

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných konstrukcí a výrobků



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**ROVNOVÁŽNÁ VLHKOST A TLOUŠŤKOVÉ
BOBTNÁNÍ MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA**

EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT AND THICKNESS
SWELLING OF WOOD-BASED MATERIALS

Autor práce: Bc. Jakub Linek

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

Praha 2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Linek Jakub

Dřevařské inženýrství

Název práce

Rovnovážná vlhkost a tloušťkové bobtnání materiálů na bázi dřeva

Anglický název

Equilibrium moisture content and thickness swelling of wood-based materials

Cíle práce

Cílem práce je zjištění odpovídající rovnovážné vlhkosti materiálů na bázi dřeva při různé vlhkosti prostředí. Dílčím cílem práce je zjištění podílu vratného a nevratného tloušťkového bobtnání v závislosti na typu materiálu a obsahu vlhkosti.

Metodika

1. Vytvoření osnovy a časového harmonogramu zpracování DP
2. Podrobné prostudování uvedené problematiky a metodiky měření podílu vratného a nevratného bobtnání
3. Vypracování literární rešerše
4. Výběr vhodných typů materiálů pro experimentální měření takovým způsobem, aby bylo možné porovnání vlivu konstrukce, hustoty a použitého lepidla
5. Provedení zkušebních měření dle časového harmonogramu
7. Vyhodnocení zjištěných výsledků
8. Dokončení a odevzdání práce v tištěné i elektronické podobě (součástí diplomové práce je abstrakt a klíčová slova v českém a světovém jazyce – angličtině).

Harmonogram zpracování

- 2/2012 - zadání diplomové práce
- 3/2012 - 6/2012 - zpracování literární rešerše
- 10/2012 - 3/2013 - provedení zkušebních měření
- 1/2013 - 3/2013 - vyhodnocování naměřených dat a průběžné zpracovávání výsledků
- 3/2013 - odevzdání práce ke kontrole vedoucímu
- 4/2013 - odevzdání práce v tištěné i elektronické podobě

Rozsah textové části

textová část 40-60 stran, přílohy 5-15 stran

Klíčová slova

rovnovážná vlhkost, tloušťkové bobtnání, materiály na bázi dřeva

Doporučené zdroje informací

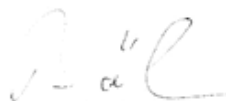
1. Doležal, J. (1973): Matematickostatistické metody v dřevařském průmyslu. Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, Praha, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Středisko interních publikací.
2. Hrázský, J., Král, P. (2000): Technologie výroby aglomerovaných materiálů. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.
3. 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.
4. Kollmann, F., Kuenzi, E.W., Stamm, A. J. (1975): Principles of wood science and technology. Wood based materials. Springer, Berlin.
5. Sedliačik, M., Sedliačik, J. (1998): Chemické látky v dřevařskom priemysle. Technická univerzita, Zvolen.
6. Suchsland, O. (1973): Hygroscopic thickness swelling and related properties of selected commercial particleboards. Forest Products Journal. 23 (7): 26-30.
7. Zylkowski, S. (2002) Introduction to wood as an engineering material in Wood Handbook, APA – The Engineered Wood Association. McGraw-Hill Companies, Inc., USA.
8. Příslušné normy ČSN EN.

Vedoucí práce

Böhm Martin, doc. Ing., Ph.D.

Termín odevzdání

duben 2013



doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.
Vedoucí katedry



prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.
Děkan fakulty

V Praze dne 25.3.2013

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Rovnovážná vlhkost a tloušťkové bobtnání materiálů na bázi dřeva“ vypracoval samostatně a použil jsem jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Praze dne 20. 4. 2013

.....
Jakub Linek

Poděkování

Touto cestou bych velice rád poděkoval doc. Ing. Martinu Böhmovi, Ph.D. za jeho ochotnou pomoc a rady při zpracovávání této diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat rodičům a všem blízkým za podporu v době studia.

Abstrakt

Tato diplomová práce zpracovává problematiku stavu rovnovážné vlhkosti materiálů na bázi dřeva v prostředí s měnící se relativní vlhkostí vzduchu, související tloušťkové bobtnání a nevratné tloušťkové bobtnání. K provedení experimentálních měření byly vybrány dva typy MDF desek, DTD, OSB a GSB desky a dva typy překližek. Materiály byly zvoleny s ohledem na pokrytí spektra v technické praxi běžně používaných deskových materiálů na bázi dřeva. V teoretické části je uveden přehled materiálů na bázi dřeva, stručně popsán způsob výroby vybraných materiálů a proveden rozbor faktorů ovlivňujících stav rovnovážné vlhkosti a tloušťkové bobtnání. Výzkumná část práce obsahuje zjištěné výsledky zpracované ve formě tabulek a rovnice závislostí sledovaných veličin. Z naměřených hodnot byly vytvořeny grafy přehledně zobrazující průběh sledovaných veličin.

Klíčová slova: materiály na bázi dřeva, relativní vlhkost vzduchu, obsah vlhkosti, tloušťkové bobtnání, nevratné tloušťkové bobtnání, MDF desky, DTD desky, OSB desky, GSB desky, překližky

Abstract

This thesis deals with the equilibrium moisture content of wood-based materials in an environment with changing relative humidity; associated thickness swelling and irreversible thickness swelling. Experimental measurements have been performed on two types of MDF, particle board, GSB, OSB and two types of plywood. The materials have been chosen to cover the spectrum of wood-based board materials commonly used in technical practice. The theoretical part provides an overview of wood-based materials briefly describes the method of production of selected materials and analyzes factors affecting the state of equilibrium moisture content and thickness swelling. The research part contains obtained results presented in form of tables and equation of dependence of monitored variables. On measured values are based a graphs that clearly shows progress of the monitored variables.

Keywords: wood-based materials, moisture content, relative air humidity, thickness swelling, irreversible thickness swelling, MDF, particle boards, OSB, GSB, plywood

SEZNAM OBRÁZKŮ	0
SEZNAM GRAFŮ	1
SEZNAM TABULEK	2
1. ÚVOD	1
2. CÍL PRÁCE	2
3. TEORETICKÁ ČÁST	2
3.1 CHARAKTERISTIKA VELKOPLOŠNÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA	2
3.2 ROZDĚLENÍ VELKOPLOŠNÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA.....	4
3.3 PŘEDNOSTI VELKOPLOŠNÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA	4
3.4 NEDOSTATKY VELKOPLOŠNÝCH MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA	5
3.5 VLHKOST DŘEVA A MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA	5
3.6 NAVLHAVOST DŘEVA A MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA	5
3.6.1 <i>Stav vlhkostní rovnováhy</i>	5
3.7 BOBTNÁNÍ DŘEVA A MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA	7
3.8 NEVRATNÉ BOBTNÁNÍ MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA	7
3.9 TERMÍNY SOUVISEJÍCÍ S VLHKOSTÍ	7
3.10 CHEMICKÉ LÁTKY POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA.....	8
3.10.1 <i>Lepidla</i>	8
3.10.2 <i>Hydrofobizační prostředky</i>	9
3.10.3 <i>Biocidní prostředky</i>	9
3.10.4 <i>Retardéry hoření</i>	10
3.11 PŘEKLIŽKY.....	10
3.11.1 <i>Klasifikace překližek</i>	10
3.11.2 <i>Použití překližek</i>	11
3.11.3 <i>Historie výroby překližek</i>	12
3.11.4 <i>Obecný způsob výroby překližovaných desek</i>	13
3.11.5 <i>Faktory ovlivňující sorpční vlastnosti a bobtnání překližek</i>	18
3.11.6 <i>Úprava překližek k omezení vlivu vlhkosti</i>	21
3.12 MDF.....	22

3.12.1	<i>Použití MDF desek</i>	22
3.12.2	<i>Historie MDF desek</i>	22
3.12.3	<i>Obecný způsob výroby MDF desek</i>	23
3.12.4	<i>Faktory ovlivňující sorpční vlastnosti a bobtnání MDF desek</i>	26
3.13	DTD, GSB A OSB DESKY.....	29
3.13.1	<i>Použití dřevotřískový desek</i>	29
3.13.2	<i>Použití OSB desek</i>	29
3.13.3	<i>Použití GSB</i>	30
3.14	ROZDĚLENÍ TŘÍSKOVÝCH DESEK PODLE ČSN EN 309 – 2005	30
3.14.1	<i>Historie dřevotřískových desek</i>	31
3.14.2	<i>Historie OSB desek</i>	33
3.14.3	<i>Historie mikroštěpkových desek</i>	33
3.14.4	<i>Obecný způsob výroby dřevotřískových, OSB a GSB desek</i>	33
3.14.5	<i>Faktory ovlivňující sorpční vlastnosti dřevotřískových, OSB a GSB desek</i>	38
3.14.6	<i>Úprava třískových desek proti působení vlhkosti</i>	40
4.	MATERIÁL A METODIKA	41
4.1	MATERIÁL.....	41
4.2	STANOVENÍ POČTU ZKUŠEBNÍCH TĚLES	44
4.3	ROZMĚRY A ODBĚR ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	45
4.4	METODIKA.....	45
4.4.1	<i>Klimatizační zařízení a klimatizace těles</i>	45
4.4.2	<i>Použitá měřidla</i>	45
4.4.3	<i>Zjišťování obsahu vlhkosti (ČSN EN 322)</i>	46
4.4.4	<i>Zjišťování hustoty (ČSN EN 323)</i>	46
4.4.5	<i>Tloušťkové bobtnání (ČSN EN 318)</i>	47
4.4.6	<i>Formální stránka práce</i>	47
5.	VÝSLEDKY A DISKUZE	48
5.1	VLHKOST	48
5.1.1	<i>MDF desky</i>	48

5.1.2	<i>DTD, OSB, GSB desky</i>	49
5.1.3	<i>Překližka</i>	49
5.2	HUSTOTA	53
5.2.1	<i>MDF desky</i>	53
5.2.2	<i>DTD, OSB, GSB desky</i>	54
5.2.3	<i>Překližka</i>	54
5.3	TLOUŠŤKOVÉ BOBTNÁNÍ	56
5.3.1	<i>MDF desky</i>	56
5.3.2	<i>DTD, OSB, GSB desky</i>	56
5.3.3	<i>Překližka</i>	57
5.4	NEVRATNÉ TLOUŠŤKOVÉ BOBTNÁNÍ	59
5.4.1	<i>MDF desky</i>	59
5.4.2	<i>DTD, OSB, GSB desky</i>	60
5.4.3	<i>Překližka</i>	61
6.	ZÁVĚR	63
	SEZNAM LITERATURY	65
	SEZNAM PŘÍLOH	69
	PŘÍLOHY	I

Seznam obrázků

Obr. 3-1: Dřevní elementy používané pro výrobu materiálů na bázi dřeva.....	3
Obr. 3-2: Rozdělení velkoplošných materiálů na bázi dřeva.....	4
Obr. 3-3: Frézovací odkorňovač	14
Obr. 3-4: Schéma loupačky.....	15
Obr. 3-5: Linka na výrobu dých se sušením souvislého dýhového pásu	16
Obr. 3-6: Válcová nanášedka lepidla	17
Obr. 3-7: Mechanizovaná linka na skládání souborů.....	17
Obr. 3-8: Víceetážový lis se třiceti etážemi	18
Obr. 3-9: Schéma diskové sekačky štěpek vlevo a bubnové sekačky štěpek vpravo	24
Obr. 3-10: Schéma pračky štěpek firmy Sunds Defibrator	24
Obr. 3-11: Rozvlákňovač firmy Sunds Defibrator	25
Obr. 3-12: Schéma kyvadlové vrstvičky systému Felter	25
Obr. 3-13: Odkorňovač Fuji Kogyo na kulatinu menších průměrů, odkorňovač Valon Kone	34
Obr. 3-14: Prstencový roztřískovač Klöckner.....	35
Obr. 3-15: Schéma bubnové sušárny	35
Obr. 3-16: Diskový třídič Klockner	36
Obr. 3-17: Schéma bubnové nanášedky typu Dreis	36
Obr. 3-18: Vrstvicí zařízení s mechanickou a pneumatickou gradací třísek.....	37
Obr. 3-19: Princip mechanické orientace třísek.....	37
Obr. 3-20: Kontinuální lis KontiRoll	38
Obr. 5-1: Napadení plísní v šestém vlhkostním stupni	53

Seznam grafů

Graf 3-1: Rovnovážná vlhkost bukové překližky	19
Graf 3-2: Sorpční izotermy neošetřeného a tepelně ošetřeného dřeva borovice	20
Graf 3-3: Tloušťkové bobtnání rostlého dřeva, dýhy a 6 a 16 mm překližek z okoumé	20
Graf 3-4: Vliv impregnace dýh syntetickou pryskyřicí na velikost bobtnání	21
Graf 3-5: Vliv podílu lepidla na stav rovnovážné vlhkosti MDF	27
Graf 3-6: Vliv 2% příměsi parafinu na sušinu vlákna na stav rovnovážné vlhkosti MDF	27
Graf 3-7: Vliv PH a obsahu síranu hlinitého na rovnovážnou vlhkost a bobtnání MDF	28
Graf 3-8: Vliv termického tvrzení na navlhavost DVD	28
Graf 3-9: Vliv množství a velikosti kapek lepidla na tloušťkové bobtnání DTD	38
Graf 3-10: Vliv dřeviny na tloušťkové bobtnání DTD	39
Graf 3-11: Vliv průměrné hustoty desek na velikost tloušťkového bobtnání	39
Graf 3-12: Vliv tloušťky třísek na nevratné bobtnání DTD	40
Graf 5-1: Porovnání sorpčních křivek sledovaných materiálů	51
Graf 5-2: Rovnovážná vlhkost materiálů v prostředí o relativní vlhkosti vzduchu 65 %	52
Graf 5-3: Změny hustoty v závislosti na změně vlhkosti vzduchu	55
Graf: 5-4: Tloušťkové bobtnání v závislosti na vlhkosti materiálu	58
Graf 5-5: Nevratné tloušťkové bobtnání v závislosti na vlhkosti materiálu	62

Seznam tabulek

Tab. 3-1: Porovnání rovnovážných vlhkostí materiálů na bázi dřeva.....	6
Tab. 3-2: Optimální teplota podle dřevin.....	14
Tab. 4-1: Základní údaje MDF 1	41
Tab. 4-2: Základní údaje MDF 2	41
Tab. 4-3: Základní údaje DTD	42
Tab. 4-4: Základní údaje GSB P5	43
Tab. 4-5: Základní údaje překližka foliovaná	43
Tab. 4-6: Základní údaje překližka	44
Tab. 5-1: Obsah vlhkosti MDF 1	48
Tab. 5-2: Obsah vlhkosti MDF 2	48
Tab. 5-3: Obsah vlhkosti DTD.....	49
Tab. 5-4: Obsah vlhkosti OSB 3	49
Tab. 5-5: Obsah vlhkosti GSB	49
Tab. 5-6: Obsah vlhkosti překližka stavební fol.	49
Tab. 5-7: Obsah vlhkosti překližka truhlářská	50
Tab. 5-8: Hustota MDF 1	53
Tab. 5-9: Hustota MDF 2	53
Tab. 5-10: Hustota DTD	54
Tab. 5-11: Hustota OSB 3	54
Tab. 5-12: Hustota GSB.....	54
Tab. 5-13: Hustota PDP foliovaná	54
Tab. 5-14: Hustota PDP truhlářská	55
Tab. 5-15: Tloušťkové bobtnání MDF 1	56
Tab. 5-16: Tloušťkové bobtnání MDF 2.....	56

Tab. 5-17: Tloušťkové bobtnání DTD	56
Tab. 5-18: Tloušťkové bobtnání OSB 3	56
Tab. 5-19: Tloušťkové bobtnání GSB	57
Tab. 5-20: Tloušťkové bobtnání PDP foliovaná	57
Tab. 5-21: Tloušťkové bobtnání PDP truhlářská	57
Tab. 5-22: Tloušťkové bobtnání po klimatizaci z 65 % na 85 % relativní vlhkosti vzduchu...	59
Tab. 5-23: Nevratné tloušťkové bobtnání MDF 1	59
Tab. 5-24: Nevratné tloušťkové bobtnání MDF 2	60
Tab. 5-25: Nevratné tloušťkové bobtnání DTD	60
Tab. 5-26: Nevratné tloušťkové bobtnání OSB 3	60
Tab. 5-27: Nevratné tloušťkové bobtnání GSB	60
Tab. 5-28: Nevratné tloušťkové bobtnání PDP fol.	61
Tab. 5-29: Nevratné tloušťkové bobtnání PDP truh	61

1. Úvod

Dřevo patří k materiálům, které lidstvo provází už od počátku jeho existence. Jedná se o první materiál, který se lidstvo naučilo opracovávat a vyrábět z něho nejdůležitější předměty denní potřeby. Při opracování dřeva si člověk tříbil nejen manuální, ale především duševní schopnosti, vynalézal nové nástroje a zpracovatelské postupy, které mu usnadnili život a postupně vyústili až v dnešní úroveň pokroku.

Nyní ve 21. století, kdy máme k dispozici nepřehlednou paletu technických materiálů z kovů a plastů, se ke dřevu opět ve zvýšené míře navracíme jako k surovině obnovitelné a využitelné v souladu se zásadami trvale udržitelného rozvoje.

Dřevo se vyznačuje velmi širokým spektrem použití prakticky ve všech oblastech lidských činností: dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, odolností proti chemikáliím, snadnou opracovatelností a výborným poměrem mechanických vlastností vůči váze. Avšak dřevo v přírodním stavu má i několik nevýhod: rozdílnou pevnost v podélném a příčném směru, růstové vady a rozměrovou nestálost v prostředí s měnící se vlhkostí.

Mnohé z těchto nežádoucích vlastností překonávají velkoplošné materiály na bázi dřeva při současném zachování většiny kladných vlastností přírodního dřeva. Velmi prudký rozvoj v průběhu posledních čtyřiceti let je zapříčiněn především potřebou homogenních materiálů pro průmyslovou výrobu a výstavbu. [Hrázský a Král, 2007]

Při použití materiálů na bázi dřeva je třeba respektovat jejich základní vlastnosti, především to, že vysoká vzdušná vlhkost má výrazný vliv na jejich mechanické vlastnosti (snižování 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 konstrukce. [Böhm, 2008]

2. Cíl práce

Aglomerované materiály nacházejí stále širší uplatnění při konstrukci staveb jako konstrukční materiál, i jako materiál na výrobu nábytku a zařízení. Vzhledem k jejich uplatnění v rámci celé stavby mohou být před zabudováním, nebo po dobu použití, vystaveny měnícím se vlhkostním podmínkám. Dlouhodobá expozice v prostředí s vysokou relativní vlhkostí vzduchu způsobuje u dřeva a materiálů na bázi dřeva tloušťkové bobtnání. Expozice v prostředí s měnící se vlhkostí způsobuje u materiálů na bázi dřeva nevratné tloušťkové bobtnání, které je příčinou trvalého snížení pevnostních charakteristik a snížení odolnosti proti biotickým činitelům.

Cílem této práce je porovnat soubor vybraných materiálů na bázi dřeva (MDF desky, dřevotřískové desky, GSB desky, OSB desky a překližky) vystavených prostředí s měnící se relativní vlhkostí vzduchu od 15 % do 100 %, v šesti vlhkostních stupních.

Díličními cíli pak je:

- sestrojení sorpčních křivek těchto materiálů
- vypracování tabulek rovnovážných vlhkostí materiálů odpovídajících vlhkosti prostředí v každém vlhkostním stupni
- porovnání velikosti tloušťkového bobtnání a podílu nevratného tloušťkového bobtnání pro každý vlhkostní stupeň.

3. Teoretická část

3.1 Charakteristika velkoplošných materiálů na bázi dřeva

Velkoplošné materiály na bázi dřeva rozdělujeme na překližované materiály, mezi které řadíme překližky, laťovky a bidesky a aglomerované materiály, které zahrnují dřevotřískové, dřevovláknité a OSB desky. Další používané označení pro tuto skupinu materiálů je kompozitní materiály na bázi dřeva, to značí skutečnost, že výsledný panel je složený z několika základních komponentů, primárně z dřevních elementů získaných mechanickým dělením rostlého dřeva a pojiva. [Stark a kol., 2010]

Obr. 3-1: Dřevní elementy používané pro výrobu materiálů na bázi dřeva



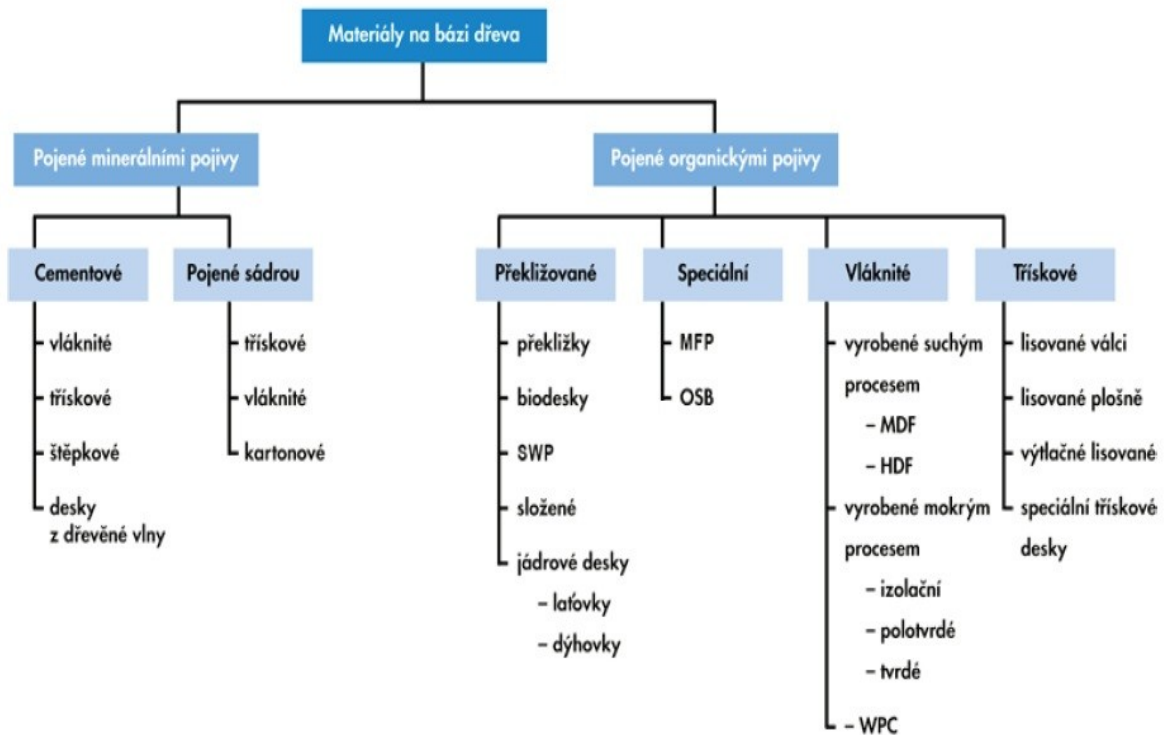
Zleva shora: dýhy, velké ploché třísky pro výrobu OSB, bílá (papírenská) štěpka, štěpka pro výrobu třísek a vláken, třísky, vlákna

[Böhm, a kol., 2012]

Protože dřevo je materiál tvořený z vláken, který sesychá a bobtná především ve směru kolmém na vlákna, lze rozměrové změny materiálů na bázi dřeva minimalizovat vhodným konstrukčním řešením, například tzv. křížovým lepením (lepením materiálu tak, že směry vláken jednotlivých vrstev jsou na sebe kolmé). Při výrobě materiálů na bázi dřeva se dřevo nejdříve dezintegruje na části určité velikosti a tvaru a tyto drobné části se následně spojují do jednoho celku s uspořádáním podle požadavků na konečný produkt. Tímto výrobním postupem lze dosáhnout nižší lineární vlhkostní roztažnosti. [Böhm, 2008]

3.2 Rozdělení velkoplošných materiálů na bázi dřeva

Obr. 3-2: Rozdělení velkoplošných materiálů na bázi dřeva v závislosti na druhu použitého pojiva a podle způsobu konstrukce.



Použité zkratky: MFP – multifunkční panely, OSB – desky z orientovaných plochých třísek, MDF – měkké dřevovláknité desky, HDF – tvrdé dřevovláknité desky, WPC – dřevoplastové kompozity.

[Böhm a kol., 2012]

3.3 Přednosti velkoplošných materiálů na bázi dřeva

- velkoplošnost
- izotropnost a homogenní struktura bez přírodních vad
- široký sortiment (hustota, tloušťka, pevnost, speciální povrchové úpravy)
- příznivé mechanické vlastnosti vzhledem ke své hustotě
- nízká tepelná vodivost
- dobré akustické vlastnosti
- možnost lepení a spojování klasickými spojovacími prostředky
- vhodnost pro různé povrchové úpravy

- nízké nároky na kvalitu vstupní suroviny [Hrázský a Král, 2007]

3.4 Nedostatky velkoplošných materiálů na bázi dřeva

- nižší atraktivita v porovnání s masivním dřevem
- diskutované emise škodlivých látek
- u některých typů menší odolnost proti povětrnostním vlivům
- vyšší hustota [Hrázský a Král, 2007]

3.5 Vlhkost dřeva a materiálů na bázi dřeva

U dřeva a materiálů na bázi dřeva rozumíme vlhkostí přítomnost vody obsažené v jejich struktuře. Vyjadřuje se podílem hmotnosti vody vůči hmotnosti materiálu v absolutně suchém stavu – absolutní vlhkost. Používá se pro charakteristiku fyzikálních a mechanických vlastností dřeva a materiálů na bázi dřeva. [Gandelová a kol., 2002]

3.6 Navlhavost dřeva a materiálů na bázi dřeva

Navlhavost dřeva a materiálů na bázi dřeva je schopnost těchto materiálů pohlcovat (sorbovat) vodu z okolního vzduchu ve formě vodní páry a to v závislosti na vlhkosti materiálu, teplotě a relativní vlhkosti okolního vzduchu. [Matovič, 1993]

3.6.1 Stav vlhkostní rovnováhy

Stav, kdy vlhkost dřeva odpovídá teplotě a vlhkosti okolního vzduchu. Experimentálně zjištěný stav mezi vlhkostí dřeva a vlhkostí a teplotou vzduchu. Uvedeného vztahu lze využít při klimatizaci a sušení dřeva. Chceme-li klimatizovat dřevo na určitou vlhkost, je možné si dle grafu určit vnější podmínky (teplotu, relativní vlhkost vzduchu) pro vlhkost při stavu vlhkostní rovnováhy (W_{SVR}) ze vztahu:

$$W_{SVR} = f(t, \varphi) [\%]$$

kde: (t) – teplota

(φ) – relativní vlhkost vzduchu

Zjištěné podmínky je třeba zajistit v klimatizační místnosti. Přesnější je však použít speciálních klimatizačních skříní, boxů a komor. Dřevo bude sorbovat vodní páru pouze

tehdy, když je vlhkost dřeva nižší než vlhkost při stavu vlhkostní rovnováhy ($w < w_{SVR}$).

V opačném případě ($w > w_{SVR}$) dřevo ztrácí vodu a ta se odpařuje do okolního ovzduší.

Rozdíly sorpčních schopností přírodního dřeva různých dřevin jsou relativně malé oproti rozdílům v sorpčních vlastnostech materiálů na bázi dřeva, které jsou vyšší. U desek na bázi dřeva je rovnovážná vlhkost zpravidla nižší než u dřeviny, z které byly desky vyrobeny. Toto je ovlivněno stlačením při lisování, ohřevem materiálu, druhem a množstvím lepidla, množstvím hydrofobních látek, případně dalšími chemickými látkami nebo speciální úpravou desek. [Matovič, 1993]

Na nižší stav rovnovážné vlhkosti materiálů na bázi dřeva oproti dřevině, z níž byl materiál vyroben, má rozhodující vliv působení tepla při lisovacím procesu. Při teplotách nad 200 °C dochází k rozpadu hemicelulóz, při 240 °C následuje celulóza a v 280 °C lignin. Nižší sorpce vlhkosti u tepelně ošetřeného dřeva je zapříčiněna snížením počtu volných hydroxylových skupin hemicelulóz. Při sorpci vlhkosti hydroxylové skupiny hemicelulóz, celulózy a ligninu vážou molekuly vody, to zapříčiňuje bobtnání 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 a tak dochází ke snížení počtu sorpčních míst pro vodu. [Engelund a kol., 2010]

Následující tabulka nabízí srovnání rovnovážných vlhkostí několika v USA komerčně vyráběných deskových materiálů.

Tab. 3-1: Porovnání rovnovážných vlhkostí materiálů na bázi dřeva

Rovnovážná vlhkost [%]					
Vlhkost vzduchu	Masivní dřevo	Překližka	DTD	OSB	MDF
10	2,5	2,3	1,9	0,8	2,3
20	4,5	3,7	3,1	1,1	3,6
30	6,2	4,8	4,1	2,0	4,7
40	7,7	5,9	5,2	3,6	5,9
50	9,2	7,2	6,3	5,2	7,4
60	11,0	8,7	7,7	6,3	9,3
70	13,1	10,8	9,8	8,9	12,0
80	16,0	13,7	12,2	13,1	16,6
90	20,5	18,5	16,5	17,2	neuveдено

[Carll a Wiedenhoft, 2009]

3.7 Bobtnání dřeva a materiálů na bázi dřeva

Bobtnání dřeva je způsobeno zvyšováním obsahu vody vázané. Je vysvětlováno ukládáním vody mezi mikrofibrily v buněčných stěnách. Vnikání molekul vody mikrofibrily odtlačuje od sebe a dochází ke zvětšování jednotlivých elementů dřeva, i dřeva jako celku. K bobtnání dochází pouze v intervalu příjmu vody do meze hygroskopicity, dalším zvyšováním vlhkosti již k bobtnání nedochází. [Glass a Zelinka, 2010; Matovič, 1993]

3.8 Nevratné bobtnání materiálů na bázi dřeva

Celkové bobtnání materiálů na bázi dřeva se skládá ze dvou složek: z vratného bobtnání a nevratného bobtnání. Při opětovném vysušení po nabobtnání nedochází u materiálů na bázi dřeva k návratu do původního rozměru. Nevratné bobtnání je zapříčiněno uvolněním energie nahromaděné v profilu desky během lisování. Vlivem teploty a tlaku dochází při procesu lisování k takzvanému „semipermanentnímu“ ustálení tlakového stresu. Vznik tohoto stresu je zapříčiněn vlhkostním spádem mezi jádrovou zónou a povrchovými vrstvami desek při lisování, vzniku vnitřních pnutí uvnitř dřevních komponent vlivem rozdílného smršťování buněčných stěn a buněčných dutin a rozdílnou rychlostí transportu vlhkosti podél a napříč vláken. Tento nahromaděný stres se při příjmu vlhkosti do struktury materiálu uvolňuje s následkem expanze ve směru tloušťky desky. Následné vysušení materiálu zapříčiní pouze seschnutí v rozsahu sesychání dřevních částic, bobtnání vzniklé odpružením zůstává i po vysušení. [Kelly, 1977]

3.9 Termíny související s vlhkostí

- **Absolutní vlhkost dřeva**

Absolutní vlhkostí dřeva se rozumí množství vody ve dřevě, vyjádřené v procentech z hmotnosti absolutně suchého dřeva. Používá se pro charakteristiku fyzikálních a mechanických vlastností. [Matovič, 1993]

$$W_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

w_{abs} – absolutní vlhkost [%],

m_w – hmotnost dřeva vlhkého [kg, g],

m_0 – hmotnost dřeva absolutně suchého [kg, g],

- **Relativní vlhkost dřeva**

Relativní vlhkostí dřeva se rozumí množství vody ve dřevě, vyjádřené v procentech z hmotnosti dřeva vlhkého. Využívá se tam, kde je nezbytné znát procentuální zastoupení vody z celkové hmotnosti sortimentu (např. při prodeji nebo nákupu dřeva podle jeho hmotnosti v absolutně suchém stavu). [Matovič, 1993]

$$W_{rel} = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100 \text{ [%]}$$

W_{rel} – relativní vlhkost [%]

m_w – hmotnost dřeva vlhkého [kg, g]

m_0 – hmotnost dřeva absolutně suchého [kg, g]

- **Suché prostředí:**

Podmínky odpovídající třídě vlhkosti 1 podle ENV 1995-1-1, charakterizované obsahem vlhkosti v konstrukčních materiálech, který odpovídá teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu překračující 65 % nejvýše několik týdnů v roce. U většiny jehličnatých druhů dřeva není překročena průměrná rovnovážná vlhkost 12 %.

- **Vlhké prostředí**

Podmínky odpovídající třídě vlhkosti 2 podle ENV 1995-1-1, charakterizované obsahem vlhkosti v konstrukčních materiálech, který odpovídá teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu překračující 85 % nejvýše několik týdnů v roce. U většiny jehličnatých druhů dřeva není překročena průměrná rovnovážná vlhkost 20 %.

- **Venkovní prostředí**

Podmínky odpovídající třídě vlhkosti 3 podle ENV 1995-1-1, charakterizované klimatickými podmínkami vedoucími k vyššímu obsahu vlhkosti než u třídy vlhkosti 2.

3.10 Chemické látky používané při výrobě materiálů na bázi dřeva

3.10.1 Lepidla

„Druhou nejdůležitější surovinou při výrobě materiálů na bázi dřeva jsou syntetická lepidla (pryskyřice) termoreaktivního typu a to lepidla močovino-formaldehydová (UF), melamin-močovino-formaldehydová (MUF), fenol-formaldehydová (PF), melamin-formaldehydová (MEF), isokianátová (MDI), taninová, cement a sádra.“ [Hrázský a

Král, 2007]

V současnosti se nejčastěji používá melamin-močovino-formaldehydové (MUF) lepidlo. Jeho předností je dobrá odolnost proti působení vlhkosti. Vlastnosti lepidla je možno měnit změnou poměru melaminu vůči močovině podle prostředí, ve kterém mají být desky používány. Melamin zvyšuje cenu lepidla, proto se přidává pouze v takovém množství, které stačí k zajištění požadovaných vlastností desek. [Awang, 2003]

Druh použitého lepidla závisí na účelu použití daného druhu materiálu. Desky pro vnitřní použití (suché prostředí) budou pojeny UF lepidly, desky vystavené delším expozicím vlhkosti budou vyráběny s použitím PF či MUF lepidel. V poslední době se pro výrobu aglomerovaných materiálů prosazují diizokianátová lepidla, která i při menší spotřebě díky vazbě na hydroxylovou skupinu zabezpečují dostatečnou pevnost a odolnost desek vůči vlhkosti. [Hrázský a Král, 2007]

3.10.2 Hydrofobizační prostředky

Hydrofobizační prostředky se používají z důvodu omezení negativních následků působení vlhkosti – bobtnání a s ním spojeným poklesem mechanických vlastností a zhoršení kvality povrchu desek. [Hrázský a Král, 2007]

Nejpoužívanějším prostředkem jsou látky na bázi parafinu. V minulosti byly ověřovány i jiné prostředky jako silikony atd., ale tyto vykazovaly menší účinnost. Parafín se aplikuje na dřevní částice v množství 0,5 až 2,5 % na sušinu dřevních částic jako rozehrátý nebo ve formě parafínové emulze. [Štefka, 2006]

3.10.3 Biocidní prostředky

Lepidla běžně používaná při výrobě materiálů na bázi dřeva nemají biocidní účinek, proto je třeba při výrobě materiálů určených do podmínek zvýšené relativní vlhkosti, nebo jiných speciálních podmínek, např. transport do tropických zemí, přidávat speciální látky proti biologickým činitelům (plísně, dřevokazné houby, dřevokazný hmyz). [Hrázský a Král, 2007]

Používají se například heterocykly (TCMTB, fluoridy, bis-tributylcínový), pentachlorfenolát měďnatý, pentachlorfenolát sodný, fluorid sodný, fluorokřemičitan draselný nebo sodný, kyselina boritá, fluorid vápenatý, směsi solí mědi, chrómu, boru a zinku. V minulosti se používal pentachlorfenol (PCB) v množství 0,4 až 2 % ve směsi s lepidlem. [Štefka, 2006]

3.10.4 Retardéry hoření

Použití materiálů na bázi dřeva ve stavebnictví, dopravě a strojírenství, vyžaduje zvýšení odolnosti proti ohni. Toho je možno dosáhnout následujícími způsoby:

- Zmenšení obsahu dřevěných částic v deskách oproti obsahu jiného nehořlavého materiálu. Jedná se například o desky pojené minerálními pojivky.
- Výroba desek s obsahem pevných nehořlavých částic, například skelného vlákna, apod. Pevné látky jsou situovány těsně pod povrchem desek, kde tvoří ochrannou vrstvu proti prostupu ohně.
- Impregnace dřevních částic nebo hotových desek. Impregnace třísek je nejvíce používaný způsob ochrany proti ohni při výrobě dřevotřískových desek. Používá se například hydrofosforečnan dvojamonný v kombinaci s jinými amonnými solemi, fosfát močoviny, soli bromitých prvků, roztok dikyandiamidu s příměsí borátů, fosfátů a síranu amonného.
- Ohnivzdorné nátěry. Používají se stejné látky jako pro impregnaci třísek, avšak přizpůsobené nátěrové technice. Přidávají se smáčedla, pigmenty, plastifikátory, minerální plniva. Nátěry se provádějí až na hotových výrobcích. [Hrázský a Král, 2007]

3.11 Překližky

Překližka je materiál vyráběný slepením lichého počtu dýhových listů. Směr vláken sousedních listů dýh svírá úhel 90°. Základním pravidlem, které je nutno dodržovat při konstrukci překližek, je pravidlo symetrie. To znamená, že na každou stranu od centrální osy překližky musí být stejný počet vrstev dýh a osy symetrie těchto dýh musí mít stejnou vzdálenost od centrální osy symetrie. Vrstvy dýh, které jsou uloženy ve stejné vzdálenosti od středu překližky, musí mít stejnou tloušťku a musí být ze stejné dřeviny. Nedodržením výše popsaných zásad může dojít k výskytu vad, zejména kroucení. [Hrázský a Král, 2000]

3.11.1 Klasifikace překližek

- **Podle účelu použití**
 - truhlářské
 - stavební
 - obalové
 - letecké

- **Podle životnosti**
 - použití ve venkovním prostředí nekryté před srážkovou vodou
 - použití ve venkovním prostředí zakryté před srážkovou vodou
 - použití ve vnitřním prostředí
 - **Podle úpravy povrchu**
 - nebroušené
 - broušené
 - povrchově upravené
 - opláštěvané (dekorační dýhou, folií, impregnovaným papírem, apod.)
- [Hrázský a Král, 1999]

3.11.2 Použití překližek

Z masového použití ve stavebnictví byly překližky vytlačeny v průběhu 80. let OSB deskami, které jsou oproti překližkám levnější, ovšem zdaleka ne ve všech oblastech použití lze překližky nahradit. V současné době se používají v následujících oblastech:

- **Dřevěné a kombinované stavby obytného a užitkového charakteru:** především na podlahové dílce a opláštění stěn a stropů. Velmi často se ponechávají jako pohledové s povrchovou úpravou transparentním lakem.
- **Mobilní domy a karavany:** podlahy a opláštění stěn, nábytek.
- **Nábytek:** designové prvky interiéru, namáhané části konstrukce.
- **Dočasné konstrukce:** výstavní stánky, podia, lešení, bednicí betonářské dílce.
- **Transportní prostředky:** podlahy v nákladových prostorech nákladních automobilů, boky a podlázky přívěsných vozíků, interiéry autobusů a tramvají, transportní obaly jednorázové i vratné.
- **Lodě a jachty:** konstrukce a opláštění trupů menších plavidel, zařízení interiéru plavidel
- **Letadla:** konstrukční díly malých sportovních letadel, opláštění trupu a křidel.
- **Sportovní potřeby:** pingpongové stoly a pálky, listy pádel a vesel. [Štefka, 2006]

3.11.3 Historie výroby překližek

Prvním velkoplošným materiálem na bázi dřeva byla překližka vytvořená ze souboru dých klížených kolmo na sebe. Výroba dých byla známá už ve starověkém Egyptě kolem roku 3000 před naším letopočtem. Dýhy se vyráběly ručním řezáním, následně se dočasně naklízili na tlustší prkénko a na něm se brousily pískovcovým brusem na požadovanou tloušťku. Takto vyrobené dekorační dýhy se používaly jako dekorační intarzie na nábytek pro nejvyšší vrstvu obyvatelstva. [Mahút a kol., 2004; Hrázský a Král, 1999]

Předpokladem pro průmyslovou výrobu velkoplošných materiálů bylo dosažení dostatečné úrovně techniky především parních strojů pro pohon energeticky náročných dýchárenských strojů. K tomu došlo v období průmyslové revoluce.

První patent na speciální pilu na výrobu dých byl roku 1812 udělen ve Francii, tento stroj však ještě nesplňoval požadavek na velkoobjemovou hospodárnou výrobu. Krájecí stroj na výrobu dých byl vynalezen taktéž ve Francii v roce 1824 Charlesem Picotem, ale byl využíván především pro výrobu dekoračních dých z cenných dřevin. [Kollman a kol., 1975; Mahút a kol., 2004]

Skutečně revoluční byl vynález loupacího stroje datovaný do roku 1818. Přizpůsobení tohoto stroje průmyslovým účelům trvalo dalších přibližně 20 let. Tento stroj byl zkonstruován nezávisle na sobě v USA inženýrem Feverierem a v Rusku profesorem Fisherem. Garand později stroj zdokonalil a vybavil jej tlačnou lištou, která umožnila zvýšení řezné rychlosti na 4 až 5 m/min a zvýšila se kvalita vyráběné dýhy. [Kollman a kol., 1975; Hrázský a Král, 1999]

První továrna na výrobu překližovaných desek byla otevřena v Německu v polovině 19. století, následně rychle přibývaly další ve zbytku Evropy i v USA. Vyráběly se v nich laminované plošné dílce pro hudební nástroje, především klavíry, dále překližky na sedáky a opěráky sedacího nábytku a čelní plochy nábytkových sestav. [Kollman a kol., 1975; Mahút a kol., 2004]

První vyráběné překližované desky byly laťovky se středem ze širokých prken klížených k sobě boky, ty byly kryty oboustranně naklíženou dýhou s průběhem vláken kolmých ke směru vláken středu. Tyto první překližované desky byly zvané jádrové desky (core stock). Jádro mělo oproti krycím dýhám poměrně velkou tloušťku a díky šíři prken u těchto desek docházelo ke kroucení. Tyto desky byly vyráběny převážně klížením v mechanických šroubových lisech s velkým podílem ruční práce, a proto byly navíc poměrně drahé. Roku

1910 Kummel vyvinul novou metodu výroby středů desek. Metoda spočívala ve slepení několika prken plochami k sobě a následném rozřezání rámovou pilou kolmo k lepené spáře na desky s požadovanou tloušťkou budoucího středu. Střed byl pak složen z takto vzniklých desek. Takto vzniklé středy se opět oboustranně oplášťovaly dýhou s průběhem vláken kolmo k průběhu vláken středu. Tato metoda výrazně zlepšila stabilitu desek. [Kollman a kol., 1975]

Roku 1907 v Německu v továrně J. Brüning a Son Rehfelde, byla vyrobena první překližovaná deska s jádrem z loupáných dýh. Dýhy používané na střední vrstvy nemusely být tak kvalitní jako vrchní krycí dýhy. To umožnilo zpracování méně kvalitního dřeva, které bylo dříve prodáváno za ceny palivového dřeva. Poptávka po překližkách se výrazně zvýšila v období první světové války, kde překližky našly uplatnění v konstrukci letadel a vzducholodí. Tento trend pokračoval do konce druhé světové války. Po konci druhé světové války našly překližky uplatnění také v bytové výstavbě jako opláštění stěn nebo podlahové desky, postupem času byly z velké části spektra použití vytlačeny novými aglomerovanými materiály. [Kollman a kol., 1975; Mahút a kol., 2004]

3.11.4 Obecný způsob výroby překližovaných desek

• Vstupní surovina

[Mahút a kol., 2004] rozdělil dřeviny používané pro výrobu překližek do následujících skupin:

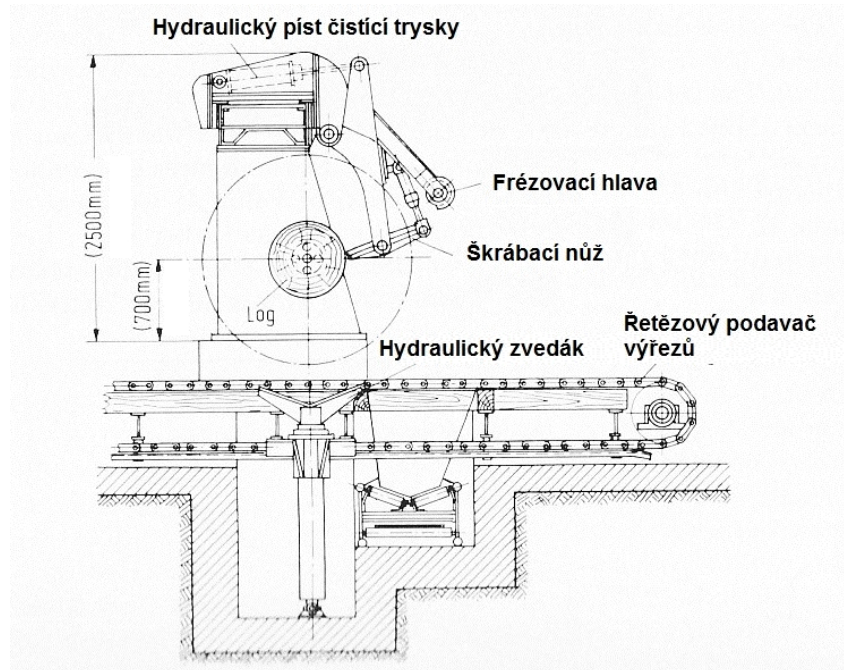
- druhy mírného pásma – listnaté: bříza, buk, topol
 - jehličnaté: borovice, smrk, modřín, cedr
- jehličnaté dřeviny Severní Ameriky: douglaska tisolistá, borovice žlutá, jedlovec kanadský a západní
- tropické listnaté druhy Afriky a Jihovýchodní Asie: sapeli, limba, gabon, okoumé, kosipo, ilomba, obeche, framiré

Pro výrobu dýh se používají především výřezy I. a II. kvalitativní třídy.

• Odkorňování výřezů

Odkorňování se provádí za účelem odstranění kůry obsahující nečistoty, které by při loupání nebo krájení způsobily znatelně rychlejší otupení ostří nože. Zároveň se odstraní i lýko, které by mohlo způsobit ucpání mezery mezi nožem a tlačnou lištou. [Hrázský a Král, 1999]

Obr. 3-3: Frézovací odkorňovač



[Kollman a kol., 1975]

- **Hydrotermická úprava výřezů**

Účelem hydrotermické úpravy před vlastním loupáním je dočasné snížení tlakové pevnosti dřeva v tangenciálním a radiálním směru a vyrovnání pevnosti v obou směrech. Zároveň dochází k eliminaci vnitřních růstových pnutí a tím zmenšení deformace a kroucení dýh. Dále se hydrotermickou úpravou snižuje počet trhlin po noži a zlepšuje se rovnoměrnost tloušťky získaných dýh. [Hrázský a Král, 1999]

Tab. 3-2: Optimální teplota podle dřevin

Dřevina	Hustota [kg/m ³]	Teplota [°C], (Mörath 1979)	Teplota [°C], (Sergovskij 1985)
DB	640–650	62–85	55–50
BK	680	65–90	50–80
BO, MD	490–520	42–70	45–75
SM	430	30–60	40–70

[Hrázský a Král, 1999]

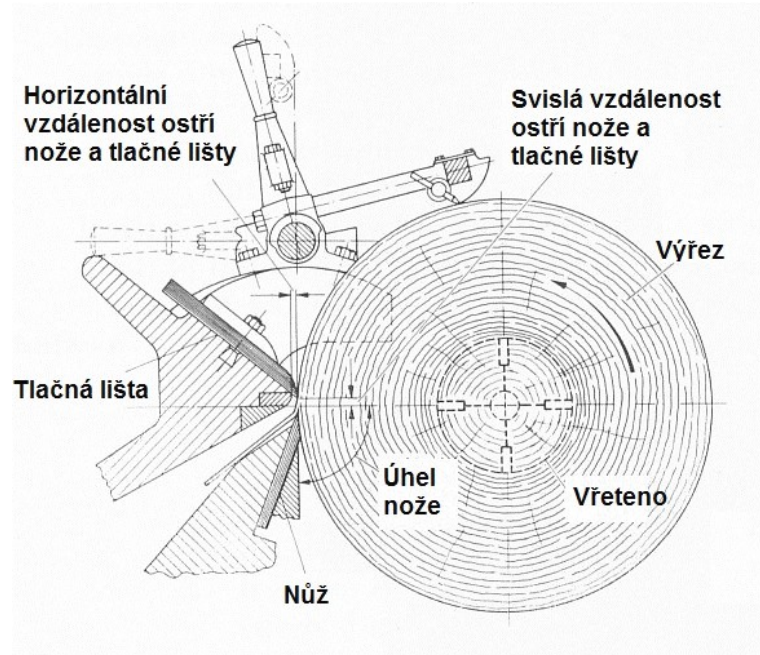
- **Výroba dýh**

V minulosti se dýhy vyráběly řezáním ruční pilou, později na speciálních pásových a kotoučových pilách. To bylo značně neefektivní z důvodu velkých ztrát prořezem a nedostatečné kapacitě zařízení. [Kollman a kol., 1975]

Pro výrobu překližek se v dnešní době používají především loupané dýhy. Proces loupání je dělení dřeva v rovině rovnoběžné s vlákny, kolmo k jejich délce. Při loupání koná hlavní

pracovní pohyb (rotaci) výřez, nůž koná přímočarý pohyb. Výřez se otáčí upnutý ve vřetenech loupacího stroje. Tloušťka loupané dýhy je rovná velikosti posunu nožového suportu za jednu otáčku vřeten. Na kvalitu loupané dýhy, především na její hladkost, má značný vliv, kromě geometrie a naostření loupacího nože i poloha tlakové lišty, která musí být nastavena tak, aby vektor síly tlaku procházel přes řeznou hranu nože. [Kollman a kol., 1975; Mahút a kol., 2004]

Obr. 3-4: Schéma loupačky



[Kollman a kol., 1975]

- **Odsun dých od loupačky, stříhání dých**

Nepoužitelný odpad padá pod loupací stroj na pásový dopravník a je přemisťován k sekačce odpadu. Dostatečně velké nálupové dýhy a souvislý dýhový pás je podle použitého uspořádání linky dopravován k nůžkám nebo k sušárně. Pracovní rychlost loupačky je vyšší než tradičních nůžek a naopak loupací stroj nepracuje plynule, z toho důvodu je nutné uskladnit použitelné nálupy a dýhový pás. Uskladnění není nutné při použití rotačních nůžek. [Hrázský a Král, 1999]

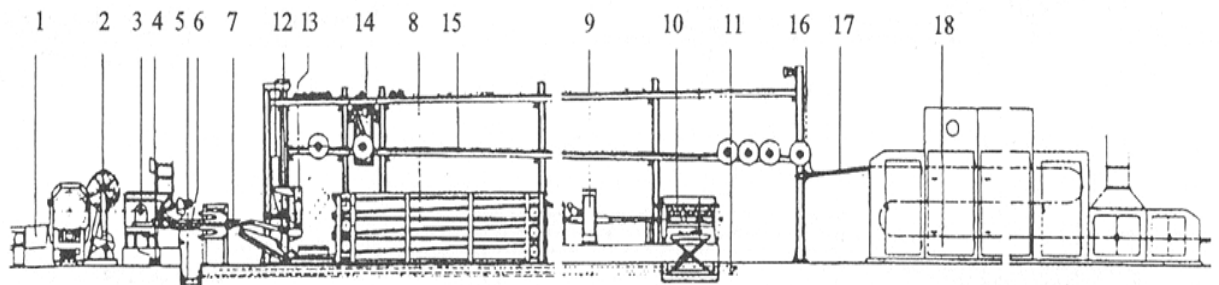
K odsunu nálupů a dýhového pásu se nejčastěji používá kombinace Tray systému pro stohování nálupů a cívkového navíjecího a odvíjecího zařízení pro dýhový pás. K stříhání dých na požadované rozměry se do linky vřazují automatické nůžky s elektrooptickým senzorem k detekci vad. Vlastní stříhání zabezpečují nůžky klasické konstrukce se svislým posuvem nožového suportu, nebo modernější rotační nůžky. V moderních linkách se používá systém Twin Clipper, kde jsou nože dělené na půl, tato konstrukce umožňuje účinněji vylučovat vady

a zvyšuje tak výtěž. Následuje stohování mokrých dých a přísun do sušárny. [Mahút a kol., 2004]

- **Sušení dých**

Sušárny dých jsou konstruovány jako válečkové nebo pásové. Rychlost a hospodárnost sušení nejvíce ovlivňuje uspořádání proudění sušícího média. U sušáren starších konstrukcí se používalo podélné proudění sušícího vzduchu, u nejmodernějších konstrukcí se používá impaktní proudění sušícího vzduchu, při němž vzduch proudí z trysek kolmo k ploše sušené dýhy z obou stran. Tímto je dosahováno dvojnásobné účinnosti sušení oproti sušárnám s příčnou cirkulací vzduchu. [Kollman a kol., 1975; Hrázský a Král, 1999]

Obr. 3-5: Linka na výrobu dých se sušením souvislého dýhového pásu



- 1) dopravník na přísun výřezů, 2) automatické centrovací a vkládací zařízení, 3) loupáčka, 4) řetězový dopravník na loupané zbytky, 5) pásový dopravník na dýhový odpad, 6) automatický separátor odpadu, 7) pásový dopravník, 8) tray systém, 9) nůžky na nálupy, 10) stohovací zařízení, 11) pásový dopravník na dýhový odpad, 12) navíjecí zařízení, 13) automatické polohování dýhy, 14) příčný přesun navinutých cívek, 15) zásobník cívek, 16) odvíjecí zařízení, 17) pásový dopravník, 18) automatická sušárna

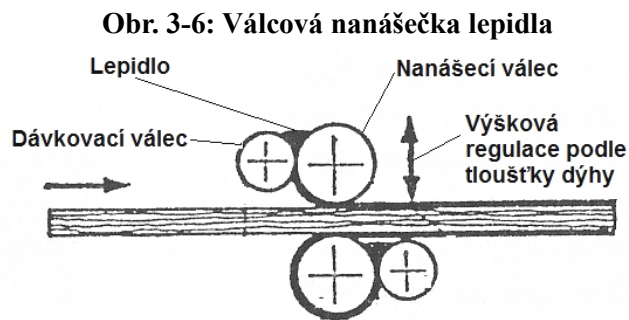
[Mahút a kol., 2004]

- **Příprava a nanášení lepící směsi**

Příprava lepící směsi spočívá v rozpouštění lepidla, přidávání nastavovadel, plnidel, případně dalších přísad.

Pevnost lepeného spoje závisí vedle kvality použitého lepidla i na rovnoměrnosti nanesení na povrch lepených dých. Vrstva lepidla musí být kompaktní a mít v celé ploše stejnou tloušťku. Dýhy je možno lepit lepícími foliemi nebo tekutým lepidlem. Nejrozšířenější způsob nanášení tekutého lepidla je válcovými nanášečkami. Regulace tloušťky nánosu je řešena dávkovacími válci nebo stírací lištou. Velikost nánosu je 100 až 300 g/m². Optimální nános se určuje se podle anatomické stavby dřeva, stavu lepených povrchů,

viskozity lepidla, teploty lepidla, lisovací teploty a času lisování. [Mahút a kol., 2004]

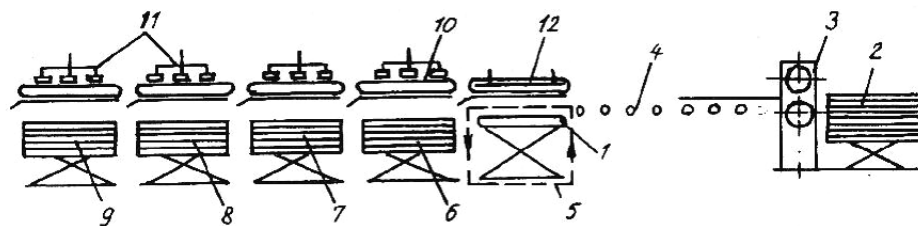


[Hrázský a Král, 2000]

• Skládání souborů

Skládání souborů dých dřive probíhalo ručně, postupem času byly vyvinuty mechanizované způsoby ukládání lišící se podle stupně automatizace. Příklad mechanizované skládací linky od firmy Raute je na následujícím obrázku.

Obr. 3-7: Mechanizovaná linka na skládání souborů



- 1) stůl na skládání souborů, 2) paleta s dýhami pro středové listy, 3) nanášedka lepidla,
- 4) diskový transportér, 5) řetězový ukladač listu, 6) paleta s rubovými povrchovými dýhami,
- 7, 8) paleta s dýhami pro vnitřní vrstvy, 9) paleta s lícovými povrchovými dýhami,
- 10) perforované pásy 11) vakuové přísavky, 12) pásový ukladač dýhových listů

[Mahút a kol., 2004]

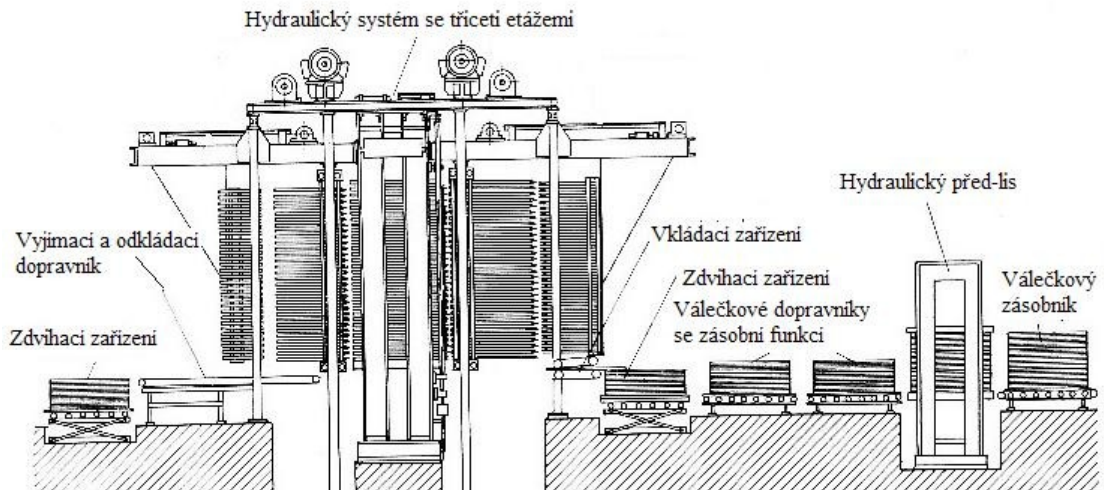
• Předlisování a lisování souborů

Předlisování souborů za studena bylo do výroby zavedeno z důvodu získání kompaktních předlisků. Manipulace s těmito předlisky je, oproti manipulaci s nepředlisovanými soubory, výrazně jednodušší. Zmenšuje se vzdálenost mezi sousedními lisovacími deskami, zkracuje se lisovací čas, zmenšuje se podíl zmetků z důvodu poškození jednotlivých listů dých při vkládání do lisu. Nevýhodou předlisování jsou vyšší náklady na zařízení.

Po předlisování následuje vlastní lisování. Při lisování dochází ke styku lisovaných povrchů a jejich stlačení u celobukových překližek tlakem 1,8 až 2,0 N/mm², bukové s jehličnatými vložkami smrkové 1,2 až 1,4 N/mm², jehličnaté 1,0 až 1,3 N/mm². Další

veličina v procesu lisování je teplota desek lisu, liší se podle potřebné teploty v lisovací spáře, počtu vrstev a tloušťky lepeného souboru. Poslední sledovanou veličinou je lisovací čas, během něhož probíhá vytvrzování lepidla. Po vyjmutí z lisu následuje klimatizace. [Hrázský a Král, 2000; Mahút a kol., 2004]

Obr. 3-8: Víceetážový lis se třiceti etážemi



[Kollman a kol., 1975]

- **Dokončovací práce při výrobě překližek**

Dokončovací práce sestávají z formátování na jmenovitý rozměr na formátovacím uzlu se dvěma dvojicemi kotoučových pil, opravy vad tmelením, případně záplatami a broušení, které je prováděno na válcových nebo širokopásových bruskách.

3.11.5 Faktory ovlivňující sorpční vlastnosti a bobtnání překližek

- **Hydrotermická úprava výřezů**

Podle [Matoviče, 1993] nejvíce ze stavebních látek buněčné stěny bobtnají pentosany. Při paření dřeva se jejich množství snižuje, tím dochází ke snížení bobtnání.

- **Technologie výroby dýhy**

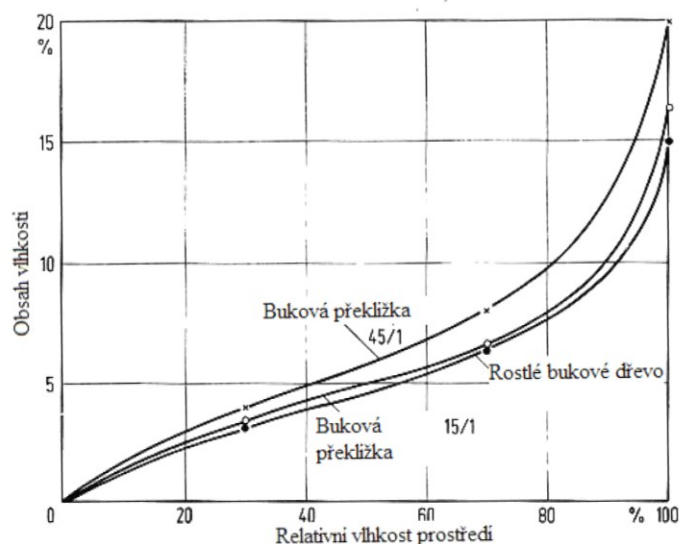
K výrobě překližek se používá převážně loupaná dýha. Z toho vyplývá, že plocha dýhy je tangenciální, tloušťkové bobtnání překližek je tedy srovnatelné s tloušťkovým bobtnáním rostlého dřeva v radiálním směru. [Mahút a kol., 2004]

- **Lepidlo**

Lepidla na bázi syntetických pryskyřic nejsou hygroskopická, proto u překližek lepených těmito lepidly je rovnovážná vlhkost v porovnání s rovnovážnou vlhkostí dýhy, z níž byly vyrobeny, lehce nižší. Přesnou závislost je velmi složité určit z důvodu výskytu množství

drobných kapilár v lepené spáře. Výjimku tvoří fenol-formaldehydová pryskyřice. Tvrzidla používaná při její aplikaci, jsou založena na bázi solí kyselin. Nejčastěji se používá $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ případně NH_4NO_3 . Silně hygroskopické vlastnosti těchto tvrdidel způsobují zvýšení sorpce překližky. [Kollman a kol., 1975]

Graf 3-1: Rovnovážná vlhkost bukové překližky lepené fenol-formaldehydovým lepidlem v porovnání s masivním bukovým dřevem



[Kollman a kol., 1975]

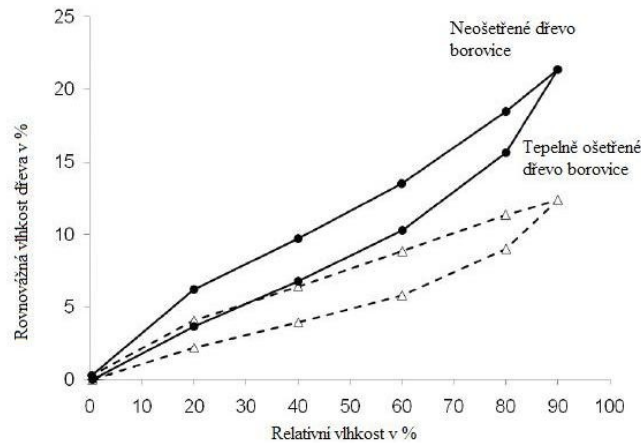
Množství ani druh lepidla neovlivňují maximální hodnoty tloušťkového bobtnání překližek prakticky vůbec. Dýhy mohou mezi lepenými vrstvami bobtnat bez omezení. Vlivem přítomnosti lepené spáry ve směru prostupu vlhkosti kolmo k ploše panelu dochází ke zpomalení prostupu do vnitřních vrstev, z toho důvodu se zmenšuje bobtnání při krátkodobém působení vlhkosti. [Berglund, 2005]

- **Lisovací teplota**

Při působení vyšších teplot (100 až 200°C) dochází k hydrolytické depolymerizaci amorfni celulózy, kdy výsledkem je pokles polymerizačního stupně a poměrný nárůst krystalického podílu celulózy. [Bhuiyan a kol., 2000]

Tato změna je způsobena především termickou degradací hemicelulóz. Tepelné ošetření sníží absorpci vody do stěn dřevních buněk, což je způsobeno redukcí hydroxylových skupin. Následkem omezeného množství OH- skupin pak dochází ke snížení hygroskopicity. [Time, 1998]

Graf 3-2: Sorpční izotermy neošetřeného a tepelně ošetřeného (teplota 180 °C) dřeva borovice

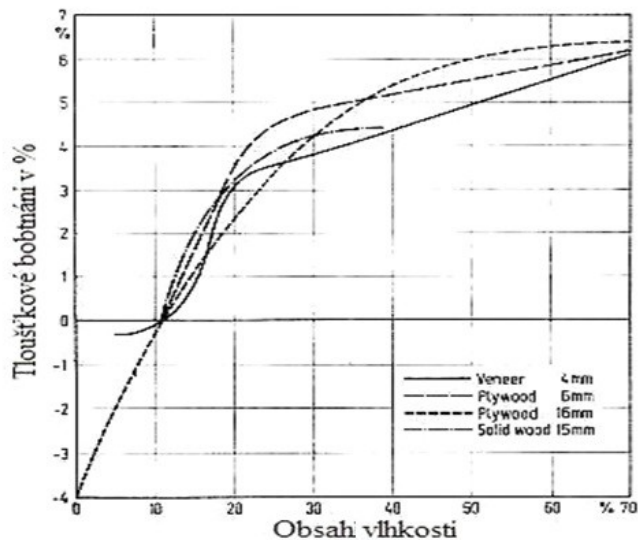


[Engelund a kol., 2010]

- **Lisovací tlak**

Vzhledem k působení maximálního tlaku při lisování cca $1,3 \text{ N/mm}^2$, dochází ke stlačení souboru dých o cca 7 %. Vlhkost vnikající do struktury překližované desky způsobuje kromě běžného bobtnání i bobtnání vlivem odpružení energie nahromaděné lisováním. Toto se projevuje až při vyšších hodnotách obsahu vlhkosti v materiálu. [Kollman a kol., 1975]

Graf 3-3: Tloušťkové bobtnání rostlého dřeva, dýhy a 6 a 16 mm překližek z okoumého



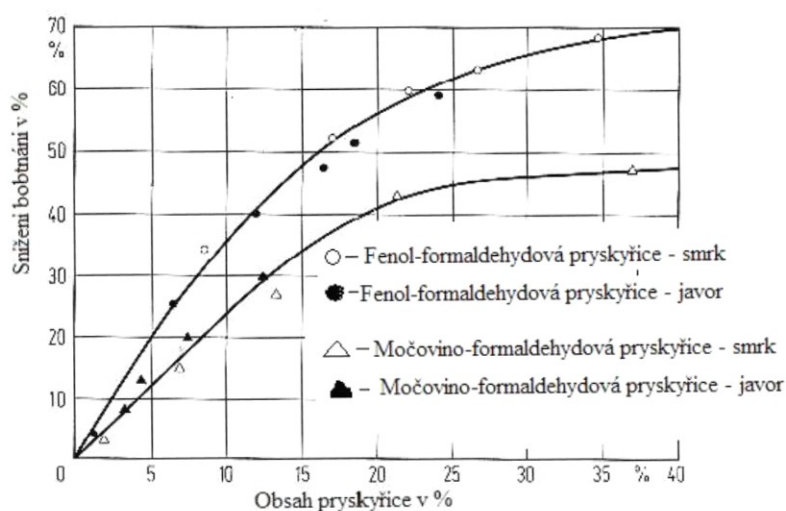
[Kollman a kol., 1975]

Lisováním dřeva se rovněž mění sorpční vlastnosti dřeva, ale velikost této změny závisí na relativní vlhkosti ovzduší: do 30 % relativní vlhkosti vzduchu je sorpční izoterma přírodního a lisovaného dřeva podobná, od 30 do 90 % je sorpční schopnost lisovaného dřeva nižší než přírodního a při 90 % se sorpční vlastnosti lisovaného dřeva opět zvyšují. [Matovič, 1993]

- **Impregnace dých vodovzdornou pryskyřicí**

Princip hloubkové impregnace spočívá v zaplnění mikroskopických prostorů uvnitř dřevní struktury nehygroskopickou pryskyřicí (resorcin, melamin, močovino-formaldehyd). Pryskyřice se u dých do tloušťky 0,8 mm aplikuje máčením v 30 až 60% roztoku. Dýhy s tloušťkou větší než 0,8 mm se protlačují pod hladinou impregnačního média mezi dvěma válci, dýha je tak mechanicky stlačena. Bezprostředně za válci se dýha vlivem uvolnění tlaku snaží navrátit do původní tloušťky. Tímto postupem dochází k nasátí impregnačního média v množství 60 až 70 % váhy suché dýhy. [Stamm a Seborg, 1962]

Graf 3-4: Vliv impregnace dých syntetickou pryskyřicí na velikost bobtnání



[Kollman a kol., 1975]

Prosycení dých syntetickou pryskyřicí snižuje rovnovážnou vlhkost i tloušťkové bobtnání takto ošetřených dých. Tento jev popsali [Kollman a kol., 1975] tak, že ke snížení tloušťkového bobtnání dochází vlivem omezení vstupu vlhkosti do struktury dřeva a celkovému zpevnění buněčných stěn takto ošetřeného dřeva. Se stoupajícím obsahem pryskyřice ve struktuře dřeva dochází ke snižování tloušťkového bobtnání až o 70 % při použití fenol-formaldehydové pryskyřice.

3.11.6 Úprava překližek k omezení vlivu vlhkosti

Jedná se především o použití vhodné lepicí směsi splňující podmínky vodovzdornosti vzniklého spoje. Vodovzdorné překližky se lepí fenol-formaldehydovou pryskyřicí, letecké překližky fenol-formaldehydovou lepicí fólií. K ochraně proti kroucení se používá fenolem sycený papír laminovaný oboustranně na povrch překližky. V minulosti se na povrchové dýhy překližek určených do prostředí s vlhkostním namáháním používala fenol-formaldehydovou, resorcin-formaldehydovou případně melamin-formaldehydovou pryskyřicí impregnovaná

dýha. Od tohoto způsobu ochrany bylo upuštěno z důvodu finanční náročnosti. [Kollman a kol., 1975; Hrázský a Král, 2000]

3.12 MDF

Podle ČSN EN 316 jsou vláknité desky definovány jako vláknitý materiál tloušťky 1,5 mm a více, vyrobený z lignocelulosových vláken použitím ohřevu nebo tlaku. Soudržnosti je dosaženo zplstnatěním vláken a jejich přirozenou lepivostí a přidavkem syntetické pryskyřice na vlákno.

MDF je velkoplošný dřevní materiál vyrobený z dřevních vláken suchým způsobem. Desky jsou vyráběny v tloušťkách 3 až 100 mm a hustotě 600 až 800 kg/m³. V USA se vyrábějí desky v širším rozpětí hustot 400 až 900 kg/m³. Hlavní výhodou MDF desek je především jejich homogenní struktura a uzavřené boční hrany umožňující profilové frézování ploch a hran a následné provedení povrchové úpravy nátěrovými látkami. [Kollman a kol., 1975; Hrázský a Král, 2007; Štefka, 2007]

3.12.1 Použití MDF desek

MDF desky nalézají uplatnění v nábytkářství. Díky jejich homogenní struktuře v průřezu desky se používají především na plošně frézovaná dvířka s profilovanou hranou, zasklívací profilované lišty atd. Ve stavebním truhlářství se uplatňují při výrobě obložkových zárubních, případně nahrazují vlysy dveřních křídel které, se dříve vyráběly výhradně z masivního dřeva.

3.12.2 Historie MDF desek

Počátek výroby a použití dřevovláknitých desek je možno datovat již do 6. století před naším letopočtem. První záznamy o výrobě tenkých desek lisovaných z ligno-celulózové kaše pochází z Japonska, kde byly desky používány pro konstrukci dělicích příček v domech. [Kollman a kol., 1975]

V Evropě byl první patent na výrobu vláknité hmoty z papíroviny udělen v Anglii roku 1772. Začátek průmyslové výroby dřevovláknitých desek střední hustoty spadá do roku 1898. Desky byly vyráběny na papírenském stroji ze sběrového papíru. První izolační vláknité desky byly vyrobeny v USA roku 1901 z dřevoviny, prodávaly se pod obchodním názvem Insulite. Tvrdé vláknité desky z vlákna získaného expanzním rozvlákněním začal vyrábět v roce 1926 Manson v USA pod obchodním názvem Mansonite. [Kollman a kol., 1975; Hrázský a Král, 2007]

V Evropě a později i ve zbytku světa, kromě USA, se uplatnil vynález Asplunda z roku 1931, spočívající v plastifikaci dřeva středotlakou nasycenou parou a mechanickém rozvláknění. Zařízení pro tento způsob rozvláknění dostalo označení Defibrator. Plywood Research Foundation v USA v roce 1943 vyvinula polosuchý způsob výroby vláknitých desek (vlhkost vlákna 22 až 35 %). Následoval vývoj suchého způsobu představený v roce 1945 (vlhkost vlákna 8 až 18 %). Další zlepšení se týkalo metody vrstvení vláknitého koberce. Mechanický způsob vrstvení nahradilo vrstvení vzduchem, který tvořil nosné a formovací medium. MDF desky vznikly na přelomu 60. a 70. let v USA. V Evropě se první MDF začaly vyrábět ve Skandinávii. [Kollman a kol., 1975; Štefka 2002]

3.12.3 Obecný způsob výroby MDF desek

- **Vstupní surovina**

Použitelné jsou všechny lesní sortimenty i v tloušťkách pod 20 cm, pilařské odřezky a staré recyklované dřevo. V současné době stoupá podíl využití průmyslového dřevního odpadu. K výrobě MDF desek, které jsou vyráběny suchým výrobním postupem, je z důvodu vrstvení vzduchové suspenze vhodnější krátké hladké vlákno které netvoří shluky. Tento předpoklad splňují libriformní vlákna listnatých dřevin (délka 0,3 až 2,1 mm) lépe než tracheidy jehličnanů (délka 1,3 až 4,6 mm). [Štefka, 2007]

- **Čištění**

Rozměrnější sortimenty se čistí postřikem vodou, drobnější se zbavují minerálních a kovových nečistot praním ve velkých bubnových pračkách. Pro identifikaci a odlučování kovových částic se používají magnetické detektory a odlučovače kovů. [Hrázský a Král, 2007; Štefka, 2007]

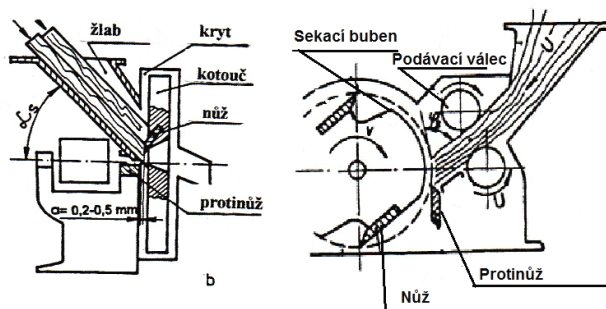
- **Odkorňování**

Větší množství kůry v surovině nepříznivě snižuje výkon defibrátorů a způsobuje zanášení sít odvodňovacího stroje. Pro odkorňování výřezů se používají nožové, frézovací, nebo tryskové odkorňovače, pro krátké lesní sortimenty a pilařské odřezky se používají bubnové odkorňovače. [Kollman a kol., 1975; Hrázský a Král, 2007; Štefka, 2007]

- **Výroba štěpek**

Štěpky se vyrábí sekáním dřevní hmoty na diskových nebo bubnových sekačkách. Rozměry štěpek vhodné pro výrobu vlákna jsou: délka 20 až 50 mm, šířka 20 až 40 mm, tloušťka 3 až 5 mm.

Obr. 3-9: Schéma diskové sekačky štěpek vlevo a bubnové sekačky štěpek vpravo

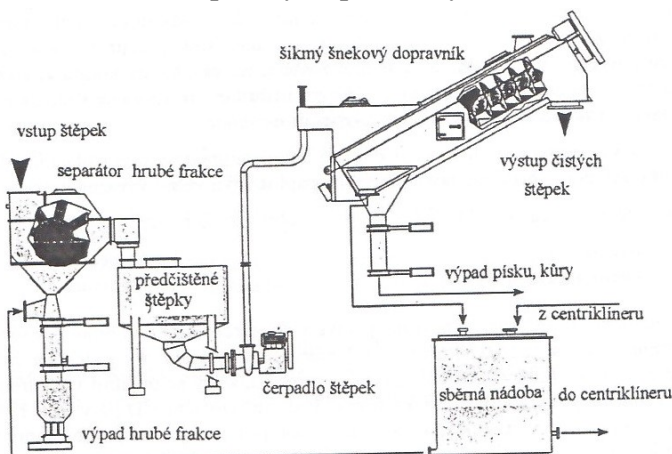


[Hrázský a Král, 2007]

- **Praní štěpek**

Štěpky obsahují minerální a kovové příměsi. Separace nežádoucích předmětů se provádí praním štěpek v pračce s bubnem s kónickým dnem v něm výří štěpky lopatkový rotor. Všechny částice těžší než voda klesnou ke dnu a odtud jsou periodicky vypouštěny. Dále je předčištěná štěpka přečerpána do šikmého šnekového dopravníku. V něm je dočištěna proudem vody. [Štefka, 2007]

Obr. 3-10: Schéma pračky štěpek firmy Sunds Defibrator

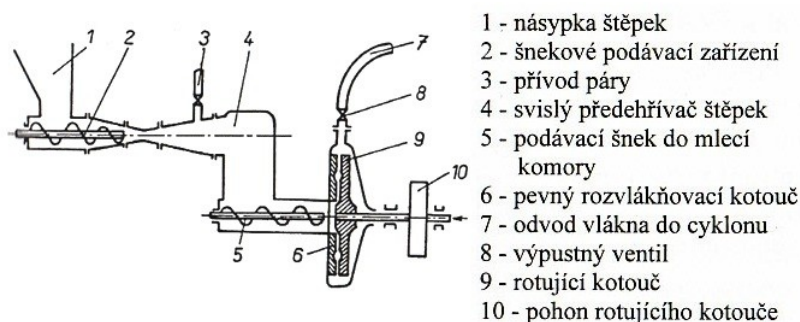


[Hrázský a Král, 2007]

- **Rozvlákňování**

V Evropě je nejrozšířenější termomechanický způsob rozvlákňování, kde k rozvlákňování dochází mletím štěpek při teplotě 165 až 175 °C. Nejznámějším světovým výrobcem je švédská firma Sunds Defibrator.

Obr. 3-11: Rozvlákňovač firmy Sunds Defibrator



[Hrázský a Král, 2007]

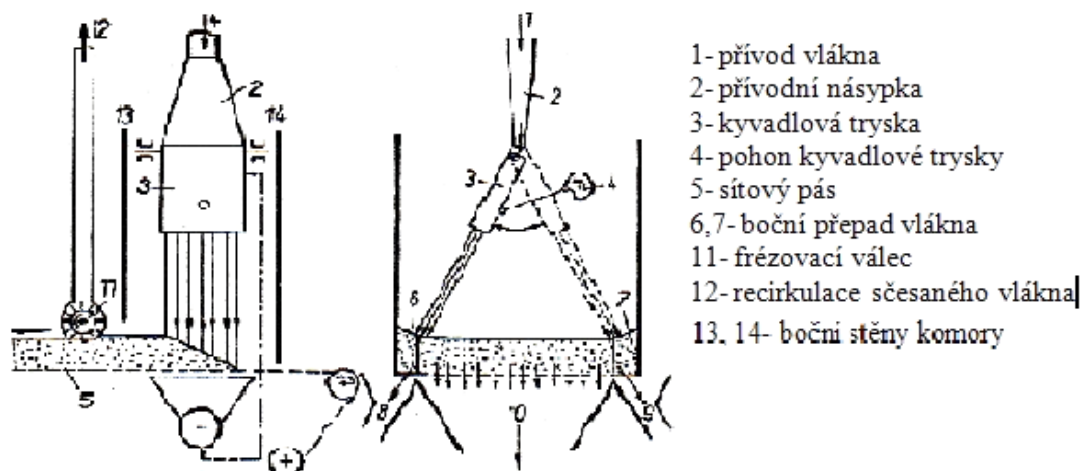
- **Dávkování chemických přísad**

V moderních linkách na výrobu MDF suchým způsobem se pojivo (UF, PF nebo MEF pryskyřice) dávkuje do potrubí spojující mlecí komoru defibrátoru se sušárnou vlákna. Do tohoto potrubí je zaústěna tryska, kterou je lepidlo (6 až 8 % PF, 8 až 10 % UF na sušinu vlákna), případně další chemikálie, vstřikováno. Tento způsob dávkování se nazývá Blow-line. Nevýhodou systému je cca o 10 až 14 % vyšší spotřeba lepidla, která je dána rozprašováním vlákna do vyprazdňovacího potrubí defibrátoru, kde na lepidlo působí teplota 100 až 110 °C. Dále dochází ke styku vlákna se zbytky organických kyselin uvolněných ze dřeva při rozvlákňování. V sušárně vlákna dojde k dalšímu tepelnému šoku, který působí částečné vytvrzení především u UF lepidel. [Štefka, 2007]

- **Tvorba vláknitého koberce**

Vrstvení vláknitého koberce probíhá na mechanických nebo modernějších pneumatických vrstvičkách. Schéma pneumatické vrstvičky s výkyvnou tryskou systému Felter je znázorněno na obrázku.

Obr. 3-12: Schéma pneumatické kyvadlové vrstvičky systému Felter



[Hrázský a Král, 2007]

- **Lisovací proces**

Před vlastním lisováním v horkém lisu se provádí předlisování za účelem zhutnění a vytlačení přebytečného vzduchu z vláknitého koberce.

Za účelem dosažení rovnoměrného profilu hustoty požadovaného u MDF desek z důvodu reliéfního frézování se v některých výrobních linkách používá přehřívání parní injektáží. Při použití kontinuálních lisů se uplatňuje systém Core Heater, přehřívající střed vláknitého koberce. Koberec je podélně dělen pásovou pilou a do jeho středu je děrovanou lištou přiváděna pára.

Lisování MDF desek vyráběných suchým způsobem se vyznačuje krátkým lisovacím časem z důvodu menší vlhkosti vlákenného koberce vstupujícího do lisu. Lisovací teplota je u suchého způsobu 210 až 220 °C, lisovací tlak 6 až 7 MPa. K lisování MDF se v současnosti používají kontinuální nebo kalandrovací lisy. [Hrázský a Král, 2007; Štefka, 2007]

- **Omitání, formátování**

Omitání může následovat ihned po lisování a obvykle se současně provádí i dělení na konečné formáty desek, odpad vzniklý omitáním se vrací do výroby a zpracuje se spolu s novou surovinou na vlákno. [Kollman a kol., 1975]

- **Chlazení a kondicionování**

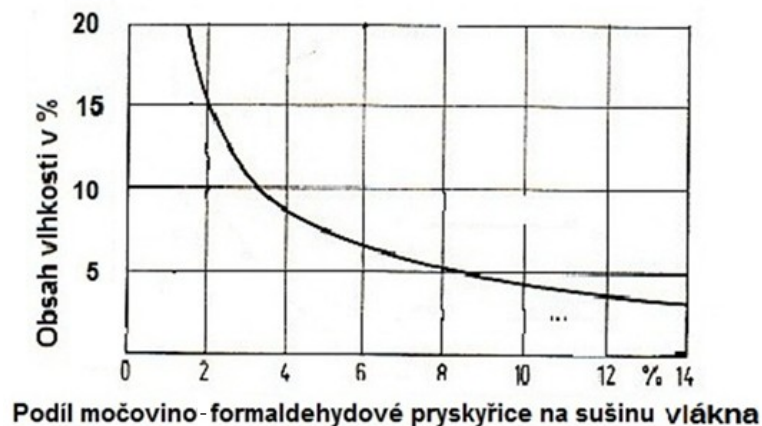
Po vyjmutí z lisu má povrch desek teplotu vyšší než 150 °C a střed cca 120 °C. Před skladováním se doporučuje desky chladit na teplotu 70 °C. [Kollman a kol., 1975; Hrázský a Král, 2007; Štefka, 2007]

3.12.4 Faktory ovlivňující sorpční vlastnosti a bobtnání MDF desek

- **Lepidlo**

Navlhavost, nasákavost a velikost bobtnání vlivem působení vlhkosti desek ovlivňuje především množství použitého lepidla. S rostoucím podílem lepidla klesá navlhavost i velikost tloušťkového bobtnání desek. U MDF desek vyráběných suchým způsobem, se oproti deskám vyráběným mokřím způsobem výroby, používá velké množství lepidla (6 až 8 % PF, 8 až 10 % UF na sušinu vlákna), to je příčinou jejich nižší rovnovážné vlhkosti oproti jiným materiálům na bázi dřeva. [Kollman a kol., 1975]

Graf 3-5: Vliv podílu lepidla na stav rovnovážné vlhkosti MDF desek klimatizovaných v prostředí s 95% relativní vlhkostí vzduchu

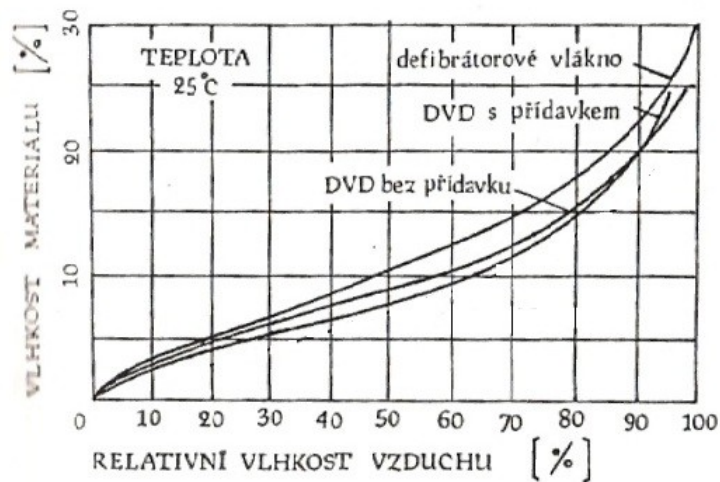


[Kollman a kol., 1975]

- **Hydrofobizační prostředky**

Z důvodu zmenšení vlivu vlhkosti se při mletí na vlákno dávkuje parafínová suspenze v množství 2 až 2,5 % na sušinu vlákná. Hydrofobizace je však účinná pouze při krátkodobém působení vody. Proti působení vodní páry je účinek nízký. [Kollman a kol., 1975; Hrázský a Král, 2007; Štefka 2002]

Graf 3-6: Vliv 2% příměsi parafínu na sušinu vlákná na stav rovnovážné vlhkosti



[Matovič, 1993]

- **Regulace PH**

Do nátokové skříně odvodňovacího stroje se přidává síran hlinitý Al_2SO_4 v množství přibližně 1:1 k množství pryskyřice, z důvodu snížení PH na 4,2 až 4,5. Dříve se používala kyselina sírová, ta však způsobovala korozi součástí strojního zařízení. PH se snižuje před vlastním odvodněním směsi vlákná a parafínu z důvodu vysrážení parafínové emulze na vlákně. Vedlejším efektem tohoto procesu je snížení navlhavosti. [Kollman a kol., 1975;

Hrázský a Král, 2007]

Graf 3-7: Vliv PH a obsahu síranu hlinitého na rovnovážnou vlhkost a bobtnání MDF desek v prostředí s 95% relativní vlhkostí vzduchu



[Kollman a kol., 1975]

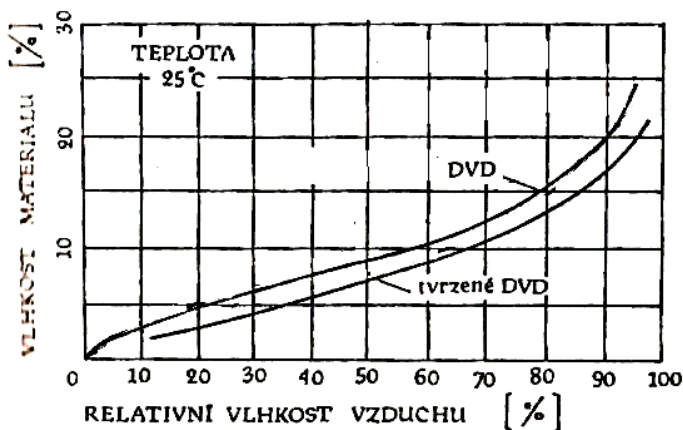
- **Stupeň zplstnatění vlákna**

Vlastnosti vlákna na výrobu MDF desek ovlivňuje kvalita mlecího nástroje. Když je nástroj ostrý, dochází převážně ke krácení vlákna bez narušení jeho povrchu. Takto vyrobené vlákno je méně hygroskopické než vlákno vyrobené tupým nástrojem, které je na povrchu značně fibrilované a celkově jemnější. Stupeň jemnosti se stanovuje na speciálním měřicím přístroji na základě rychlosti odvodnění suspenze a vyjadřuje se v defibrátorových sekundách. [Kollman a kol., 1975; Štefka 2002]

- **Termické tvrzení desek**

Používá se především u tvrdých vláknitých desek vyráběných mokrým způsobem. V současnosti se od něho upouští z důvodu velké spotřeby elektrické energie. Provádí se při teplotě 150 až 175 °C. [Kollman a kol., 1975; Hrázský a Král, 2007; Štefka 2002]

Graf 3-8: Vliv termického tvrzení na navlhavost takto upravených DVD



[Matovič, 1993]

3.13 DTD, GSB a OSB desky

Vzhledem k podobnosti těchto materiálů jak z hlediska výroby, tak z hlediska faktorů ovlivňujících stav vlhkostní rovnováhy a tloušťkové bobtnání těchto materiálů, budu tyto materiály popisovat společně s upozorněním na jejich odlišnosti.

Podle ČSN EN 309 jsou dřevotřískové desky materiál formovaný lisováním za tepla z malých dřevních částic (třísek, hoblin, pilin apod.) s přídavkem lepidla.

OSB (Oriented Strand Board) je velkoplošný materiál vyráběný z orientovaných velkých plochých třísek. Velikost tvar a uspořádání třísek dodávají deskám OSB jejich vlastnosti. Štefka 2002 jako typickou velikost třísky uvádí $60\text{--}150 \times 5\text{--}12 \times 0,4\text{--}0,6$ mm, naproti tomu Hrázský a Král 2007 uvádí typickou velikost $75 \times 25 \times 0,6$ mm. Třísky ve vnějších vrstvách jsou orientovány rovnoběžně s délkou desky (ve směru výrobního toku), třísky ve středové vrstvě jsou orientovány náhodně nebo kolmo na třísky vnějších vrstev.

GSB desky jsou jednovrstvé třískové desky (mikroštěpkové) vyráběné z velkých plochých třísek náhodně rozptýlených v profilu desky. Jedná se o materiál s homogenními vlastnostmi v podélném a příčném směru.

3.13.1 Použití dřevotřískový desek

Díky dobrým technickým vlastnostem a nízké ceně (surové desky $60\text{--}90$ Kč/m², laminované $130\text{--}300$ Kč/m²) se dřevotřískové desky staly oblíbeným a celosvětově rozšířeným materiálem s širokým uplatněním.

- **Nábytek:** nejvíce se uplatňují laminované nebo dýhované desky na konstrukce korpusů, dvířek, zásuvek, polic a pracovních desek, DTD bez povrchové úpravy je možno použít na neviditelné části korpusů.
- **Stavebnictví:** opláštění stěn, podhledy, záklopy, podlahy.
- **Speciální využití:** desky s modifikovanými vlastnostmi přesně pro daný účel použití, např. ohýbatelné DTD se zvýšenou odolností proti ohni, lehčené desky.

3.13.2 Použití OSB desek

OSB desky byly vyvinuty jako levnější náhrada překližek, především pro aplikace ve stavebnictví, postupem času se pozvolna začínají rozšiřovat i do sektoru výroby nábytku a designu interiérů.

- **Stavebnictví:** opláštění stěn, záklopy střech a stropů, podlahové konstrukce, stojiny I nosníků.
- **Nábytek:** korpusy, výplně dveří, police, regály.
- **Zařízení interiéru:** čisté podlahy, přiznané obklady stěn, podhledy stropů, pracovní stolové desky.

3.13.3 Použití GSB

- **Především stavebnictví:** podlahy, opláštění, nosné konstrukce ve vlhkém prostředí.

3.14 Rozdělení třískových desek podle ČSN EN 309 – 2005

- **Podle způsobu výroby**
 - plošně lisované
 - lisované válci
 - výtlačně lisované:
 - a) plné
 - b) vylehčené (s otvory)
- **Podle úpravy povrchu**
 - surové (nebroušené)
 - broušené nebo egalizované
 - povrchově upravené (nátěry laky)
 - povrchově upravené nalisováním pevného materiálu (dýha, fólie, dekorační papír apod.)
- **Podle tvaru**
 - rovné
 - s profilovaným povrchem
 - s profilovanými boky
- **Podle tvaru a velikosti částic**
 - třískové desky
 - deska z velkoplošných třísek (WAFERBOARD)
 - desky z orientovaných plochých třísek (OSB)
 - desky z jiných částic (např. pazdeří)
 - multifunkční panely (MFP)

- **Podle struktury desky**
 - jednovrstvé
 - vícevrstvé
 - s plynulou změnou struktury (gradientově vrstvené desky)
 - výtlačně lisované vylehčené desky
- **DTD podle účelu použití dle ČSN EN 312 – 2011**
 - P1 desky pro všeobecné účely pro použití v suchém prostředí
 - P2 desky pro vnitřní zařízení (včetně nábytku) pro použití v suchém prostředí
 - P3 nenosné desky pro použití ve vlhkém prostředí
 - P4 nosné desky pro použití v suchém prostředí
 - P5 nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí
 - P6 zvlášť zatížitelné nosné desky pro použití v suchém prostředí
 - P7 zvlášť zatížitelné nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí
- **OSB podle účelu použití dle ČSN EN 300**
 - 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.
- **Podle množství obsahu volného formaldehydu dle ČSN EN 312 – 2011**
 - E 1 s obsahem formaldehydu do 8 mg/100 g a.s. třískových desek (0,08 ppm)
 - E 2 s obsahem formaldehydu do 8–30 mg/100 g a.s. třískových desek (0,08–0,3 ppm)
 - E 3 s obsahem formaldehydu do 30–60 mg/100 g a.s. třískových desek (0,3–0,6 ppm)

3.14.1 Historie dřevotřískových desek

Vývoj třískových desek podnítila snaha o využití velkého množství odpadu, který vzniká při průmyslovém zpracování dřeva a dalších lignocelulosových materiálů. V Hubardově spisu z roku 1877 „Zužitkování dřevěného odpadu“ je zaznamenána první zmínka o možnosti výroby desek ze směsi pilin a třísek. V roce 1935 v USA bylo uvedeno do provozu první zařízení na výrobu tenkých dřevotřískových desek o hustotě 1200 až 1300 kg/m³ z třísek

drcených v kladivovém mlýnu a smíchaných s fenol-formaldehydovou pryskyřicí. [Hrázský a Král, 2007]

V roce 1936 patentoval P. Pfohl výrobu jedno i vícevrstevných desek lisováním tenkých třísek. Licenci od něho odkoupila firma Dyas která roku 1938 uskutečnila první zkoušky výroby třískových desek na překližkárenských lisech. [Kollman a kol., 1975; Hrázský a Král, 2007; Štefka 2002]

Dalším krokem ve vývoji třískových desek představuje patent Fahrniho z roku 1940, v němž jako první poukázal na souvislost mezi kvalitou třísek, lepením třísek, hustotou desky a fyzikálními a mechanickými vlastnostmi desek. Navrhl třískové desky o hustotě 600 kg/m^3 , jejichž středovou vrstvu tvořily drobné, krátké třísky, povrchové vrstvy tenké lístkové třísky. Takto vyrobené desky byly lehké, a díky třívrstvé konstrukci dosahovali uspokojivých mechanických vlastností. [Kollman a kol., 1975; Hrázský a Král, 2007; Štefka 2002]

První závod na výrobu třískových desek v Československu byl vybudován v n. p. Bučina Zvolen, který začal s produkcí v roce 1949. Jednalo se o první závod na světě, který využíval jako surovinu pro výrobu třísek tvrdého listnatého dřeva, především bukového. Linka vyráběla drťové desky pod obchodním názvem Bukas. Závod vyráběl převážně trojvrstvé TD s UF lepidlem „Burcol“ pro nábytkářské účely, ale i vodovzdorné desky s xylenol-formaldehydovým lepidlem „Buxycol“ pro použití ve stavebnictví. [Hrázský a Král, 2007; Štefka 2002]

Podle Štefky (2006) je možno v historii DTD období od vzniku myšlenky až po čtyřicátá léta označit za období zrodu a dozrávání nápadu. Další období, kterým výroba DTD nabyla průmyslového charakteru, tj. od přelomu 40. a 50. let dělí na následující fáze:

1. fáze: fáze pionýrská, roky 1950 až 1960
2. fáze: fáze expanzní, roky 1960 až 1970 (s tendencí až do r. 1975)
3. fáze: fáze konsolidační, která si charakteristické rysy zachovává v podstatě do současnosti.

Zmírnění nárůstu světové výroby DTD od roku 1975 nastalo vyrovnáním poptávky a nabídky klasických DTD, hlavně v oblasti nábytkářského průmyslu a ve stavebnictví. Už na konci 2. fáze expanze, ale hlavně ve fázi konsolidace, se začala výrazně prosazovat diferenciací DTD, především se zřetelem na použití desek. Zvýšení kvality bylo možné v mnoha případech dosáhnout jen na základě nových vstupních surovin, především pomocných látek, ale také zdokonalením techniky a technologie výroby DTD, zaváděním

nových výkonnějších strojních zařízení, měřicí a regulační techniky. V rozvoji průmyslu aglomerovaných materiálů stále více výrobce zavazují ekologické aspekty a nevyhnutelnost respektovat zpřísnující se hygienické normy a závazné předpisy. [Štefka, 2006]

3.14.2 Historie OSB desek

Desky z orientovaných plochých třísek OSB (Oriented Strand Board) jsou poměrně nový materiál vyvinutý na konci 70. let 20. století v USA. Důvodem pro vývoj tohoto materiálu byla snaha o konstrukci desek s vlastnostmi podobnými překližce, ale s možností zužitkovat levnější, méně kvalitní dřevo. Konstrukce desek vychází z desek WAFERBOARD které byly vyráběny z velkých plochých neorientovaných třísek. Vylepšením u OSB bylo vrstvení třísek v povrchových vrstvách rovnoběžně se směrem výrobního toku, středová vrstva z kratších třísek je vrstvena kolmo k výrobnímu toku. [Hrázský a Král, 2007; Štefka, 2002]

V 80. letech 20. století začal masivní nárůst použití OSB v Severní Americe především díky poklesu jejich cen. První evropský závod na výrobu OSB byl postaven v Bevernu v Německu firmou Bison. [Štefka, 2002]

V polovině roku 2006 byla v Jihlavě uvedena do provozu první linka na výrobu OSB desek v České republice. Linka byla vybavena kontinuálním lisem od firmy Dieffenbacher v délce 38,5 m s kapacitou výroby 500 000 m³/rok. Tento projekt si vyžádal investici přesahující 2,4 miliardy korun. V dalších letech je plánováno zvýšení výrobní kapacity až na 800 000 m³/rok. [Kronospan CR]

3.14.3 Historie mikroštěpkových desek

Impulzem pro vznik mikroštěpkových desek byla poptávka po OSB deskách převyšující nabídku krátce po roce 2000. Mikroštěpkové desky byly reakcí výrobců TD na nově vzniklou příležitost uplatnit se na trhu s vlhkuvzdornými konstrukčními deskami. Vznikl tak nový materiál s vlastnostmi vhodnými pro stavebnictví s potenciálem stát se substitutem OSB. Jako první s deskami tohoto typu přišla na trh firma Valentin Holzwerkstoffe GmbH & Co. KG patřící do skupiny KOSCHE. [Euvid 2013]

3.14.4 Obecný způsob výroby dřevotřískových, OSB a GSB desek

- **Vstupní Surovina**

K výrobě třískových desek lze použít dřevo všech dřevin vyskytujících se ve střední Evropě, méně hodnotné lesní sortimenty, průmyslový odpad a recyklované dřevo. Pro výrobu

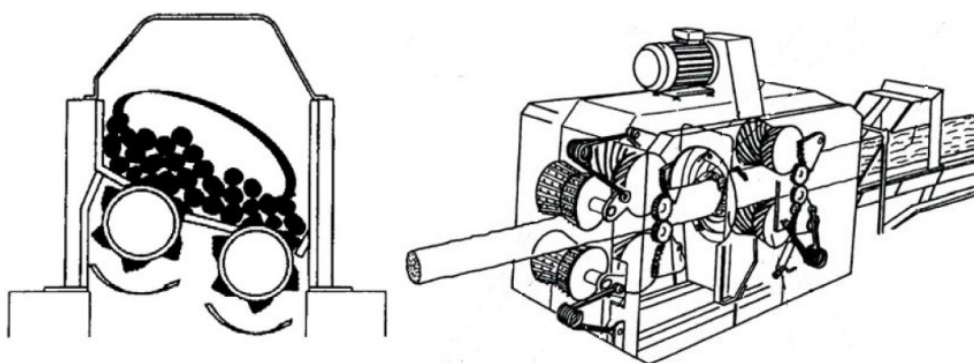
dřevotřískových desek vyhovuje mnoho dřevin. Přednostně by měly být používány dřeviny, jejichž hustota leží v rozmezí 350 až 700 kg/m³. Menší hustoty výchozí dřevní hmoty vyvolávají pokles pevnostních vlastností dřevotřískových desek. Při použití dřevin o velmi vysoké hustotě se musí hustota desek enormně zvyšovat pro dosažení požadovaných vlastností a uzavřených hran desek. Rovněž je možné k výrobě dřevotřískových desek použít i plantážně pěstované dřeviny. Při dodržení minimálních tloušťek je možno zpracovávat pilařské krajiny a zbytkové loupárenské válečky. V Evropě je nejčastěji zpracovávána borovice a po té smrk. Pro výrobu OSB jsou vhodné průměry kuláčů 80 až 100 mm, kdežto pro výrobu řeziva a překližek 230 až 250 mm. [Hrázský a Král, 2003]

- **Odkornění dřevní hmoty**

Povrchové vrstvy trojvrstvých a vícevrstvých dřevotřískových, a především OSB desek, by v zásadě měly být vyrobeny z odkorněné dřevní hmoty. Pro středové vrstvy se připouští maximálně 20 hmotnostních procent kůry. [Hrázský a Král, 2007]

Pro odkornění suroviny malých a rozdílných průměrů, nebo při větších množstvích zakřivené suroviny, jsou vhodné bubnové odkornovače. Pro surovinu s konstantními průměry je možno využít rotorových odkornovačů. Tyto dosahují vyššího stupně odkornění než bubnové odkornovače. [Kollmann, a kol., 1975]

Obr. 3-13: Vlevo japonský odkornovač Fuji Kogyo na kulatinu menších průměrů, vpravo rotorový odkornovač Valon Kone



[Hrázský a Král, 2007; Štefka, 2002]

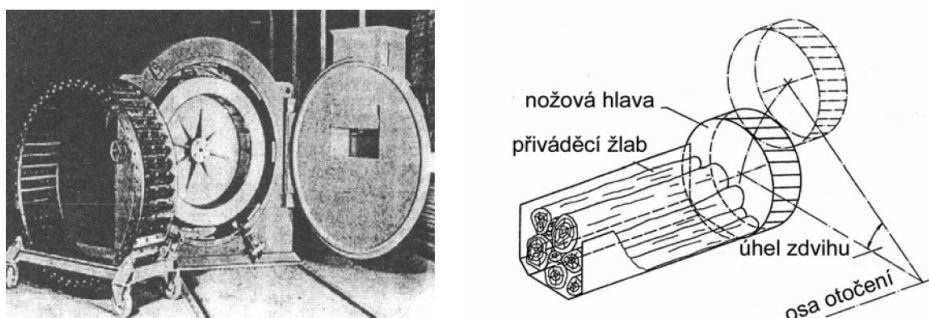
- **Roztřískování**

Výroba třísek probíhá jednostupňovým či dvoustupňovým způsobem. Jednostupňové roztřískování se používá pro zpracování rovnáného průmyslového dříví, dvoustupňové především pro druhotné zdroje. [Hrázský a Král, 2007]

Pro výrobu třísek na dřevotřískové desky jsou používány diskové, válcové a prstencové roztřískovače. Diskové roztřískovače se vyznačují robustností, krátkými prostoji při výměně

nožů a malou náchylností na cizí předměty. Nevýhodou diskových roztřískovačů je rozdílná řezná rychlost na základě radiálního rozmístění nožů. Druhým typem je válcový roztřískovač. Jeho předností je vždy stejná řezná rychlost. Nejvýkonnější roztřískovač je prstencový s nožovým věncem. Tento typ je určen pro jednostupňové zpracování dlouhé kulatiny na vysoce jakostní třísku. Proto se nejvíce uplatňuje v závodech vyrábějící OSB desky. Efekt kalibrovaného dělení vyrábí požadované listové třísky jen s malými tloušťkovými rozdíly. Délka třísek je určena nařezávacími nožíky, které jsou vsazeny před noži s nepřerušným ostřím, nebo jsou součástí hlavního ostří. [Štefka, 2002]

Obr. 3-14: Prstencový roztřískovač Klöckner



[Hrázský a Král, 2007; Štefka, 2002]

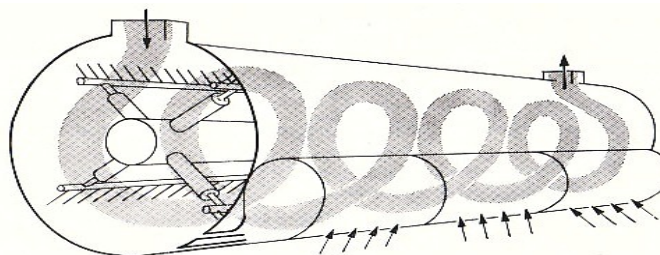
- **Skladování**

Zásobník slouží k překlenutí odstavek vlivem servisních operací na roztřískovači a dávkuje třísky do sušárny.

- **Sušení třísek**

Třísky jsou vysušovány v různých typech sušáren z počáteční vlhkosti 40 až 150 % na vlhkost 2 až 3 % u středových a 5 % u povrchových třísek. V současnosti se pro sušení třísek používají nejčastěji sušárny bubnové a tryskové, výjimečně proudové. Tyto sušárny mohou být vytápěny spaliny zemiho plynu, topného oleje, nebo mohou byt vyhřívány spaliny z pálení dřevního prachu. Rovněž jsou možné kombinace uvedených variant. [Hrázský a Král, 2007]

Obr. 3-15: Schéma bubnové sušárny



[Kollman a kol., 1975]

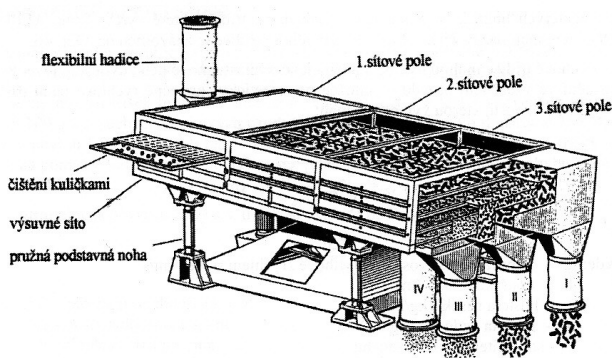
- **Třídění třísek DTD**

Třídění třísek se provádí po sušení. Třídí se jehlicovité třísky určené pro povrchové vrstvy (mikrotřísky) a lístkové třísky pro středové vrstvy vícevrstvých třískových desek, hrubá frakce třísek na domílání a jemný podíl na spálení v sušárnách. [Hrázský a Král, 2007]

- **Třídění třísek OSB**

Vysušené třísky je třeba roztrždit do tří skupin. Pro povrchové vrstvy OSB se používají nejdelší třísky, menší na středové vrstvy. Třetí skupina, kterou je jemný podíl třísek pod 6 mm, je odsítován. [Hrázský a Král, 2007]

Obr. 3-16: Diskový třídič Klöckner



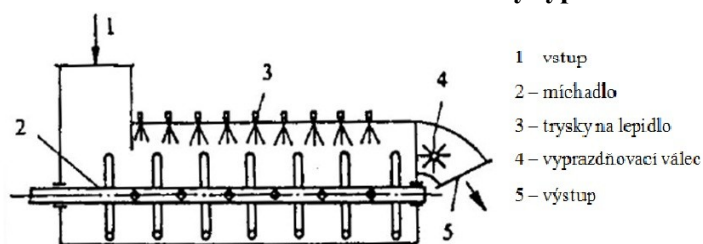
[Štefka, 2002]

- **Nanášení lepicí směsi**

„Nanášení lepicí směsi je jeden z rozhodujících úkonů při výrobě třískových desek, který rozhoduje nejen o vlastnostech výrobku, ale i hospodárnosti výroby a výrobních nákladech.“ [Lehmann, 1965]

Nanášení se uskutečňuje stříkáním a otíráním. Nejmodernější zařízení využívají kombinaci obou principů. Výhoda stříkání spočívá v rovnoměrném rozprášení po povrchu třísek, avšak při tomto způsobu jemné frakce pohlcují větší množství lepidlové směsi než větší frakce a nános je nerovnoměrný. Aby se dosáhlo rovnoměrnosti nánosu, vznikly v 70. letech prstencové nanášedky, využívající princip otírání. [Štefka, 2006]

Obr. 3-17: Schéma bubnové nanášedky typu Dreis

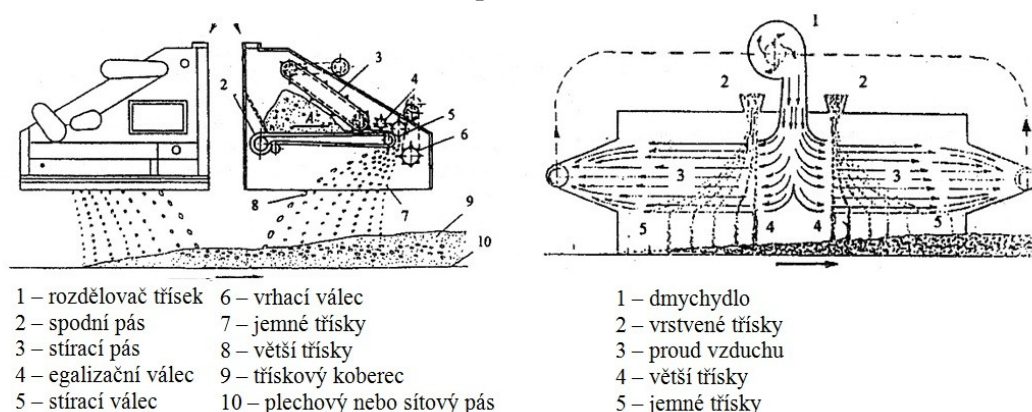


[Štefka, 2006]

- **Vrstvení třískového koberce DTD**

Vrstvení třískového koberce je finální operace přípravy směsi třísek, lepidla a dalších přísad před jejich slisováním do finálního výrobku. Tato operace ovlivňuje rozhodujícím způsobem kvalitu DTD, ekonomii výroby, konečnou skladbu, symetrii, tvarovou stálost, rovnoměrnost vlastností a tloušťku TD. Proto se tomuto technologickému úseku věnuje velká pozornost. [Hrázský a Král, 2007]

Obr. 3-18: Vrstvicí zařízení s mechanickou gradací třísek vlevo a pneumatickou gradací třísek vpravo

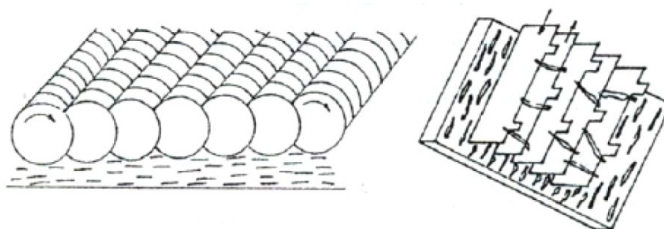


[Štefka, 2002]

- **Vrstvení třískového koberce OSB**

Mechanické vrstvicí zařízení se skládá z dávkovacího zásobníku a mechanického zařízení na orientaci třísek. Podélná orientace třísek pro povrchové vrstvy je dosažena pomocí disků umístěných na hřídelích. Příčná orientace třísek pro středovou vrstvu je zabezpečena vrstvicími válci.

Obr. 3-19: Princip mechanické orientace třísek



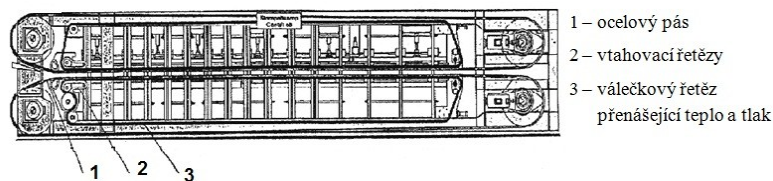
[Hrázský a Král, 2007]

- **Lisování**

Proces lisování završuje rekonstituci dřevních částí do podoby tuhého plošného výrobku, u kterého podstatnou měrou ovlivňuje jeho vlastnosti. Jako lisovací zařízení pro výrobu plošně lisovaných desek se používají lisy jednoetážové, víceetážové, a kontinuální. S ohledem na rychlost a kvalitu výroby se v dnešní době prosazují především kontinuální lisy. Lisovací

čas (lisovací faktor), tj. doba potřebná na vylisování 1 mm tloušťky desky, záleží na použitém lepidlu. PF lepidla vyžadují tento čas v rozmezí 16 až 20 s/mm tloušťky desky. Při použití izokyanátového lepidla se lisovací čas pohybuje do 10 s/mm. [Lehmann, a kol., 1972]

Obr. 3-20: Kontinuální lis KontiRoll



[Štefka, 2001]

- **Dokončování**

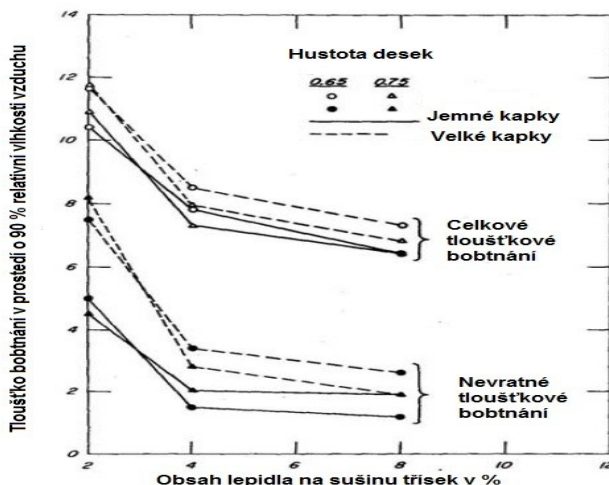
Po vylisování jsou desky podélně a příčně ořezány a následně děleny na požadované formáty. Po vylisování a řezání je nutno desky klimatizovat v paprskových turniketech. Poté následuje značení a paktování do balíků.

3.14.5 Faktory ovlivňující sorpční vlastnosti dřevotřískových, OSB a GSB desek

- **Lepidlo**

S rostoucím množstvím použitého lepidla klesá rovnovážná vlhkost desek, celkové tloušťkové bobtnání i nevratné tloušťkové bobtnání. Značný vliv na celkové i nevratné tloušťkové bobtnání má velikost kapek lepidla nanášených na částice. Nanášení menších kapek zvyšuje efektivitu využití lepidla, díky tomu se zlepší spojení dřevních částic a klesnou hodnoty tloušťkového bobtnání.

Graf 3-9: Vliv množství a velikosti kapek lepidla na hodnoty celkového a nevratného tloušťkového bobtnání



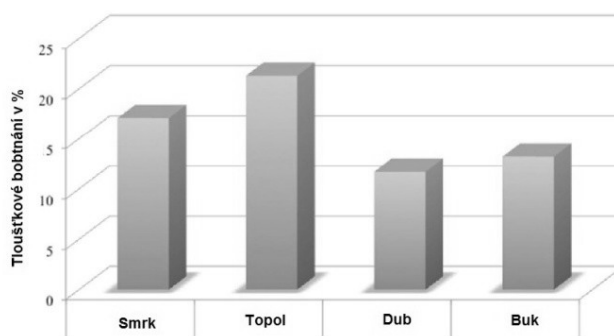
[Lehmann, 1965]

Vliv má i druh použitého lepidla. Dřevotřískové desky vyrobené na bázi močovino-formaldehydových pryskyřic mají jen o málo nižší rovnovážnou vlhkost než druh dřeva, ze kterého byla deska vyrobena. Dřevotřískové desky lepené fenolickými lepidly mají odlišný průběh izotermy než při použití močovino-formaldehydových lepidel. Vyznačují se vysokou rovnovážnou vlhkostí při vysokých hodnotách relativní vlhkosti vzduchu, která je vyšší než má přírodní dřevo. [Lehmann, Hefty, 1973]

- **Dřevina**

Medvedev a kol., (1996) popsal vliv dřeviny na tloušťkové bobtnání tak, že nižší bobtnání je dosaženo při použití dřevin s vyšší hustotou a vyšším obsahem ligninu. K testu byly použity laboratorně vyrobené třískové desky s konečnou hustotou $0,65 \text{ g/cm}^3$. Výsledek testu zřejmě značně ovlivnil nestejný stupeň komprese třísek.

Graf 3-10: Vliv dřeviny na tloušťkové bobtnání třískových desek

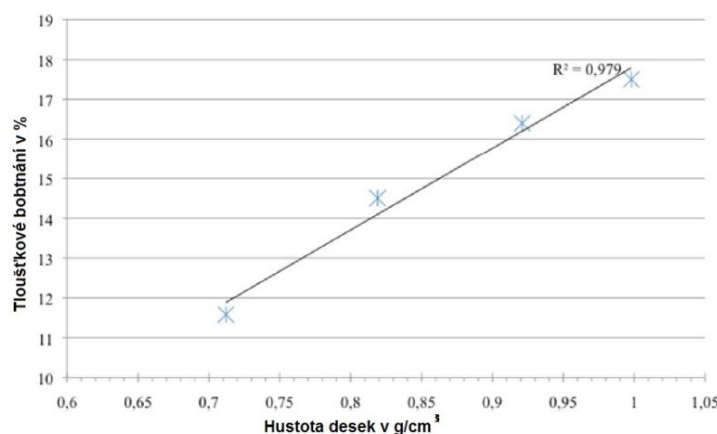


[Medvedev, a kol., 1996]

- **Průměrná hustota desek**

Podle Kelly, (1977) klesá s rostoucí hustotou desek rovnovážná vlhkost desek. Toto je způsobeno prodloužením lisovacího času nutného k lisování třískového koberce a tedy prodloužením působení vysoké teploty, která snižuje sorpci dřeva.

Graf 3-11: Vliv průměrné hustoty desek na velikost tloušťkového bobtnání



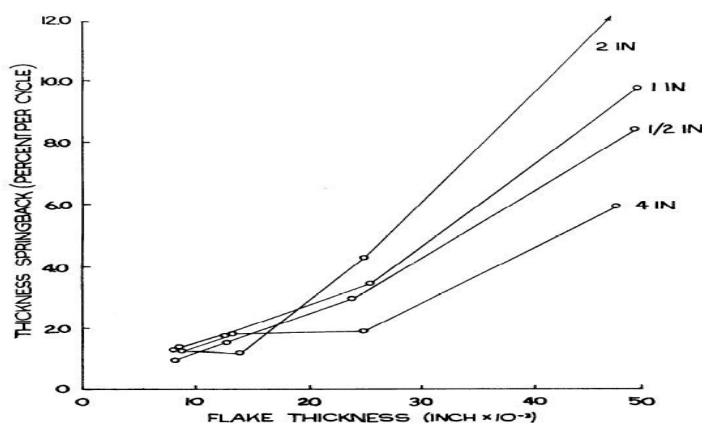
[Medvedev, a kol., 1996]

S rostoucí průměrnou hustotou desek roste stupeň stlačení třískového koberce a stoupá velikost celkového i nevratného bobtnání lineárně. Toto je dáno nahromaděním napětí při lisování třískového koberce. Při působení vlhkosti má pak materiál tendenci tato napětí uvolnit a vrátit se do původního nestlačeného stavu. [Medvedev, a kol., 1996]

- **Vliv tloušťky třísek na velikost nevratného bobtnání**

Velikost odpružení po působení prostředí se zvýšenou vlhkostí roste s rostoucí tloušťkou lístkových třísek. [Kelly, 1977]

Graf 3-12: Vliv tloušťky třísek na nevratné bobtnání



[Kelly, 1987]

- **Hydrofobizační prostředky**

Nejčastěji se používá parafín v množství 0,5 až 1,5 % ve formě parafínové emulze často jako součást lepidlové směsi. Parafín bobtnání snižuje velmi výrazně, ale jen při krátkém působení vody a ještě méně při působení vodní páry. [Štefka, 2006]

3.14.6 Úprava třískových desek proti působení vlhkosti

K omezení vlivu vlhkosti na třískové desky, především na zvýšení rozměrové stability, se krom zvyšování podílu lepidlové směsi, používá tepelná úprava desek a tepelná úprava třísek.

Tepelná úprava desek spočívá v ošetření hotových desek působením teploty v rozmezí 230 až 250 °C. Se zvyšující se dobou působení teploty se snižuje velikost tloušťkového bobtnání a výrazně se redukuje i podíl nevratného bobtnání. Tato úprava však snižuje i hodnoty pevnosti v ohybu.

Tepelná úprava třísek spočívá v tepelném ošetření vysušených třísek za sníženého přístupu kyslíku při teplotě 220 °C. Tato úprava snižuje celkové bobtnání o cca 50 %, ale způsobuje pokles pevnosti v ohybu o 35 až 50 %.

4. Materiál a metodika

4.1 Materiál

Pro účely porovnání stavu vlhkostní rovnováhy a tloušťkového bobtnání materiálů na bázi dřeva jsem, po konzultaci s vedoucím práce, vybral soubor deskových materiálů z tuzemské produkce. Dva typy MDF desek, jeden typ DTD, OSB, GSB a dva typy překližek. Materiály byly zvoleny s ohledem na pokrytí spektra v technické praxi běžně používaných deskových materiálů na bázi dřeva.

- **MDF 1**

MDF pro nenosné účely a použití v interiéru.

Tab. 4-1: Základní údaje MDF 1

Tloušťka	18 mm
Základní formát	2750 × 1840
Objemová hmotnost	800 kg/m ³
Lepidlo	9,5 % UF
Parafín	2,5 %
Dodávaná vlhkost	4–9 %
Emisní třída úniku formaldehydu podle ČSN EN 636	E1
Třída reakce na oheň	D-s2,d0
Stupeň broušení	K-150

- **MDF 2**

MDF pro nenosné účely a použití v interiéru.

Tab. 4-2: Základní údaje MDF 2

Tloušťka	18 mm
Základní formát	2750 × 1840
Objemová hmotnost	750 kg/m ³
Lepidlo	8 % UF
Parafín	2,5 %
Dodávaná vlhkost	4–9 %
Emisní třída úniku formaldehydu podle ČSN EN 636	E1
Třída reakce na oheň	D-s2,d0
Stupeň broušení	K-150

- **DTD**

Desky určeny pro použití v suchém prostředí, pro vnitřní vybavení včetně nábytku. Typ P 2.

Tab. 4-3: Základní údaje DTD

Tloušťka	18 mm
Základní formát	2840 × 1830
Objemová hmotnost	700 kg/m ³
Lepidlo	4,5 % UF
Parafín	0,5 %
Dodávaná vlhkost	10 %
Emisní třída úniku formaldehydu podle ČSN EN 636	E1
Třída reakce na oheň	D-s2,d0

- **OSB 3**

Desky z orientovaných plochých třísek OSB 3 jsou nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí podle ČSN EN 300.

Tloušťka	18 mm
Rozměr	2500 × 650
Třída reakce na oheň	DFL-s1
Měrná hmotnost	650 kg/m ³
Třída obsahu formaldehydu	E1
„Desky na bázi dřeva pro použití ve stavebnictví“ dle EN 13986:2004	Ano
Povrch desky, Hrana desky	Broušený, Pero drážka
Vstupní surovina	SM 80 %, BO 20 %
Lepidlo	Povrchové vrstvy spojeny MUF lepidlem v množství 8,5 % na sušinu třísek, středová vrstva MDI lepidlem v množství 3,5 % na sušinu třísek, tvrdidlo: 2,4 %.
Parafín	0,7 % na sušinu třísek
Lisování	Lisovací teplota: 180–230 °C Lisovací tlak: až 3 MPa

- **GSB P5**

Mikroštěpkové desky pro použití na nosné podlahy ve vlhkém prostředí.

Tab. 4-4: Základní údaje GSB P5

Tloušťka	18 mm
Rozměr	600 × 2470
Třída reakce na oheň	DFL-s1
Měrná hmotnost	600–800 kg/m ³
Třída obsahu formaldehydu	E1
„Desky na bázi dřeva pro použití ve stavebnictví“ dle EN 13986:2004	Ano
Povrch desky, Hrana desky	Broušený, Pero drážka
Vstupní surovina	Jehličnaté 80 %, Listnaté 20 %. Druh i podíl se příliš nesleduje.
Vstupní sortiment	Piliny 75 %, Pilařský odpad 25 %
Lepidlo	Lepidlová směs (mimo parafinu): 10–12,5 % vodného roztoku dusičnanu amonného (30 %) 87,5–90 % UF lepidla. Dávkování 17–23 % lepidlové směsi.
Parafin	2,5 kg/m ³ + zelené barvivo
Tvar třísek	Lístkové: po vysoušení W = 7–9 %
Lisování	Taktový lis: 16 etáží Lisovací čas: 11–14min Lisovací teplota: 145–165 °C Lisovací tlak: až 190 kPa

- **Překližka foliovaná pro všeobecné použití ve vlhkém prostředí**

Překližované desky vyrobené z loupaných dýh. Povrchové dýhy bukové, dále se ve skladbě dýhy pravidelně střídají smrkové a bukové. Na úpravu povrchu se používá papír impregnovaný fenol-formaldehydovou pryskyřicí. Označení určení použití podle ČSN EN 636 - "G" - pro všeobecné účely.

Tab. 4-5: Základní údaje překližka foliovaná

Tloušťka	18 mm
Počet vrstev	11
Objemová hmotnost	680 kg/m ³
Třída lepení dle EN 314-2	3
Dodávaná vlhkost	12 %
Emisní třída úniku formaldehydu podle ČSN EN 636	E1
Třída ohrožení podle ČSN EN335-3	3

- **Překližka truhlářská**

Překližka pro všeobecné použití. Kombinovaná konstrukce, povrchové vrstvy z loupané bukové dýhy, středové vrstvy smrk.

Tab. 4-6: Základní údaje překližka

Tloušťka	18 mm
Počet vrstev	9
Objemová hmotnost	600 kg/m ³
Třída lepení dle EN 314-2	1
Dodávaná vlhkost	12 %
Emisní třída úniku formaldehydu podle ČSN EN 636	E1
Třída ohrožení podle ČSN EN 335-3	1

4.2 Stanovení počtu zkušebních těles

Vzhledem k proměnlivosti uvnitř a mezi deskami je pro získání spolehlivých výsledků pro dané záměry nutné zkoušet určitý počet desek (dle ČSN EN 326-1). Účelem této práce není kontrola jakosti, ale snaha o porovnání průměrných hodnot zkoumané vlastnosti při různých vlhkostních stupních a porovnání hodnot dosahovaných jednotlivými materiály mezi sebou. 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 15 ks zkušebních těles podle vzorce:

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

t_a – kvantil Studentova rozdělení při zvolené hladině významnosti (koeficient spolehlivosti).

Hladina významnosti byla zvolena 0,05, odpovídající koeficient spolehlivosti 1,96.

v – očekávaný variační koeficient zkoumané vlastnosti (zvoleno 10 % podle Štefka, 1997)

d – relativní přesnost odhadu průměrné hodnoty pro základní soubor (zvoleno 10 % podle Štefka, 1997)

S ohledem na provedené výpočty, a především 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 $n = 10$.

4.3 Rozměry a odběr zkušebních těles

Zkušební tělesa byla odebrána v souladu s normou ČSN EN 326-1. Tělesa byla pravoúhlá s šířkou 50 ± 1 mm a délkou rovnající se dvacetinásobku jmenovité tloušťky + 50 mm, tj. 410 ± 1 mm. Tato velikost těles byla volena s ohledem na další výzkum Katedry dřevěných konstrukcí a výrobků, jehož podstatou bude porovnání modulu pružnosti v závislosti na nevratném bobtnání těchto materiálů.

Z 5 náhodně vybraných desek od každého materiálu, bylo podle ČSN EN 326-1 odebráno 5 zkušebních vzorků pro oba hlavní výrobní směry. Každá deska byla při měření v 6 vlhkostních stupních reprezentována dvěma zkušebními vzorky.

4.4 Metodika

Zkušební tělesa byla klimatizována ve vlhkostních stupních 15, 35, 50, 65, 85 a 100 % relativní vlhkosti vzduchu, při teplotě 20 °C. V každém vlhkostním stupni byly zjišťovány následující fyzikální vlastnosti:

- vlhkost
- hustota
- tloušťkové bobtnání
- nevratné tloušťkové bobtnání

4.4.1 Klimatizační zařízení a klimatizace těles

Zkušební tělesa byla klimatizována v klimatizační komoře WEIS TECHNIK 12SD/15JU s rozpětím měření 0–40 °C, 5–100 % relativní vzdušné vlhkosti a rovnoměrným prouděním vzduchu 0,15 m/s při povrchu těles do konstantní hmotnosti v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu odpovídající danému vlhkostnímu stupni s odchylkou ± 5 % a teplotou 20 ± 2 °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. Rovnovážné vlhkosti bylo dosaženo po klimatizování trvajícím 10 dní.

4.4.2 Použitá měřidla

Tloušťka a šířka těles byla měřena posuvným digitálním měřidlem Mitutoyo 500-123U/CD-15B s přesností měření 0,01 mm. Vzhledem k absenci posuvného měřítka

dostatečného rozsahu k měření délek těles delších než 300 mm, byla délka těles měřena přípravkem s upevněným mikrometrem Mitutoyo ID-C125B 0–25,4 s kruhovou měřicí plochou s průměrem 4 mm a měřicí silou 4 ± 1 N s přesností měření 0,001 mm, naměřený údaj byl zaokrouhlován na 0,01 mm. Váha těles byla zjišťována laboratorní váhou Sartorius BP 3100S s přesností vážení 0,01 g.

4.4.3 Zjišťování obsahu vlhkosti (ČSN EN 322)

Zkouška spočívá v zjištění úbytku hmotnosti tělesa klimatizovaného na rovnovážnou vlhkost daného vlhkostního stupně po jeho vysušení v sušárně při teplotě 103 ± 2 °C. Těleso je považováno za vysušené, když se výsledky dvou vážení provedených v intervalu 6 hodin neliší o více než 0,1 % hmotnosti zkušební tělesa. Po vysušení byly vzorky ochlazeny v exsikátoru na teplotu místnosti. Poté byly vzorky váženy laboratorní váhou Sartorius BP 3100S. Výpočet vlhkosti byl proveden podle vzorce:

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

w – vlhkost zkušební tělesa [%]

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

m_0 – hmotnost zkušební tělesa po vysušení [g]

4.4.4 Zjišťování hustoty (ČSN EN 323)

Hustota byla zjišťována poměrem hmotnosti zkušební tělesa k jeho objemu v daném vlhkostním stupni. K vážení byla použita digitální váha Sartorius BP 3100S. Tloušťka a šířka zkušebních těles byla měřena digitálním posuvným měřítkem Mitutoyo 500-123U/CD-15B v podélné ose těles ve 3 vyznačených bodech, ve vzdálenosti 25 mm od okrajů těles a uprostřed těles a vyjádřena jako aritmetický průměr z těchto tří měření. Délka zkušebních těles byla měřena přípravkem s upevněným mikrometrem Mitutoyo ID-C125B s rozsahem 0–25,4 mm.

Hustota zkušebních těles byla vypočtena podle vzorce:

$$\rho = \frac{m}{l \cdot b \cdot t} \cdot 10^6 \quad [kg/m^3]$$

m – hmotnost zkušební tělesa [g]

l – délka zkušebního tělesa [mm]

b – šířka zkušebního tělesa [mm]

4.4.5 Tloušťkové bobtnání (ČSN EN 318)

- **Celkové tloušťkové bobtnání**

Celkové tloušťkové bobtnání se zjišťuje jako poměr velikosti přírůstku tloušťkových rozměrů zkušebních těles po klimatizaci v jednotlivých vlhkostních stupních, vůči tloušťce po vysušení. Tloušťka zkušebních těles byla měřena digitálním posuvným měřítkem Mitutoyo 500-123U/CD-15B v podélné ose tělesa ve 3 vyznačených bodech ve vzdálenosti 25 mm od okrajů tělesa a uprostřed tělesa a vyjádřena jako aritmetický průměr z těchto tří měření.

Tloušťkové bobtnání bylo vypočteno podle vzorce:

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

t_0 – tloušťka zkušebního tělesa po vysušení [mm]

t_c – tloušťka zkušebního tělesa po klimatizování v jednotlivých vlhkostních stupních [mm]

- **Nevratné tloušťkové bobtnání**

Po klimatizaci v určených vlhkostních stupních byly vzorky změřeny a zváženy pro zjištění celkového tloušťkového bobtnání a poté znovu změřeny po vysušení při teplotě $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ za účelem zjištění podílu nevratného tloušťkového bobtnání.

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

t_0 – je tloušťka zkušebního tělesa po prvním vysušení [mm]

t_{c0} – tloušťka opětovně vysušeného zkušebního tělesa po klimatizování
v jednotlivých vlhkostních stupních [mm]

4.4.6 Formální stránka práce

Experimentální měření byla provedena ve fyzikální a mechanické laboratoři Fakulty lesnické a dřevařské České zemědělské univerzity v Praze.

Textová část práce byla zpracována v textovém editoru Microsoft Office Word 2007. Tabulky v programu Microsoft Office Excel 2007, grafy v programu Statistica 10.0.

5. Výsledky a diskuze

V této části diplomové práce jsou v tabulkách a grafech znázorněny získané výsledky z jednotlivých měření. Pro větší přehlednost jsou zde uváděny již zpracované výsledky jednotlivých měření a pro danou zkoušku je zde uváděn pouze aritmetický průměr \bar{x} , směrodatná odchylka s , variační koeficient v , minimální a maximální naměřená hodnota vyplývající z jednotlivých naměřených hodnot k dané zkoušce.

5.1 Vlhkost

Základní statistické ukazatele pro stav rovnovážné vlhkosti jsou uvedeny v tabulkách.

5.1.1 MDF desky

Tab. 5-1: Obsah vlhkosti MDF 1 v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	2,17	4,08	5,43	6,77	10,77	21,20
s	0,04	0,04	0,05	0,09	0,13	0,58
v [%]	1,78	1,09	0,95	1,29	1,20	2,72
Max	2,22	4,14	5,51	6,88	10,94	21,78
Min	2,11	3,96	5,31	6,62	10,57	20,20

Tab. 5-2: Obsah vlhkosti MDF 2 v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	1,94	3,81	5,07	6,78	10,61	20,89
s	0,04	0,07	0,07	0,09	0,17	0,64
v [%]	2,29	1,76	1,33	1,28	1,60	3,04
Max	1,99	3,92	5,18	6,86	10,86	21,63
Min	1,84	3,69	4,92	6,61	10,32	19,45

5.1.2 DTD, OSB, GSB desky

Tab. 5-3: Obsah vlhkosti DTD v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	2,58	4,85	6,71	8,30	12,41	21,69
s	0,03	0,12	0,47	0,14	0,21	0,44
v [%]	1,17	2,47	7,02	1,64	1,65	2,05
Max	2,64	4,98	8,11	8,46	12,61	22,34
Min	2,53	4,54	6,46	8,04	12,03	20,87

Tab. 5-4: Obsah vlhkosti OSB 3 v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	2,39	4,68	6,18	8,24	12,56	20,11
s	0,11	0,08	0,09	0,10	0,32	1,21
v [%]	4,66	1,64	1,53	1,25	2,55	6,02
Max	2,64	4,79	6,34	8,39	13,09	22,24
Min	2,20	4,55	6,02	8,06	11,88	18,02

Tab. 5-5: Obsah vlhkosti GSB v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	2,60	5,22	6,58	8,34	12,05	19,14
s	0,29	0,11	0,18	0,10	0,20	0,83
v [%]	11,09	2,19	2,81	1,20	1,66	4,33
Max	3,19	5,37	6,75	8,48	12,41	20,05
Min	2,26	5,03	6,09	8,19	11,73	17,39

5.1.3 Překližka

Tab. 5-6: Obsah vlhkosti překližka stavební fol. v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	1,62	4,18	6,29	8,74	13,53	25,59
s	0,08	0,12	0,17	0,23	0,22	0,94
v [%]	4,90	2,98	2,68	2,67	1,60	3,69
Max	1,70	4,36	6,51	9,00	13,77	26,76
Min	1,42	3,89	6,03	8,20	13,08	24,01

Tab. 5-7: Obsah vlhkosti překližka truhlářská v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

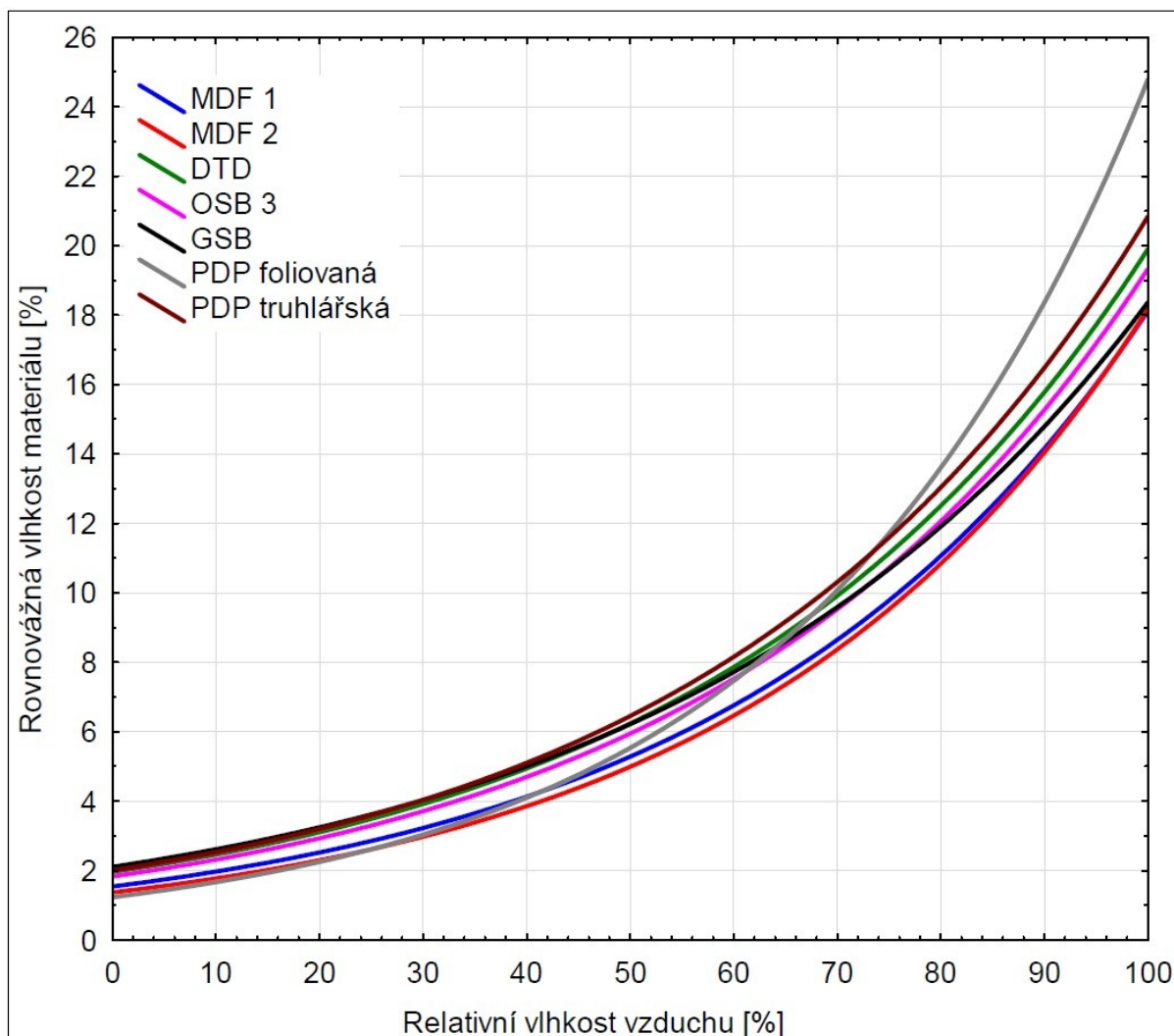
Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	2,38	5,54	7,11	9,00	12,63	21,85
s	0,09	0,16	0,13	0,21	0,28	0,54
v [%]	3,95	2,96	1,78	2,31	2,20	2,49
Max	2,47	5,69	7,30	9,22	12,84	22,46
Min	2,12	5,16	6,82	8,53	11,84	20,58

Z naměřených hodnot byl zpracován graf znázorňující závislost rovnovážné vlhkosti materiálů na relativní vlhkosti vzduchu. K proložení hodnot byla vybrána exponenciální funkce, která nejlépe odpovídala hodnotám vlhkosti materiálu v jednotlivých vlhkostních stupních.

Rovnice závislosti rovnovážné vlhkosti materiálu (W) na relativní vlhkosti vzduchu (RH) pro jednotlivé materiály:

- $W_{\text{MDF 1}} = 1,5384 \times \exp(0,0247 \times \text{RH})$ $R^2 = 0,9331$
- $W_{\text{MDF 2}} = 1,3685 \times \exp(0,0259 \times \text{RH})$ $R^2 = 0,9342$
- $W_{\text{DTD}} = 1,9515 \times \exp(0,0232 \times \text{RH})$ $R^2 = 0,9651$
- $W_{\text{OSB 3}} = 1,8274 \times \exp(0,0236 \times \text{RH})$ $R^2 = 0,9863$
- $W_{\text{GSB}} = 2,1033 \times \exp(0,0217 \times \text{RH})$ $R^2 = 0,9826$
- $W_{\text{PDP foliovaná}} = 1,234 \times \exp(0,03 \times \text{RH})$ $R^2 = 0,9459$
- $W_{\text{PDP truhlářská}} = 1,9957 \times \exp(0,0235 \times \text{RH})$ $R^2 = 0,9539$

Graf 5-1: Porovnání sorpčních křivek



Z tabulek naměřených hodnot a z grafu je patrné, že nejnižší rovnovážné vlhkosti dosahují MDF desky. Toto je dáno větším množstvím lepidla používaného při výrobě (8 až 10 % UF na sušinu vlákna) a větším množstvím parafinu přidávaného při mletí na vlákno (2 až 2,5 % na sušinu vlákna). Vliv na stav rovnovážné vlhkosti má také síran hlinitý Al_2SO_4 přidávaný pro snížení PH před odvodněním vlákna, z důvodu vysrážení parafinové emulze na vlákne. Vedlejším efektem tohoto procesu je snížení navlhavosti. [Kollman a kol., 1975; Hrázský a Král, 2007; Štefka 2002]

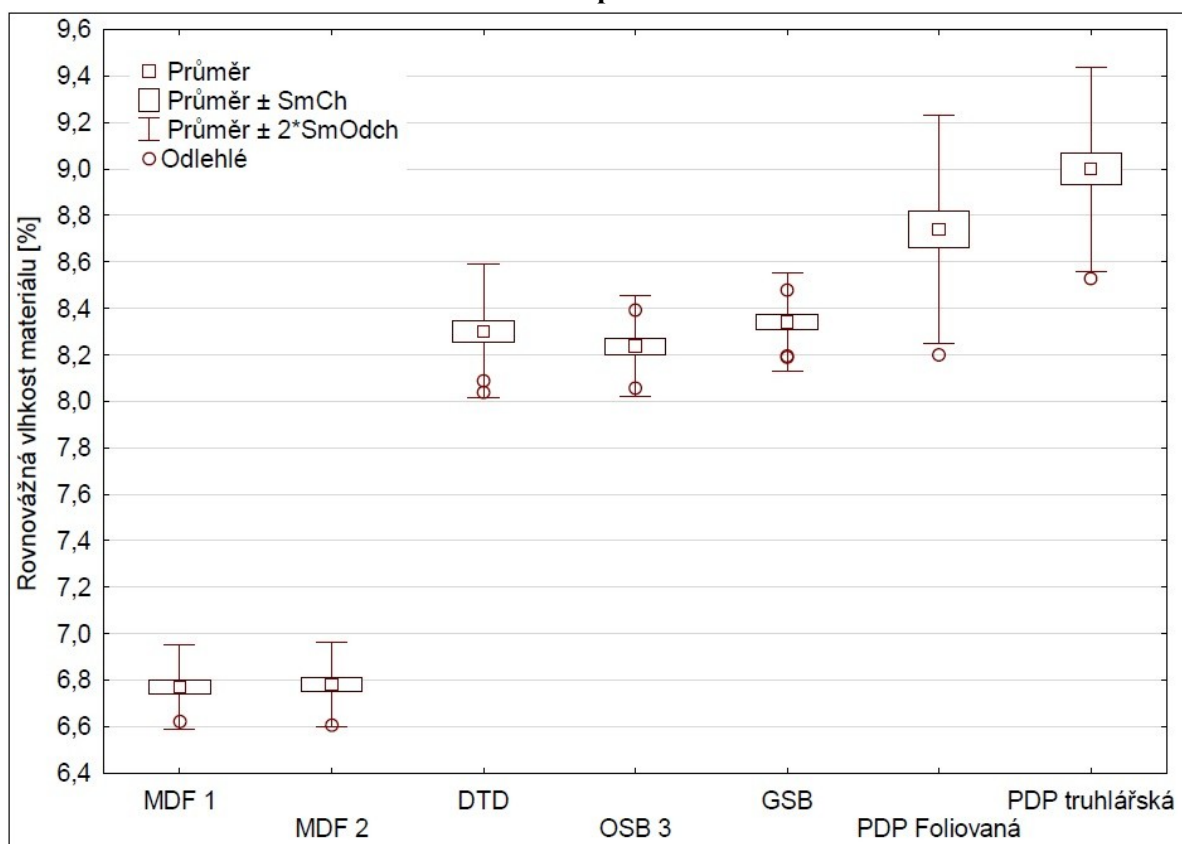
Nejstrmější stoupání vlhkosti bylo zaznamenáno u foliované překližky. Ta dosahovala nejnižší rovnovážné vlhkosti ze všech porovnávaných materiálů do relativní vlhkosti vzduchu 30 %. Nad touto hranicí začíná křivka rovnovážné vlhkosti strmě stoupat až na 25,59 % vlhkosti materiálu při 100% relativní vlhkosti vzduchu. Tento jev je determinován především použitím fenol-formaldehydové pryskyřice. Tvrdidla používaná při její aplikaci jsou založena na bázi solí kyselin. Nejčastěji se používá $(NH_4)_2SO_4$, případně NH_4NO_3 . Silně

hygroskopické vlastnosti těchto tvrdidel způsobují zvýšení sorpce překližky. „Příčina spočívá zejména ve velmi vysoké rovnovážné vlhkosti vytvořené fenolickou pryskyřicí, a v rozdílném rovnovážném stavu přírodního dřeva a pryskyřice a tím vytvoření quazistacionárního stavu mezi dřevem, vzduchem a pryskyřicí.” [Matovič, 1993]

Křivky znázorňující průběh rovnovážných vlhkostí DTD a OSB 3 mají velmi podobný průběh v celém rozsahu měření. OSB 3 dosahuje oproti DTD mírně nižší rovnovážné vlhkosti, to je pravděpodobně zapříčiněno vyšší hustotou DTD oproti OSB 3. Velmi zajímavý průběh závislosti můžeme pozorovat u desek GSB, kde křivka až do relativní vlhkosti vzduchu 50 %, kopíruje průběh neupravené DTD. V oblasti vyšších relativních vlhkostí však dosahuje hodnot nižších než OSB 3. Toto lze zřejmě vysvětlit vyšším množstvím lepidlové směsi používané při výrobě těchto desek, cca 17–23 % oproti 7,5 % u OSB 3.

Následující graf zobrazuje rozdíly hodnot rovnovážné vlhkosti materiálů v prostředí odpovídajícím vnitřnímu prostředí budov (65% vlhkost vzduchu, 20 °C). Z grafu je patrné, že nejnižších hodnot dosahují MDF desky, nejvyšší obě překližky.

Graf 5-2: Rovnovážná vlhkost materiálů v prostředí o relativní vlhkosti vzduchu 65 %



Při klimatizaci v šestém vlhkostním stupni (vlhkost vzduchu 100 %, 20 °C) došlo u OSB 3, DTD, obou MDF a foliované překližky k výskytu plísní. GSB plísní napadeny nebyly,

z důvodu přidavku fungicidu. Nejrozsáhlejší napadení bylo možno pozorovat u vzorků MDF, které byly napadeny v plochách i na hranách. Napadení OSB 3 bylo méně rozsáhlé, vyskytovalo se v ploše i na hranách. Foliovaná překližka byla napadena pouze na hranách, kde bylo přístupné dřevo.

Obr. 5-1: Napadení plísní v šestém vlhkostním stupni



5.2 Hustota

Základní statistické ukazatele hustoty jsou uvedeny v tabulkách.

5.2.1 MDF desky

Tab. 5-8: Hustota MDF 1 v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [kg/m ³]	800,40	799,50	799,91	809,51	811,47	798,51
s	8,10	10,61	7,19	9,77	6,58	6,52
v [%]	1,01	1,33	0,90	1,21	0,81	0,82
Max	809,77	819,19	812,86	822,47	819,11	807,80
Min	785,98	784,70	788,71	794,27	800,13	787,36

Tab. 5-9: Hustota MDF 2 v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [kg/m ³]	789,81	781,21	783,32	782,80	775,12	767,54
s	10,66	12,53	17,44	14,99	8,95	13,96
v [%]	1,35	1,60	2,23	1,91	1,15	1,82
Max	808,02	797,78	814,05	809,69	789,36	803,08
Min	776,88	758,19	752,49	759,37	755,69	748,92

5.2.2 DTD, OSB, GSB desky

Tab. 5-10: Hustota DTD v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [kg/m ³]	710,35	718,57	724,01	713,75	711,48	708,04
s	15,63	11,29	14,92	14,98	11,76	12,49
v [%]	2,20	1,57	2,06	2,10	1,65	1,76
Max	726,63	730,21	741,33	730,90	726,86	723,95
Min	678,82	694,48	701,29	693,76	686,94	688,57

Tab. 5-11: Hustota OSB 3 v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [kg/m ³]	579,57	604,23	606,01	611,73	644,92	674,34
s	13,03	13,26	19,34	17,57	21,10	21,77
v [%]	2,25	2,19	3,19	2,87	3,27	3,23
Max	601,81	627,09	641,57	648,34	692,59	718,75
Min	557,23	581,30	567,53	586,26	611,75	629,40

Tab. 5-12: Hustota GSB v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [kg/m ³]	775,26	782,31	782,63	783,17	770,32	794,77
s	38,85	22,40	31,84	26,60	25,56	43,24
v [%]	5,01	2,86	4,07	3,40	3,32	5,44
Max	847,27	809,88	828,15	856,68	820,01	860,77
Min	721,37	742,91	732,13	756,25	736,91	743,55

5.2.3 Překližka

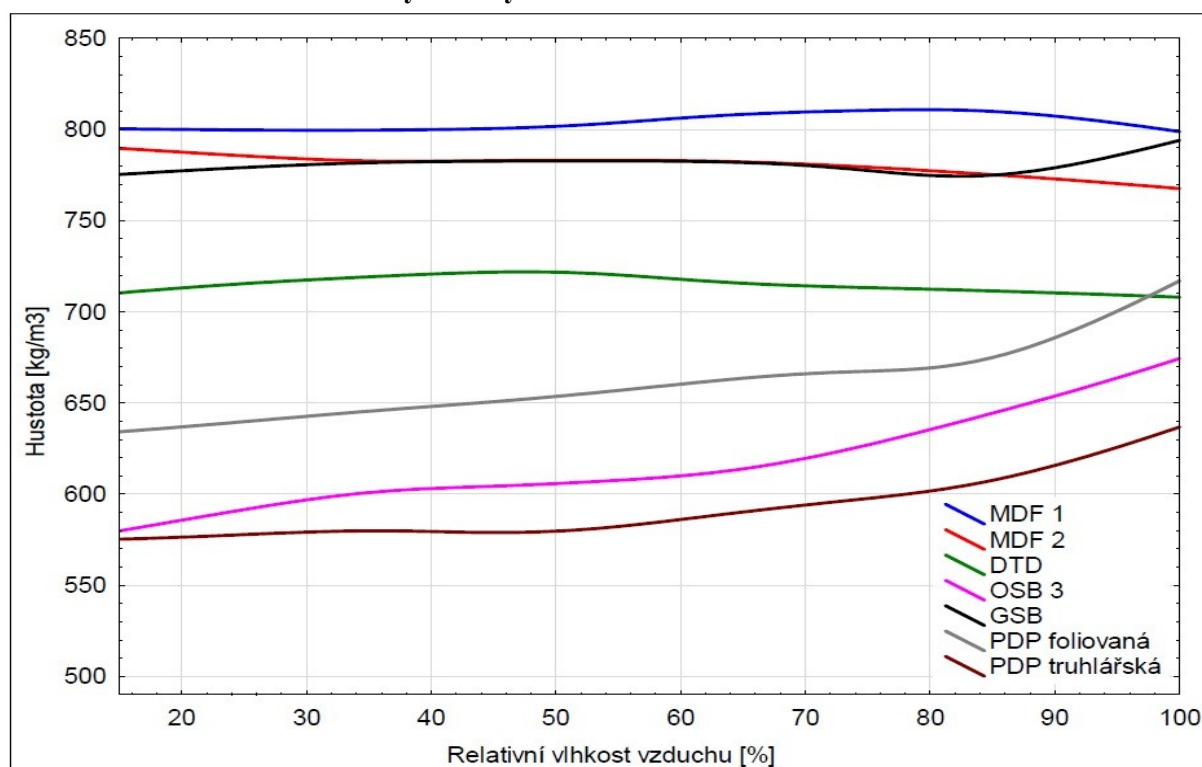
Tab. 5-13: Hustota PDP foliovaná v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [kg/m ³]	634,13	646,22	653,27	665,29	669,31	717,89
s	6,44	7,07	6,00	16,23	6,32	9,89
v [%]	1,02	1,09	0,92	2,44	0,94	1,38
Max	651,07	659,62	659,76	709,22	677,19	740,35
Min	628,01	635,78	640,35	646,88	657,03	706,68

Tab. 5-14: Hustota PDP truhlářská v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [kg/m ³]	575,11	582,73	577,09	591,87	605,50	637,15
s	13,16	18,08	15,21	23,20	13,14	15,54
v [%]	2,29	3,10	2,64	3,92	2,17	2,44
Max	590,27	619,14	601,91	624,29	627,51	663,94
Min	553,50	559,22	547,64	553,73	590,72	604,11

Graf 5-3: Změny hustoty v závislosti na změně vlhkosti vzduchu



Se stoupající vlhkostí prostředí dochází u materiálů na bázi dřeva k absorpci vody do jejich struktury a zvyšování hmotnosti. Zároveň dochází ke zvětšování objemu. Vzhledem k tomu, že oba děje neprobíhají po stejné křivce, mění se v různých vlhkostních stupních i hustota těles. Graf zobrazuje hustotu těles v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu při sorpci. Obě MDF a DTD desky vykazují minimální změny hustoty. Obě překližky a OSB 3 vykazují nárůst hustoty v souvislosti s rostoucí relativní vlhkostí vzduchu.

5.3 Tloušťkové bobtnání

Základní statistické ukazatele pro celkové tloušťkové bobtnání jsou uvedeny v tabulkách.

5.3.1 MDF desky

Tab. 5-15: Tloušťkové bobtnání MDF 1 v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	0,70	1,82	2,68	4,04	7,72	19,71
s	0,13	0,21	0,08	0,07	0,10	0,73
v [%]	18,60	11,59	2,97	1,83	1,32	3,68
Max	0,93	2,39	2,78	4,19	7,90	20,65
Min	0,54	1,58	2,55	3,92	7,56	18,34

Tab. 5-16: Tloušťkové bobtnání MDF 2 v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	0,66	1,91	2,58	4,25	7,89	18,65
s	0,11	0,12	0,11	0,07	0,23	0,81
v [%]	16,08	6,18	4,20	1,75	2,94	4,35
Max	0,80	2,07	2,82	4,42	8,21	19,44
Min	0,46	1,67	2,41	4,13	7,46	16,74

5.3.2 DTD, OSB, GSB desky

Tab. 5-17: Tloušťkové bobtnání DTD v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	0,61	1,94	2,51	4,10	7,89	18,41
s	0,16	0,11	0,14	0,13	0,14	1,00
v [%]	26,53	5,61	5,68	3,20	1,72	5,43
Max	0,80	2,10	2,73	4,26	8,02	19,81
Min	0,17	1,82	2,26	3,79	7,56	16,17

Tab. 5-18: Tloušťkové bobtnání OSB 3 v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	0,61	1,58	2,24	4,09	8,52	15,32
s	0,25	0,27	0,22	0,52	1,12	1,61
v [%]	40,47	17,34	9,73	12,67	13,14	10,51
Max	1,10	2,05	2,62	4,83	10,98	18,10
Min	0,26	1,10	1,95	3,14	6,83	13,12

Tab. 5-19: Tloušťkové bobtnání GSB v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	0,71	1,84	2,27	3,35	5,63	11,24
s	0,16	0,15	0,12	0,21	0,15	0,53
v [%]	22,83	7,99	5,43	6,19	2,63	4,71
Max	1,10	2,12	2,37	3,66	5,86	11,86
Min	0,51	1,61	1,93	2,95	5,35	9,82

5.3.3 Překližka

Tab. 5-20: Tloušťkové bobtnání PDP foliovaná v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	0,36	1,14	2,00	3,09	4,90	8,43
s	0,19	0,05	0,22	0,18	0,18	0,30
v [%]	51,93	4,14	11,09	5,93	3,69	3,57
Max	0,87	1,22	2,27	3,33	5,22	8,88
Min	0,17	1,04	1,48	2,78	4,62	7,93

Tab. 5-21: Tloušťkové bobtnání PDP truhlářská v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	0,38	1,69	1,75	2,20	3,89	7,22
s	0,17	0,28	0,13	0,16	0,62	0,37
v [%]	44,22	16,37	7,55	7,47	15,90	5,12
Max	0,77	2,20	1,93	2,44	5,03	7,70
Min	0,13	1,29	1,57	1,93	2,37	6,44

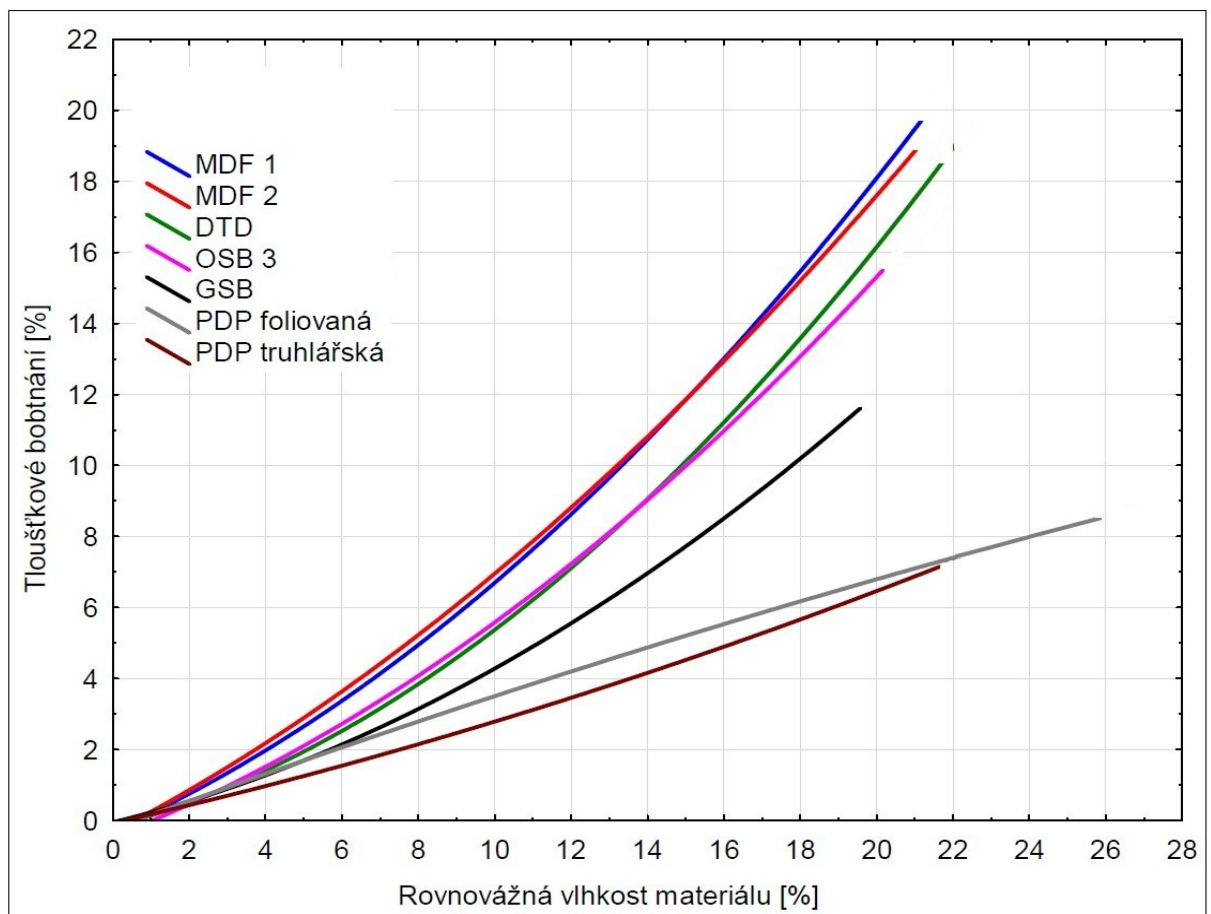
Z naměřených hodnot byl zpracován graf, znázorňující závislost tloušťkového bobtnání na vlhkosti materiálu. K proložení hodnot byla vybrána polynomická funkce, která nejlépe odpovídala hodnotám vlhkosti materiálu v jednotlivých vlhkostních stupních.

Rovnice závislosti tloušťkového bobtnání (T) na rovnovážné vlhkosti materiálu (w):

- $T_{\text{MDF 1}} = - 0,2951 + 0,479w + 0,022w^2$ $R^2 = 0,9767$
- $T_{\text{MDF 2}} = - 0,3308 + 0,56w + 0,0168w^2$ $R^2 = 0,9848$
- $T_{\text{DTD}} = - 0,1824 + 0,294w + 0,0261w^2$ $R^2 = 0,9549$
- $T_{\text{OSB}} = - 0,4536 + 0,4182w + 0,0185w^2$ $R^2 = 0,9504$
- $T_{\text{GSB}} = - 0,0494 + 0,263w + 0,017w^2$ $R^2 = 0,9645$

- $T_{PDP \text{ foliovaná}} = -0,2351 + 0,3959w - 0,0022w^2 \quad R^2 = 0,9757$
- $T_{PDP \text{ truhlářská}} = -0,0739 + 0,2452w + 0,0041w^2 \quad R^2 = 0,9653$

Graf: 5-4: Tloušťkové bobtnání v závislosti na vlhkosti materiálu



Z grafu je patrné, že tloušťkové bobtnání nevykazuje lineární přírůstek v závislosti na vzrůstající vlhkosti. Při vyšší vlhkosti stoupá hodnota tloušťkového bobtnání rychleji.

Nejvyšších hodnot tloušťkového bobtnání dosahují MDF desky. To je pravděpodobně dáno jejich, ze všech zkoumaných materiálů, nejvyšší hustotou. Podle Medvedev, a kol., (1996) stoupá tloušťkové bobtnání se zvyšující se průměrnou hustotou desek přibližně lineárně. Nejnižší tloušťkové bobtnání vykazují překližky. U překližek dochází při lisování k nejmenšímu nahromadění energie v profilu desky, proto se v celkovém tloušťkovém bobtnání nejméně projevuje nevratná složka tloušťkového bobtnání. Ze všech zkoumaných třískových desek dosahuje nejnižších hodnot tloušťkového bobtnání GSB deska. Tento materiál vykazuje takto nízkých hodnot tloušťkového bobtnání z důvodu použití vysokého obsahu lepidla, a především díky dlouhému lisovacímu času 11 až 14 minut. Působením tepla (165 °C) dochází ke snížení tloušťkového bobtnání.

Zajímavé výsledky přináší srovnání tloušťkového bobtnání v rozsahu změny relativní vlhkosti vzduchu z 65 % na 85 %. Toto prostředí sice již neodpovídá třídě vlhkosti 1 podle ENV 1995-1-1 (charakterizována obsahem vlhkosti v konstrukčních materiálech, který odpovídá teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu, která překračuje 65 % nejvýše několik týdnů v roce) do něhož jsou určeny DTD a MDF desky použité v testu. Avšak i tyto materiály jsou prostředí s vlhkostí vyšší než 65 % mnohdy vystaveny z důvodu nevhodného skladování, zabudování, nebo při transportu.

Tab. 5-22: Tloušťkové bobtnání po klimatizaci z 65 % na 85 % relativní vlhkosti vzduchu

Stat. ukazatel	MDF 1	MDF 2	DTD	OSB	GSB	PDP fol.	PDP truh.
\bar{x} [%]	3,61	3,49	3,66	3,52	2,02	1,64	2,07
s	0,14	0,23	0,16	0,21	0,64	0,39	1,58
v [%]	3,90	6,56	4,81	5,85	31,68	23,96	76,44
Max	3,88	3,91	3,70	3,81	3,48	2,54	5,16
Min	3,45	3,20	3,11	3,02	1,31	0,92	-0,76

Z hodnot je patrné, že nárůst relativní vlhkosti vzduchu v intervalu 65 % až 85 % způsobuje značné tloušťkové bobtnání s hodnotou kolem 3,5 % u obou MDF, DTD a OSB. To u desky o jmenovité tloušťce 18 mm znamená nárůst tloušťky o cca 0,65 mm. Takovéto nabobtnání u desek upravených nátěrovou hmotou může způsobit poškození vrstvy nátěru při hraně desky.

5.4 Nevratné tloušťkové bobtnání

Základní statistické ukazatele pro celkové tloušťkové bobtnání jsou uvedeny v tabulkách.

5.4.1 MDF desky

Tab. 5-23: Nevratné tloušťkové bobtnání MDF 1 v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	0,04	0,13	0,22	0,38	0,95	8,78
s	0,11	0,10	0,08	0,08	0,25	2,25
v [%]	291,75	77,90	35,19	21,88	25,84	25,68
Max	0,22	0,38	0,38	0,49	1,31	13,10
Min	-0,16	0,00	0,11	0,22	0,60	5,60

Tab. 5-24: Nevratné tloušťkové bobtnání MDF 2 v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	0,01	0,06	0,11	0,19	0,32	7,03
s	0,07	0,06	0,07	0,10	0,13	1,51
v [%]	1 228,60	94,94	59,78	52,59	40,03	21,48
Max	0,11	0,11	0,23	0,34	0,52	8,89
Min	-0,11	-0,06	0,00	0,06	0,06	4,19

5.4.2 DTD, OSB, GSB desky

Tab. 5-25: Nevratné tloušťkové bobtnání DTD v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	0,13	0,39	0,61	1,09	2,16	14,65
s	0,26	0,11	0,07	0,24	0,14	2,82
v [%]	198,81	28,58	11,15	21,90	6,53	19,26
Max	0,68	0,57	0,74	1,41	2,33	17,01
Min	-0,28	0,23	0,51	0,57	1,82	9,36

Tab. 5-26: Nevratné tloušťkové bobtnání OSB 3 v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	0,14	0,55	0,71	1,13	3,33	8,75
s	0,28	0,06	0,16	0,33	0,89	1,53
v [%]	199,31	11,06	22,92	28,92	26,69	17,47
Max	0,58	0,68	0,94	1,89	4,79	10,32
Min	-0,38	0,41	0,51	0,57	2,22	6,59

Tab. 5-27: Nevratné tloušťkové bobtnání GSB v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	0,01	0,02	0,17	0,21	0,43	3,03
s	0,16	0,06	0,17	0,17	0,19	0,58
v [%]	1 845,42	372,70	99,76	82,39	43,44	19,20
Max	0,34	0,08	0,42	0,59	0,76	3,64
Min	-0,25	-0,08	-0,08	-0,09	0,08	2,02

5.4.3 Překližka

Tab. 5-28: Nevratné tloušťkové bobtnání PDP fol. v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	-0,02	0,01	0,03	0,05	0,04	1,01
s	0,08	0,11	0,11	0,06	0,20	0,20
v [%]	-438,05	1 202,16	319,49	110,26	456,67	20,24
Max	0,09	0,18	0,18	0,17	0,61	1,31
Min	-0,09	-0,17	-0,17	0,00	-0,09	0,61

Tab. 5-29: Nevratné tloušťkové bobtnání PDP truh. v 6 vlhkostních stupních při teplotě 20 °C

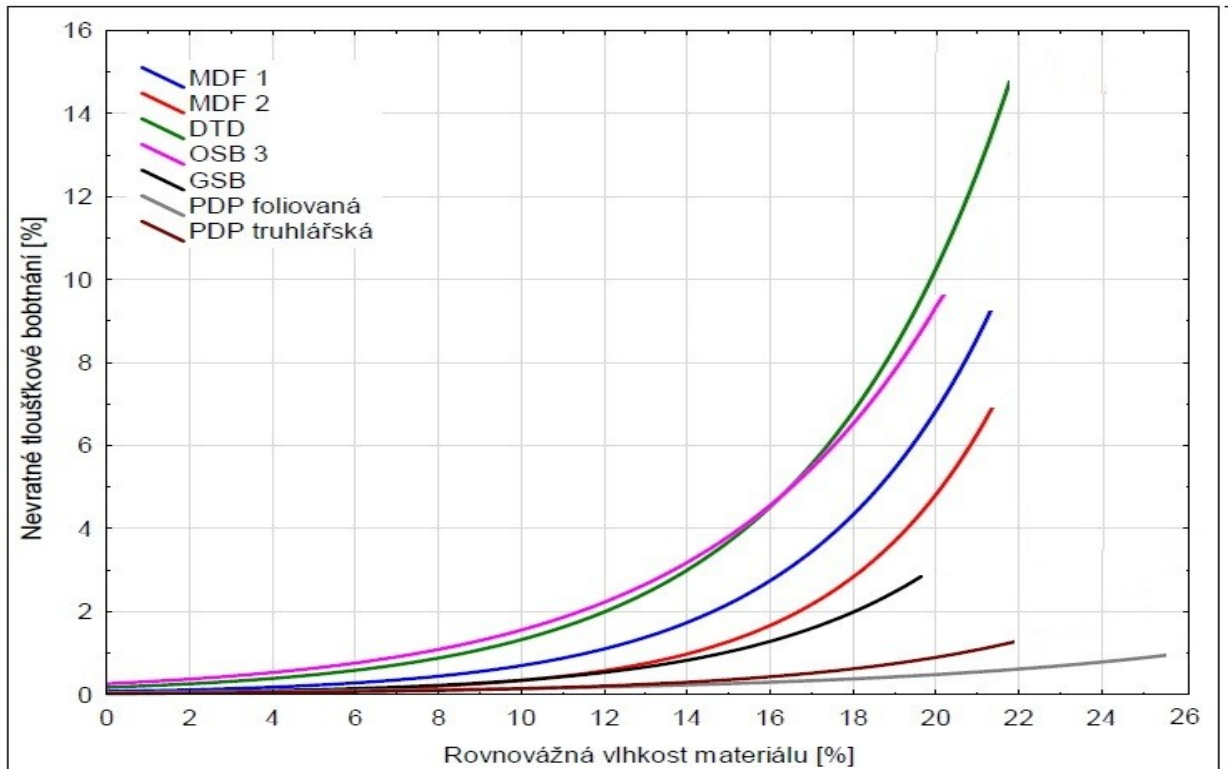
Stat. ukazatel	15%	35%	50%	65%	85%	100%
\bar{x} [%]	-0,01	0,03	0,01	0,03	0,12	1,36
s	0,22	0,26	0,04	0,05	0,11	0,33
v [%]	-1 668,31	1 011,50	300,00	200,00	92,33	24,28
Max	0,52	0,51	0,13	0,13	0,26	1,97
Min	-0,06	-0,26	0,00	0,00	0,00	0,77

Z naměřených hodnot byl zpracován graf, znázorňující závislost nevratného tloušťkového bobtnání na počáteční vlhkosti materiálu. K proložení hodnot byla vybrána polynomičká funkce, která nejlépe odpovídala hodnotám vlhkosti materiálu v jednotlivých vlhkostních stupních.

Rovnice závislosti nevratného tloušťkového bobtnání (T_N) na počáteční rovnovážné vlhkosti materiálu (w):

- $T_{N\text{MDF } 1} = 0,3296 - 0,2249w + 0,0296w^2$ $R^2 = 0,9311$
- $T_{N\text{MDF } 2} = 0,3437 - 0,2394w + 0,0267w^2$ $R^2 = 0,9291$
- $T_{N\text{DTD}} = 0,6006 - 0,3742w + 0,0468w^2$ $R^2 = 0,9398$
- $T_{N\text{OSB } 3} = -0,0191 - 0,0042w + 0,0215w^2$ $R^2 = 0,9726$
- $T_{N\text{GSB}} = 0,1365 - 0,1083w + 0,0133w^2$ $R^2 = 0,9352$
- $T_{N\text{PDP fol.}} = 0,0331 - 0,0234w + 0,0024w^2$ $R^2 = 0,9349$
- $T_{N\text{PDP truhl.}} = 0,0625 - 0,0486w + 0,0049w^2$ $R^2 = 0,9199$

Graf 5-5: Nevratné tloušťkové bobtnání v závislosti na vlhkosti materiálu



Nevratné tloušťkové bobtnání není na vlhkosti materiálu lineárně závislé, s rostoucí vlhkostí materiálu vzrůstá rychleji. Největší nevratné bobtnání bylo pozorováno u vzorků DTD. Při maximální vlhkosti dosažené klimatizováním v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu 100 %, dosahovalo 14,65 %. Takto vysokých hodnot nevratného tloušťkového bobtnání je dosahováno z důvodu použití UF lepidla s malou odolností proti vlhkosti. Podle Kollman a kol., (1975) dochází vlivem pronikání vlhkosti do struktury materiálu k uvolnění lepidlových můstků mezi třískami, s následkem uvolnění energie nahromaděné v profilu desky při lisování. GSB desky dosahovali, v porovnání s OSB 3, výrazně nižších hodnot nevratného bobtnání. To může být vysvětleno vyšším nánosem lepidla (výrobce udává 17–23 %) a delším lisovacím časem (11–14 minut), s důsledkem částečné plastifikace třískového koberce a uvolnění napětí nahromaděného v profilu desky při lisování. MDF desky dosahují maximálních hodnot nevratného tloušťkového bobtnání jen o málo nižších než OSB, ale křivka stoupá v oblasti nižších vlhkostí pozvolněji. Nejmenší nevratné tloušťkové bobtnání je možno pozorovat u překližek, to je podle Kollman a kol., (1975) způsobeno nízkým lisovacím tlakem (cca. 1,3 MPa) používaným při lisování souborů a z toho důvodu značně nižším nahromaděním energie v profilu desky. Nevratné bobtnání je u těchto materiálů pozorovatelné prakticky až od vlhkosti materiálu, odpovídající klimatizování v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu 85 %.

6. Závěr

Tato diplomová práce se zabývá stavem vlhkostní rovnováhy, tloušťkovým bobtnáním a nevratným tloušťkovým bobtnáním, pozorovaným na souboru materiálů na bázi dřeva (MDF desky, dřevotřískové desky, OSB desky GSB desky, překližka), vystavených prostředí s měnící se vlhkostí od 15 % do 100 % relativní vlhkosti vzduchu, v šesti vlhkostních stupních.

V teoretické části práce je stručně popsán vývoj těchto materiálů, způsob výroby a proveden rozbor faktorů, ovlivňujících stav vlhkostní rovnováhy, tloušťkové bobtnání a nevratné tloušťkové bobtnání. Část výsledky a diskuze obsahuje tabulky s výpočty z experimentálních měření, grafy názorně zobrazující průběhy sledovaných veličin, a především rovnice, umožňující jednoduše vypočítat hodnotu rovnovážné vlhkosti materiálu v prostředí o dané relativní vlhkosti vzduchu a tloušťkové bobtnání, na základě rovnovážné vlhkosti materiálu v daném prostředí.

Na základě provedených měření byly z naměřených hodnot sestaveny grafy pro stav rovnovážné vlhkosti, tloušťkové bobtnání a nevratné tloušťkové bobtnání. Z grafů je patrné, že vlhkost materiálu stoupá s rostoucí relativní vlhkostí vzduchu přibližně exponenciálně. Pro popis závislosti rovnovážné vlhkosti materiálu na relativní vlhkosti vzduchu byla vybrána exponenciální funkce. Vzhledem k hodnotám koeficientů determinace ležících v rozmezí 0,93 až 0,99 lze říci, že rovnovážná vlhkost materiálů je na relativní vlhkosti vzduchu silně závislá. Porovnáním hodnot rovnovážné vlhkosti s výsledky dalších autorů [např. Carll a Wiedenhoent 2009] zjistíme odchylky v řádu desetin procenta, mnohdy i celých procent. To je způsobeno značnou variabilitou faktorů vstupujících do procesu výroby.

Tloušťkové bobtnání nevykazuje se stoupající vlhkostí materiálu lineární přírůstek, ale stoupá rychleji. Nejvyšších hodnot tloušťkového bobtnání dosahují MDF, DTD a OSB 3. GSB desky dosahují oproti DTD a OSB 3 nižších hodnot tloušťkového bobtnání v celém rozsahu sledovaných vlhkostí. Nejnižší tloušťkové bobtnání vykazují překližky. U překližek dochází při lisování k nejmenšímu nahromadění energie v profilu desky. Proto se v celkovém tloušťkovém bobtnání nejméně projevuje nevratná složka tloušťkového bobtnání. Pro popis závislosti tloušťkového bobtnání na vlhkosti materiálu byla vybrána polynomická funkce. Hodnoty koeficientů determinace pohybující se v rozmezí 0,95 až 0,98 prokazují silnou vazbu tloušťkového bobtnání na vlhkosti materiálu. Zajímavé výsledky přináší srovnání tloušťkového bobtnání v rozsahu změny relativní vlhkosti vzduchu z 65 % na 85 %. Toto

prostředí sice již neodpovídá třídě vlhkosti 1 podle ENV 1995-1-1 definované jako suché prostředí, do něhož jsou určeny DTD a MDF desky použité v testu. Avšak i tyto materiály jsou mnohdy vystaveny prostředí s vlhkostí vyšší než 65 % z důvodu nevhodného skladování, zabudování nebo při transportu. Nárůst relativní vlhkosti vzduchu v intervalu 65 % až 85 %, způsobuje značné tloušťkové bobtnání s hodnotou kolem 3,5 % u obou MDF, DTD a OSB. To u desky o jmenovité tloušťce 18 mm znamená nárůst tloušťky o cca 0,65 mm. Takovéto nabobtnání u desek upravených nátěrovou hmotou může způsobit poškození vrstvy nátěru při hraně desky.

Nevratné tloušťkové bobtnání není na vlhkosti materiálů lineárně závislé, s rostoucí vlhkostí materiálů vzrůstá rychleji. Nejvyšší nevratné bobtnání bylo pozorováno u vzorků DTD. Při maximální vlhkosti dosažené klimatizováním v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu 100 % dosahovalo 14,65 %. Zajímavé je porovnání OSB 3 a GSB desek, které si na trhu konkurují jak spektrem použití, tak cenovou relací. Oba tyto materiály jsou určeny k použití jako nosné desky v prostředí o třídě vlhkosti 2 podle ENV 1995-1-1 definované jako vlhké prostředí, avšak hodnoty nevratného tloušťkového bobtnání se u těchto materiálů značně liší v celém rozsahu měření. Po klimatizování při relativní vlhkosti vzduchu 85 % činil u desek OSB 3 podíl nevratného tloušťkového bobtnání 3,33 %, u GSB pouze 0,43 %. Maximální hodnoty u desek OSB 3 dosahují 8,75 %, u GSB pouze 3,03 %. Z toho lze odvodit, že v prostředí kde dochází k časté změně relativní vlhkosti vzduchu, je vhodnější použít desky GSB, které v takovém prostředí budou mít delší životnost. K popisu závislosti nevratného tloušťkového bobtnání na vlhkosti materiálů byla vybrána polynomická funkce. Hodnoty koeficientů determinace pohybující se v rozmezí 0,92 až 0,97 prokazují silnou vazbu nevratného tloušťkového bobtnání na vlhkosti materiálu.

Seznam literatury

• Odborné publikace:

1. Berglund, Lars. *Wood Composites*. IN: *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Lightweight Structures Division, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. Edited by Roger M.; Rowell.p. 2005. str. 283 – 305. ISBN 0-8493-1588-3
2. Böhm, Martin. *Vliv vlhkosti na mechanicko-fyzikální vlastnosti OSB, Disertační práce*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská. 2008.
3. Böhm, Martin; Reisner, Jan; Bomba, Jan. *Materiály na bázi dřeva*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská. 2012. 183 str. 1. vydání. ISBN 978-80-213-2251-6.
4. Carll, Charles; Wiedenhoeft, Alex. *Moisture-related properties of wood and the effects of moisture on wood and wood products*. IN: *Moisture control in buildings: the key factor in mold preventions* / Heinz R. Trechsel and Mark T. Bomberg, editors. 2nd ed. West Conshohocken, PA: ASTM International, c2009. Chapter 4, p.54-79.;2009.
5. Gandelová, Libuše; Horáček, Petr; Šlezingerová, Jarmila. *Nauka o dřevě*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002. ISBN 80-228-1705-8.
6. Glass, V., Samuel; Zelinka, L., Samuel. *Moisture Relations and Physical Properties of Wood in Wood Handbook*, General Technical Report. Madison, WI: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2010. 508 str. FPL-GTR-190.
7. Hrázský, Jaroslav; Král, Pavel. *Výroba dých a překližovaných materiálů I*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 1999. 142 str. ISBN 80-7157-358-3.
8. Hrázský, Jaroslav; Král, Pavel. *Výroba dých a překližovaných materiálů II*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 2000. 116 str. ISBN 80-7157-423-6.
9. Hrázský, Jaroslav; Král, Pavel. *Technologie výroby aglomerovaných materiálů*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003 II. ISBN 80-7157-098-2
10. Hrázský, Jaroslav; Král, Pavel. *Kompozitní materiály na bázi dřeva, Část I, Aglomerované materiály*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 2007. 253 str. ISBN 978-80-7375-034-3.
11. Kelly, Myron, W. *Relationships between processing parametres and physical properties*

- of particleboard*. Department of Wood and Paper Science School of Forest Resources North Carolina State University, Raleigh, 1977. ID GTR-FPL-010.
12. Kollmann, Franz, F. P.; Kuenzi, Edward, W.; Stamm, Alfred, J. *Principles of Wood Science and Technology II Wood based materials*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag. 1975. 703 str. 2. vydání. ISBN 3-540-02822-6.
 13. Lehmann, W. F. *Improved particleboard through better resin efficiency*. Forestry Production Laboratory, 1965. DOI: 10.1007/BF02875049
 14. Lehmann W. F.; Heebink, B. G.; Hefty F. V. *Reducing particleboard pressing time: Exploratory study*. USDA Forestry Service. FPL 180. Forestry Production Laboratory., Madison, Wisconsin, 1972.
 15. Lehmann W. F.; Hefty F. V. *Resin efficiency and dimensional stability of flakeboard*. USDA Forestry Service. FPL 207. Forestry Production Laboratory., Madison, Wisconsin, 1973.
 16. Mahút, Juraj; Réh, Roman; Víglaský, Josef; *Kompozitné drevné materiály, Časť I., Dýhy a preglejované výrobky*. Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta. 2004. 266 str. ISBN 80-228-1324-9.
 17. Matovič, Anton. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 1993. ISBN 80-7157-086-9.
 18. Medvedev a kol. *Dimensional Stability of Particleboard*. University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology, Ljubljana Slovenia. 1996. 14 str.
 19. Stamm, J., Alfred; Seborg, M., R. *Resin Treated Wood*. Forest Products Laboratory, Forest Service U. S. Department of Agriculture. 1962. 10 str. No. 1380.
 20. Stark, M., Nicole; Cai, Zhiyong; Carll, Charles. *Wood-Based Composite Materials Panel Products, Glued-Laminated Timber, Structure Composite Lumber, and Wood–Nonwood Composite Materials*. IN Wood Handbook, General Technical Report. Madison, WI: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2010. 508 str. FPL-GTR-190.
 21. Štefka, Vilém. *Kompozitné drevné materiály. Časť II – Technológia aglomerovaných materiálov. Návod na cvičenia*. Technická univerzita vo Zvolene. 1997. ISBN 80-228-0681-1

22. Štefka, Vilém. *Lisovacia technika a lisy pre agromelované materiály*. Technická univerzita vo Zvolene. 2001. 59 str. ISBN 80-228-1029-0.
23. Štefka, Vilém. *Kompozitné drevné materiály, Část II., Technológia aglomerovaných materiálov*. Technická univerzita vo Zvolene. 2002. 205 str. ISBN 80-228-1136-X.
24. Štefka, Vilém. *Kompozitné drevné materiály*. Technická univerzita vo Zvolene. 2006. ISBN 80-228-1705-8.

- **Technické normy:**

25. ČSN EN 309. *Třískové desky – Definice a klasifikace*. Praha, Český normalizační institut, 2005. 8 stran.
26. ČSN EN 312. *Třískové desky – Požadavky*. Praha, Český normalizační institut, 2011. 16 stran.
27. ČSN EN 326-1 *Dřevní materiály. Odběr vzorků, řezání a dozor. Odběr vzorků, nařezávání zkušebních těles a vyjádření výsledků*. Praha, Český normalizační institut, 1997. 12 stran.
28. ČSN EN 300 (2006) *Desky z orientovaných plochých třísek (OSB) – Definice, klasifikace a požadavky*, Praha: Český normalizační institut, 2007. 20 stran.
29. ČSN EN 322 *Desky ze dřeva – Zjišťování vlhkosti*. Praha, Český normalizační institut, 1994. 7 stran.
30. ČSN EN 318 *Desky ze dřeva – Stanovení rozměrových změn v závislosti na změnách relativní vlhkosti vzduchu*. Praha, Český normalizační institut, 2003. 10 stran.
31. ČSN EN 323 *Desky ze dřeva – Zjišťování hustoty*. Praha, Český normalizační institut, 1994. 7 stran.
32. ČSN ENV 1995-1-1 *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha, Český normalizační institut. 2006

- **Internetové zdroje:**

33. Awang Bono; Yeo, Kiam, Beng; Nancy, Julius, Siambun. *Melamine-urea-formaldehyde (MUF) resin: The effect of the number of reaction stages and mole ratio on resin properties*. Jurnal Teknologi, 38 (6). 2003: str. 43–52. [online]. [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: <http://www.google.cz/url?sa=t&source=web&cd=2&sqi=2&ved=0CCoQFjAB&url=http>

[http://www.penerbit.utm.my/onlinejournal/F38/FJ38F5.pdf&rct=j&q=Melamine-urea-formaldehyde%20\(MUF\)%20resin&ei=L4S2TY_BHlzNsgaXsc3dDQ&usg=AFQjCNG495yUS4F6Yw5NJSmf-FwthymP0A&cad=rja](http://www.penerbit.utm.my/onlinejournal/F38/FJ38F5.pdf&rct=j&q=Melamine-urea-formaldehyde%20(MUF)%20resin&ei=L4S2TY_BHlzNsgaXsc3dDQ&usg=AFQjCNG495yUS4F6Yw5NJSmf-FwthymP0A&cad=rja)

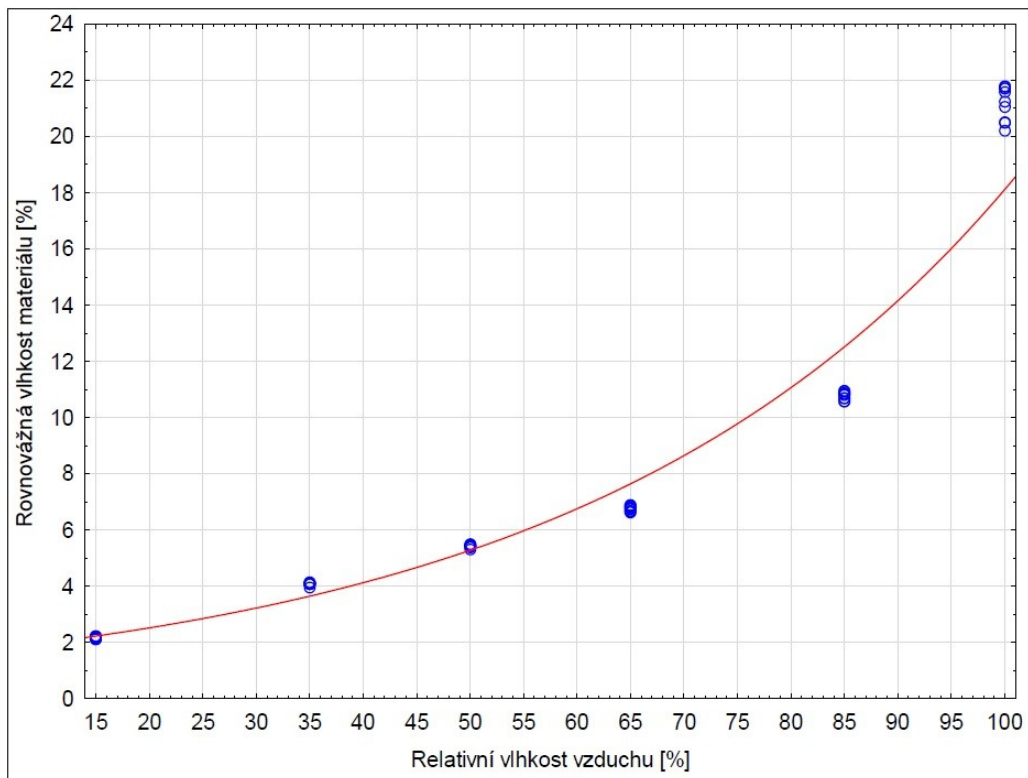
34. Bhuiya, Tariqur Rabbani; Hirai, Nobuyuki; Sobue, Nobuo. *Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions*. The Japan Wood Resarch Society. [online]. 2000. ročník 46, číslo 3. [cit. 30. 3. 2013]. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/index/J62432H12L1K871V.pdf>.
35. EUWID. *Hochbelastbare Spanplatten sollen OSB substituieren*. EUWID Holz special: Holzwerkstoffe & Oberflächen. [cit. 4. 11. 2013]. Dostupné z: <http://www.euwid-wood-products.com/>
36. Engelund, Emil; Klamer, Morten; Venas, Thomas, Mark. *Acquisition of sorption isotherms for modified woods by the use of dynamic vapour sorption instrumentation. Principles and Practice*. Stockholm, The International Research Group on Wood Protection. 2010, 10 s. [cit 30. 3. 2013]. Dostupné z: <http://www.innonetlifestyle.com/innonetmodificerettrae/files/2011/06/Forskningsartikel-fra-Thomas-Ven%C3%A5s-2010.pdf>
37. Kronospan CR. *OSB desky Superfinish* (online). Dostupné z: <http://www.kronospan.cz/osbdesky-superfinish.html>. (cit. 21. 3. 2013).
38. Time, Berit. *Hygroscopic moisture transport in wood*. PhD Thesis. Norwegian University of Science and Technology, Department of Building and Construction Engineering, Norway. 1998, 216 s. ISBN: 8247102137. [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: <http://www.ivt.ntnu.no/docs/bat/bm/phd/AvhandlingBeritTime.pdf>

Seznam příloh

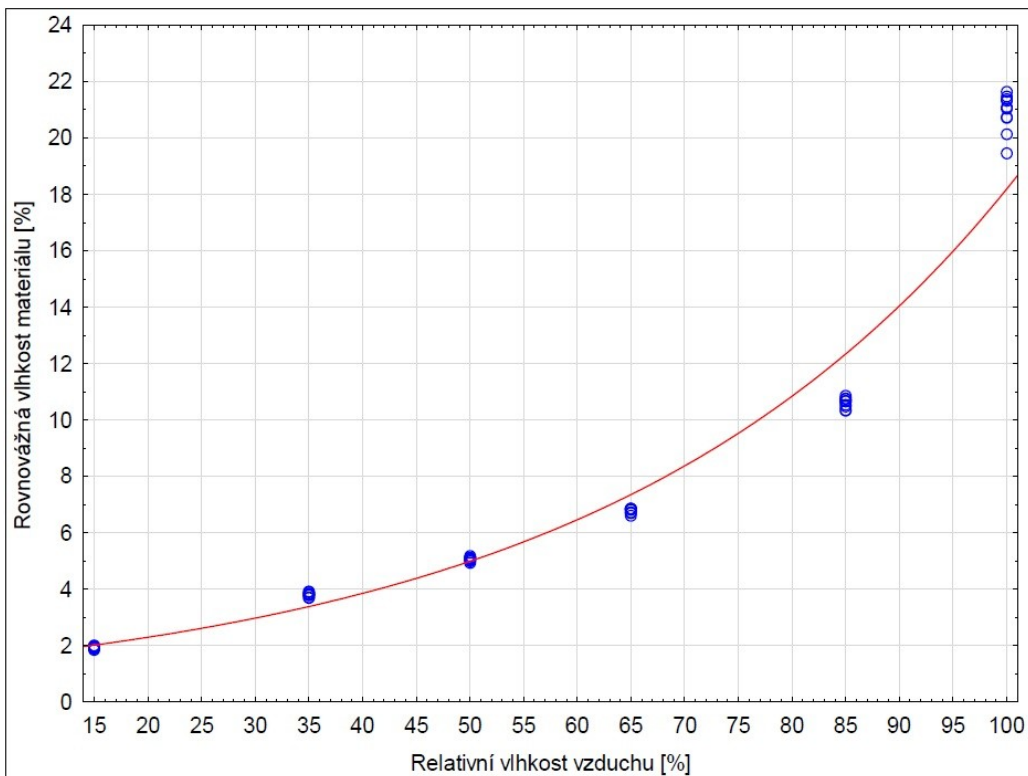
Příloha 1: Rovnovážná vlhkost MDF 1 v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu.....	I
Příloha 2: Rovnovážná vlhkost MDF 2 v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu.....	I
Příloha 3: Rovnovážná vlhkost DTD v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu	II
Příloha 4: Rovnovážná vlhkost OSB 3 v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu.....	II
Příloha 5: Rovnovážná vlhkost GSB v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu.....	III
Příloha 6: Rovnovážná vlhkost PDP foliovaná v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu	III
Příloha 7: Rovnovážná vlhkost PDP truhlářská v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu	IV
Příloha 8: Tloušťkové bobtnání MDF 1 v závislosti na vlhkosti materiálu.....	IV
Příloha 9: Tloušťkové bobtnání MDF 2 v závislosti na vlhkosti materiálu.....	V
Příloha 10: Tloušťkové bobtnání DTD v závislosti na vlhkosti materiálu	V
Příloha 11: Tloušťkové bobtnání OSB 3 v závislosti na vlhkosti materiálu.....	VI
Příloha 12: Tloušťkové bobtnání GSB v závislosti na vlhkosti materiálu.....	VI
Příloha 13: Tloušťkové bobtnání PDP foliovaná v závislosti na vlhkosti materiálu	VII
Příloha 14: Tloušťkové bobtnání PDP truhlářská v závislosti na vlhkosti materiálu	VII
Příloha 15: Přípravek k měření délek těles	VIII
Příloha 16: Mikrometr Mitutoyo ID-C125B 0–25,4 v přípravku na měření délek těles	VIII
Příloha 17: Posuvné měřítko Mitutoyo 500-123U/CD-15B	IX
Příloha 18: Laboratorní váha Sartorius BP 3100S	IX
Příloha 19: Přehled měřených materiálů.....	X

Přílohy

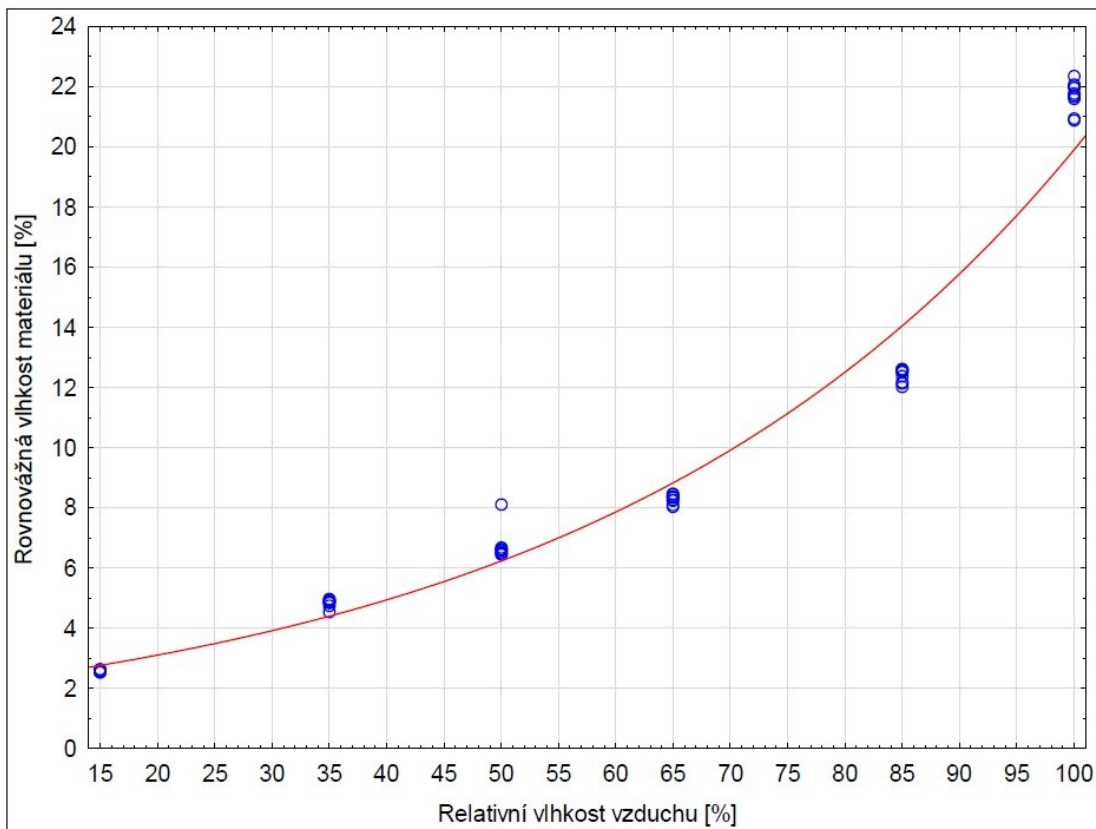
Příloha 1: Rovnovážná vlhkost MDF 1 v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu



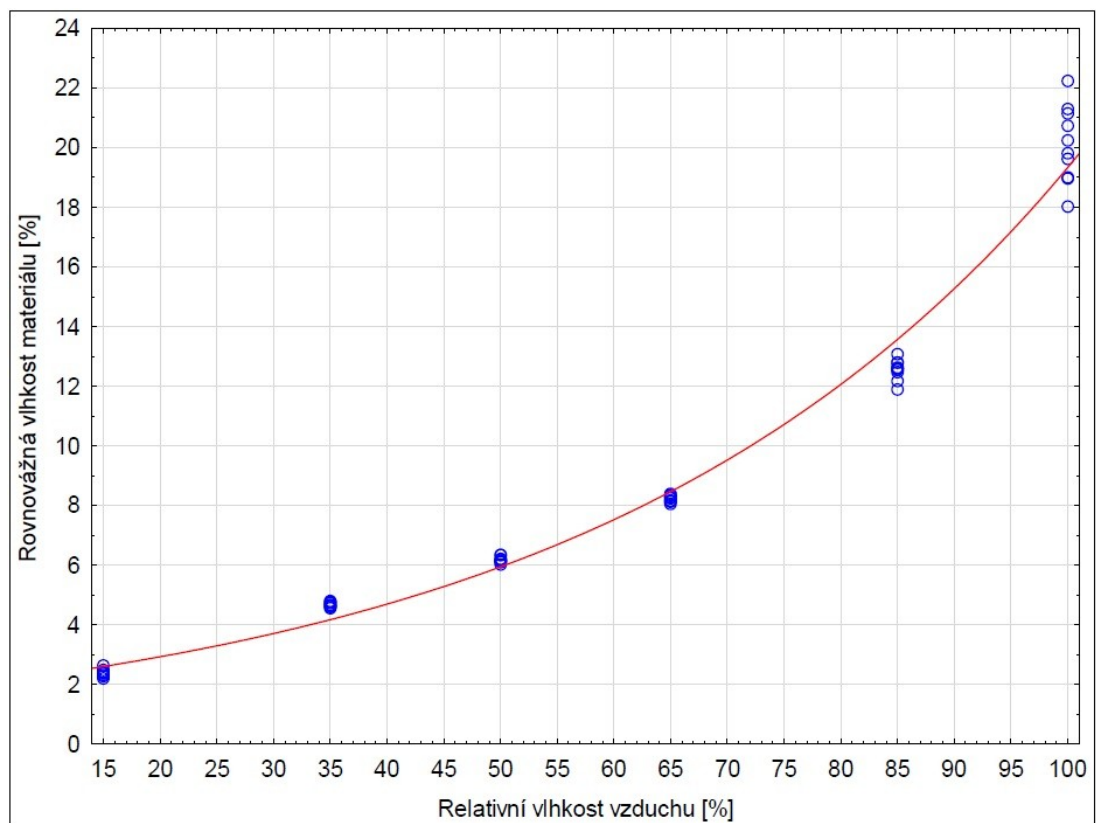
Příloha 2: Rovnovážná vlhkost MDF 2 v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu



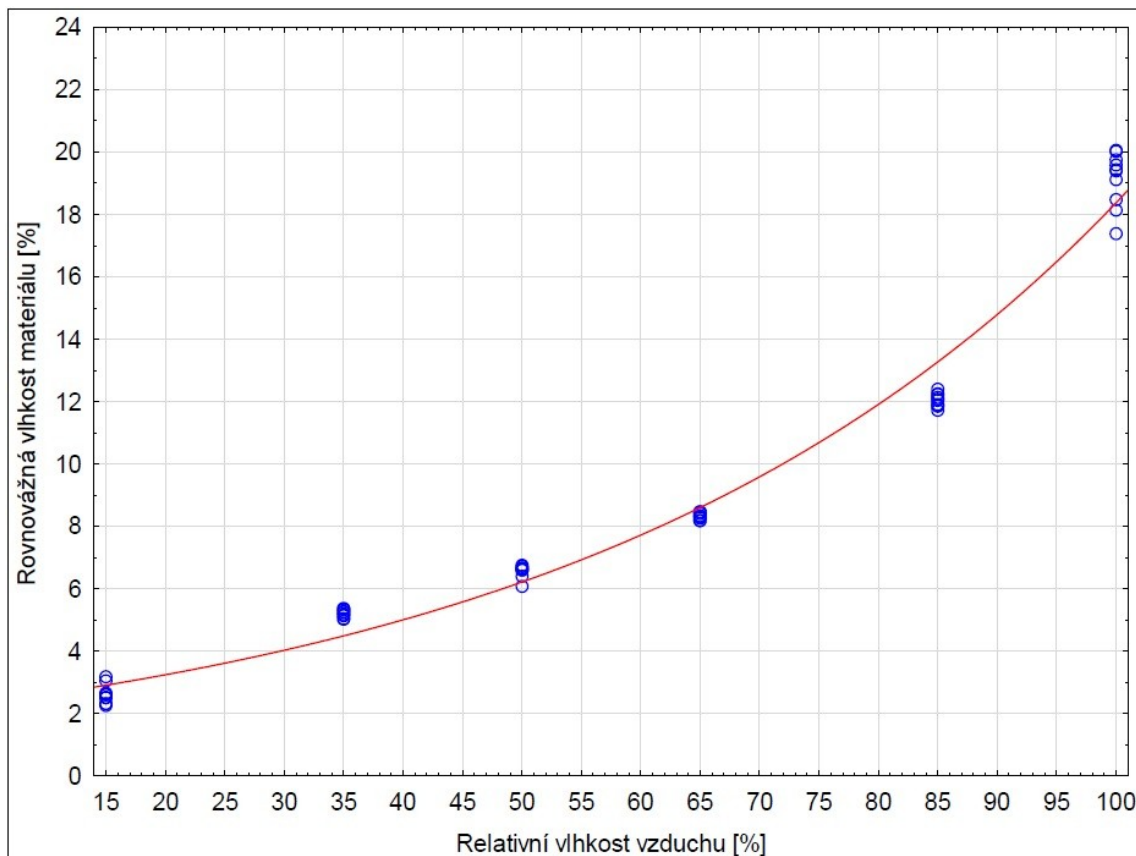
Příloha 3: Rovnovážná vlhkost DTD v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu



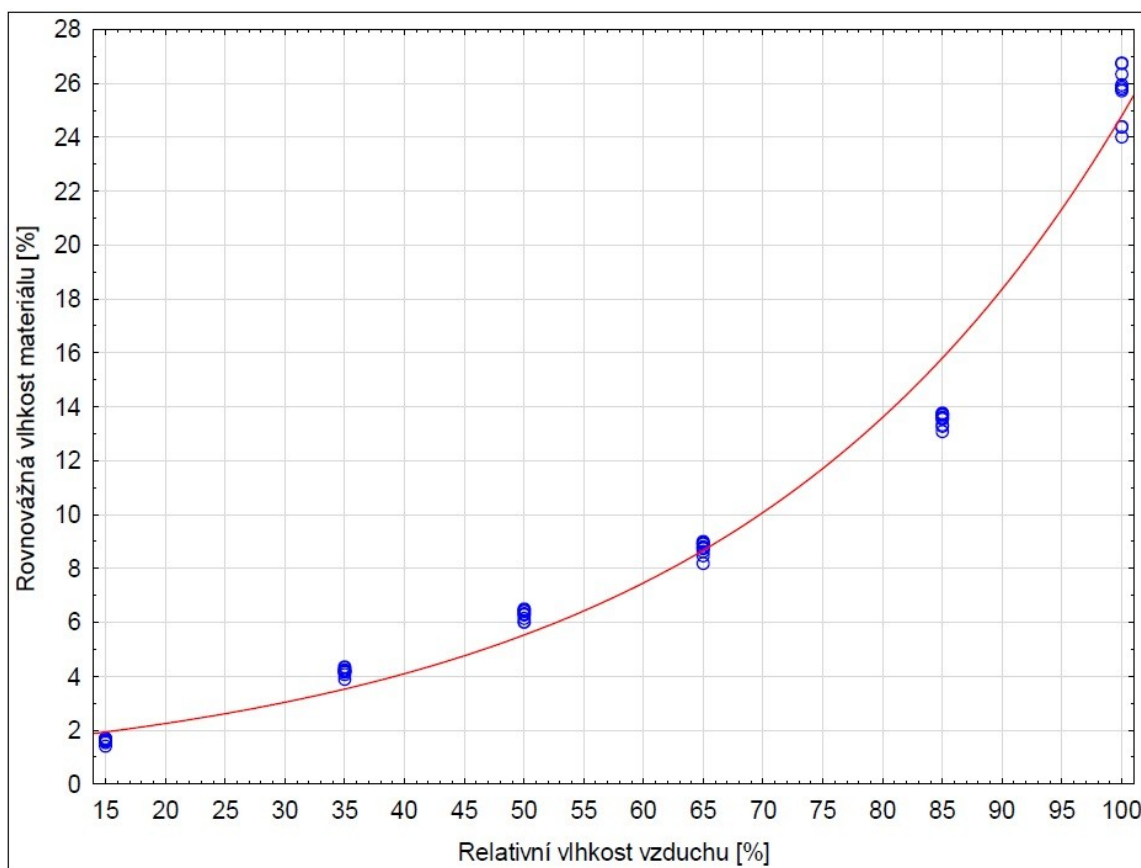
Příloha 4: Rovnovážná vlhkost OSB 3 v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu



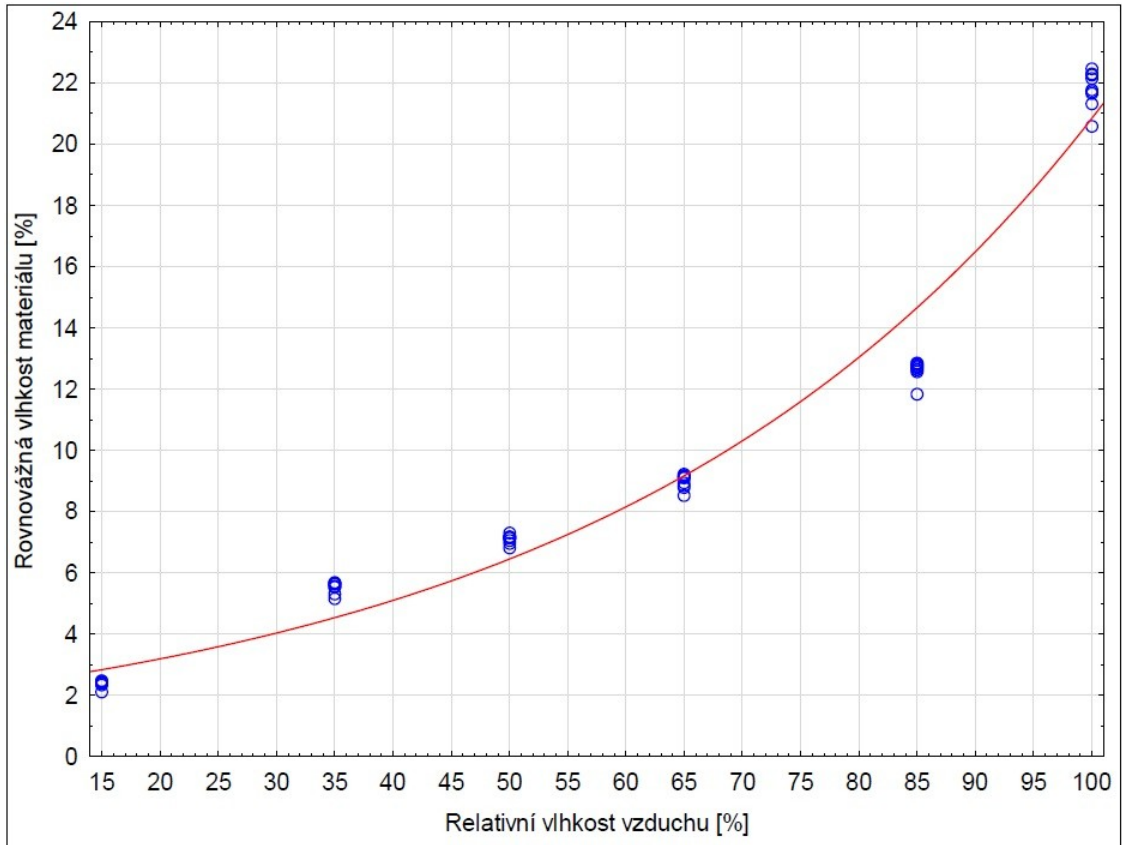
Příloha 5: Rovnovážná vlhkost GSB v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu



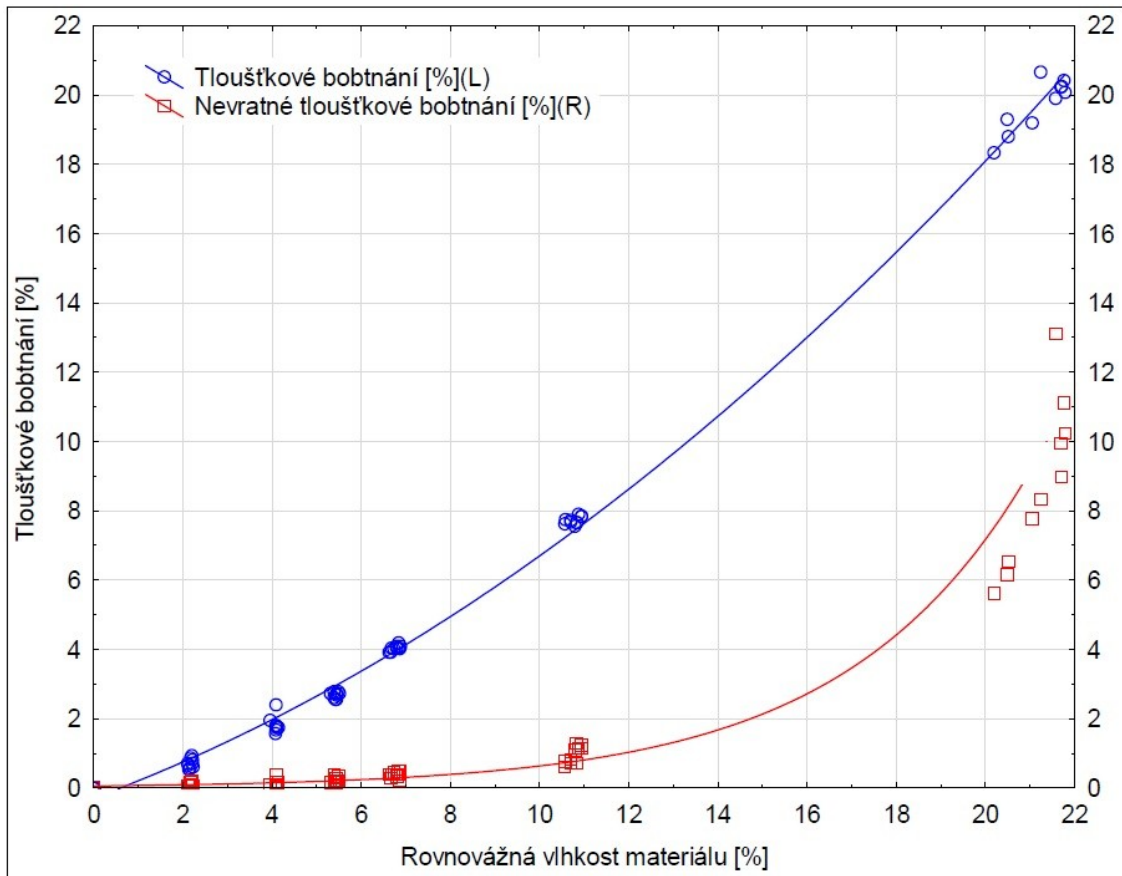
Příloha 6: Rovnovážná vlhkost PDP foliovaná v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu



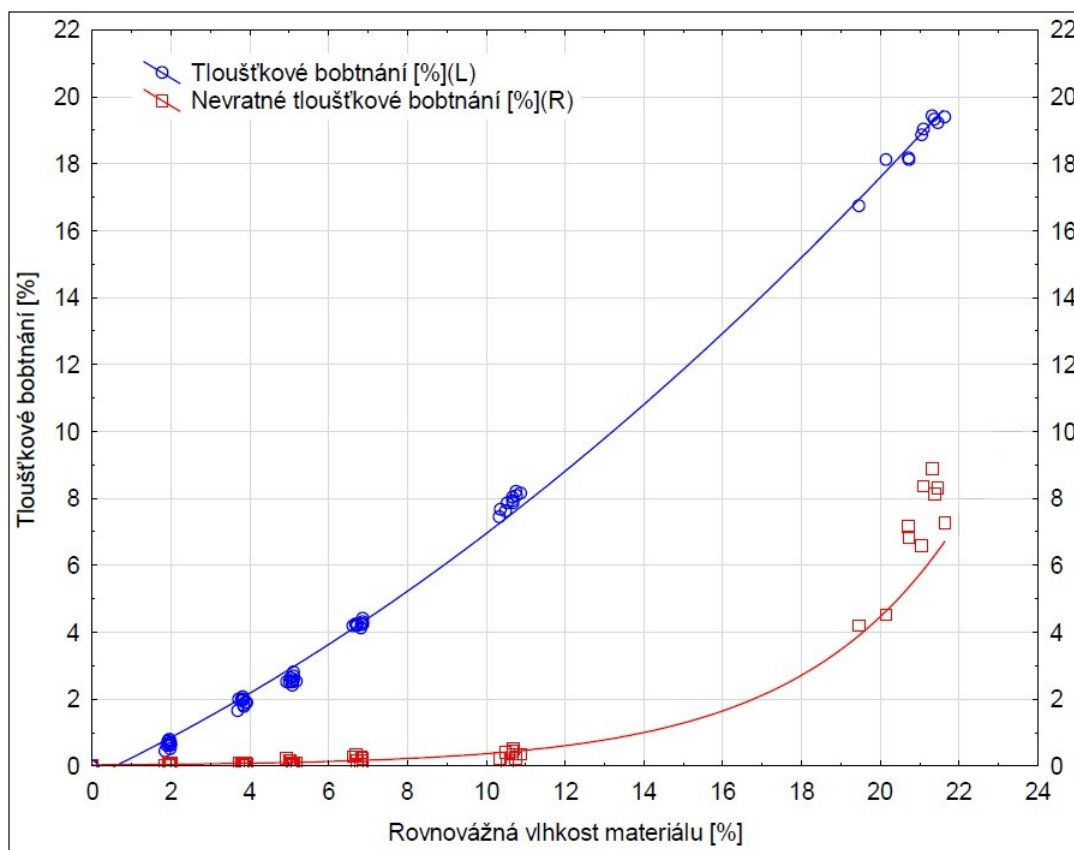
Příloha 7: Rovnovážná vlhkost PDP truhlářská v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu



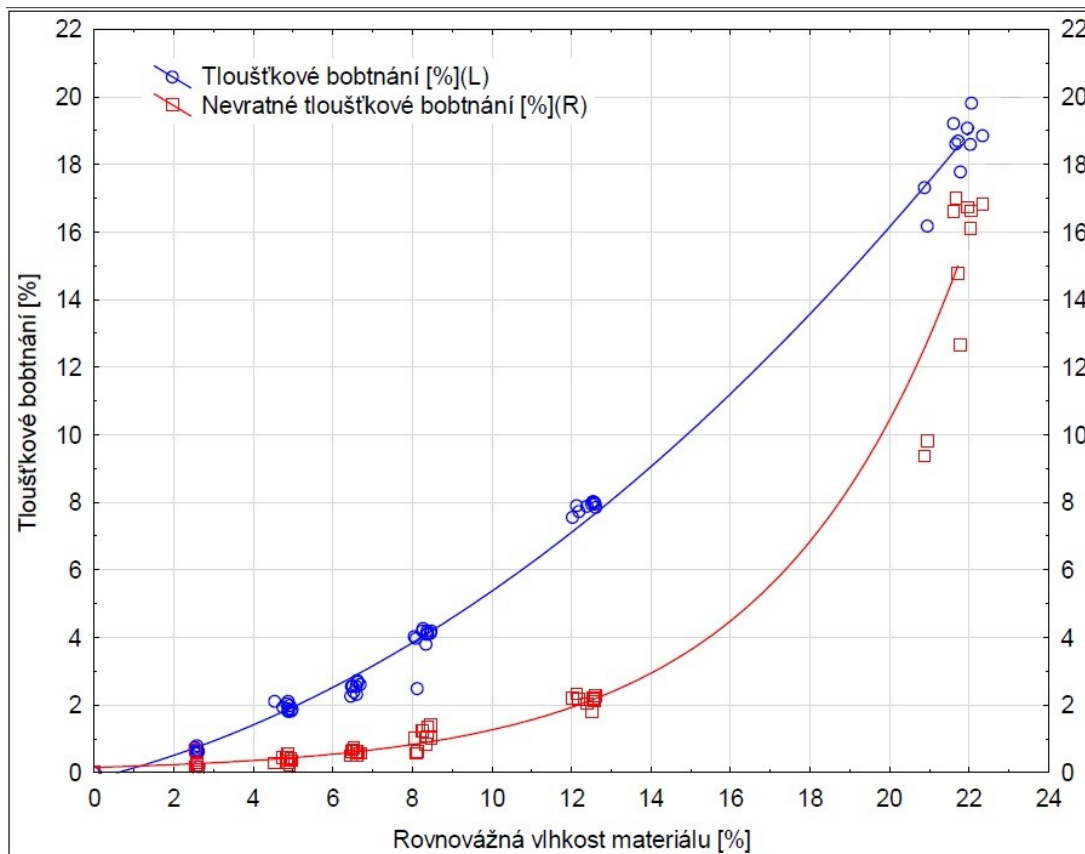
Příloha 8: Tloušťkové bobtnání MDF 1 v závislosti na vlhkosti materiálu



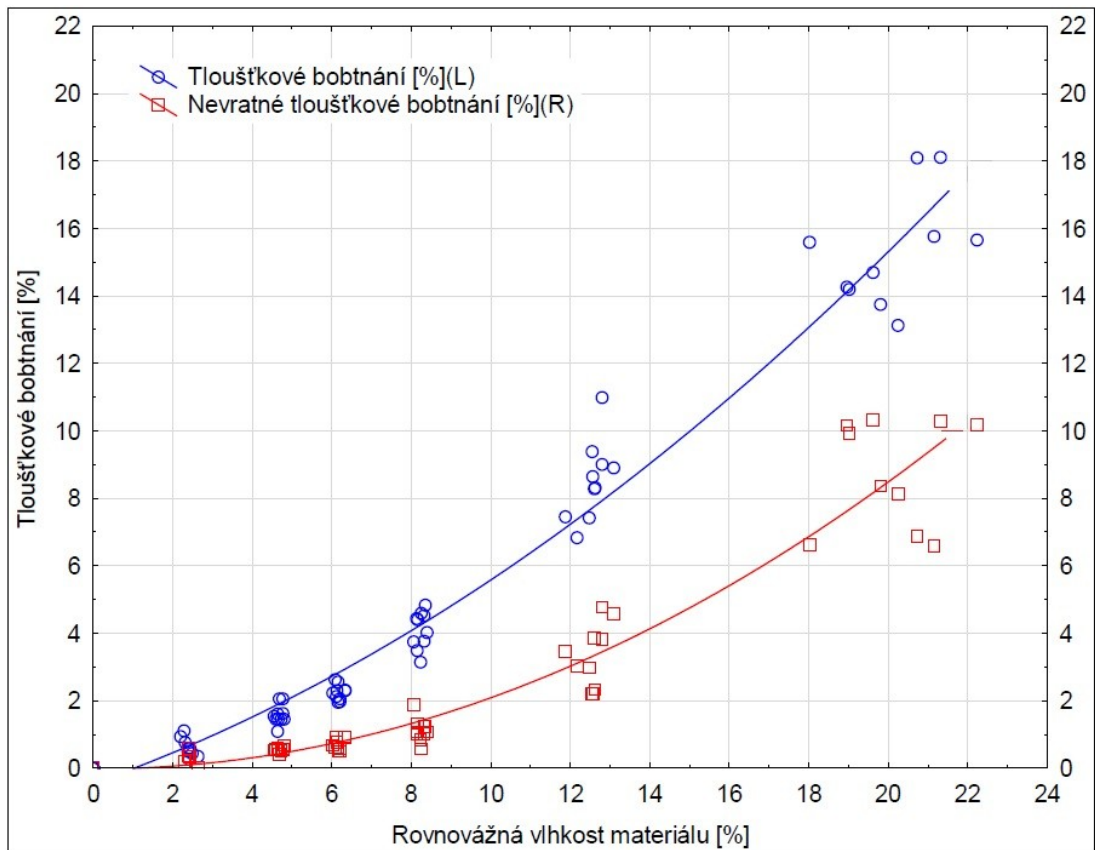
Příloha 9: Tloušťkové bobtnání MDF 2 v závislosti na vlhkosti materiálu



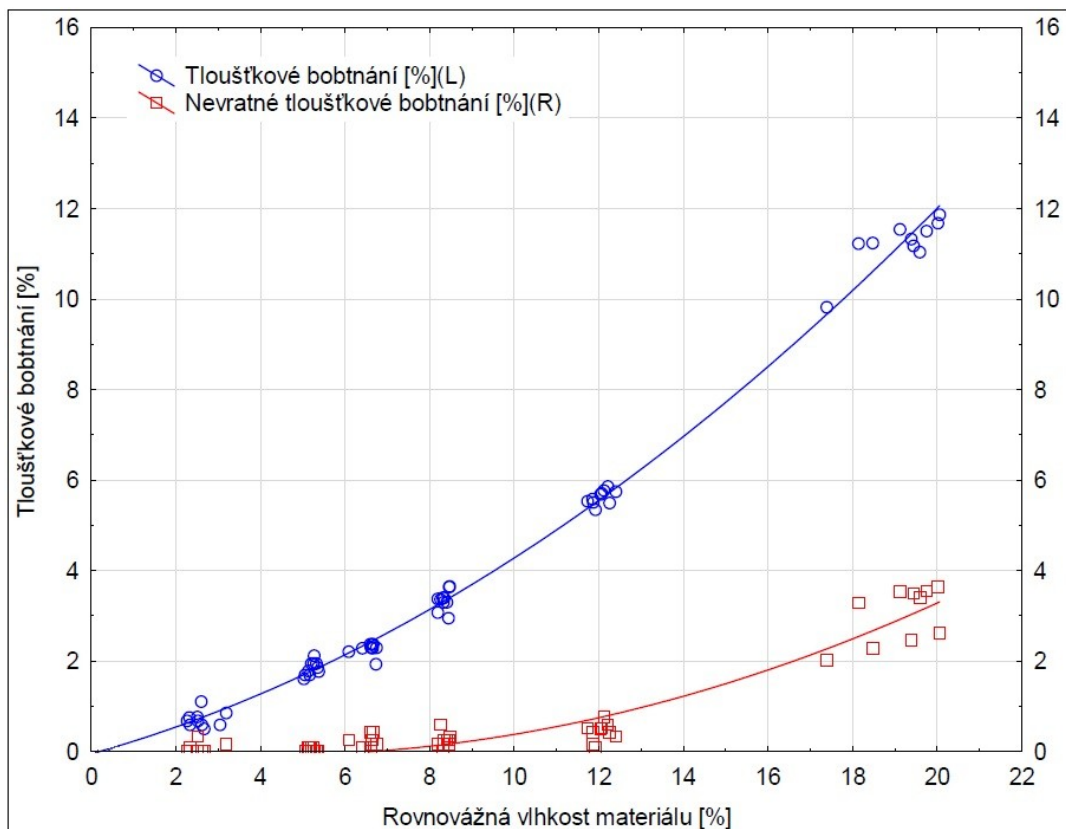
Příloha 10: Tloušťkové bobtnání DTD v závislosti na vlhkosti materiálu



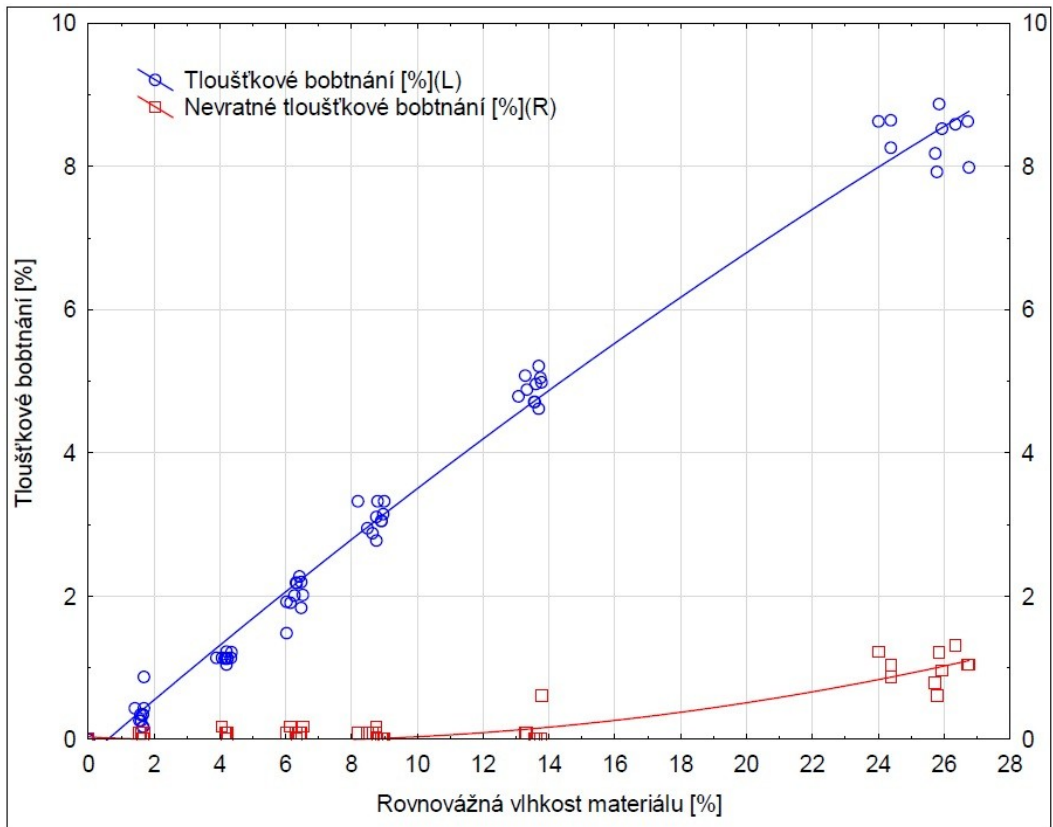
Příloha 11: Tloušťkové bobtnání OSB 3 v závislosti na vlhkosti materiálu



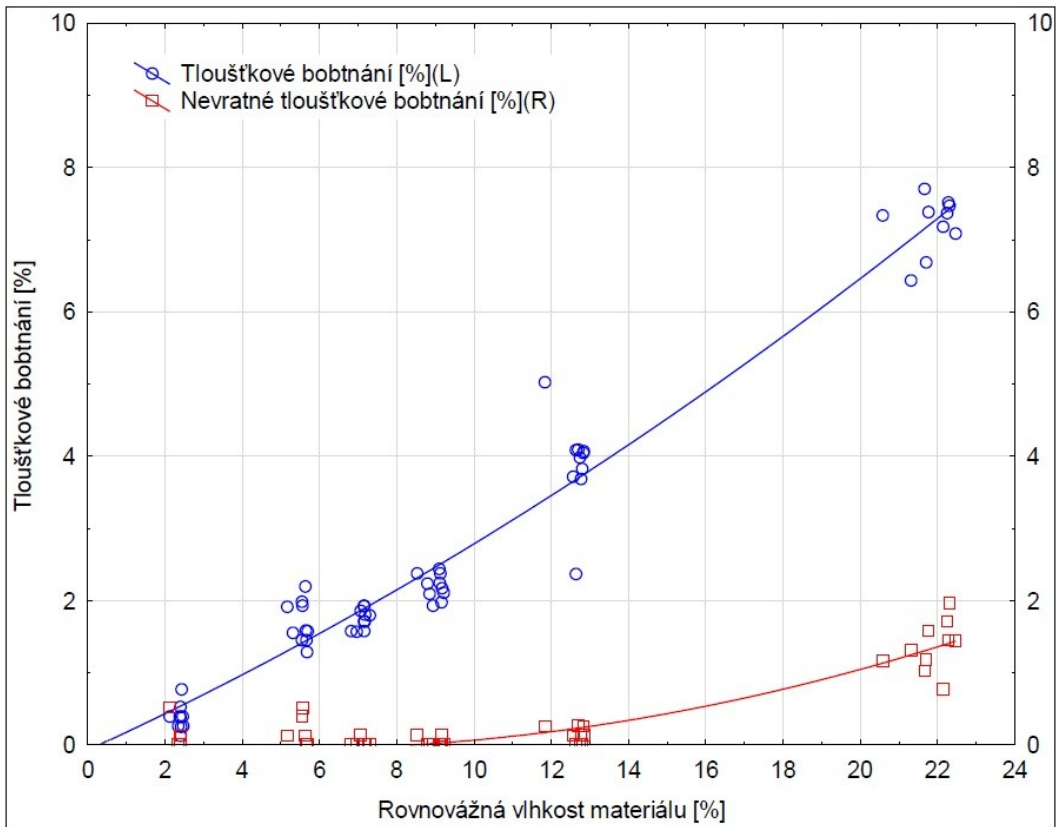
Příloha 12: Tloušťkové bobtnání GSB v závislosti na vlhkosti materiálu



Příloha 13: Tloušťkové bobtnání PDP foliovaná v závislosti na vlhkosti materiálu



Příloha 14: Tloušťkové bobtnání PDP truhlářská v závislosti na vlhkosti materiálu



Příloha 15: Přípravek k měření délek těles



Příloha 16: Mikrometr Mitutoyo ID-C125B 0–25,4 v přípravku na měření délek těles



Příloha 17: Posuvné měřítko Mitutoyo 500-123U/CD-15B



Příloha 18: Laboratorní váha Sartorius BP 3100S



Příloha 19: Přehled měřených materiálů (MDF 1, MDF 2, DTD, překližka foliovaná, překližka truhlářská, GSB, OSB)

