozitné materiály (Composite wood materials): 201 -205. Technická univerzita, Zvolen. ISBN: 80-228-1169-6.
9. Breyer, D. E. (1993) *Design of wood structures* (3. ed.). McGraw-Hill Companies, Inc.
10. Brochmann, J., Edwardson, Ch., Shmulsky, R. (2004) *Influence of resin type and flake thickness on properties of OSB*. Forest Products Journal, 54 (3): 51-55.
11. Brumbaugh, J. (1960) *Effect of flake dimensions on properties of particle boards*. Forest Products Journal, May: 243-246.
12. Cai, Z., Wu, Q., Lee, J. N., Hiziroglu, S. (2004) *Influence of board density, mat construction and chip type on performance of particleboard made from eastern redcedar*. Forest Products Journal, 54 (12): 226-232.
13. Chen, G.-H., Tang, R. C., Price, E. W. (1989) *Effect of environmental conditions on the flexural properties of wood composite I-beams and lumber*. Forest Products Journal, 39 (2): 17-22.
14. Dai, C., Steiner, P. R. (1993) *Compression behavior of randomly formed wood strand mats*. Wood and Fiber Science, 25 (4): 349-398.
15. Doležal, J. (1973) *Matematickostatistické metody v dřevařském průmyslu*. Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, Praha (SNTL – Nakladatelství technické literatury, Středisko interních publikací).



16. Drápela, K. (2002) *Statistické metody I (pro obory lesního dřevařského a krajinného inženýrství)*. Mendlova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.
17. Esteban, G. L., Casasús, G. A., Oramas, P. C., Palacios, P. P. (2002) *La madera y su tecnología*. Artes Gráficas Palermo, S.L., Madrid.
18. Geimer, R. L. (1976) *Flake alignment in particleboard as affected by machine variables and particle geometry*. Research Paper FPL 275, USDA, Forest Products Laboratory, Madison.
19. Geimer, R. L. (1986) *Mechanical Property Ratios: A Measure of Flake Alignment*. Research Paper FPL 468, USDA, Forest Products Laboratory, Madison.
20. Geimer, R. L., Kown, J. H., Bolton, J. (1998) *Flakeboard thickness swelling. Part I: Stress relaxation in a flakeboard mat*. Wood and Fibre Science, 30 (4): 326-338.
21. Geimer, R. L., Kwon, J. H. (1999) *Flakeboard thickness swelling. Part II. Fundamentals response of board properties to steam injection pressing*. Wood and Fiber Science, 31 (1): 15-27.
22. Geimer, R. L., Mahoney, R. J., Loehnertz, S. P., Meyer, R. W. (1985) *Influence of processing-induced damage on strength of flakes and flakeboards*. USDA Forest Service Research Paper (FPL 463).
23. Geimer, R. L., Price, E. W. (1986) *Steam injection pressing – Large panel fabrication with southern hardwoods*. Proceedings of the 20th International particleboard/composite materials symposium, April 8-10, Pullman, Washington State University: 367-384.
24. Gu, H., Wang, Siqun., Neimsuwan, T., Wang, Sunguo.(2005) *Comparison study of thickness swell performance of commercial oriented strandboard flooring products*. Forest Products Journal, 55 (12): 239-245.
25. Halligan, A. F. (1970) *A review of thickness swelling in particleboard*. Wood Science and Technology, 4: 301-312.
26. Han, G., Wu, Q., Lu, J. Z. (2006) *Selected properties of wood strand and oriented strandboard from small-diameter southern pine*. Wood and Fiber Science, 38 (4): 621-632.
27. Han, G., Wu, Q., Lu, J. Z. (2007) *The influence of fines content and panel density on properties of mixed hardwood oriented strandboard*. Wood and Fiber Science, 39 (1): 2-15.
28. Hrázský, J., Král, P. (2000) *Technologie výroby aglomerovaných materiálů*. Mendlova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.

- 
29. Hrázský, J., Král, P. (2004) *Analysis of properties of boards for concrete formwork*. Journal of Forest Science, 50 (8): 382-398.
  30. Hsu, W. E., Schoold, W., Schooled, J., Sheilds, A. (1989) *Chemical and physical changes required for producing dimensionally stable wood-based composites. Part 1: Steam pre-treatment*. Wood Science and Technology, (22): 281 -289.
  31. Hsu, W. E., Schoold, W., Schooled, J., Sheilds, A. (1989) *Chemical and physical changes required for producing dimensionally stable wood-based composites. Part 2: Post treatment*. Wood Science and Technology, (23): 281 -288.
  32. Hsu, W. E., Schoold, W., Schooled, J., Sheilds, A. (1989) *Chemical and physical changes required for producing dimensionally stable wood-based composites. Part 1 :Steam pre-treatment*. Wood and Science Technology, 22: 281 -289.
  33. Kamke, F. A. (2004) *Physics of hot pressing*. General Technical Report, Forest Products Laboratory, USDA Forest Service FPL-GTR-149: 3-18.
  34. Kamke, F. A., Casey, L. J. (1988) *Fundamentals of flakeboard manufacture: Internal-mat conditions*. Forest Products Journal, 38 (6): 38-44.
  35. Kelemwork, S., Thair, P. Md., Ding, W., Ashaari, Z., Sudin, R. (2005) *Effects of Particle Size and Orientation on Properties of Particleboard Made From Ethiopian Highland Bamboo (Yushania Alpina)*. Proceedings of Scientific Session 90, XXII IUFRO World Congress, Brisbane, 12. 8. 2005.
  36. Kelly, M. W. (1977) *Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard*. Gen. Tech. Rep. FPL-20, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison.
  37. Kollmann, F., Kuenzi, E. W., Stamm, A. J. (1975) *Principles of wood science and technology. Wood based materials*. Springer, Berlin.
  38. Kuklík, P. (2005) *Dřevěné konstrukce*. Informační centrum ČKAIT (Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě), Praha.
  39. Lam, F. (2001) *Modern structural wood products*. Progress in Structural Engineering and Materials, 4 (3): 238-245.
  40. Laufenberg, T. L., Palka, L. C., McNatt, J. D. (1999) *Creep and creep-rupture behavior of wood-based structural panels*. Research Paper FPL-RP-574, USDA, Forest Products Laboratory, Madison.
  41. Makowski, M., Ohlmeyer, M. (2005) *Influences on VOC Emissions of Wood-based Panels*. Proceedings of the Ninth Panel Products Symposium, Llandudno, Wales, 5-7. 10. 2005.

42. Marra, A. A. (1992) *Technology of wood bonding: Principles in practice*. Van Nostrand Reinhold, New York.
43. Matovič, A. (1993) *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*. Vysoká škola zemědělská, Brno.
44. McNatt, J. D., Bach, L., Wellwood, R. W. (1992) *Contribution of flake alignment to performance of strandboard*. Forest Products Journal, 42 (3): 45-50.
45. Nishimura, T., Ansell, M. P. (2002) *Monitoring fiber orientation in OSB during production using filtered image analysis*. Wood Science and Technology, 36: 229-239.
46. Nishimura, T., Ansell, M. P., Amin, J. (2004) *Image analysis and bending properties of model OSB panels as a function of strand distribution, shape and size*. Wood Science and Technology, 38: 297-309.
47. Ojanen, T., Ahonen, J. (2005) *Moisture performance properties of exterior sheathing products made of spruce plywood or OSB*. ESPOO 2005, VTT Working papers 22, (52s, 22p).
48. Oudjehane, A., Lam, F. (1998) *On the density profile within random and oriented wood-based composite panels: horizontal distribution*. Composites Part B (29B): 687-694.
49. Oudjehane, A., Lam, F., Avramidis, S. (1998) *Forming and pressing processes of random and oriented wood composite mats*. Composites Part B (29B): 211-215.
50. Painter, G., Husman, H., Pritzker, M. (2006a) *Prediction of oriented strand board properties from mat formation and compression operating conditions. Part 1. Horizontal density distribution and vertical density profile*. Wood Science and Technology, 40: 139-158.
51. Painter, G., Husman, H., Pritzker, M. (2006b) *Prediction of oriented strand board properties from mat formation and compression operating conditions. Part 2: MOE prediction and process optimization*. Wood Science and Technology, 40: 291-307.
52. Papadopoulos, A. N., Ntalos, G. A., Kakaras, I. (2005) *Mechanical and physical properties of cement-bonded OSB*. Holz als Roh- und Werkstoff, 63 (2s).
53. Papadopoulos, A. N., Ntalos, G. A., Soutsas, K., Tantos, V. (2006) *Bonding behaviour of chemically modified wood particles for board production*. Holz als Roh- und Werkstoff, (64): 21-23.
54. Paul, W., Ohlmeyer, M., Leithoff, H., Boonstra, M. J., Pizzi, A. (2006) *Optimising the properties of OSB by a one-step heat pre-treatment process*. Holz als Roh- und Werkstoff, 64 (3).
55. Peña, S. V., Rojas, I. M. (2006) *Tecnología de la madera (3ª edición)*. Artes Gráficas Cuesta, S.L., Madrid.

- 
56. Peraza, F., Arriaga, F., Peraza, J. E. (2004) *Tableros de madera de uso estructural*. Artes Gráficas Palermo, S.L., Madrid.
  57. Post, P. W. (1958) *Effect of particle geometry and resin content on bending strength of oak flake board*. Forest Products Journal, October: 317-322.
  58. Rice, J. T., Carey, R. H. (1978) *Wood density and board composition effects on phenolic resin-bonded flakeboard*. Forest Products Journal, 28 (4): 21-28.
  59. Sandermann, W., Augustin, H. (1963) *Chemical Investigations on the Thermal Decomposition of Wood, Part I: Stand of Research*. Holz als Roh- Werkstoff, 21: 256-265.
  60. Sedliačik, M., Sedliačik, J. (1998) *Chemické látky v drevárskom priemysle*. Technická univerzita, Zvolen.
  61. Shapiro, S. S., Wilk, M. B., Chen, H. J. (1968) *A Comparative Study of Various Tests for Normality*. Journal of the American Statistical Association, 63 (324): 1343-1372.
  62. Sharma, V., Sharon, A. (1993) *Optimal orientation of Flakes in oriented strand board (OSB)*. Experimental Mechanics, June 1993: 91-98.
  63. Skinner, Ch., Kaufmann, R., Watt, Ch., Lauwers, J. PR., Tilt, M., Saiani, A. (2006) *Novel Fast Cure Technology for the Production of OSB with MDI based Binders*. Paper for 4th European Panel Products Symposium, Bangor (29s).
  64. Smith, W. R., Wu, Q. (2005) *Durability improvement for structural wood composites through chemical treatments*. Forest Products Journal, 55 (2): 8-17.
  65. Spelter, H., McKeever, D. Alderman, M. (2006) *Status and Trends: Profile of Structural Panels in the United States and Canada*. Forest Products Laboratory, Research Paper (FPL-RP-636).
  66. Steiner, P. R., Xu, W. (1995) *Influence of flake characteristics on horizontal density distribution of flakeboard*. Forest Products Journal, 45 (4): 61-66.
  67. Strickler, M. D. (1959). *Effect of press cycle and MC on properties of Douglas-fir flakeboard*. Forest Products Journal, 9 (7): 203-215.
  68. Suchsland, O. (1962) *The density distribution in flakeboard*. Michigan Quarterly Bulletin, Agricultural Experiment Station, Michigan State University, East Lansing Michigan. 45 (1): 104-121.
  69. Suchsland, O. (1968) *Particle-board from Southern Pine*. Southern Lumberman. December (15): 139-144.
  70. Suchsland, O. (1972) *Linear hygroscopic expansion of selected commercial particleboards*. Forest Products Journal, 22 (11).

- 
71. Suchsland, O. (1973) *Hygroscopic thickness swelling and related properties of selected commercial particleboards*. Forest Products Journal. 23 (7): 26-30.
  72. Suchsland, O. Xu, H., (1991) *Model analysis of flakeboard variables*. Forest Products Journal, 41 (1/12).
  73. Sun, B. C. H., Hawke, R. N. and Gale, M. R. (1994) *Effect of polyisocyanate level on physical properties of wood fiber composite materials*. Forest Products Journal, 44 (4): 53-58.
  74. Štefka, V. (1997) *Kompozitné drevné materiály. Časť II – Technológia aglomerovaných materiálov. Návod na cvičenia*. Technická univerzita, Zvolen.
  75. Štefka, V. (2002) *Kompozitné drevné materiály II, Technológia aglomerovaných materiálov*. Technická univerzita, Zvolen.
  76. Thelandersson, S., Larsen, H. J. (2003) *Timber Engineering*. Wiley. Chichester.
  77. Tjeerdsma, B. F., Boonstra, M., Pizzi, A., Militz, H. (1998) *Characterisation of Thermally Modified Wood: Molecular Reasons for Wood Performance Improvement*. Holz als Roh- und Werkstoff, 56: 149-153.
  78. Wang, S., Winistorfer, P. M. (2003) *Determination of layer thickness swell of MDF and OSB by optical technique*. Forest Products Journal, 53 (9): 64-71.
  79. Wang, S., Winistorfer, P. M., Moschler, W. W., Helton, C. (2000) *Hot-pressing of oriented strandboard by step-closure*. Forest Products Journal, 50 (3): 28-34.
  80. Winistorfer, P. M., Xu, W. (1996) *Layer water absorption of medium density fiberboard and oriented strandboard*. Forest Products Journal 46 (6): 69-72.
  81. Wu, Q. (1999) *In-plane dimensional stability of oriented strand panel: effect of processing variables*. Wood and Fiber Science, 31 (1): 28-40.
  82. Wu, Q., Piao, Ch. (1999) *Thickness swelling and its relationship to internal bond strength of commercial oriented strandboard*. Forest Products Journal, 49 (7/8).
  83. Wu, Q., Suchsland, O. (1996) *Linear expansion and its relationship to moisture content change for commercial oriented strandboards*. Forest Products Journal, 46 (11/12): 76-83.
  84. Wu, Q., Suchsland, O. (1997) *Effect of moisture on the flexural properties of commercial oriented strandboard*. Wood and Fiber Science, 29 (1).
  85. Xu, W. (1999) *Influence of vertical density distribution on bending modulus of elasticity of wood composite panels: A theoretical consideration*. Wood and Fiber Science, 31 (3): 277-282.

86. Xu, W. (2000) *Influence of percent alignment and shelling ratio on linear expansion of oriented strandboard: A model investigation*. Forest Products Journal, 50 (7/8): 88-93.
87. Xu, W. (2002) *How to analyze strand alignment of oriented strandboard*. Forest Products Journal, 52 (4): 48-52.
88. Xu, W., Suchsland, O., (1998) *Modulus of elasticity of wood composite panels with a uniform vertical density profile: a model*. Wood and Fiber Science, 30 (3): 293-300.
89. Xu, W., Winistorfer, P. M. (1995) *A procedure to determine thickness swell distribution in wood composite panels*. Wood and Fibre Science, 27 (2): 119-125.
90. Zanetti, M., Pizzi, A., Kamoun, C. (2003) *Upgrading of MUF particleboard adhesives and decrease of melamine content by buffer and additives*. Holz als Roh- und Werkstoff (61): 55–65.
91. Zavala, D., Humphery, P.E. (1996) *Hot pressing veneer-based products: The interaction of physical processes*. Forest Products Journal, 46 (1): 69-77.
92. Zhang, B., Wu, Q., Wang, L., Han, G. (2005) *Characterization of internal void structure of strand-based wood composites using x-ray tomography and digital tools*. Proceedings of McMat2005: Conference on Mechanics and Materials, 1.-3. 6. 2005, Baton Rouge, Louisiana, USA.
93. Zylkowski, S. (2002) *Introduction to wood as an engineering material in Wood Handbook, APA – The Engineered Wood Association*. McGraw-Hill Companies, Inc., USA.

#### **Internetové zdroje:**

APA – The Engineered Wood Association. *Oriented strand Board* (online). Dostupné z: [http://www.apawood.org/level\\_c.cfm?content=pub\\_osb\\_libmain](http://www.apawood.org/level_c.cfm?content=pub_osb_libmain) (cit. 24. 3. 2007).

Dieffenbacher GmbH. + Co. *Plattentechnik* (online). Dostupné z: [http://www.dieffenbacher.de/deutsch/leistungen/plattentechnik/anlage\\_gross.html](http://www.dieffenbacher.de/deutsch/leistungen/plattentechnik/anlage_gross.html) (cit. 28. 6. 2008).

EPF – European Panel Federation. *OSB in Europe* (online). Dostupné z: <http://www.osb-info.org/cms.taf?Act=LoadPage&Param=OsB-infoOrgXXX1383> (cit. 19. 3. 2007).

Kronospan CR. *OSB desky Superfinish* (online). Dostupné z: <http://www.kronospan.cz/osb-desky-superfinish.html>. (cit. 6. 7. 2007).

StatSoft CR. *Bag-plot* (online). Dostupné z: <http://www.statsoft.cz/page/index2.php?pg=aktuality&id=34> (cit. 3. 7. 2008).

StatSoft, Inc. (1999). *Electronic Statistics Textbook* (online). Dostupné z: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>.

**Metodické pomůcky:**

Boldiš, P. *Doporučení pro psaní diplomových prací*. (online) SIC ČZU (vytvořeno: 8. 1. 2004). Dostupné z: <http://www.sic.czu.cz/?r=1614#ID1537>.

Kořínek, J. (1999) *Diplomová práce*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.

**Normy:**

ČSN EN 300 (2006) Desky z orientovaných plochých třísek (OSB) – Definice, klasifikace a požadavky. Český normalizační institut.

ČSN EN 310 (1995) Desky ze dřeva. Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu. Český normalizační institut.

ČSN EN 326–1 (1997) Desky ze dřeva – Odběr vzorků, nařezávání a kontrola – Část 1: Odběr vzorků, nařezávání zkušebních těles a vyjádření výsledků zkoušky. Český normalizační institut.

ČSN EN 326–1 (2001) Desky ze dřeva – Odběr vzorků, nařezávání a kontrola – Část 2: Kontrola kvality ve výrobě. Český normalizační institut.

ČSN EN 789 (2005) Dřevěné konstrukce – Zkušební metody – Stanovení mechanických vlastností desek na bázi dřeva.

ČSN EN 12369 (2001) Desky na bázi dřeva – Charakteristické hodnoty pro navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1: OSB, třískové a vláknité desky. Český normalizační institut.

ČSN ENV 1995-1-1 (2006) Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Český normalizační institut.

## 8 Přílohy

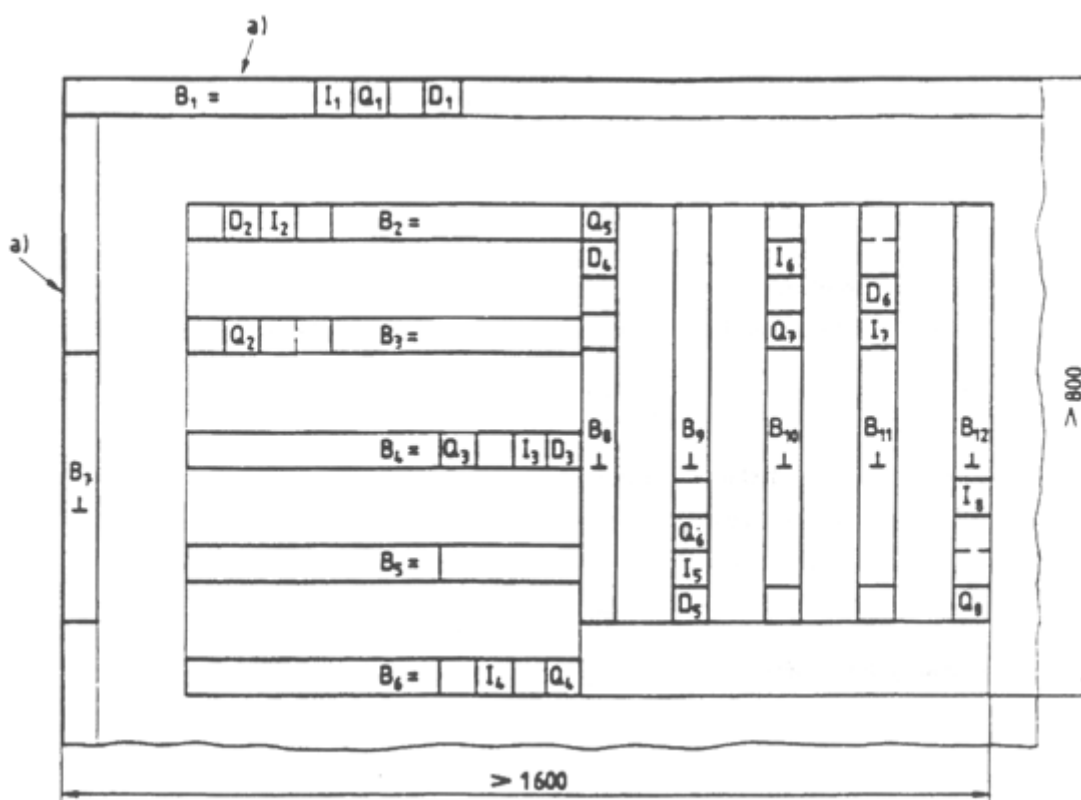
**Tabulka 8-1:** Požadavky na desky OSB/3 podle ČSN EN 300

Vlastnost		Zkušební postup	Jednotka	Rozsah tloušťek (mm)			
				6 až 10	>10 až <18	18 až 25	>25 až 32
Pevnost v ohybu	hlavní osa	ČSN EN 310	MPa	22	20	18	16
	vedlejší osa	ČSN EN 310	MPa	11	10	9	8
Modul pružnosti v ohybu	hlavní osa	ČSN EN 310	MPa	3500			
	vedlejší osa	ČSN EN 310	MPa	1400			
Rozlupčivost		ČSN EN 319	MPa	0,34	0,32	0,3	0,29
Rozlupčivost po varné zkoušce		ČSN EN 1087-1	MPa	0,15	0,13	0,12	0,06
Rozlupčivost po zkoušce cyklováním		ČSN EN 321+319	MPa	0,18	0,15	0,13	0,1
Pevnost v ohybu po zk. cyklováním - hlavní osa		ČSN EN 321+310	MPa	9	8	7	6
Bobtnání		ČSN EN 317	%	15			

V tabulce 8-1 jsou uvedeny požadavky na mechanické vlastnosti, bobtnání a vlhkvzdornost pro nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí. Kromě těchto požadavků musí desky splňovat i všeobecné požadavky na toleranci, vlhkost a obsah formaldehydu.

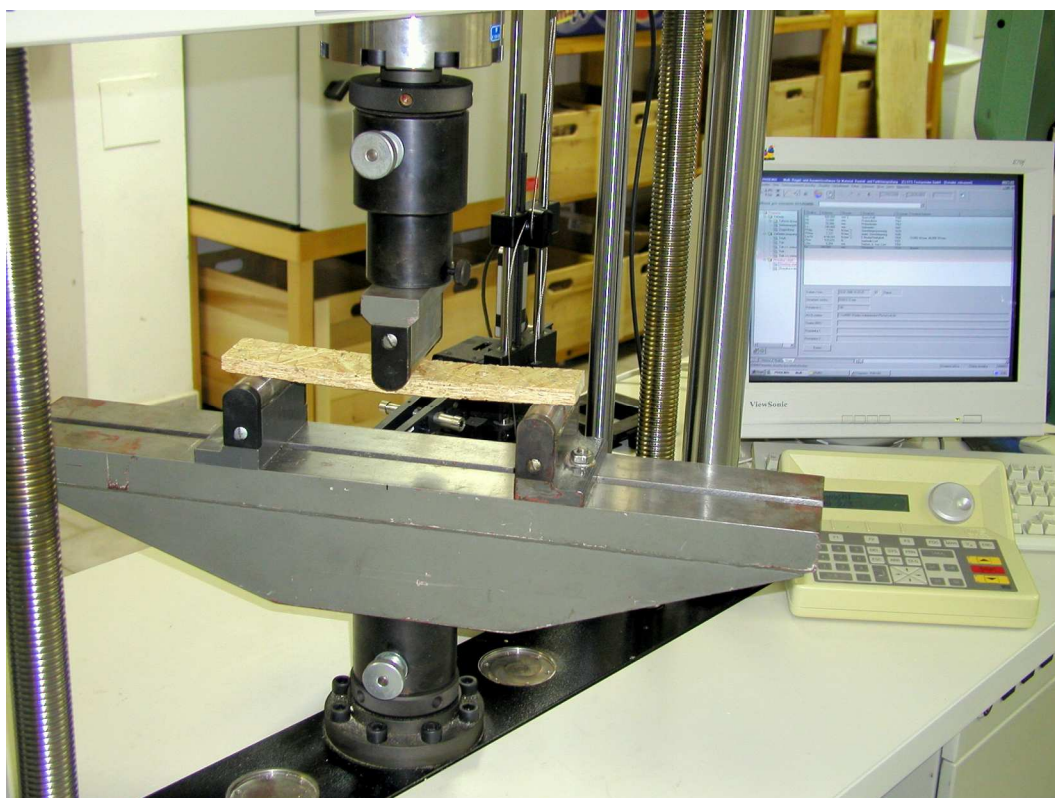


**Obrázek 8-1:** Příklad nařezávacího plánu odběru vzorků dle ČSN EN 326-1

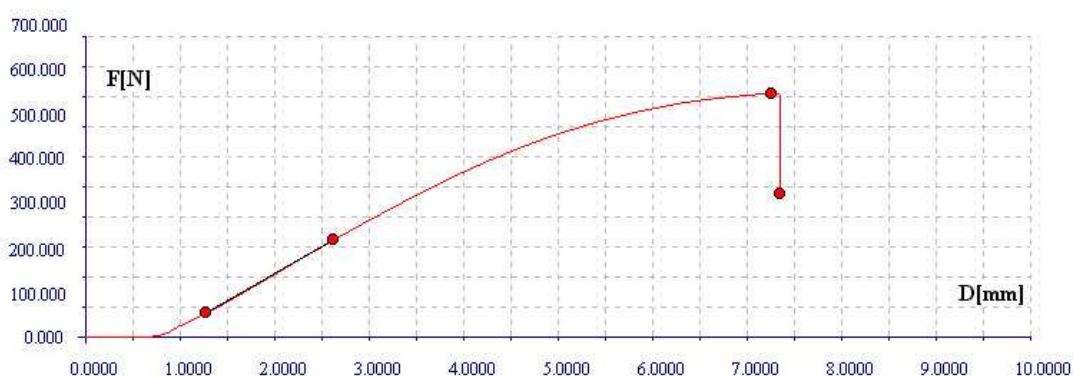


Vzorky pro zjišťování ohybových vlastností jsou značeny  $B_1 - B_{12}$ , písmeno  $a$  označuje oformátovaný bok desky. Pro účely zkušebního měření byly odebrány vzorky pro zjišťování ohybových vlastností z desek o rozměrech  $2\,500 \times 1\,250$  mm ve dvojnásobně vyšším počtu oproti normě. Vzorky pocházející z boku desky byly měřeny při prvním vlhkostním stupni (tj. 15% relativní vzdušné vlhkosti).

**Obrázek 8-2:** Zkušební zařízení pro zjišťování modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu

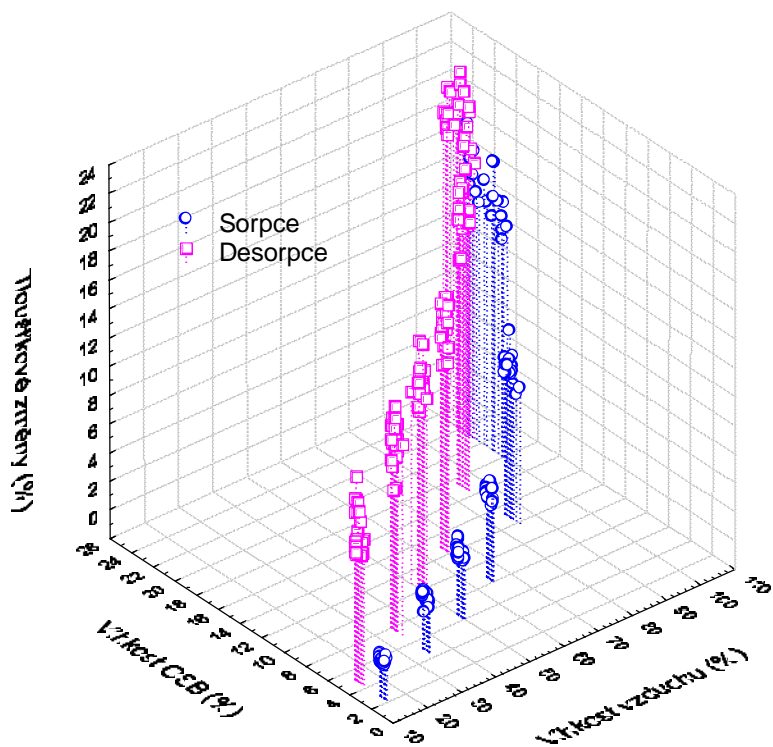


**Obrázek 8-3:** Pracovní diagram – modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu OSB/3 – Superfinish, tloušťka 12 mm, 65 % relativní vzdušné vlhkosti, 20°C

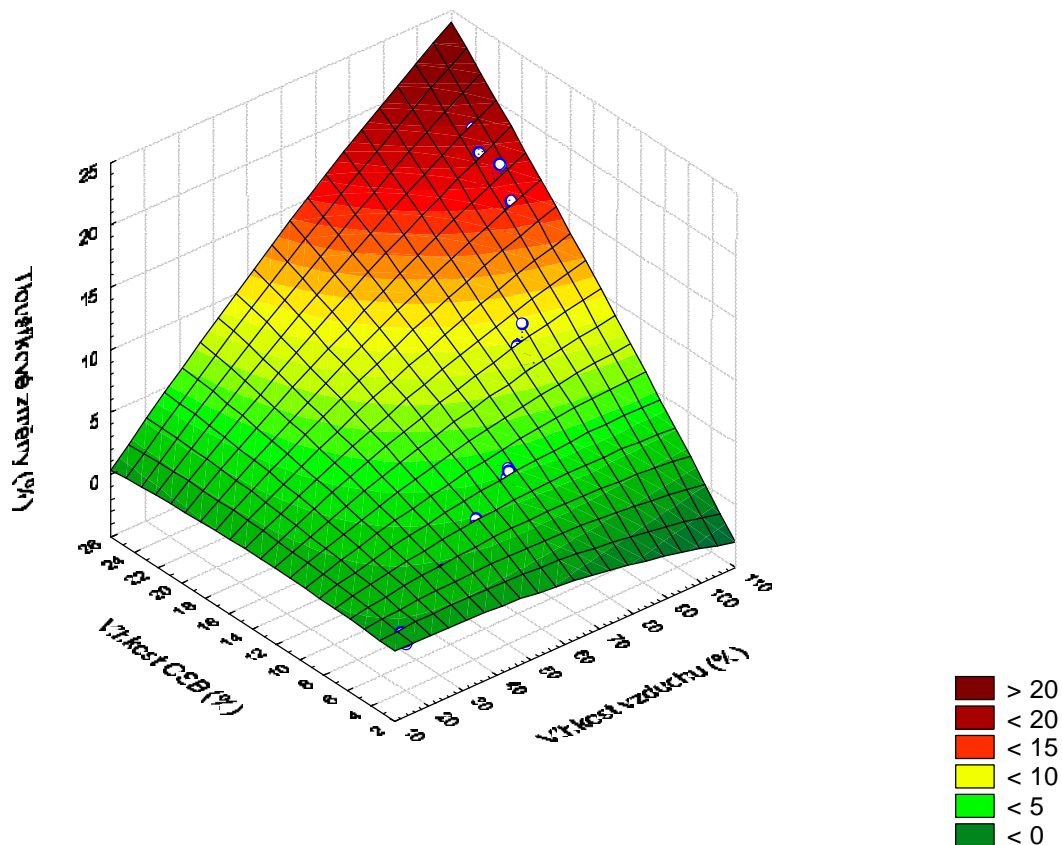


První a druhý bod vymezují lineární část zatěžovací křivky pro výpočet modulu pružnosti v ohybu, třetí bod označuje mez pevnosti.

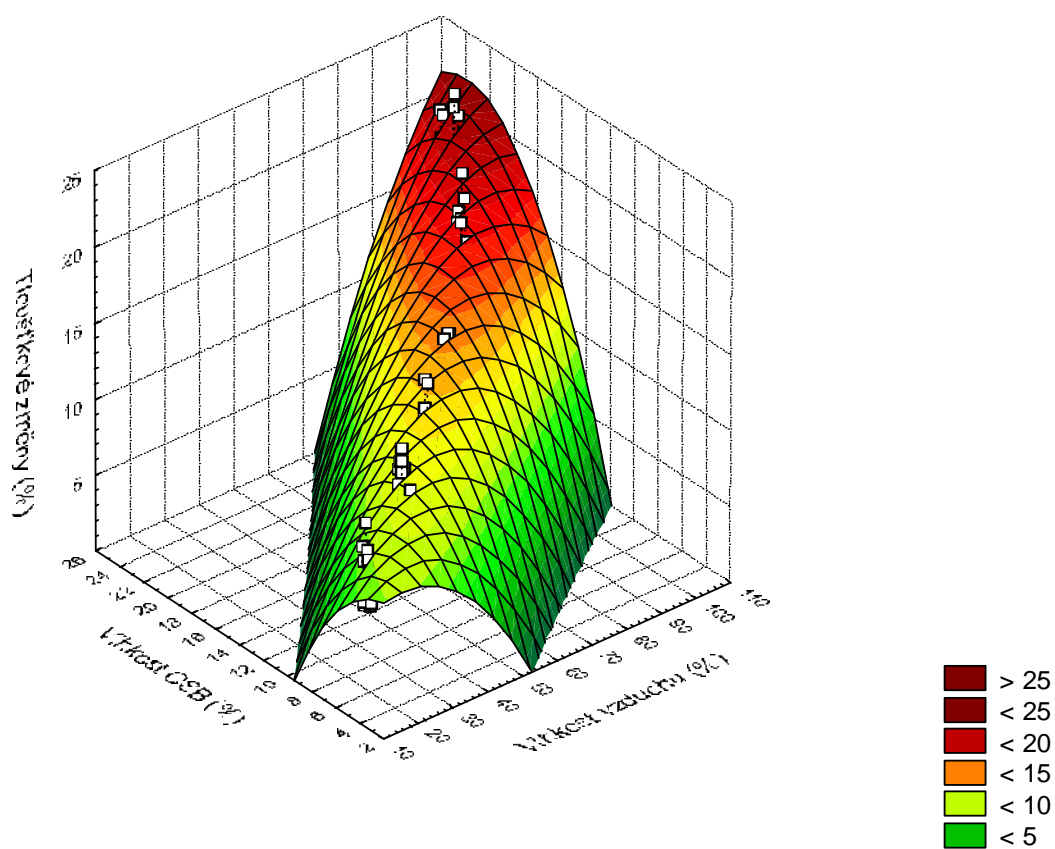
**Obrázek 8-4:** 3D diagram závislosti vlhkosti OSB, vlhkosti vzduchu a tloušťkových změn



**Obrázek 8-5:** 3D diagram závislosti vlhkosti OSB, vlhkosti vzduchu a tloušťkových změn s proložením trendu pro sorpci



**Obrázek 8-6:** 3D diagram závislosti vlhkosti OSB, vlhkosti vzduchu a tloušťkových změn s proložením trendu pro desorpci





## Technický list

Datum vydání : 1.7.2005  
 Strana : 1/3  
 Aktualizace : 29.06.2007



# Desky z orientovaných plochých třísek bez povrchové úpravy – typ OSB 3

## 1. Informace o výrobku

### 1.1. Identifikace výrobku

Jedná se o vícevrstvé desky z plochých třísek stanoveného tvaru a tloušťky. Třísky ve vnějších vrstvách jsou orientovány rovnoběžně s délkou nebo šířkou desky, třísky ve středových vrstvách mohou být orientovány náhodně nebo obecně kolmo na lamely vnějších vrstev. Pojené jsou melamin-formaldehydovou pryskyřicí a PMDI, plošně lisované, buď nebroušené nebo oboustranně broušené. Desky jsou vícevrstvé s nárokem na drsnost povrchu a s nízkými tloušťkovými tolerancemi. Jsou určeny normou ČSN EN 300 jako nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí nebo pro speciální povrchové úpravy.

Vlhké prostředí je prostředí definované jako třída vlhkosti 2 v názvosloví ENV 1995-1-1, vyznačující se vlhkostí materiálu, která odpovídá teplotě 20°C a relativní vlhkosti vzduchu, jež jen několik týdnů v roce překročí 85%.

### 1.2. Identifikace výrobce

**KRONOSPAN OSB, spol.s r.o.**  
 Na hranici 6  
 584 07 Jihlava  
 Česká republika  
 IČO 26 93 63 64

### 1.3. Informace k výrobku

telefon 00420 567 124 204  
 zelená linka 00420 800 112 222  
 fax 00420 567 124 132

## 2. Informace o složení OSB SUPERFINISH – typ OSB/3

(uvedeno v kg/1 m<sup>2</sup> OSB) :

- Dřevní hmota	- 520 - 570 kg atro jehličnaté
- MUF (melamin-formaldehyd pryskyřice)	- 30 - 45 kg (sušina, melamin 18-20%)
- PMDI	- 10 - 15 kg (sušina)
- Parafin	- 2,5 - 3 kg
- Voda	- 30 l

Spotřeba surovin se pohybuje podle jednotlivých tloušťkových tříd desek.

## 3. Informace o vlastnostech

### 3.1. Mechanicko-fyzikální vlastnosti - stanovení podle požadavků ČSN EN 300

- pevnost v tahu kolmo na plochu desky – rozlupčivost
- pevnost v ohybu
- modul pružnosti
- bobtnání po 24 hodinách
- varný test

Firma je zapsána v obchodním rejstříku vedeném Krajským soudem v Brně, oddíl C, vložka 19016. Spisová značka Firm 1110595.



## Technický list

Datum vydání : 1.7.2005  
 Strana : 1/3  
 Aktualizace : 29.06.2007



# Desky z orientovaných plochých třísek bez povrchové úpravy – typ OSB 3

### 3.2. Hygienické požadavky

Směrnice DiBt 100 – „Směrnice o klasifikaci a kontrole desek na bázi dřeva podle úniku formaldehydu,“.

### 3.3. Požární vlastnosti

Podle reakce na oheň je výrobek klasifikován do třídy *D*. Jeho doplňková klasifikace podle tvorby kouře *s2* a podle plamenně hořících částic *d0*. Úprava vyjádření klasifikace je *D-s1,d0* a index šíření plamene 83,8 mm/min.

## 4. Pokyny pro přepravu a skladování

### 4.1. Přeprava

- Železničními vagony, určenými pro tento druh přepravy (uzavřené a zajištěné proti povětrnostním vlivům), zboží je ve vagoněch zajištěno proti poškození pohyblivou přepážkou a kurtováním.
- Kamiony, zboží je chráněno proti povětrnostním vlivům plachtováním a proti poškození při posunu kurtováním.

### 4.2. Skladování

Skladování v suchém a větraném prostoru při optimální vlhkosti vzduchu 40- 65 %. Jednotlivé balíky desek musí být proloženy, spodní balík by měl být uložen minimálně 10 cm nad podlahou.

## 5. Likvidace odpadu vzniklého při zpracování postformingových desek

Vzhledem k obecným povinnostem stanoveným zákonem č.185/2001 Sb., o odpadech je vždy přednostně nutné hledat pro dané odpady, pokud jejich vzniku nebylo možné zabránit, materiálové využití. V tomto směru je možné na tyto druhy odpadu nahlížet jako na odpady, které splňují požadavky stanovené firmou KRONOSPAN CR spol.s r.o. Jihlava pro vstupní suroviny.

Pokud v místě vzniku odpadu neexistují technické nebo ekonomické předpoklady pro splnění povinnosti přednostního materiálového využívání odpadů z OSB, je třeba je využít energeticky v energetických zařízeních k tomuto účelu určených jako palivo.

Firma KRONOSPAN OSB je schopna zajistit zpracování tohoto odpadu při zpětném odběru.

## 6. Související normy

- ČSN EN 300 - Desky z orientovaných plochých třísek (OSB) – Definice, klasifikace a požadavky  
 ČSN EN 310 - Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu  
 ČSN EN 317 - Stanovení bobtnání po uložení ve vodě  
 ČSN EN 319 - Stanovení pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky  
 ČSN EN 322 - Zjišťování vlhkosti



## Technický list

Datum vydání : 1.7.2005  
 Strana : 1/3  
 Aktualizace : 29.06.2007




### Desky z orientovaných plochých třísek bez povrchové úpravy – typ OSB 3

- ČSN EN 323 - Zjišťování hustoty  
 ČSN EN 324-1 - Stanovení rozměrů desek - Část 1: Stanovení tloušťky, šířky a délky  
 ČSN EN 324-2 - Stanovení rozměrů desek – Část 2: Stanovení pravoúhlosti a přímosti boků  
 ČSN EN 120 - Zjišťování obsahu formaldehydu – Extrakční postup zvaný „perforátorová metoda“  
 ČSN EN 311 - Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky po varu

#### 7. Další informace

Ochranné pomůcky podle způsobu zpracování a technického vybavení zpracovatelské firmy ( ochranné brýle, respirátory, rukavice )

#### 8. Označení CE

 <b>1393 – CPD – 0017</b>	
<b>KRONOSPAN OSB spol. r. o., Na hranici 6, 586 01 Jihlava</b> <b>05</b>	
<b>EN 13 986 : 2005</b> <b>EN 300</b> <b>OSB / 3</b>	
<b>Tloušťka / Thickness / Dicke :</b>	<b>8 - 30 mm</b>
<b>Třída formaldehydu / Formaldehyde class :</b>	<b>E1</b>
<b>Reakce na oheň / Reaction to fire :</b>	<b>D-s1, d0</b>

Firma je zapsána v obchodním rejstříku vedeném Krajským soudem v Brně, oddíl C, vložka 19016. Spisová značka Firm 1110595.



## 9 Summary

The dissertation thesis presents the research results from the theme “Evaluating the influence of moisture content on the mechanical and physical properties of OSB”.

The main objective of this study was an analysis of the moisture content (MC), thickness swelling (TS) and its relationships to modulus of elasticity in bending (MOE) and modulus of rupture (MOR) of OSB.

OSB (Oriented Strand Board) is one of the wood particle composites designed as an initial material for other types of wood-based materials that have been widely used in many applications, in particular structural – sheathing, flooring, and I-joist material and non-structural – furniture, wraps etc. Usually a flexural load and fluctuating moisture contents appear in these types of applications.

Previous research reported that after exposure to an elevated relative humidity environment, wood composite panels and OSB also increase in thickness (Halligan, 1970; Wu and Piao, 1999; Gu et al., 2005) and have reduced strength characteristics (Suchsland, 1973; Kelly, 1977; Suchsland, Xu, 1991).

In contrast to solid wood, thickness swelling in composite materials has recoverable and non-recoverable components (Halligan, 1970). The proportion of both components is determined by the panel manufacturing process and humidity level. Usually both types occur concurrently. Recoverable thickness swelling (RTS) is the natural swelling of the wood grains due to hygroscopicity. Non-recoverable thickness swelling (NTS) in OSB is attributed to the release of compressive stresses and differences between high and low density areas in the panel. This causes differential swelling within a composite panel and often evokes stresses so great that the adhesive bonds rupture (Suchsland, Xu, 1991; Wu, Piao, 1999).

The modulus of elasticity in bending is a common stiffness indicator for considering the strength characteristics of construction panels. MOE in bending was widely studied on different types of OSB (e.g. Wu and Suchsland, 1997; Wu, Piao, 1999; Paul et al., 2006).

For this research samples from OSB/3 Superfinish (Czech producer Kronospan) were used. All analyses were performed with EN 310 standard-sized specimens. The specimens were exposed to 15, 35, 50, 65, 85 and 100% relative humidity (RH) and 20°C for absorption and desorption. Analysis results clearly show that MOE decreases with an increase of board moisture content mainly because a large component of TS occurred at a high humidity level. For an MC change from 5 to 22 %, an average MOE loss of 44 % in the parallel direction and



39 % in the perpendicular direction was established. This MOE loss corresponded to a 21% thickness swelling.

Predictive equations expressing the MOE bending and MOR as a function of MC and TS by simulation of real conditions in constructions were determined. The correlation between MOE loss and MC is not as good as the correlation between MOE loss and TS. The MOE loss very reliably indicates the NTS component, but it is not very easy to investigate the proportion of NTS in construction panels.

The exact knowledge of behavior under flexural load at different moisture contents improves the options to design modern materials optimized for diverse types of application and can help to expand their use in construction.