

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě



**Vliv povrchového materiálu na ohybové vlastnosti
dřevotřískových desek s redukovanou hustotou**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Pavel Král

Vypracovala:

Hana Havelková

Brno 2015

podepsané zadání kvalifikační práce

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vliv povrchového materiálu na ohybové vlastnosti dřevotřískových desek s redukovanou hustotou zpracovala sama a uvedla jsem všechny použité prameny.

Souhlasím, aby moje bakalářská práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a uložena v knihovně Mendelovy univerzity v Brně, zpřístupněna ke studijním účelům ve shodě s Vyhláškou rektora Mendelovy univerzity o archivaci elektronické podoby závěrečných prací.

Autor kvalifikační práce se dále zavazuje, že před sepsáním licenční smlouvy o využití autorských práv díla s jinou osobou (subjektem) si vyžádá písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuje se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla dle řádné kalkulace.

V Brně, dne:..... podpis studenta:.....

Poděkování

Úvodem bych ráda poděkovala vedoucímu mé práce doc. Dr. Ing. Pavlu Královi, za cenné rady a odborné vedení při psaní této práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Petru Klímkovi, za pomoc při výpočtech navážek a výrobě zkušebních vzorků a také za odborné vedení během zpracování této bakalářské práce. Také chci velmi poděkovat své rodině a blízkým, kteří mě nejen morálně podporovali během celého mého studia.

Abstrakt

Autor: Havelková Hana

Název bakalářské práce: Vliv povrchového materiálu na ohybové vlastnosti dřevotřískových desek s redukovanou hustotou

Výzkum se zabýval sendvičovými konstrukcemi, které měly jádro z dřevotřískových desek se sníženou hustotou a vnější vrstvy s povrchovými vrstvami jako s dýhou a vysokotlakým laminátem. Jejich ohybové vlastnosti by měly být srovnatelné s dřevotřískovými deskami o hustotě vyšší. Zjišťováno bylo bobtnání, pevnost v ohybu, modul pružnosti a pevnost v tahu kolmo na rovinu desky. Výsledky byly následně zpracovány v programu EXCEL a STATISTICA. Na závěr bylo provedeno porovnání výsledků mezi deskami s nižší hustotou, které byly povrchově upravené a s deskami kontrolními o vyšší hustotě.

Klíčová slova: bobtnání, dřevotřískové desky, dýha, HPL, hustota, mez pevnosti a modul pružnosti v ohybu, povrchové materiály, snížená hustota

Abstract

Author: Havelková Hana

Title of thesis: Effect of the surface material on bending properties of the particleboards with reduced density

The research was partially inspired by sandwich constructions, where the core delivering lightweight attribute and covering material the strength. In the research particleboards covered by different overlays were produced. The bending strength, modulus of elasticity, tensile strength and swelling properties were determined. Properties were compared with particleboard without overlay as well as between each tested group using Analysis of variance (ANOVA) and descriptive statistics. The HPL shown the most promising results while veneered surface delivered further questions considering swelling.

Keywords: swelling, particleboards, veneer, HPL, density, strength and modulus of elasticity in bending, reduced density, surface materials

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce	2
3. Literární přehled	3
3.1. Dřevotřískové desky	3
3.2. Použití DTD	3
3.3. Výroba DTD	3
3.3.1. Příprava částic	4
3.3.2. Mísení materiálů	5
3.3.3. Vrstvení koberce a předlisování	6
3.3.4. Lisování	7
3.3.5. Klimatizování a konečná úprava	8
3.4. Používané povrchové materiály a jejich vlastnosti na desky	8
3.4.1. Dekorativní dýhy	9
3.4.2. Impregnovaný papír	10
3.4.3. Plastové folie	11
3.4.4. Lamináty	11
3.5. Vlastnosti DTD	13
3.5.1. Bobtnání	13
3.5.2. Pevnost	14
3.5.3. Pružnost	15
4. Materiál a metodika	16
4.1. Použité materiály	16
4.2. Výpočet navážky	16
4.3. Výroba DTD	17
4.3.1. Rozměrová analýza třísek:	17
4.3.2. Výpočet navážky:	17
4.3.3. Mísení materiálu:	18
4.3.4. Formování koberce:	19

4.3.5.	Lisování:.....	19
4.3.6.	Klimatizování:.....	19
4.3.7.	Formátování desky:.....	19
4.4.	Laminování povrchovými materiály.....	20
4.4.1.	Nanášení lepidla:	20
4.4.2.	Lisování:.....	20
4.4.3.	Klimatizace:	20
4.5.	Specifikace mechanických vlastností	21
4.5.1.	EN 323 Zjišťování hustoty	21
4.5.2.	EN 310 Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu	22
4.5.3.	EN 319 Zjišťování pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky	24
4.5.4.	EN 317 Stanovení bobtnání po uložení ve vodě.....	25
4.5.5.	Výpočet popisné statistiky.....	26
5.	Výsledky	27
5.1.	Hustota	27
5.2.	Bobtnání.....	29
5.2.1.	Bobtnání po 2 hod.....	30
5.2.2.	Bobtnání po 24 hod.....	32
5.3.	Ohybové charakteristiky	34
5.3.1.	Pevnost v ohybu.....	36
5.3.2.	Modul pružnosti.....	38
5.4.	Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky.....	40
6.	Diskuse	42
	Hustota	42
	Bobtnání.....	42
	Ohybové vlastnosti.....	43
	Rozlupčivost	44
	Použití ve stavebnictví.....	44
	Grafické srovnání výsledků s jinými materiály	46
7.	Závěr	47

8. Summary	48
9. Seznam literatury	49
Seznam obrázků	52
Seznam tabulek	53
Seznam příloh	53
Přílohy	54

1. Úvod

Dřevo je obnovitelným zdrojem, který vykazuje vysokou pevnost a pružnost ve srovnání se svou hustotou. Je snadno opracovatelné, ekologicky odbouratelné a recyklovatelné. Avšak je nehomogenní, což způsobuje značnou proměnlivost vlastností dřeva.

U aglomerovaných materiálů na bázi dřeva, je tato nehomogennost odstraněna díky roztřískování či rozvláknění dřeva na malé části, které jsou následně spojovány, do plošných nebo tvarových materiálů. Práce je zaměřena na dřevotřískové desky, které mezi aglomerované materiály patří. Tradiční dřevotřískové desky s hustotou 600 kg/m^3 mají vysoké využití ve stavebnictví, ale důsledkem vysokých nákladů se nyní více upřednostňuje snížená hustota desek. Hustota desek používaných v částech stavby, kde je velmi důležitá pevnost v ohybu, může být snížena, aniž by zásadním způsobem tyto ohybové vlastnosti změnila. Snížení hustoty desek má nejen ekologické výhody, ale samozřejmě i ekonomické. Nižší hmotnost desek by se dalo považovat také za výhodu.

Inovace tak tradičního produktu jako dřevotřísková deska je vždy výzvou, protože efektivita materiálů, otázky výroby a použití jsou ovlivněny mnoha faktory. Obvykle je hustota desky jedním z nejdůležitějších kritérií ve vztahu k ostatním vlastnostem. Neboť ohybová pevnost panelů může mít vyšší význam při použití v určitých konstrukcích.

2. Cíl práce

Hlavním úkolem této bakalářské práce je představit dřevotřískovou desku se sníženou hustotou jako část sendvičové konstrukce s různými povrchovými vrstvami. Cílem je vyvinout panely se zachovanou ohybovou pevností a zároveň sníženou hustotou. Předpokladem je, že povrchová vrstva sendvičové konstrukce zajišťuje dostatečnou ohybovou pevnost a díky tomu můžeme snížit hustotu středové vrstvy.

Ve výzkumu se předpokládají tyto hypotézy: Předpokládá se, že správné pokrytí desek bude přenášet tlakové i jiné napětí, které nastávají, když jádro, tedy dřevotříska, s nízkou hustotou neposkytne dostatečnou pevnost ve smyku. Předpokládáme, že panely s různými povrchovými materiály, poskytují podobné vlastnosti jako referenční deska o vyšší hustotě dřevotřísky.

Cíle k potvrzení hypotézy: výroba různých dřevotřískových sendvičových panelů s různými povrchovými vrstvami při rozdílných hustotách desek (500 kg/m^3 a 700 kg/m^3), změřit mechanické vlastnosti těchto panelů se zaměřením na závislost ohybových vlastností na hustotě. Tento výzkum by měl mít pozitivní ekologický a ekonomický dopad, díky snížení hustoty při zachování ohybových vlastností.

3. Literární přehled

V této kapitole se objevuje několik podkapitol, ve kterých je popsána výroba dřevotřískových desek a jejich obecný popis. Také popis povrchových materiálů, které jsou běžně používané pro testování v použitých vědeckých člancích. Kapitola je zakončena podkapitolou mechanické vlastnosti desek na bázi dřeva.

3.1. Dřevotřískové desky

Dřevotřískové desky se řadí mezi aglomerované materiály. Aglomerované materiály jsou plošné nebo tvarové materiály vyrobené z částí dřeva nebo jiné lignocelulózové hmoty. Zařazují se sem následující výrobky: vláknité desky, třískocementové desky, pilinotřískové desky, desky z dřevité vlny, pazdeřové desky, kůrové desky a dřevotřískové desky (Matovič, 1993), které mohou být jednovrstvé, vícevrstvé, s plynulou změnou struktury nebo výtlačně lisované vylehčené. (Hrázský a Král, 2004)

DTD je definována jako panel vyrobený z lignocelulosových materiálů, zejména ve formě oddělených částic, v kombinaci se syntetickými pryskyřicemi a ostatními vhodnými tmely, slepený dohromady pomocí teploty a tlaku. (U. S. EPA, 2002)

3.2. Použití DTD

Dřevotřísková deska je nejvíce používaná pro nábytek, kde je povrchově upravena jinými materiály kvůli estetice. Také je používána v podlahových systémech, v průmyslově vyráběných domech a jako podstřešní vložky. (Forest Products Laboratory, 2010)

Nějaká typická užití desek: podklad podlahy, bydlení, skříňky, nášlapné desky u schodů, police, desky stolu, nábytek, toaletní stolky, reproduktory, posuvné dveře, skříně, interiérové obklady, expozice, stoly na stolní tenis, kulečnickové stoly a elektronické herní konzole. (Nemli a Colakoglu, 2004)

3.3. Výroba DTD

(Hrázský a Král, 2004): Při laboratorní výrobě třískových desek je nutno dodržet následující pracovní postup:

1. Analyzování vstupních surovin (zjišťování vlhkosti, rozměrů částic, síťová analýza, frakční analýza, stanovení jemnosti mletí vlákna, stanovení hodnoty pH třísek, analýza a příprava lepicí směsi)
2. Výpočet navážek jednotlivých komponentů
3. Příprava surovin pro tvorbu koberce
4. Formování koberce a jeho předlisování
5. Lisování v horkém lisu podle zvoleného lisovacího diagramu
6. Klimatizace vylišovaných desek
7. Zjišťování vlastností desek

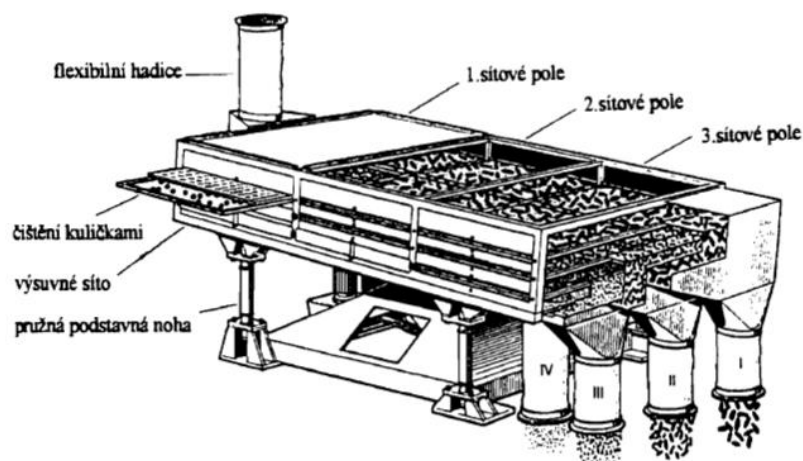
DTD jsou vyráběny v hustotách v rozmezí od asi 590 kg/m^3 až více než 800 kg/m^3 . I když některé desky jsou vyráběné jednovrstvé, hlavně se vyrábějí desky ve třech nebo pěti vrstvách. Střední vrstvy se nazývají jádrové a vnější vrstvy povrchové. Povrchové vrstvy jsou zásadně jemnější než středové. Pozměňováním relativních vlastností středových a povrchových vrstev se mohou zvýšit ohybové vlastnosti a houževnatost. (U. S. EPA, 2002)

Kroky podílející se na výrobě dřevotřískové desky zahrnuje přípravu částic, jejich klasifikaci a sušení, aplikaci lepidla, formování koberce, lisování a dokončování. (Forest Products Laboratory, 2010)

3.3.1. Příprava částic

Hlavním krokem pro výrobu DTD je roztřískování surového materiálu, třídění podle velikosti, sušení, míchání s pryskyřicí popřípadě vosky, formování do koberce, lisování a dokončování. (U. S. EPA, 2002)

Částice jsou rozdělovány a oddělovány, aby byl minimalizován negativní vliv na konečný výrobek. Velmi malé částice zvětšují povrchovou plochu a to zlepšuje požadavky na odolnost. Částice nadměrné velikosti mohou nepříznivě ovlivňovat kvalitu finálního výrobku kvůli vnitřním vadám částic. Některé částice jsou klasifikovány pomocí proudu vzduchu, ale síťové metody klasifikování částic jsou nejčastější. Při síťové metodě jsou částice přiváděny přes vibrační plochu sítě nebo sérií sítí. (Forest Products Laboratory, 2010)



Obr. 1 - Schéma síťového třídiče třísek (Hrázský a Král, 2007)

S ohledem na proces výroby a uspořádání desky jsou parametry pro ideální velikost částic různé. Pro běžné třívrstvé desky, středové částice jsou delší a pro povrchové vrstvy kratší, tenčí a menší. Pro pětivrstvé desky, středové vrstvy mezi povrchem a jádrem jsou delší a tenčí a vytváří dobrý nosný povrch s jemným povrchem a dávají desce vysokou ohybovou pevnost a tuhost. (Forest Products Laboratory, 2010)

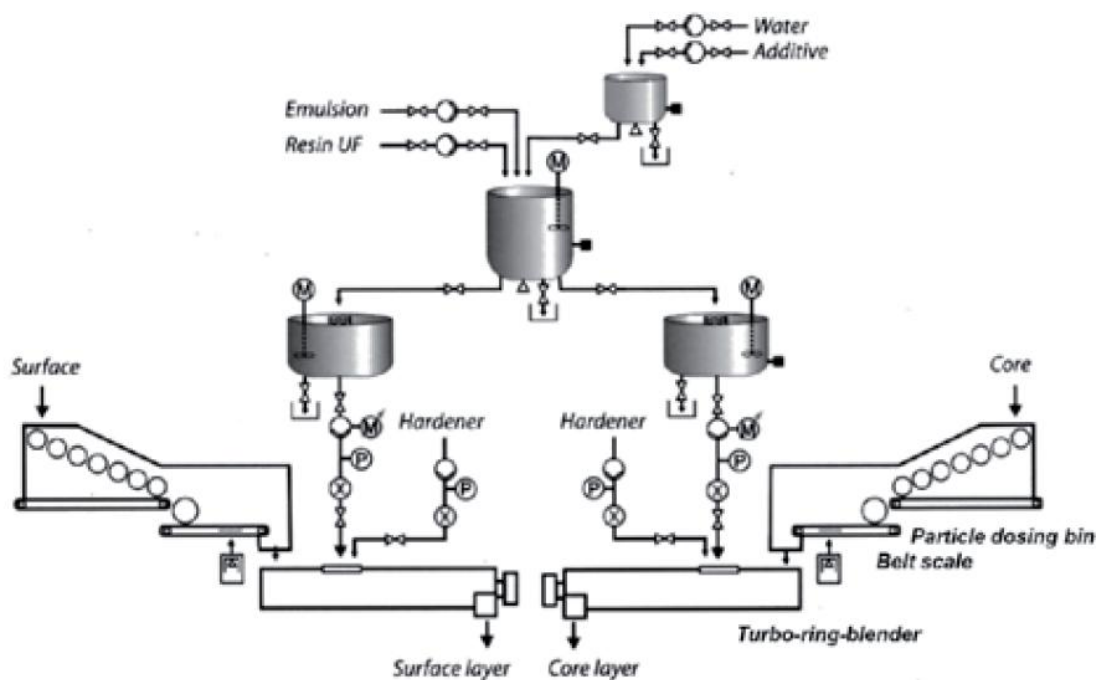
Surový materiál obvykle nedorazí v dostatečně nízké vlhkosti pro okamžité použití. Materiál jako strom přijíždí s vlhkostí v rozsahu od 10% do 200%. Například pro použití s tekutými lepidly musí být obsah vlhkosti zredukován okolo 2% do 7%. Obsah vlhkosti částic je rozhodující během lisování za tepla a záleží, zda je lepidlo přidáváno v suché formě nebo jako roztok emulze. Vlhkost materiálu, který odchází ze sušičky, je obvykle v rozsahu od 4% do 8%. Hlavní metody používané k sušení částic jsou rotační, diskové a suspenzační sušení. Teplota operací záleží na vlhkosti vstupujícího materiálu. (Forest Products Laboratory, 2010)

3.3.2. Mísení materiálů

Aplikace lepicí směsi je dalším krokem výroby. Tato směs je směsí lepidla s ostatními látkami a ta se nanáší na třísky. Přípravuje se mícháním vypočtených množství (navážek) jednotlivých složek pro příslušné množství třísek podle zvolených nánosů a po důkladném promíchání se vlije do zásobní nádržky nanášecího zařízení. (Hrázský a Král, 2004)

Nejčastěji používané lepidlo pro dřevotřískové desky zahrnuje UF a v mnohem menším rozsahu PF, MF a izokyanátové. Druh a množství lepidla pro DTD záleží na požadavcích produktu. (Forest Products Laboratory, 2010) Fenol formaldehydové lepidlo může být použito pro DTD určené do exteriéru (U. S. EPA, 2002), protože melamin a fenol formaldehydová lepidla jsou více odolná proti vodě, nežli močovino formaldehydová, protože močovina je rozpustná ve vodě. (Nemli a Colakoglu, 2004)

Vosky a aditiva jsou dodávány do směsi kvůli odolnosti proti vodě a zvýšení stability konečného produktu za vlhkých podmínek. Pro ty, které mají nízkou kyselost, se mohou přimíchávat katalyzátory, aby se urychlilo vytvrdnutí lepidla a zkrátil se lisovací čas. Formaldehydová zachycovadla také mohou být přidány do lepicí směsi pro snížení úniku formaldehydových emisí z procesu. (U. S. EPA, 2002)



Obr. 2 - Schéma mísení směsi (Thoemen a kol., 2010)

Schéma zobrazuje postupné přidávání přípravků do směsi: shora voda a aditiva, jsou přidávána k lepidlu a emulzi, tato směs pokračuje dále a nanáší se jednotlivě na středové a povrchové vrstvy společně s tvrdidlem.

3.3.3. Vrstvení koberce a předlisování

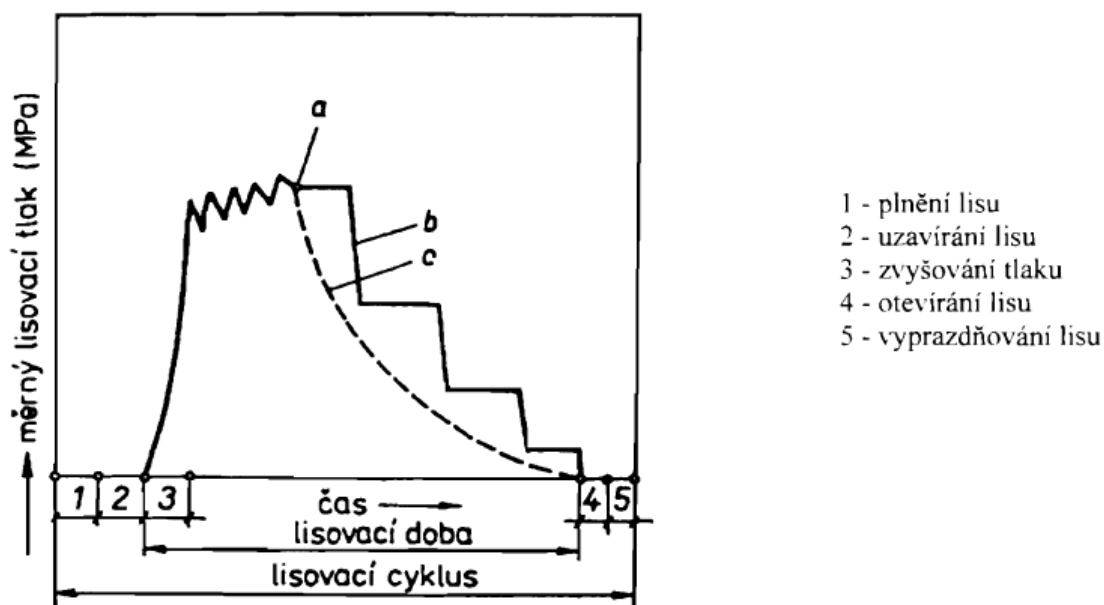
Po smíchání lepicí směsi s třískami a promíchání těchto surovin se začne s nanášením koberce. Vrstvení koberce se provádí na spodní lisovací plech, na kterém je dřevěná

forma příslušných rozměrů. Materiál, který je navážený, se rozvrstvuje postupně do formy v pořadí povrchové - středové - povrchové třísky, a to rovnoměrně po celé ploše formy. Toto rovnoměrné rozvrstvení je důležité v zájmu docílení stejné plošné hustoty koberece a tím i třískové desky, což je prvotním předpokladem pro dosažení stejných fyzikálních a mechanických vlastností desky. Na navrstvený materiál se přiloží přitlačná deska a tento soubor se předlisuje v ručním předlisu tlakem cca 1 N/mm^2 na asi 10 s. Po předlisování se koberec vyjme z formy a nechá se na spodním lisovacím plechu, se kterým se vkládá do vyhřívacího lisu. Na předlisovaný koberec se přiloží horní lisovací plech a mezi tyto dva plechy se pak vloží distanční lišty, které vymezují mez přiblížení se lisovacích desek lisu a tím i konečnou tloušťku TD. (Hrázský a Král, 2004)

3.3.4. Lisování

Celý soubor, který je popsán v předešlé podkapitole se vloží do lisu, který je vyhříván na požadovanou lisovací teplotu. (Hrázský a Král, 2004)

Lisovací teploty se mohou pohybovat v rozmezí od 132°C do 288°C (U. S. EPA, 2002) Po uplynutí lisovacího času se lisovací tlak uvolní a lis se otevře. (Hrázský a Král, 2004)



Obr. 3- Lisovací diagram TD pro víceetážový lis (Hrázský a Král, 2007)

3.3.5. Klimatizování a konečná úprava

Po lisování jsou desky většinou chlazeny (klimatizovány) pro dosažení stavu vlhkostní rovnováhy v podmínkách, ve kterých budou kompozity používány. U třískových desek jde v podstatě o vyrovnání vlhkosti v celém průřezu a objemu desky, protože zbytková vlhkost TD po lisování je koncentrována zejména v oblasti vrstvy středové a je okolo 6 až 8 %. (Hrázský a Král, 2004)

Po ochlazení jsou panely oříznuté, aby získaly požadovanou délku, šířku a hrany do čtverce. DTD také mohou být podýhovány nebo pokryty jinými materiály, aby poskytly dekorativní povrch, nebo mohou být dokončeny lakem nebo barvou. Také je možné chemické ohnivzdorné ošetření. (Forest Products Laboratory, 2010)

3.4. Používané povrchové materiály a jejich vlastnosti na desky

Na vnitřní vestavěné zařízení a nábytek jsou používány převážně povrchově upravené kvůli estetice desek z částic dřeva. Tyto desky jsou vyrobeny jako stejnoměrné, bytové panely a jsou opatřeny speciální povrchovou úpravou podle použití. Tyto potažené desky jsou používány pro konstrukce skříněk, nábytku, obložení, kuchyňské desky a pracovní plochy v kancelářích, studijních zařízeních, laboratořích a pro použití jiných průmyslových výrobků. (Nemli a Colakoglu, 2004)

Materiál pro povrchovou úpravu významně zvyšuje mechanické vlastnosti a tepelnou vodivost, snižuje tloušťkové bobtnání a únik formaldehydu z dřevotřískových desek. Bylo statisticky dokázáno, že typ povrchové úpravy a technologie laminování dobře působí na technické vlastnosti. (Nemli a Colakoglu, 2004)

Jedna z metod ošetření povrchu je aplikace zábran na vnější plochy nebo povrchová úprava jako barvení, lakování, laminování, dýhování, foliování, atd. Účelem těchto aplikací je potlačit absorpci vody a pórovitost a eliminovat únik nežádoucích plynů. (Nemli a kol., 2005)

Bylo také zjištěno, že mechanické vlastnosti desek ze dřeva byly zlepšeny díky laminování, například zvýšení modulu pružnosti. (Nemli a Colakoglu, 2004)

Na základě evropských norem jsou zohledněny minimální požadavky pro ohybovou pevnost dřevotřískových desek pro základní použití, výrobu nábytku, nosnost v zatížení a nosnost pro velké zatížení. (Nemli a Colakoglu, 2004)

DTD jsou povrchově upravené pomocí impregnovaných papírů, barvami, potisky, laky, dýhami, laminátem, fólií atd. Laminování je dodatečný proces, který dodává příjemný vzhled, zlepšení fyzikálních, mechanických a optických vlastností desek. Hlavní povrchové charakteristiky obdržené laminováním jsou odolnost proti škrábnutí, otěru, vlhkosti, teplotě a některým chemikáliím. Účel této aplikace je zvýšit fyzikální, mechanické a povrchové vlastnosti, pro potlačení absorpce vody, vlhkosti a eliminování úniku formaldehydu. (Nemli a Colakoglu, 2005; Istek a kol., 2010)

3.4.1. Dekorativní dýhy

Dýha je tenká vrstva dřeva, tedy list dřeva, který je získán pomocí krájení prizmy (opracovaná část výřezu určitých rozměrů) nebo loupáním výřezu zbaveného kůry. (Matovič, 1993)

Základní rozdělení dýh (Král a Hrázský, 2006):

- podle způsobu použití jsou dýhy okrasné a konstrukční
- podle způsobu výroby jsou krájené, excentricky loupané, centricky loupané a speciální
- podle jakosti se dělí okrasné dýhy do tří tříd a konstrukční dýhy do čtyř tříd jakosti
- podle textury jsou dýhy tangenciální neboli fládrové, radiální a poloradiální

Způsob výroby dýh záleží na jejich dalším využití. Loupané dýhy (obr. 4) se používají hlavně při výrobě nábytku, překližek a jádrových desek. Kdežto krájené dýhy (obr. 5) na exkluzivní nábytek. (Böhm, 2005)

Dýhy jsou v podstatě tenké plátky dřeva, jejichž vzhled záleží na směru, ve kterém je kláda dávana do loupacího stroje. Tloušťka dýhy bývá obvykle v rozmezí 0,3 mm až nad 5 mm. Bývá spojena k povrchu panelů na bázi dřeva prostřednictvím uretanového, močovinného nebo vinylového lepidla (také bývá jejich kombinace). Lepidlo částečně vyplňuje póry v dýze a představuje úpravu s vynikajícími povrchovými vlastnostmi. (Bulian a Graystone, 2009)

Tloušťka dýhy ovlivňuje i další vlastnosti, jako třeba slisovatelnost překližovaných materiálů. To je rozdíl mezi celkovou deformací a pružnou deformací dřeva. Změny v tloušťce překližky ovlivňují fyzikální a mechanické vlastnosti desky a tedy i stavební nebo jiné konstrukce. Zmenšením tloušťky dýh v překližce dojde ke zvětšení koeficientu slisovatelnosti. (Hrázský a Král, 2005)

Tloušťkové bobtnání DTD povrchově upravených pomocí melamin-impregnovaného papíru a dřevěné dýhy je velmi vysoké. Pro konečné použití by měli mít tyto panely ošetřeny hrany. (Nemli a kol. 2004)

3.4.2. Impregnovaný papír

Vzorky povrchově upravené pomocí MF-impregnovaného papíru ukázaly lepší provedení než ty, které byly upraveny UF +MF-impregnovaným papírem. Typ lepidla a vzor papíru ovlivňují fyzikální, mechanické a povrchové vlastnosti potažené desky. (Istek a kol. 2010)

Povrchová úprava je laminována pod vysokým tlakem a teplotou s DTD nebo jiným substrátem. Lepidlo v papíru stéká do povrchu podkladového substrátu při laminování. Druh lepidla používaného na impregnování melaminového papíru má vliv na kvalitu dekorativního papíru. (Istek a kol. 2010)

Nemli and Colakoglu (2005) zjistili, že povrchová úprava zvyšuje ohybovou pevnost, modul pružnosti, tloušťkové bobtnání a redukuje únik formaldehydových emisí z desek. Istek a kol. (2010) zjistili, že modulu pružnosti a ohybová pevnost DTD se zvyšuje v závislosti na typu a tloušťce povrchového materiálu.

Impregnovaný papír může být vyráběn v různých barvách o různých vzorech (včetně dřevěného vzoru) a díky jejich nízké ceně a univerzálnosti jsou často používány jako povrchový materiál na panely na bázi dřeva. (Bulian a Graystone, 2009)

Impregnovaný papír se dá rozdělit na dva hlavní a to melamin-impregnovaný papír a dokončující impregnovaný papír. U melamin-impregnovaného papíru se částečně vytvrzená melaminová pryskyřice natře na obě plochy a pomocí teploty a tlaku je dosaženo slepení a vytvrzení v jednom procesu. Tyto panely již není potřeba dále povrchově upravovat. Dokončující impregnovaný papír je impregnován tepelně

tvrditelnou pryskyřicí (močovinovou) obvykle v kombinaci s akrylovou pryskyřicí, která vytváří pružnost papíru. (Bulian a Graystone, 2009)

Papír bývá impregnován levnější močovinovou pryskyřicí a poté, co poprvé uschne, obě strany jsou impregnovány melaminovou pryskyřicí. Tento proces je dnes znám jako dvou-kroký proces. (Nemli a Colakoglu, 2004)

Většina kuchyňských linek, některý kancelářský nábytek a velká část vybavení do interiéru jsou vyrobeny z desek na bázi dřeva, které jsou povrchově upraveny pomocí melaminu. Z toho důvodu kvalita vlastností jako odolnost proti abrazi a poškrábání povrchu, jsou velmi důležité pro konečné použití. (Nemli a Colakoglu, 2004)

3.4.3. Plastové folie

(Bulian a Graystone, 2009): Plastové folie mohou být rovnou aplikované pomocí lepidla na panel s povrchem. PVC je nejvíce používaný plastový materiál. Úspěch PVC je odvozen z následujících vlastností:

- Dostupnost ve více barvách
- Relativně nízká cena
- Tepelně-tvarovatelný
- Odolný povětrnostním podmínkám

Kompozitní materiály na bázi dřeva, které jsou pokryté PVC fólií jsou používány jako stabilní a jednotný základ pro pigmentové nátěrové hmoty.

3.4.4. Lamináty

Lamináty neboli dekorativní materiály, se vyrábí vrstvením papírů impregnovaných různými pryskyřicemi a jejich následným slisováním a tak vzniká pevný a odolný list o tloušťce až 5 mm. (Hrázský a Král, 2007)

(Bulian a Graystone, 2009): Laminát je materiál postavený sjednocením dvou nebo tří vrstev papíru. Proces laminování obvykle odkazuje na vrstvený proces zahrnující teplotu a tlak. Laminování je rozděleno podle procesu použitého při jejich výrobě. Dva hlavní druhy laminátů jsou HPL a CPL.

3.4.4.1. HPL - High pressure decorative laminate

Vysokotlaké vrstvené desky (lamináty) jsou duroplasty, mají již hotovou povrchovou úpravu a používají se k opláštování velkoplošných desek na bázi dřeva. (Hrázský a Král, 2007)

Vysokotlaký laminát obsahuje středovou vrstvu jako papír obvykle impregnovaný fenolovou pryskyřicí a vnější vrstvy impregnované melaminovou nebo jinými pryskyřicemi. Vysokotlaký proces vyžaduje současné použití teploty ($t > 120^{\circ}\text{C}$) a tlaku ($\geq 7 \text{ MPa}$) aby poskytly tekoucí a další úpravu teplem tvrditelné pryskyřice k získání homogenního neporézního materiálu se zvýšenou hustotou ($\geq 1,35 \text{ g/cm}^3$). Tloušťka HPL je obvykle mezi 0,5 a 1,0 mm s různými variantami vzhledu (drsnost, barva, lesk). (Bulian a Graystone, 2009)

3.4.4.2. CPL - Continuously pressed laminates

Kontinuálně lisovaný laminát značí materiál obsahující středový papír impregnovaný fenolovou nebo amino-plastovou pryskyřicí a povrchové papíry impregnované amino plastickou pryskyřicí (obvykle melaminovou). Vrstvy jsou kontinuálně slepované dohromady pomocí procesu laminování s využitím teploty a tlaku. Jsou vyráběné v rolích s tloušťkou okolo 0,2 mm a hmotností okolo 200 g/cm^2 . (Bulian a Graystone, 2009)

Produkce CPL je jedna z nejvíce důležitých metod ve výrobě dekorativních povrchových materiálů. Typická konstrukce CPL zahrnuje melamin impregnovanou alfa celulózu jako vnější vrstvu s dekorativním povrchovým papírem překrývajícím jeden nebo více melaminových impregnovaných papírů. (Nemli a kol. 2003)

Laminované kompozity na bázi dřeva jsou používány na kancelářský nábytek, kuchyňské desky, počítačové stoly, sprchové kabiny a venkovní obložení. (Nemli a kol. 2003)

Kvůli nízké tepelné vodivosti, lamináty o tloušťce 0,50 mm, by měli být používány pro podlahoviny, izolační desky nebo dveře. Zatímco pro desky stolů, kuchyní nebo kancelářský nábytek musí být používán laminát o tloušťce 0,70 mm kvůli jeho vyšší tepelné vodivosti, protože lamináty musí být odolné vůči vařící vodě a suchému teplu. (Nemli a kol. 2003)

Dřevotřískové desky pokryté CPL mají nižší unikání formaldehydových emisí a hodnoty tloušťkového bobtnání nežli desky pokryté melamin-impregnovaným papírem nebo dýhami. To může být způsobeno větší těsností struktury CPL. (Nemli a Colakoglu, 2004)

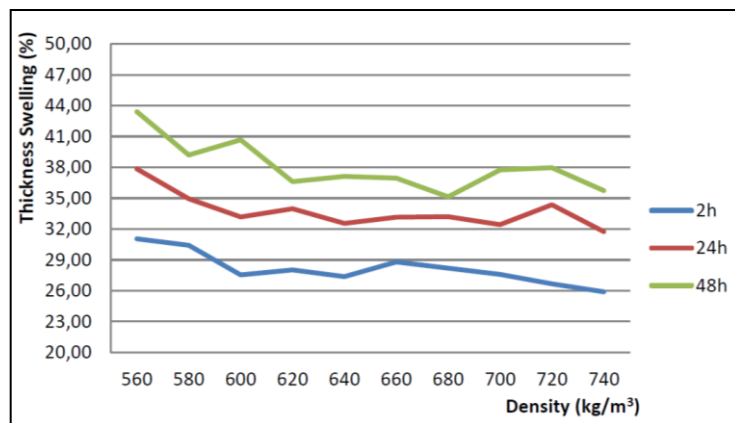
3.5. Vlastnosti DTD

Na základě předběžných výsledků studie, povrchové úpravy zlepšují ohybovou pevnost, modul pružnosti, tloušťkové bobtnání a únik formaldehydových emisí z desky. (Nemli a Colakoglu, 2004)

Úprava povrchu dřevotřískových desek tedy zlepšuje mechanické vlastnosti a zvyšuje tepelnou vodivost. Vyšší hodnoty pevnosti v ohybu, modulu pružnosti a tepelné vodivosti byly získány u dřevotřískových desek s úpravou CPL. Desky upravené pomocí melamin-impregnovaného papíru mají snížené mechanické vlastnosti. To může být způsobeno rozdílnou objemovou hmotností mezi povrchovými vrstvami. (Nemli a Colakoglu, 2004)

3.5.1. Bobtnání

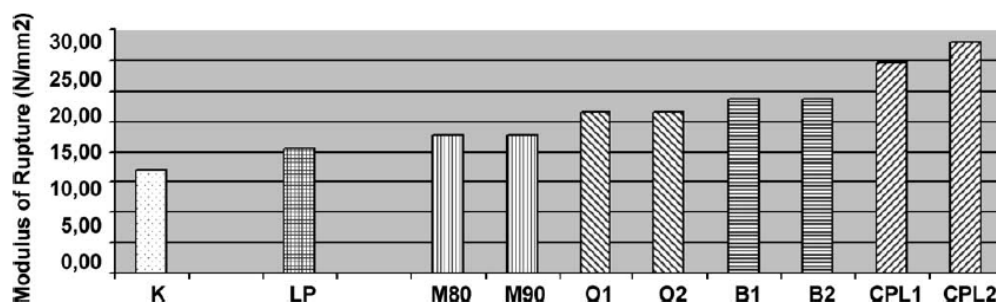
Bobtnání je přijímání vlhkosti z okolního prostředí, díky kterému nejen dřevo, ale i materiály na bázi dřeva zvětšují své rozměry. U dřevotřískových desek dochází k bobtnání na rozdíl od dřeva k trvalé změně tvaru a rozměrů a po vysušení se nevrací do původního stavu. Proto se u těchto materiálů nezjišťuje obvykle maximum bobtnání, ale bobtnání po určitém čase (2, 24, 48 hod.). Rozměrové změny v ploše u DTD jsou zanedbatelné, řešíme hlavně tloušťkové bobtnání. (Matovič, 1993)



Obr. 4 – Tloušťkové bobtnání s ohledem na hustotu DTD (Istek a Siradag, 2013)

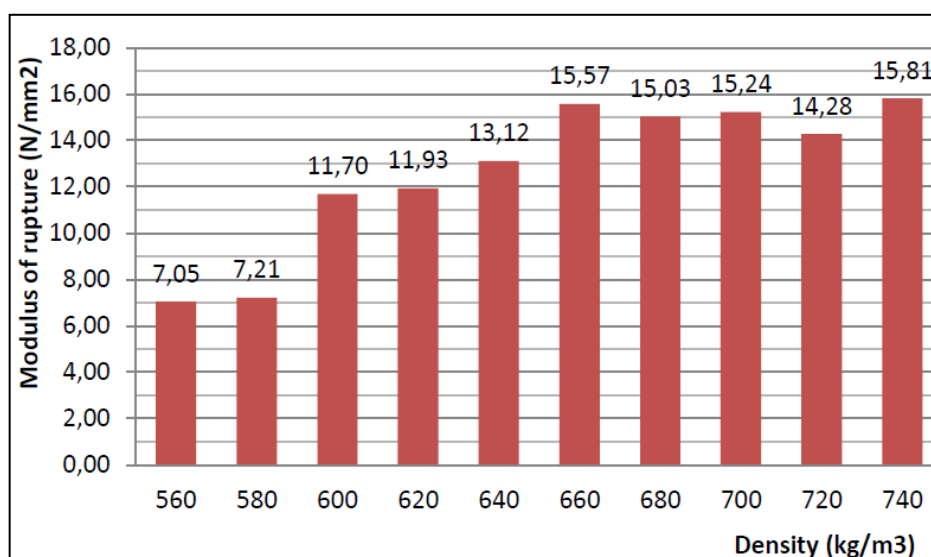
3.5.2. Pevnost

Pevnost je schopnost materiálů na bázi dřeva (včetně dřeva) odolávat jejich porušení vlivem mechanických zatížení. Tuto vlastnost ukazuje mez pevnosti, což je maximální hodnota zatížení, které vydrží těleso bez destrukce. (Matovič, 1993)



Obr. 5 – MOR na typ materiálů použitého na povrchové vrstvy (Nemli a kol., 2004)

Graf ukazující vliv typu materiálu použitého na povrchové vrstvy na naměřenou pevnost v ohybu. K-označuje kontrolní desku, bez povrchové úpravy, LP- deska lakovaná, M80 a M90 jsou desky upravené melamin impregnovaným papírem o hmotnostech 80 g/m² a 90 g/m², O a B označují různé typy dřív (Okoume, Bobinga), kde označení jedna znamená tloušťku dřívky 0,55 mm a číslo dvě je tloušťka 0,65 mm. CPL je kontinuálně lisovaný laminát v prvním případě o tloušťce 0,55 mm a v druhém 0,70 mm. (Nemli a kol., 2004)

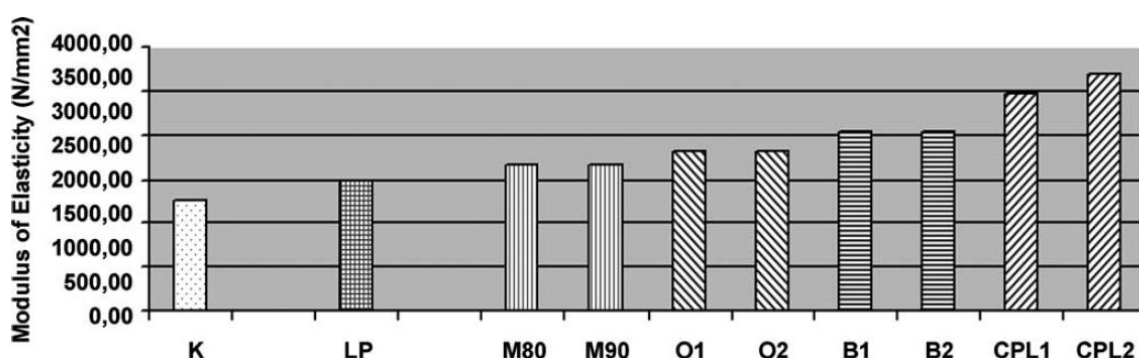


Obr. 6 – Vliv MOR na hustotu (Istek a Siradag, 2013)

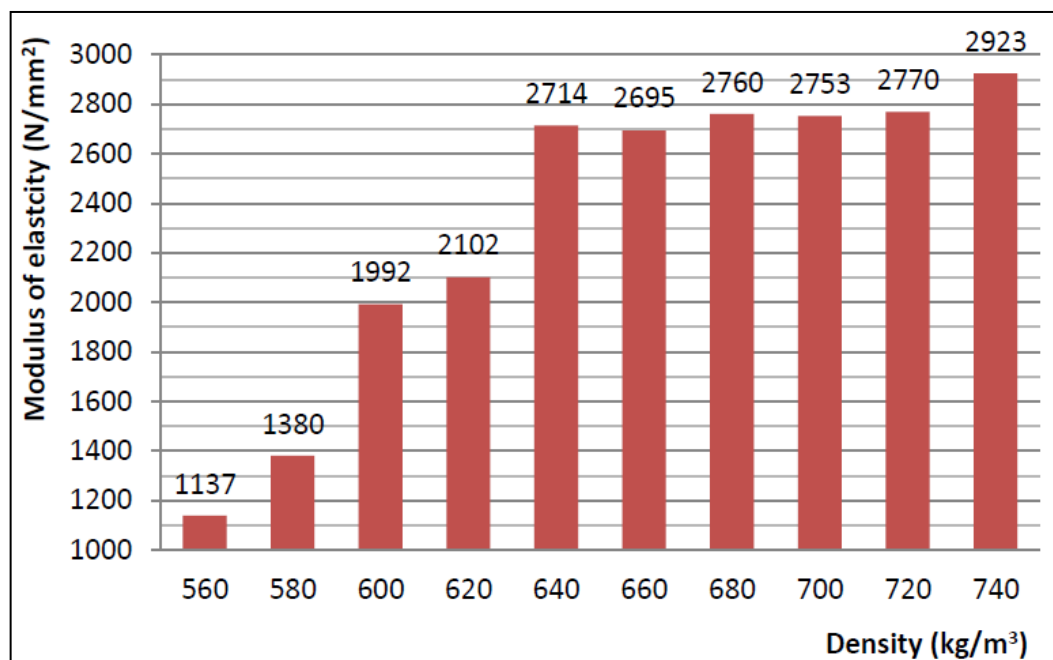
3.5.3. Pružnost

Pružnost materiálu je schopnost odolávat deformacím a nabývat počátečního tvaru a rozměrů po přerušení působení síly vnější. Při krátkodobém zatížení materiálů na bázi dřeva je pružnost dřeva charakterizována modulem pružnosti, modulem pružnosti ve smyku a koeficientem příčné deformace tedy Poissonovým číslem. (Matovič, 1993)

U materiálů s povrchovou dýhou, která má orientovaná vlákna (překližky, laťovky), se udávají zvlášť údaje pro modul pružnosti kolmo na rovinu desky rovnoběžně s vlákny a kolmo na vlákna. (Matovič, 1993)



Obr. 7 - Graf ukazující vliv MOE na typ materiálu (Nemli a kol., 2004)



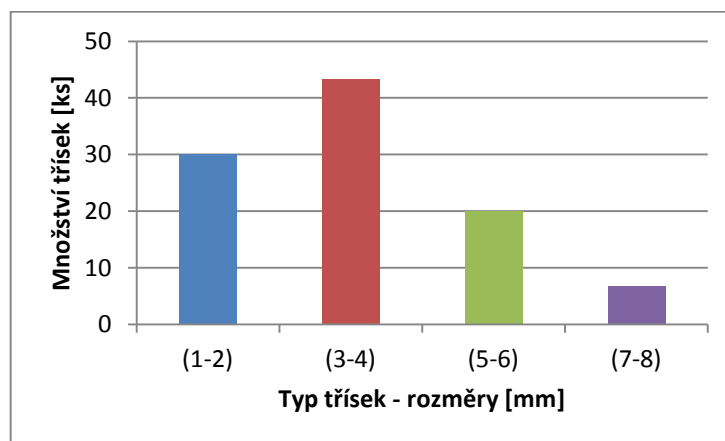
Obr. 8 – Vliv MOE na hustotu (Istek a Siradag, 2013)

4. Materiál a metodika

Kapitola obsahuje přesný postup laboratorní výroby desek, testovaných v této práci. Jsou zde popsány použité materiály i s výpočtem jejich navážek a nakonec postup výroby, jak byly desky provedeny krok za krokem.

4.1. Použité materiály

Pro výrobu desek byly použity třísky smíšeného druhu, kde převažovali smrkové, s nejčastější šířkou 3 a 4 mm a průměrnou délkou 20 mm. Třísky měly průměrnou vlhkost 5%, měřenou pomocí analyzátoru vlhkosti Radwag MAC 50/1. Jako povrchové materiály, které by měly vyrovnat mechanické vlastnosti desek o jiné objemové hmotnosti, byly použity bukové dýhy o tloušťce 2,5 mm a HPL.



Obr. 9 – Graf ukazující množství třísek v ks o specifických rozměrech v mm

Pro povrchové vrstvy bylo použito PVAC lepidlo PROTOVIL třídy D4 od firmy Collanti, které bylo nanášeno pomocí ruční válečkové nanášečky.

Pro výrobu DTD bylo použito močovino-formaldehydové lepidlo (UF) PREFERE 4170 od firmy dyneaTM a jako tvrdidlo KORNOADD HL 100.

4.2. Výpočet navážky

Pro zjištění potřebného množství třísek, lepidla, tvrdidla a destilované vody byla provedena kalkulace (Příloha B). Destilovaná voda byla přidávána pro dosažení 11% vlhkosti materiálu, aby mohlo dojít k parnímu nárazu během lisování v laboratorních podmínkách. Lepidlo činí 9% materiálu a 1/3 hmotnosti tvrdidlo. Toto množství je

doporučeno výrobcem. Množství materiálu bylo vypočteno pro čtyři desky o objemové hmotnosti 500 kg/m^3 a čtyři desky o hustotě 700 kg/m^3 (Tab. 1, 2). Postup pro výrobu desek, který má simulovat běžnou průmyslovou velkovýrobu dřevotřískových desek, byl použit na celkem 8 deskách a je popsán v následujících odstavcích.

4.3. Výroba DTD

Desky byly vyrobeny v laboratorních podmínkách v lisu STROZATECH MENDELU lokalizovaném v Útěchově. Postup výroby simuluje běžnou velkovýrobu DTD v průmyslu v laboratorních podmínkách.

4.3.1. Rozměrová analýza třísek:

Třísky byly vybrány náhodným výběrem, tak aby byly reprezentativní, v množství třiceti třísek. Tloušťky i jejich délky se měřili pomocí milimetrového papíru, naměřené hodnoty byly zapsány do tabulky (Příloha A) a statisticky vyhodnoceny. Z těchto třísek byly zvoleny čtyři intervaly, do kterých byly třísky zatříděny. Také se zjistila četnost v jednotlivých intervalech, tedy nejčastější šířka třísek byla mezi 3mi až 4mi mm (Obr. 1).

4.3.2. Výpočet navážky:

Hmotnost jednotlivých materiálů jako třísky, lepidlo, tvrdidlo a voda byla spočítána pro jednotlivé desky o objemových hmotnostech 500 a 700 kg/m^3 a vynásobeny jejich počtem. Zdrojem pro výpočet jsou zadaná specifika desky, které obsahují hlavní technické parametry. Jednotlivé kroky výpočtu jsou popsány a okomentovány. Výsledky jsou jak pro jednu desku, tak i pro více desek s ohledem na množstevní laboratorní požadavky. Celý výpočet je rovněž ovlivněn fyzikálně-technologickými podmínkami výroby tj. vlhkost desek po klimatizaci a stav vlhkostní rovnováhy. Výpočet krok po kroku viz příloha B.

Kalkulace navážky se navýšila o 10%, aby nedošlo ke ztrátám v průběhu procesu. Všechny přísady byly zváženy na laboratorních váhách nebo změřeny v odměrném válci.

Tab. 1 - Vypočítané navážky jednotlivých přísad pro desky o hustotě 500 kg/m³

Hustota 500 kg/m ³		
Materiály	Hmotnost materiálu	Hmotnost + 10%
Třísky [g]	2363,44	2599,78
Pryskyřice [g]	309,89	340,88
Tvrdidlo [g]	9,3	10,23
Aditiva [g]	0	0
Voda [ml]	47,52	52,27
Celková váha třisek po míchání [g]	2730,142091	3003,16
Třísky pro formování [g]	2812,05	
Lisovací čas [s]	180	

Tab. 2 - Vypočítané navážky jednotlivých přísad pro desky o hustotě 700 kg/m³

Hustota 700 kg/m ³		
Materiály	Hmotnost materiálu	Hmotnost + 10%
Třísky [g]	3308,81	3639,69
Pryskyřice [g]	433,85	477,23
Tvrdidlo [g]	13,02	14,32
Aditiva [g]	0	0
Voda [ml]	66,52	73,18
Celková váha třisek po míchání [g]	3822,12	4204,42
Třísky pro formování [g]	3936,86	
Lisovací čas [s]	180	

4.3.3. Mísení materiálu:

Do míchačky se nasypaly změřené a zvážené třísky, nejdříve se přidávala destilovaná voda, poté se tvrdidlo přidá do lepidla a směs se postupně aplikuje do míchačky. Poté co je vše v míchačce, necháme 10 min směs míchat.

4.3.4. Formování koberce:

Koberec se formoval ve formovací krabici na plechu, který byl pokryt pečicím papírem, aby třísky nepřilnuly k plechu. Před tvořením koberce z třísek, byly třísky přesně zváženy, aby byly bez 10%, které byly navýšeny. Poté se koberec nanaslel na plech do formovací krabice a ručně zarovnal. Formovací krabice se oddělala a ke koberci se daly distanční lišty 15 mm, abychom zachovali požadovanou tloušťku desek. Koberec se opět pokryl pečicím papírem, na který se dal další plech. Takto připravený koberec se dal do lisu.



Obr. 10 – Formovací krabice pro dřevotřískové desky

4.3.5. Lisování:

Desky byly lisovány pomocí hydraulického lisu o kapacitě 60 tun za specifického tlaku 3,2 MPa po dobu 180 sekund od uzavření lisu. Lis byl uzavřen do 10 sekund. Teplota lisovacích desek se pohybovala pod 190°C.

4.3.6. Klimatizování:

Po vylisování byly nechány desky v místnosti o pokojové teplotě 24°C a relativní vlhkosti 65% po dobu 24 hodin, aby bylo zajištěno řádné vytvrzení lepidla.

4.3.7. Formátování desky:

Pro dosažení čistého formátu 500 mm × 500 mm musí být vychlazené desky z každé strany ořezány asi o 5 cm.

4.4. Laminování povrchovými materiály

4.4.1. Nanášení lepidla:

Lepidlo PVAC PROTOVIL třídy D4 bylo nanášeno na klimatizované desky pomocí ruční válečkové nanášečky. Nános byl vždy 200 g/m^2 , což je podloženo návodem výrobce. Na lepidlo byla položena povrchová úprava, nejdříve dýhy a poté i HPL a to vždy z obou stran desek.



Obr. 11 – Ruční nanášení lepidla válečkovou nanášečkou

4.4.2. Lisování:

Zkompletovaný soubor byl zalisován do 3 minut od aplikace lepidla, což je maximální otevřená doba lepidla. Do lisu se daly vždy dvě desky stejné tloušťky, které se lisovaly za studena po dobu 30 minut, pod tlakem do 0,6 MPa. Lisovací doba byla odvozena z návodu výrobce lepidla.

4.4.3. Klimatizace:

Pro řádné vytvrzení lepidla byly desky 24 hodin klimatizované při $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a při relativní vlhkosti vzduchu 65%. Na závěr se desky ořežou z každé strany na konečný formát $450 \times 450 \text{ mm}$.

4.5. Specifikace mechanických vlastností

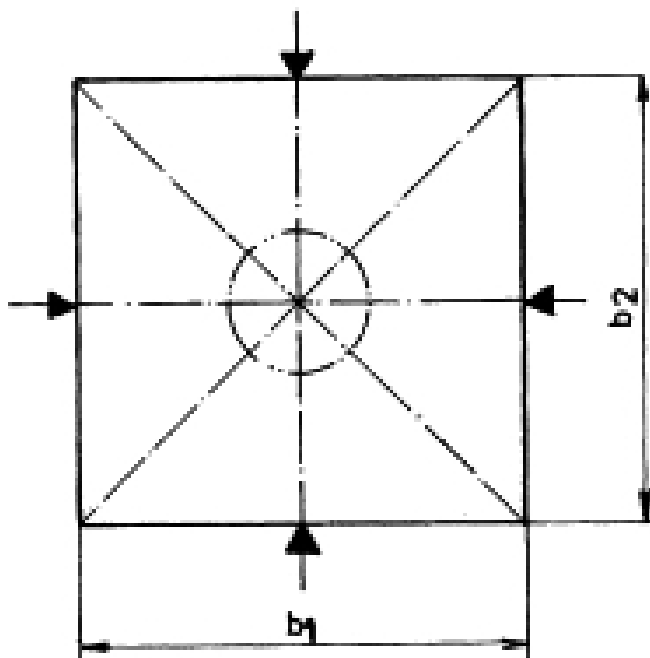
4.5.1. EN 323 Zjišťování hustoty

Tato norma uvádí metodu na zjišťování hustoty zkušebních těles ze dřevních materiálů. Podstata zkoušky je zjištění hustoty jako poměru hmotnosti zkušebního tělesa k jeho objemu, přičemž obě měření se provedou při stejné vlhkosti. Tyto výsledky se použijí pro stanovení hustoty celé desky.

Zkušební zařízení potřebná pro tuto metodu je přístroj na měření délky, tloušťky a šířky a váhy s přesností na 0,01 g.

Zkušební tělesa se odebírají podle EN 326-1. Tělesa musí být tvaru čtverce s nominální délkou 50 mm. Zkušební tělesa se klimatizují v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu $(65 \pm 5)\%$ a teplotou $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Postup zkoušky: Každé těleso se zváží s přesností na 0,01g. Rozměry těles se zjišťují tak, že hloubka t se měří v bodě průsečíků úhlopříček (Obr. 3) s přesností na 0,05 mm a rozměry b_1 a b_2 se měří ve dvou bodech rovnoběžně s hranami zkušebního tělesa nad průsečíkem úhlopříček s přesností na 0,1 mm.



Obr. 12 - Měření rozměrů zkušebních těles (EN 325)

Výsledek se vyjadřuje jako hustota každého vzorku, která se vypočítá podle vzorce:

$$\rho = \frac{m}{b_1 \cdot b_2 \cdot t} \cdot 10^6 [kg \cdot m^{-3}]$$

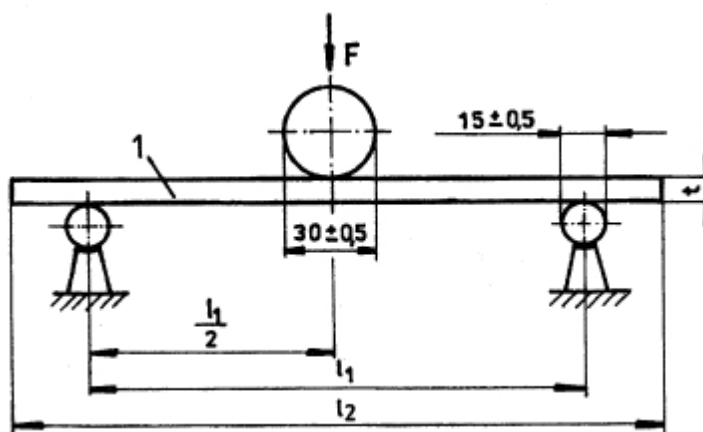
m – je hmotnost vzorku v g, b_1, b_2, t - rozměry těles popsané výše v mm

4.5.2. EN 310 Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu

Norma určuje metody stanovení zdánlivého modulu pružnosti při statickém ohybu u desek ze dřeva o jmenovité tloušťce rovné nebo větší než 3 mm.

Modul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu se stanoví zatížením zkušební tělesa v jeho středu uloženého na dvou podpěrách. Ohybová pevnost každého zkušební tělesa se vypočítá stanovením poměru ohybového momentu M při maximálním zatížení F_{max} k momentu jeho celého průřezu.

Pro tuto metodu je potřeba měřicí přístroj podle EN 325, zkušební zařízení (obr. 4), vhodné měřidlo schopné měření průhybu tělesa ve středu rozpětí s přesností na 0,1 mm a vhodný zatěžovací měřicí systém pro měření zatížení zkušební tělesa s přesností na 1% z naměřené hodnoty.



Obr. 13 - Princip ohybové zkoušky

Zkušební zařízení má dvě rovnoběžné, válcové podpěry o průměru $(15 \pm 0,5) \text{ mm}$, s možností volného otáčení kolem osy a délky větší než je šířka zkušební tělesa (EN 310)

1 – zkušební těleso, F – zatížení, t – tloušťka zkušební tělesa

$$l_1 = 20t, l_2 = l_1 \pm 50$$

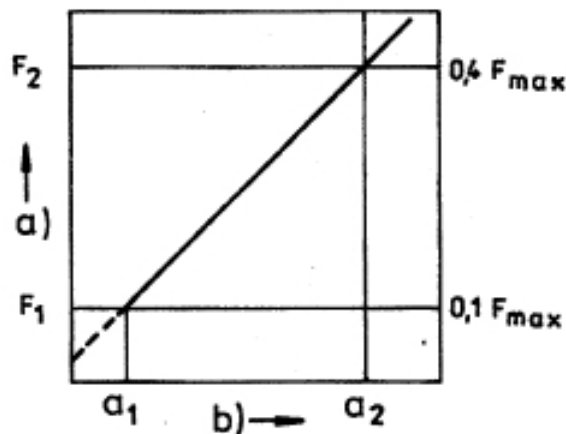
Zkušební tělesa musí být nachystána podle EN 326-1. Vyžadují se soubory příčných a podélných zkušebních těles. Musí být pravoúhlá, šířky b (50±1) mm, délka musí být dvaceti násobkem jmenovité tloušťky + 50 mm, maximálně však 1050 mm a minimálně 150 mm.

Vyjádření výsledků – modul pružnosti:

$$E_m = \frac{l_t^3 (F_2 - F_1)}{4 \cdot b \cdot t^3 (a_2 - a_1)} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

l_t – vzdálenost středů podpěr v mm, b – šířka zkušební tělesa v mm, t – tloušťka zkušební tělesa v mm, $F_2 - F_1$ – přírůstek zatížení v přímkové části zatěžovací křivky v N, F_1 – musí být přibližně 10% a F_2 – přibližně 40% z maximálního zatížení, $a_2 - a_1$ – přírůstek průhybu ve středu délky zkušební vzorku

Modul pružnosti v ohybu musí být pro každé zkušební těleso vyjádřen na tři platné číslice.



Obr. 14 - Zatěžovací křivka v oblasti pružné deformace (EN 310)

Pevnost v ohybu:

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



Obr. 15 - Stroj ZWICK z50 pro testování ohybu a tahové pevnosti

4.5.3. EN 319 Zjišťování pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky

Stanovuje metodu zjišťování pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky třískových vláknitých a cementopískových desek.

Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky se stanoví při zatížení působícím kolmo na zkušební těleso do jeho porušení ve směru kolmém na rovinu tělesa, shodnou s rovinou desky. Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky se určí z maximální síly působící na povrch zkušebního tělesa.

Potřebná zkušební zařízení pro zkoušku jsou posuvné měřítko a zkušební stroj s upínacím přípravkem. Zkušební tělesa musí být podle EN 326-1, čtvercového tvaru o straně 50 ± 1 mm. Mají být přesně nařezané, s úhlem 90° a hrany musí být rovné a čisté.

Vyjádření výsledků:

$$R_m = \frac{F_{\max}}{a \cdot b} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

R_m - tahová pevnost, $F_{\max}$ – zatížení působící na zkušební těleso v okamžiku porušení
v N, a, b – délka a šířka zkušební tělesa v mm

Pro tento pokus bylo použito lepidlo SIGA I60 asi 1 g na jeden terčík, který se odtrhává. Desky ve výzkumu byly přetíženy silou 5N na stroji jako ohyb ZWICK z050 posuvem 1mm/min. Skončení testu proběhlo u poklesu síly pod 40 N max. síly.

4.5.4. EN 317 Stanovení bobtnání po uložení ve vodě

Norma určuje metodu stanovení bobtnání plošně nebo výtlačně lisovaných třískových, vláknitých a cementopískových desek.

Bobtnání se stanoví měřením přírůstku tloušťky zkušebních těles po úplném ponoření do vody.

Zkušebním zařízením je mikrometr a vodní lázeň. Zkušební tělesa se odebírají a nařezávají podle EN 326-1. Musí být čtvercová o straně 50 ± 1 mm.

Zkušební tělesa se ponoří svisle do čisté, klidné vody s pH (7 ± 1) a teplotou (20 ± 1) °C. Tato teplota se udržuje po celou dobu zkoušky. Během zkoušky musí být zkušební tělesa oddělena od sebe navzájem, a také oddělena ode dna a stěn vodní lázně. Horní boky musí být 25 mm pod hladinou vody po celou dobu zkoušky. Po každé zkoušce se voda vymění. Po uplynutí doby ponoření se vyjmou zkušební tělesa z vody, zbytek vody se odstraní a změří se rozměry zkušebních těles.

Vyjádření výsledku – bobtnání tělesa:

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} 100 [\%]$$

t_1 – tloušťka zkušební tělesa před ponořením v mm, t_2 – tloušťka zkušební tělesa po ponoření v mm

Bobtnání desky je aritmetický průměr výsledků všech zkušebních těles odebraných z desky a vyjádřený v procentech na jedno desetinné místo.

4.5.5. Výpočet popisné statistiky

Nejdůležitější popisné statistiky jsou průměr, minimum, maximum, směrodatná odchylka a variační koeficient. Minimum je minimální naměřená hodnota a maximum zase maximální naměřená hodnota.

Pro statistické charakteristiky využíváme tyto vzorce:

Aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Kde x_i jsou všechny hodnoty, n je počet těchto hodnot

Směrodatná odchylka:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Kde x_i jsou všechny hodnoty, N je počet těchto hodnot a $\bar{x}$ je aritmetický průměr

Variační koeficient:

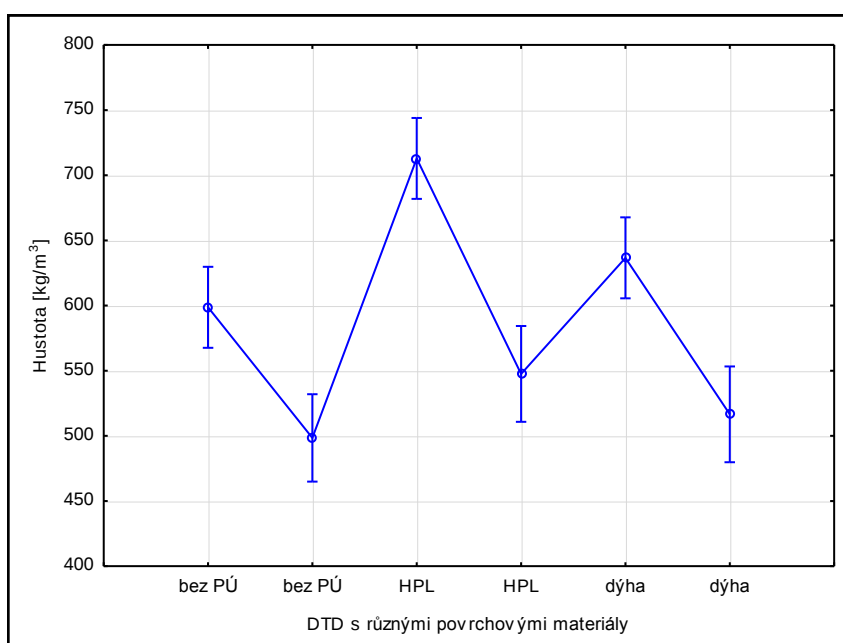
$$v_x = \frac{s_x}{\bar{x}} \cdot 100 [\%]$$

Kde s_x je směrodatná odchylka a $\bar{x}$ je aritmetický průměr

5. Výsledky

5.1. Hustota

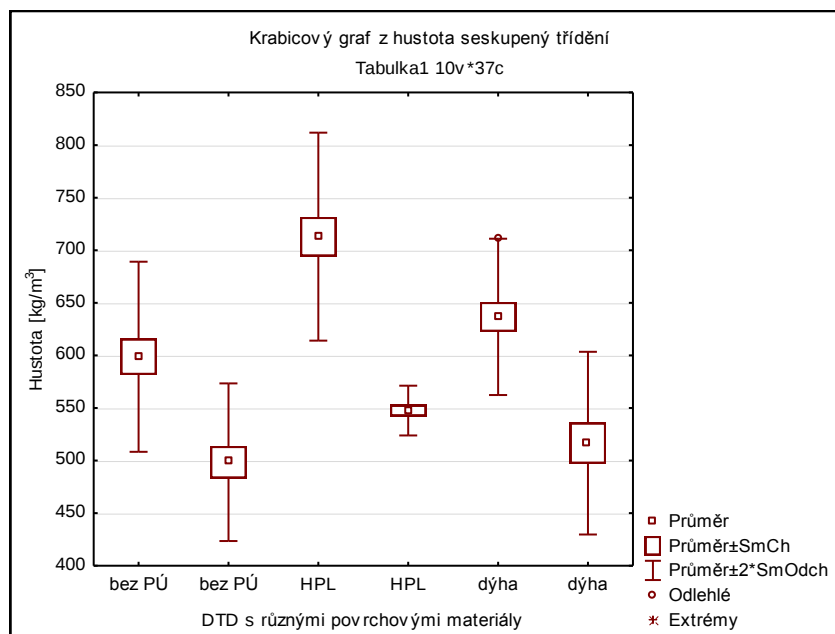
Pomocí jednofaktorové ANOVY (Obr. 16) bylo zjištěno, že hodnota $p < 0,05$. Mezi deskami tedy existuje statisticky významný rozdíl v hustotě. Použitím Scheffeho testu (obr. 17) vícenásobného porovnání byly zjištěny podobnosti u desek s nižší hustotou, které byly povrchově upraveny pomocí dýha a HPL s deskami bez povrchové úpravy o vyšší hustotě. Dále dýha a kontrolní deska o vyšších hustotách. U desek s nižší hustotou jak povrchově upravených, tak i kontrolních nebyly prokázány vzájemné statisticky významné rozdíly.



Obr. 16 - ANOVA test pro hustotu desek

Scheffeho test; proměnná hustota (Tabulka1)					
Homogenní skupiny, alfa = ,05000					
Chyba: meziskup. PČ = 1623,3, sv = 31,000					
třídění	hustota Průměr	1	2	3	4
500 bez PÚ	498,4767	****			
500 dýha	516,5600	****	****		
500 HPL	547,5583	****	****	****	
700 bez PÚ	598,7154		****	****	
700 dýha	636,6401			****	****
700 HPL	712,9183				****

Obr. 17 - Scheffeho test pro hustotu („****“ ve stejném sloupci znamená statisticky bezvýznamný rozdíl $p > 0.05$)



Obr. 18- Krabicový graf pro hustotu.

Hustoty desek bez povrchové úpravy (bez PÚ) se pohybují nejvýše $651,33 \text{ kg/m}^3$ a desky o nižší hustotě mají maximálně hustotu $539,10 \text{ kg/m}^3$. Desky s vysokotlakým laminátem (HPL) mají maximální hustotu $776,05 \text{ kg/m}^3$ a desky s nižší hustotou $566,44 \text{ kg/m}^3$. Kdežto desky pokryté dýhou mají nejvyšší hustotu $711,82 \text{ kg/m}^3$ a $565,84 \text{ kg/m}^3$. Průměrné hodnoty desek jsou menší o méně než 50 kg/m^3 . Popisná statistika je udána v tabulkách 4 a 5. Pouze desky HPL neměly tak velkou podobnost, jako ty ostatní a dosahovaly nejvyšších hodnot.

V tabulce 3 je zaznamenána hustota a bobtnání po 2 a 24 hodinách pro desky o vyšších hustotách. Pro desky s nižší hustotou je tabulka 4. Horní část tabulky je pro kontrolní desky, druhá pro desky s HPL a poslední pro desky s bukovou dýhou. Celkové tabulky s naměřenými hodnotami jsou v příloze C a D.

5.2. Bobtnání

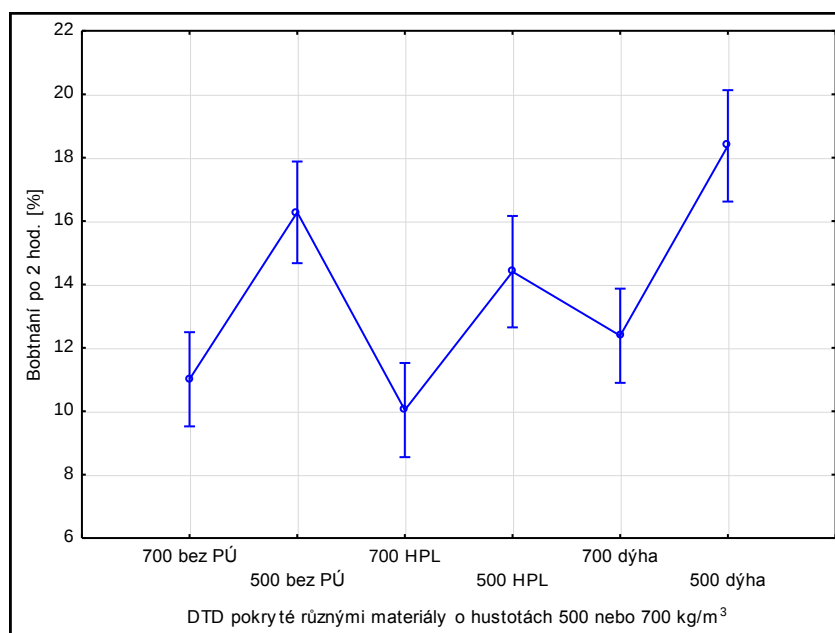
Tab. 3 - Popisná statistika hustoty a bobtnání pro 700 Kg/m³

Bez PÚ	P [kg/m ³]	G ₂ [%]	G ₂₄ [%]
x	598,72	11,01	13,41
min	541,47	9,31	11,17
max	651,33	12,52	15,28
s	45,20	1,01	1,22
v [%]	7,55	9,21	9,12
HPL	P [kg/m ³]	G ₂ [%]	G ₂₄ [%]
x	712,92	10,04	14,81
min	653,29	8,70	12,67
max	776,05	11,25	18,49
s	49,44	1,03	2,33
v [%]	6,93	10,23	15,71
BK dýha	P [kg/m ³]	G ₂ [%]	G ₂₄ [%]
x	636,64	12,38	14,46
min	588,63	10,38	11,48
max	711,82	14,87	17,93
s	37,15	1,50	2,05
v [%]	5,84	12,08	14,16

Tab. 4 - Popisná statistika hustoty a bobtnání pro 500 kg/m³

Bez PÚ	P [kg/m ³]	G ₂ [%]	G ₂₄ [%]
X	498,48	16,28	18,40
Min	444,08	10,07	15,80
Max	539,10	19,56	21,93
S	38,08	3,69	2,36
v [%]	7,64	22,69	12,84
HPL	P [kg/m ³]	G ₂ [%]	G ₂₄ [%]
X	547,56	14,40	15,45
min	534,25	11,90	12,11
max	566,44	17,60	19,20
s	11,82	2,40	2,89
v [%]	2,16	16,66	18,72
Dýha	P [kg/m ³]	G ₂ [%]	G ₂₄ [%]
x	516,56	18,37	20,63
min	464,76	17,13	17,99
max	565,84	20,18	23,18
s	43,42	1,16	2,06
v [%]	8,41	6,34	9,97

5.2.1. Bobtnání po 2 hod.

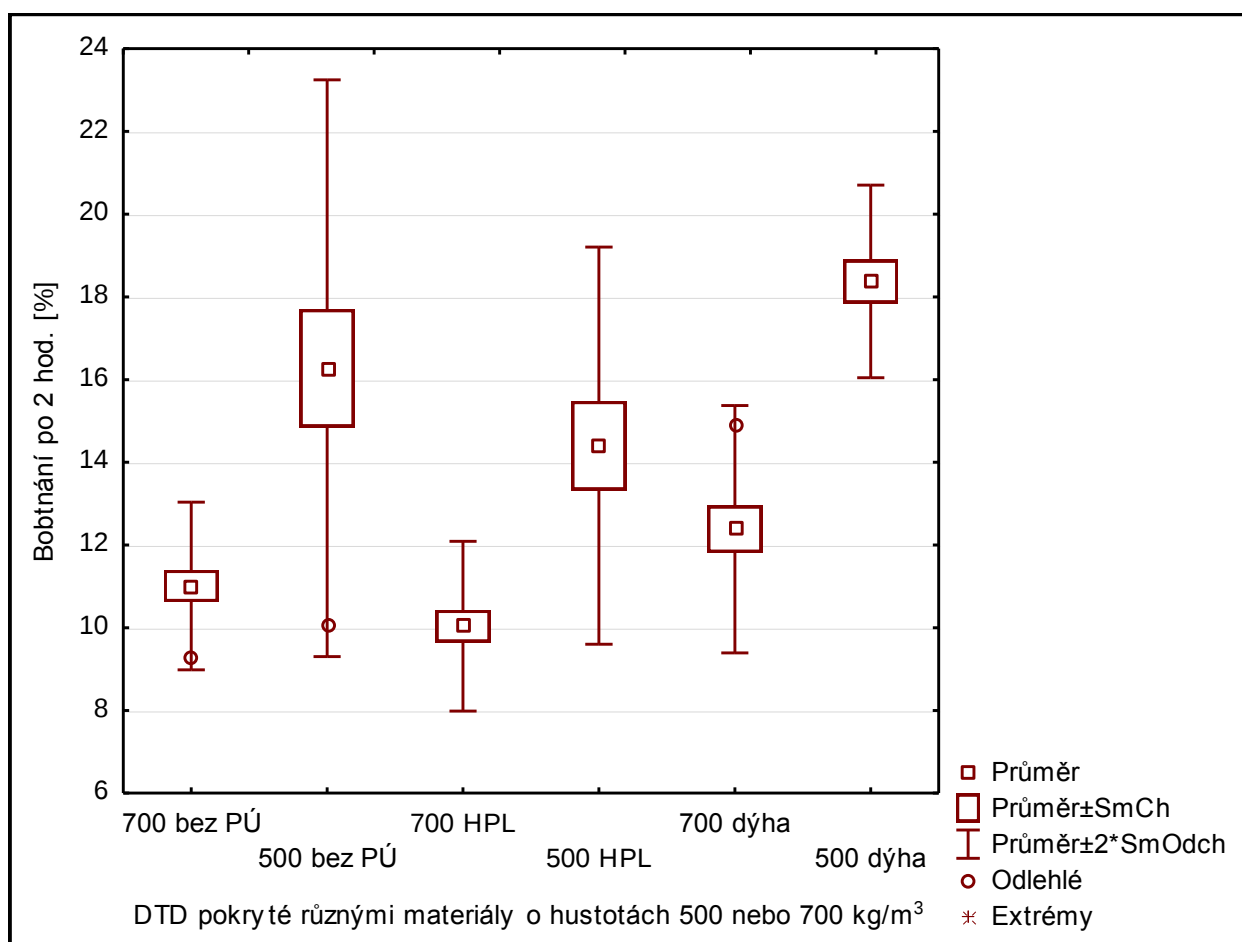


Obr. 19 - ANOVA pro bobtnání po dvou hodinách

Graf vyhotovený v programu STATISTICA ukazuje statisticky významný rozdíl, jelikož hodnota $p < 0,05$. Tedy podle Scheffeho testu (obr. 20) je vidět shoda u všech desek s vyšší hustotou, dále podobnost s těmito pokrytými deskami má také deska s nižší hustotou pokrytá HPL. V neposlední řadě je také shoda mezi deskami s nižší hustotou.

Scheffeho test; proměnná bobtnání 2h (Tabulka1)				
Homogenní skupiny, alfa = ,05000				
Chyba: meziskup. PČ = 3,7135, sv = 31,000				
třídění	bobtnání 2h Průměr	1	2	3
700 HPL	10,03726	****		
700 bez PÚ	11,00983	****	****	
700 dýha	12,38254	****	****	
500 HPL	14,40200		****	****
500 bez PÚ	16,27500			****
500 dýha	18,37200			****

Obr. 20 - Scheffeho test pro bobtnání po 2 hod. („****“ ve stejném sloupci znamená statisticky bezvýznamný rozdíl $p > 0.05$)

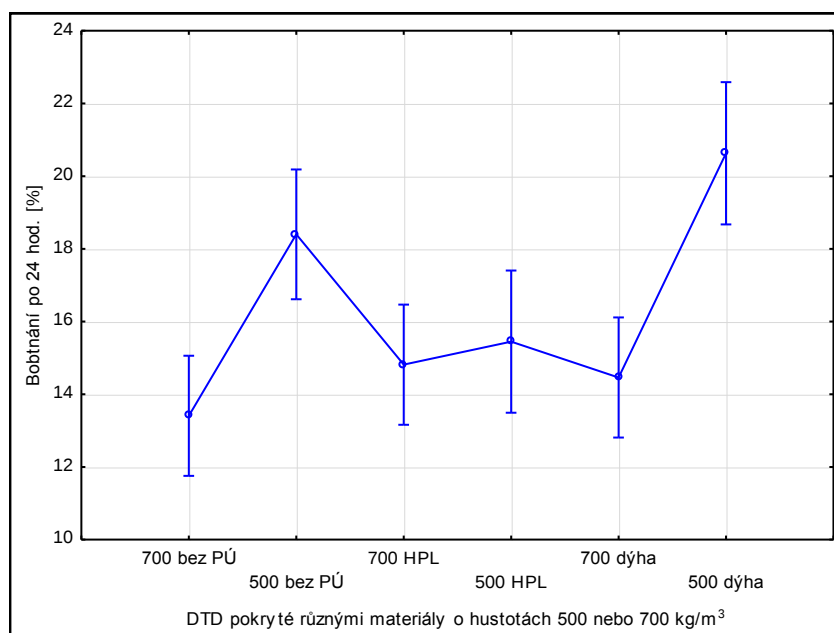


Obr. 21 - Křabicový graf, na kterém je vidět největší bobtnání dýhovaných desek

Podle popisné statistiky (tab. 3) jsou průměrné hodnoty bobtnání po dvou hodinách pro desky o vyšší hustotě okolo 11 %. Toto bobtnání měla deska bez povrchové úpravy, o 1% méně měla deska s HPL a naopak o 1% více měla deska s dýhou. Maximální hodnotu měla také deska s dýhou a to přesně 14,87 %.

U desek o nižší hustotě (tab. 4) se pohybovaly hodnoty bobtnání po dvou hodinách mezi 14% až 18,37% (DTD s dýhou). Nejnížší hodnota byla naměřena u desky bez povrchové úpravy a to 10,07 %. U HPL byla nejnížší hodnota 11,9 %, ale průměrná hodnota u těchto desek byla skoro o 2% menší nežli u desek bez PÚ.

5.2.2. Bobtnání po 24 hod.

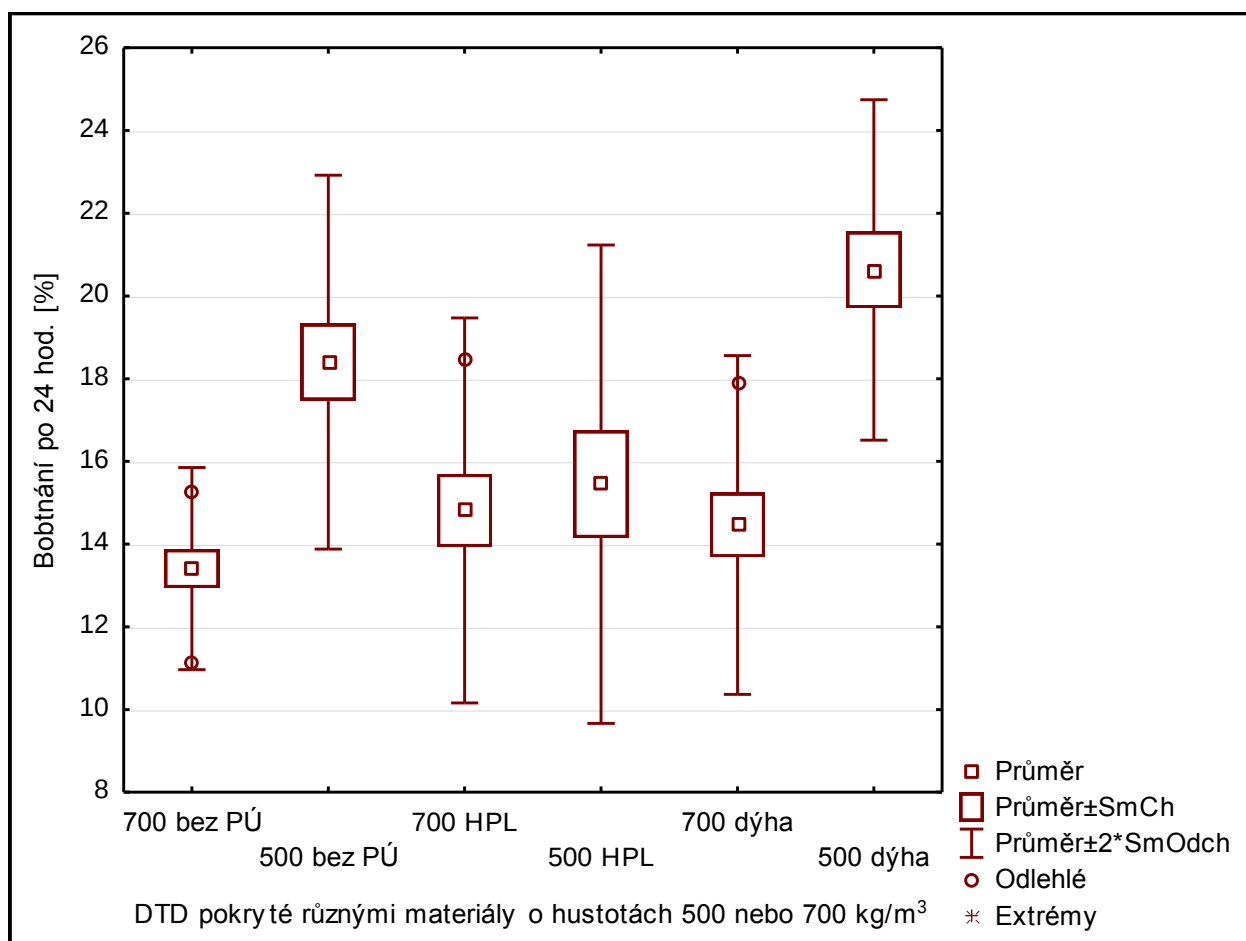


Obr. 22 - ANOVA pro bobtnání po 24 hod.

Graf vyhotovený v programu STATISTICA pro bobtnání po 24 hodinách. Hodnota p byla opět menší než 0,05, test je tedy statisticky významný. Podle Scheffeho testu (Obr. 23) je vidět podobnost mezi všemi deskami o vyšší hustotě s deskou o nižší hustotě pokrytou HPL. Podobnost s pokrytými deskami o vyšší hustotě má také deska kontrolní o hustotě nižší. Deska s dýhou o nižší hustotě má podobnost pouze s kontrolní deskou své kategorie.,

Scheffeho test; proměnná bobtnání 24h (Tabulka1)				
Homogenní skupiny, alfa = ,05000				
Chyba: meziskup. PČ = 4,5974, sv = 31,000				
třídění	bobtnání 24h Průměr	1	2	3
700 bez PÚ	13,40656	****		
700 dýha	14,46117	****	****	
700 HPL	14,81378	****	****	
500 HPL	15,44800	****	****	
500 bez PÚ	18,40000		****	****
500 dýha	20,63000			****

Obr. 23 - Scheffeho test pro bobtnání po 24 hod. („****“ ve stejném sloupci znamená statisticky bezvýznamný rozdíl $p > 0.05$)



Obr. 24 - Krabicový graf pro bobtnání po 24 hod.

Na tomto krabicovém grafu je vidět velký rozptyl hodnot u desky s HPL o nižší hustotě, kde některé hodnoty dosahovaly i nižšího bobtnání nežli desky s vyšší hustotou. Toto dokazuje i popisná statistika (Tab. 3, 4). Zde je vidět, že průměrné hodnoty desek o vyšší hustotě se pohybují od 13,41 % pro desky bez povrchové úpravy až po 14,81 % pro desky s HPL.

U desek s nižší hustotou se průměrné hodnoty bobtnání po 24 hodinách pohybují od 15,45% pro desky s HPL až po 20,63 % pro desky s dýhou.

Rozdíl mezi bobtnáním po 2 a 24 hodinách je velmi patrný u desek s vyšší hustotou opatřené vysokotlakým laminátem.

5.3. Ohybové charakteristiky

Tab. 5 - Popisná statistika MOR a MOE pro 700 kg/m³

Dýha II	MOR [MPa]	MOE [MPa]	Hustota [kg/m ³]
x	39,34	4980,48	598,67
min	34,74	4454,01	579,00
max	44,98	5409,14	627,00
s	3,50	325,01	21,08
v [%]	8,888	6,526	3,521

Dýha T	MOR [MPa]	MOE [MPa]	Hustota [kg/m ³]
x	7,97	1353,77	598,67
min	4,44	893,33	558,00
max	11,44	1960,36	648,00
s	3,04	422,47	34,89
v [%]	38,13	31,21	5,83

HPL	MOR [MPa]	MOE [MPa]	Hustota [kg/m ³]
x	22,08	4348,39	689,83
min	11,16	3322,15	632,00
max	30,18	4965,20	724,00
s	8,31	607,57	36,86
v [%]	37,62	13,97	5,34

Bez PÚ	MOR [MPa]	MOE [MPa]	Hustota [kg/m ³]
x	7,80	1439,17	594,11
min	5,74	998,59	553,00
max	12,33	2215,67	666,00
s	2,37	438,31	43,83
v [%]	30,41	30,46	7,38

Tabulka obsahuje průměr, minimum, maximum, směrodatnou odchylku a variační koeficient pro pevnost v ohybu a modul pružnosti s hustotou pro desky o vyšších hustotách. Horní tabulka je pro desky měřené rovnoběžně s vlákny dýhy, druhá kolmo na vlákna desky, třetí desky s HPL a poslední je kontrolní, tedy bez povrchové úpravy. Celkové tabulky s naměřenými hodnotami jsou v příloze E.

Tab. 6 - Popisná statistika MOR a MOE pro 500 kg/m³

Dýha II	MOR [MPa]	MOE [MPa]	Hustota [kg/m ³]
x	17,16	4047,00	501,00
min	8,20	2678,57	473,00
max	20,90	4642,25	521,00
s	4,47	655,93	18,20
v [%]	26,03	16,21	3,63

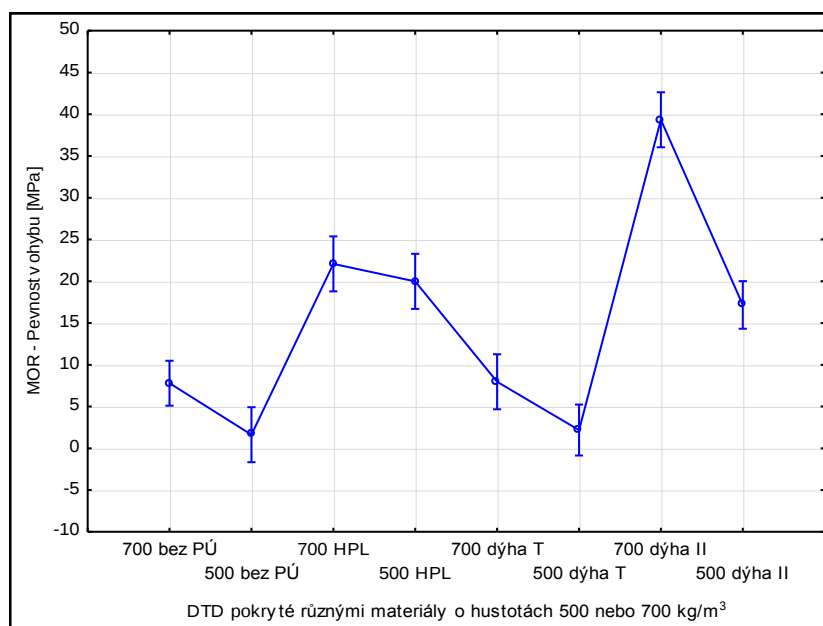
Dýha T	MOR [MPa]	MOE [MPa]	Hustota [kg/m ³]
x	2,18	307,92	523,43
min	1,97	187,22	465,00
max	2,41	502,51	548,00
s	0,18	106,90	28,74
v [%]	8,04	34,72	5,49

HPL	MOR [MPa]	MOE [MPa]	Hustota [kg/m ³]
x	19,99	2687,14	475,50
min	14,12	2650,04	62,00
max	25,68	2723,29	560,00
s	4,50	30,47	202,58
v [%]	22,50	1,13	42,60

bez PÚ	MOR [MPa]	MOE [MPa]	Hustota [kg/m ³]
x	1,63	361,41	493,00
min	0,91	230,42	465,00
max	2,43	494,50	527,00
s	0,58	97,82	23,45
v [%]	35,81	27,07	4,76

Tabulka č. 6 obsahuje popisnou statistiku pro pevnost v ohybu a modul pružnosti s hustotou pro desky o nižších hustotách. Horní tabulka je pro desky měřené rovnoběžně s vlákny dýhy, druhá kolmo na vlákna desky, třetí desky s HPL a poslední je kontrolní. Celkové tabulky s naměřenými hodnotami jsou v příloze F.

5.3.1. Pevnost v ohybu

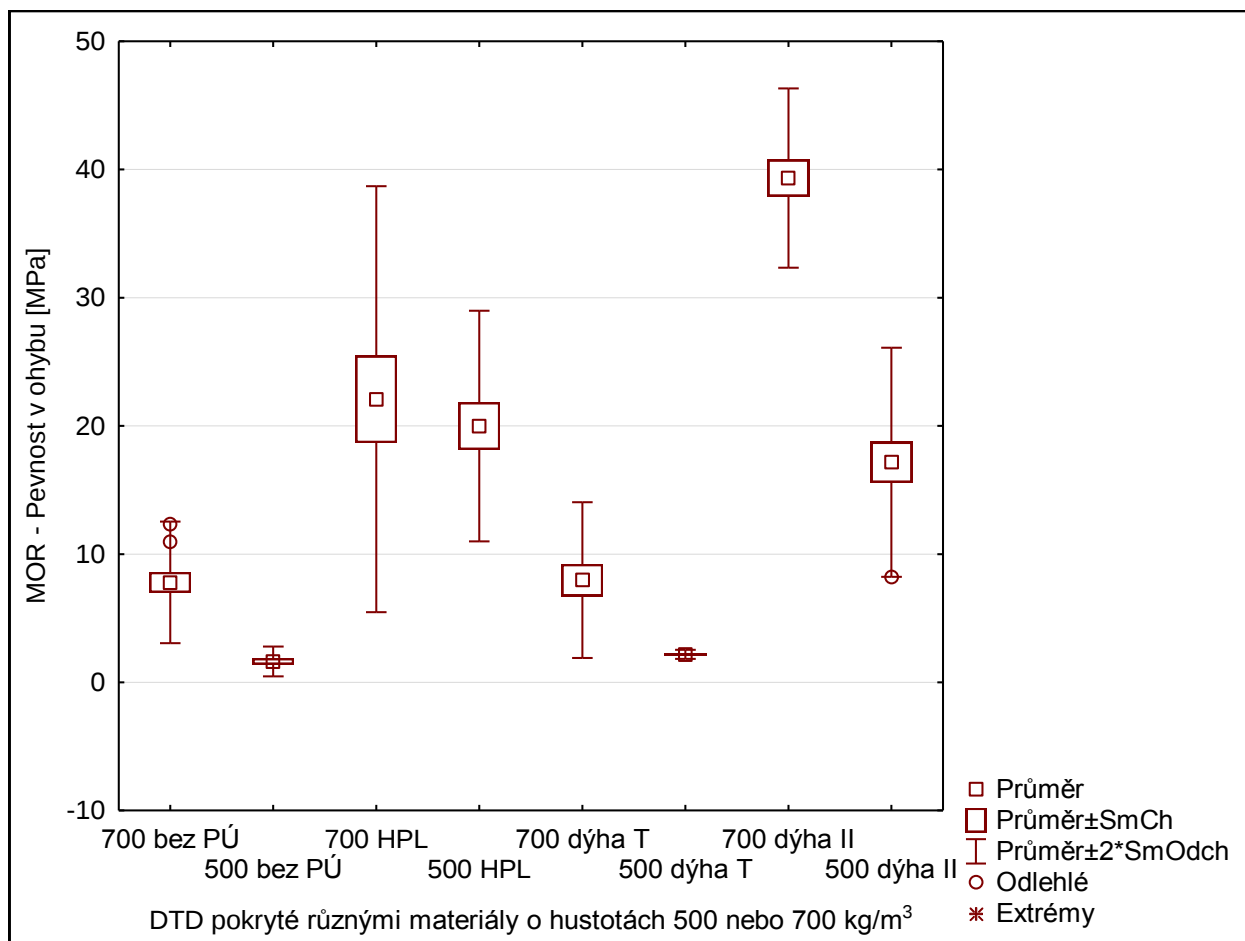


Obr. 25 - Graf ANOVA pro MOR v závislosti na rozdílných deskách

Scheffeho test; proměnná MOR (Tabulka2)				
Homogenní skupiny, alfa = ,05000				
Chyba: meziskup. PČ = 16,088, sv = 46,000				
třídění	MOR Průměr	1	2	3
500 bez PÚ	1,62833	****		
500 dýha T	2,18143	****		
700 bez PÚ	7,79667	****		
700 dýha T	7,96833	****		
500 dýha II	17,16250		****	
500 HPL	19,98667		****	
700 HPL	22,08333		****	
700 dýha II	39,33500			****

Obr. 26 - Scheffeho test pro MOR („****“ ve stejném sloupci znamená statisticky bezvýznamný rozdíl $p > 0.05$)

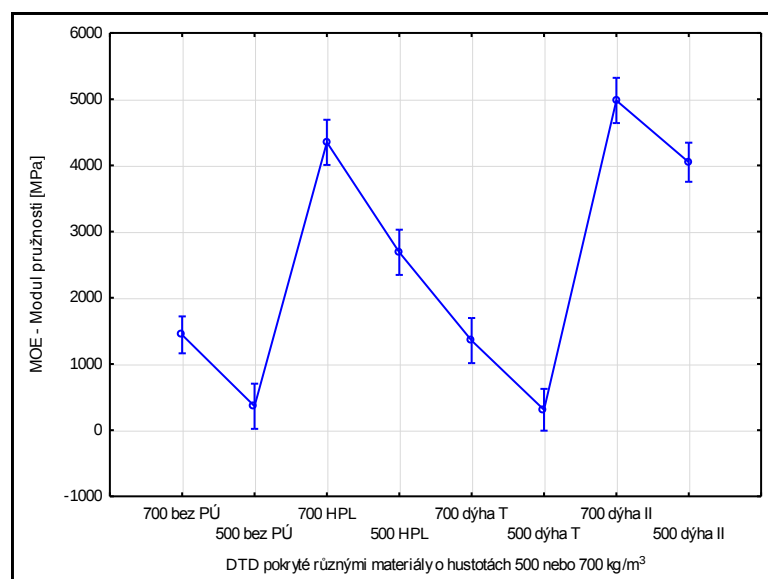
Z Scheffeho testu je patrné, že pevnost v ohybu má podobnost u desek bez povrchové úpravy a s dýhou, kde působí tlak kolmo na vlákna. Tyto hodnoty jsou velmi nízké. U desek s vyšší hustotou je jejich průměrná pevnost v ohybu do 8 MPa, kdežto u desek s nižší hustotou je pevnost v ohybu asi čtyřikrát menší. Pro desku bez povrchové úpravy je to 1,6 MPa a u desky s dýhou 2,2 MPa. Další podobnost mají desky o nižších hustotách s dýhou, u které působil tlak rovnoběžně s vlákny (17,2 MPa) a pro obě desky s HPL, u kterých byl rozdíl pouze 2 MPa. Oproti tomu nejvyšší naměřená pevnost v ohybu 39,3 MPa je u desek s vyšší hustotou, kde tlak působil podél vláken dýhy.



Obr. 27 - Krabicový graf pro MOR

Při porovnání desek podle hustot, desky s nižší hustotou mají vždy nižší pevnost v ohybu. Průměrná pevnost v ohybu pro desky s dýhou, která byla testována rovnoběžně s vlákny, u nižší hustoty je o více než 20 MPa nižší nežli deska s vyšší hustotou. Naproti tomu dýha testovaná kolmo na vlákna má podobné hodnoty jako deska kontrolní. Pevnost v ohybu pro nižší hustotu desky se pohybuje okolo 2 MPa, kdežto desky s vyšší hustotou mají průměrně do 8 MPa. Pouze u desek s HPL je malý rozdíl. S nižší hustotou mají průměrnou pevnost v ohybu asi 20 MPa a desky s vyšší hustotou asi 22 MPa. Dokonce minimální hodnota desky s HPL o vyšší hustotě (11,16 MPa) je menší nežli minimální hodnota u desek s nižší hustotou (14,12 MPa). Tento poznatek je vidět i na krabicovém grafu (obr. 27).

5.3.2. Modul pružnosti

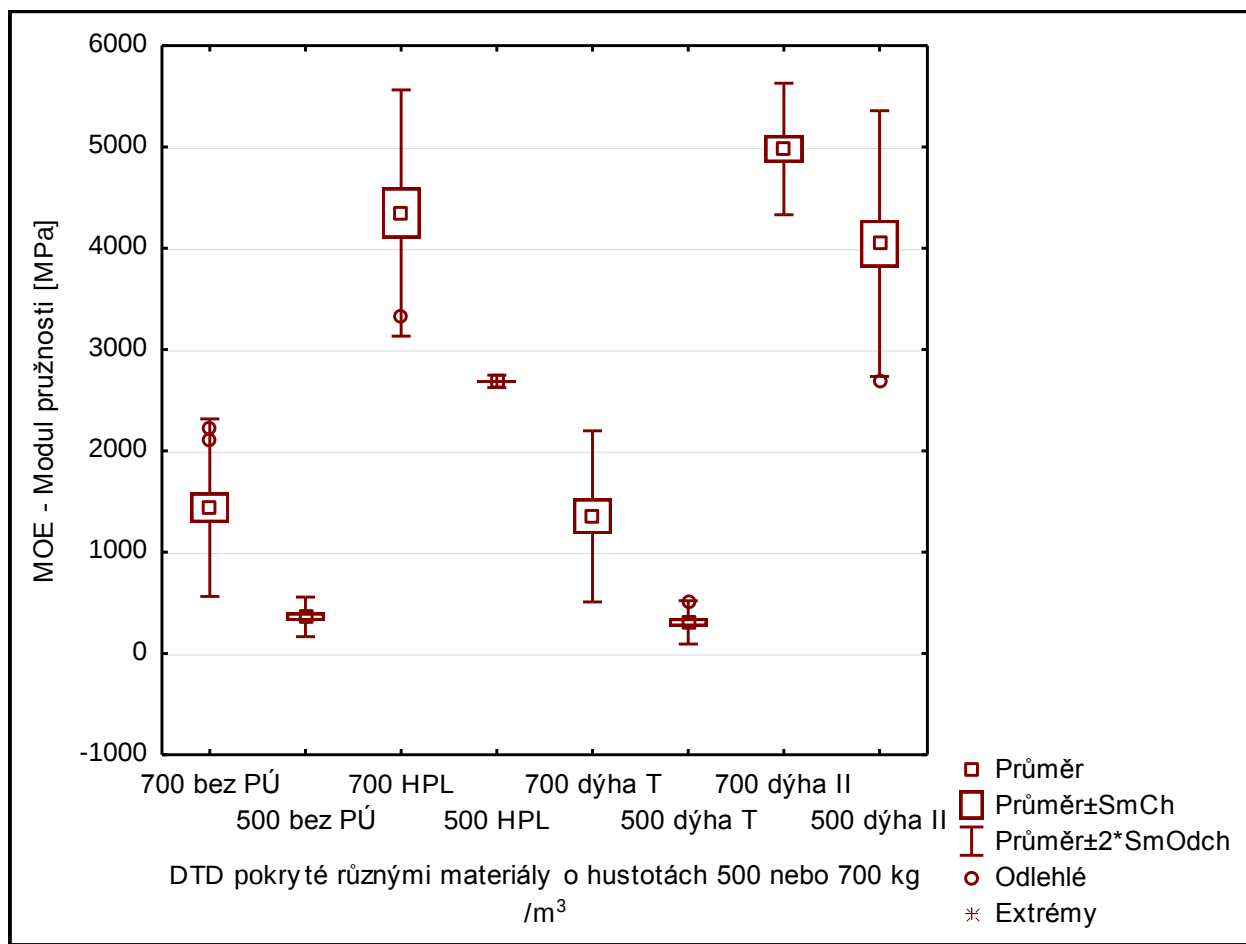


Obr. 28- Graf ANOVA pro MOE

Podobnost a zároveň nejvyšší hodnoty modulu pružnosti jsou u desek s vyšší hustotou s dýhou testovanou podél vláken (4980 MPa), dále s HPL (4348 MPa). Desky bez povrchové úpravy (361,4 MPa a 1439,2 MPa) mají téměř stejné hodnoty modulu pružnosti jako desky s dýhou kolmo na vlákna (307,9 MPa a 1353,8 MPa). Desky s vyšší hustotou mají tedy více jak čtyřikrát vyšší modul pružnosti nežli desky s nižší hustotou. Rozdíl mezi deskami s HPL není ani dvojnásobný a u desek s dýhou měřenou podél vláken je tomu obdobně.

Scheffeho test; proměnná MOE (Tabulka2)						
Homogenní skupiny, alfa = ,05000						
Chyba: meziskup. PČ = 1725E2, sv = 46,000						
třídění	MOE Průměr	1	2	3	4	5
500 dýha T	307,919	****				
500 bez PÚ	361,405	****				
700 dýha T	1353,767		****			
700 bez PÚ	1439,166		****			
500 HPL	2687,138					****
500 dýha II	4046,995			****		
700 HPL	4348,388			****	****	
700 dýha II	4980,483				****	

Obr. 29 - Scheffeho test pro MOE („****“ ve stejném sloupci znamená statisticky bezvýznamný rozdíl $p > 0.05$)



Obr. 30 - Krabicový graf pro MOE

Nejvyšší modul pružnosti mají desky o vyšší hustotě s dýhou testovanou podél vláken (5409,14 MPa) a následně desky s HPL (4965,20 MPa). Naopak nejnižší modul pružnosti mají desky s dýhou testovanou kolmo na vlákna (893,33 MPa). Tato hodnota je dokonce i nižší o více jak 100 MPa nežli desky kontrolní.

U desek s nižší hustotou byly nejvyšší hodnoty modulu pružnosti 4642,25 MPa také u desek s dýhou měřenou podél vláken. Poloviční hodnoty (2723,29 MPa) dosáhly desky s HPL. Nejnižší hodnoty mají desky s dýhou kolmo na vlákna 187,22 MPa.

Rozdíl u desek s HPL a dýhou rovnoběžně s vlákny s vyšší hustotou není tak velký (asi 8 %), kdežto u desek s nižší hustotou je tento rozdíl je více jak 40 %.

5.4. Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky

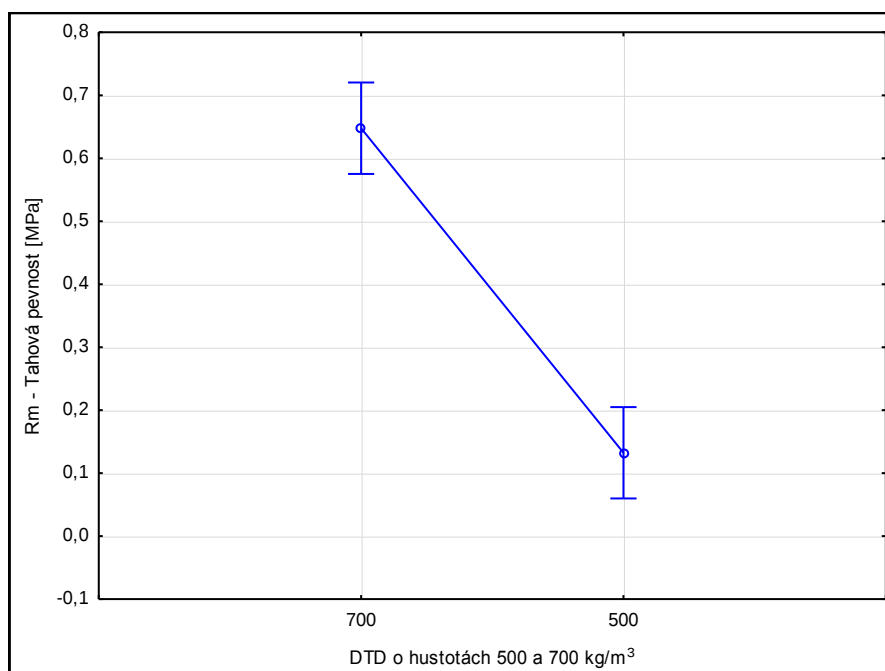
Tab. 7 - Naměřené hodnoty pevnosti v tahu desek s vyšší hustotou

	V	Š	Rm	Hustota	ϵ F max
Č.	mm	mm	MPa	kg/m ³	mm
1	50	50	0,6776	700	0,72
2	50	50	0,5528	700	0,92
3	50	50	0,73	700	1,30
4	50	50	0,6304	700	0,57
x			0,6477	700	0,8775
min			0,5528	700	0,57
max			0,73	700	1,3
s			0,075217	0	0,316056
v [%]			11,61287	0	36,01783

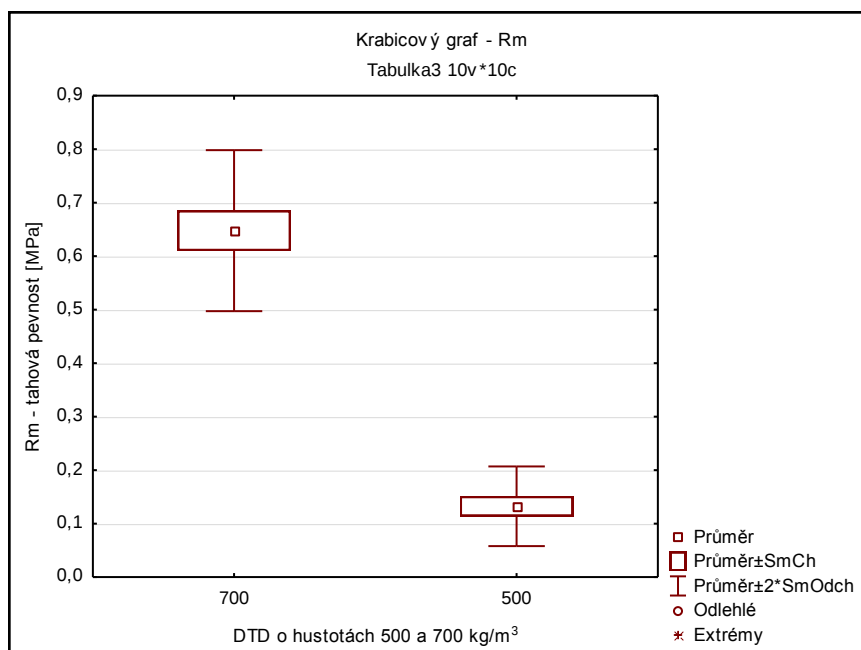
Tab. 8 - Naměřené hodnoty pevnosti v tahu desek s nižší hustotou

	V	Š	Rm	Hustota	ϵ F max
Č.	mm	mm	MPa	kg/m ³	mm
5	50	50	0,1524	500	0,27
6	50	50	0,122	500	0,35
7	50	50	0,0852	500	0,36
8	50	50	0,17	500	0,24
x			0,1324	500	0,305
min			0,0852	500	0,24
max			0,17	500	0,36
s			0,037192	0	0,059161
v [%]			28,09072	0	19,39698

Popisná statistika ukazuje průměrnou pevnost v tahu u desek o vyšší hustotě (tab. 7) 0,65 MPa a u desek s nižší hustotou 0,13 MPa. Tedy hodnota je pětkrát menší. Tento rozdíl je vidět také na grafu ANOVA (obr. 31) a krabicovém grafu (obr. 32).



Obr. 31 - ANOVA test zobrazující tahovou pevnost



Obr. 32 - Krabicový graf pro tahovou pevnost

6. Diskuse

Ve výzkumu bylo předpokládáno zlepšení mechanických i fyzikálních vlastností u desek se sníženou hustotou, při správném pokrytí desek. Vlastnosti desek o hustotách okolo 500 kg/m^3 , které měly být kompenzovány pomocí různých povrchových materiálů, nikdy neměly lepší vlastnosti než desky o hustotách okolo 700 kg/m^3 . Pouze ke kontrolním deskám o vyšší hustotě se vlastnosti povrchově upravených desek s nižší hustotou přibližovaly.

Hustota

Vypočítaná hustota nebyla vždy přesná, ale pohybovala se okolo předpokládaných hodnot, to může být způsobeno nepřesným nanesením přísad do směsi nebo také nerovnoměrným nanesením koberce. Také různé povrchové materiály mají vliv na hustotu desek. Kontrolní desky mají nejnižší hustoty, pak jsou desky podýhované a nejvyšší vypočítanou hustotu měly desky s HPL. Hustota desek je jedna z nejvíce důležitých vlastností desek na bázi dřeva. (Istek a Siradag, 2013) Ovlivňuje všechny mechanické vlastnosti, ale také fyzikální jako například bobtnání.

Bobtnání

Z Scheffeho testu (obr. 20) pro bobtnání po dvou hodinách je vidět podobnost desek s HPL s kontrolní deskou o vyšší hustotě. Tedy HPL zde kompenzuje nízkou hustotu desky. Dýhované desky neukázaly žádnou kompenzaci této vlastnosti oproti referenční desce. To může být způsobeno bobtnáním nejenom desky, ale také dýhy. Po dvaceti čtyřech hodinách je tomu obdobně. Tedy pouze povrchová úprava vysokotlakým laminátem u dřevotřískových desek s nižší hustotou měla nějaký vliv na bobtnání vůči referenční desce o vyšší hustotě.

Nejmenší hodnoty bobtnání po dvou hodinách měly desky o cca 700 kg/m^3 upravené s HPL a to asi 10 %. U desek bez povrchových úprav hodnota tloušťkového bobtnání je 11%, to uvádí i Medved a kol. (2011), který přesně uvádí pro jednovrstvé dřevotřískové desky o hustotách 712 kg/m^3 bobtnání 11,8 %. Desky o nižší hustotě bez povrchové úpravy měly hodnoty bobtnání po dvou hodinách asi 16%, desky o hustotě asi 550 kg/m^3 s HPL měly tloušťkové bobtnání průměrně 14%. Istek a Siradag (2013) uvádějí pro podobnou hustotu bobtnání třívrstvých dřevotřískových desek po dvou hodinách asi

31 %. Hodnota tloušťkového bobtnání desek z tohoto výzkumu jsou mnohem menší, to bude způsobeno nižším počtem vrstev a také menší odlišností hustot.

Po dvaceti čtyřech hodinách byly samozřejmě hodnoty bobtnání vyšší nežli po dvou, ale nárůst už nebyl tak značný. Pro kontrolní desky s průměrnou hustotou necelých 600 kg/m³ bylo průměrné bobtnání více jak 13%. Pro třívrstvou desku podle Istek a Siradag (2013) o této hustotě bylo bobtnání po 24 hodinách 33 %. Této hodnoty nedosáhly ani desky pokryté dýhou a to navíc o vyšší hustotě. Zato ale měly hodnotu bobtnání vyšší nežli kontrolní desky, tedy dýha pro bobtnání nepomáhá. Oproti tomu u desek s nižší hustotou se HPL projevilo jako vhodná povrchová úprava pro redukci bobtnání. Tloušťkové bobtnání je přesto vysoké, ale mohlo by být sníženo potažením hran povrchovou úpravou.

Dodatečná úprava jako potažení hran desek, acetylování nebo tepelná úprava, mohou zlepšit rozměrovou stálost těchto dřevotřískových desek. (Nemli a Colakoglu, 2004)

Ohybové vlastnosti

Testování ohybových vlastností bylo v této práci nejdůležitější. Kompenzace pevnosti materiálu vyhověly podýhované desky hlavně podél vláken, ale také hodnoty těchto desek testovaných kolmo na vlákna se vyrovnají deskám bez povrchové úpravy o vyšší hustotě. HPL je také vhodné pro srovnání těchto vlastností.

Pevnost materiálu je jak pro desky bez povrchové úpravy, tak pro desky s dýhou namáhanou kolmo na vlákna o stejných hustotách velmi podobná (do 10 MPa). Podobnou hodnotu uvádí i Istek a Siradag (2013) pro hustoty desek asi 600 kg/m³, tedy průměrnou hustotu našich desek. Naopak nejvyšší pevnost v ohybu dosáhly desky o vyšší hustotě s dýhou testovanou rovnoběžně s vlákny a to asi 39 MPa, ale pro nižší hustotu se pevnost pohybovala do 20 MPa, což uvádí i Nemli a kol. (2004). Nejmenší rozdíly však mezi hodnotami u desek s odlišnými hustotami měly pouze desky s vysokotlakým laminátem a to 20 MPa pro hustotu o 476 Kg/m³ a 22 MPa pro hustotu 690 kg/m³. Nemli a kol. (2004) uvádí hodnoty pro CPL asi 30 MPa (obr. 8) a Istek a Siradag (2013) uvádí pro tyto hustoty hodnoty asi 7 MPa pro nižší a 15 MPa pro vyšší hustotu (obr. 9). Tyto desky však nebyly povrchově upravené, takže je vidět, že na pevnost v ohybu nemá vliv pouze hustota, ale i povrchová úprava. Na tom stavěla naše hypotéza.

U pružnosti materiálu je to shodné jako s pevností materiálu, tedy oba povrchové materiály jako dýha a HPL dokážou vyrovnat vlastnosti kontrolních desek o vyšší hustotě. Dokonce dýha testována podél vláken se může rovnat desce o vyšší hustotě s HPL.

Pružnost materiálu vykazovaná modulem pružnosti je velmi podobná jako pevnost materiálu v ohledu na použité materiály. Její hodnoty jsou ale mnohem větší. Opět desky kontrolní mají podobné hodnoty jako desky s dýhou kolmo na vlákna. Desky s hustotami asi 600 kg/m^3 dosahovaly hodnot asi 1400 MPa. Nemli a kol. (2004) pro kontrolní desku ukazuje hodnotu asi 1750 MPa. Vysokotlaký laminát na deskách o hustotách 690 kg/m^3 dosahoval hodnot 4348 MPa. Stejně desky s hustotou asi 475 kg/m^3 měly hodnotu modulu pružnosti asi 2700 MPa. Takovýchto výsledků dosáhly Istek a Siradag (2013) u desek s hustotou 660 kg/m^3 .

Rozlupčivost

Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky je určována nejnižší soudržností desky. Pro desky o hustotách 700 kg/m^3 vyšla tato pevnost asi 0,65 MPa a pro hustotu 500 kg/m^3 0,13 MPa. Desky z tohoto výzkumu mají vyšší naměřenou pevnost v tlaku kolmo na rovinu desky nežli Matovič (1993), který udává minimální hodnotu pevnosti pro dřevotřískové desky jednovrstvé o hustotě 750 kg/m^3 0,35 a 0,30 MPa.

Použití ve stavebnictví

Stavebnictví je největším spotřebitelem dřeva a výrobků ze dřeva. Aglomerované materiály, které mají nižší hustotu, by mohly mít lepší akustické vlastnosti nebo tepelnou vodivost. Tedy při použití těchto materiálů na podlahy jsou akustické vlastnosti velkou výhodou, jelikož v dřevostavbách je průzvučnost materiálu velmi problematická. Pokud je použijeme na obklady stěn, výhodou jsou také dobré akustické vlastnosti a současně i termické vlastnosti.

Výrobky ze dřeva se dají například použít také pro betonářské bednění. To je dočasná konstrukce, která slouží jako forma pro budoucí betonovou konstrukci. Výroba betonových konstrukcí je tzv. mokrý proces, při kterém je bednění vystaveno agresivnímu prostředí a také povětrnostním vlivům. V současné době se pro toto určení používají nejčastěji překližované desky, třívrstvé masivní desky a laťovky. (Hrázský

a Král, 2004 b) Dřevotřískové desky z našeho výzkumu na tento účel nemohou být použity, jelikož by musely splňovat specifické požadavky. Především nízkou hodnotu bobtnání asi do 7 %, což nejnižší bobtnání v našem výzkumu po dvou hodinách dosáhla deska o vyšší hustotě pokrytá HPL a to 8,7 %, což je i toto nedostačující. Možná kdyby byly hrany desky natřeny ochranným prostředkem, tak by se hodnota bobtnání snížila, ale určitě ne dostatečně, aby nevznikly problémy s následným odbedňováním konstrukce.

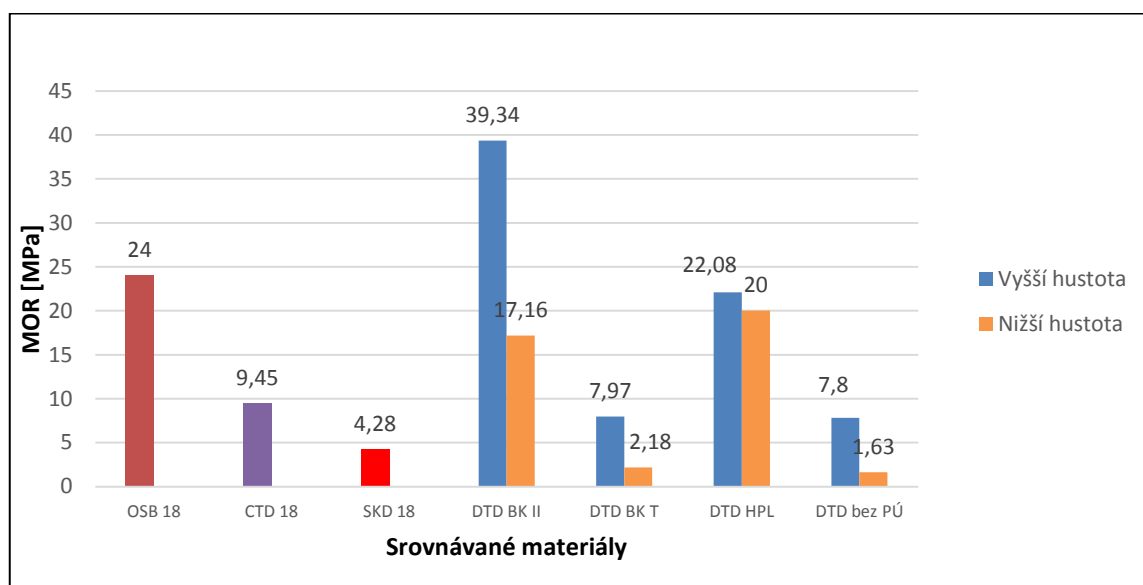
Podle Hrázského a Krále (2000) jsou pro stavebnictví vhodné desky, které jsou odolné proti vysoké vlhkosti vzduchu, omezeně odolné proti povětrnosti, pojené fenol-formaldehydovým lepidlem. V našem výzkumu bylo použito močovino-formaldehydové lepidlo, které není dostatečně odolné proti vlhkosti. Močovino-formaldehydová lepidla mohou být použita pouze pro desky do suchého prostředí. (Havířová, 2005) Definice suchého prostředí (EN 312): podmínky odpovídající třídě použití 1 podle EN 1995-1-1:2004, která je charakterizována vlhkostí materiálů odpovídající teplotě 20 °C a relativní vlhkosti okolního vzduchu přesahující 65% pouze po několik týdnů v roce. Použití desek v našem výzkumu je vhodné do interiérů, v nábytkářském průmyslu, na nástěnné obklady nebo na dekorativní použití, ale musí být vždy pečlivě povrchově upravené a to i s úpravou hran, kvůli úniku formaldehydu, který je ve větších množstvích zdraví škodlivý. Pro stavebnictví se dají použít jako podlahové konstrukce, vnitřní a vnější opláštění zdí nebo pro střešní a stropní konstrukce staveb. Dříve byly více používány, ale postupně se nahrazují spíše OSB deskami, ale ty jsou oproti dřevotřískovým deskám cenově náročnější a také mají vyšší hustotu.

EN 312 určuje požadavky na jednotlivé typy desek. Pro desky typu P1 a P2 vyhovují desky s redukovanou hustotou, které jsou povrchově upravené HPL a dýhou, kde tlak působí rovnoběžně s vlákny. Jejich pevnost v ohybu musí být minimálně 11 MPa a modul pružnosti v ohybu min. 1600 MPa. Vlastnostem typu desek P4 a P6 vyhovují spíše desky s HPL, až na modul pružnosti, kterému vyhovují desky s dýhou rovnoběžně s vlákny. Požadavky na P3, P5 a P7 nemohu posoudit, jelikož jsme neřešili požadavky na vlhkuvzdornost. Tedy desky s HPL nebo dýhou rovnoběžně s vlákny mohou být všeobecně použité v suchém prostředí a pro vnitřní vybavení (včetně nábytku) pro použití v suchém prostředí.

Grafické srovnání výsledků s jinými materiály

Tab. 9 - Přehled pevnosti v ohybu a hustoty jiných materiálů ve srovnání s DTD

Druh materiálu	MOR [MPa]	Hustota [kg/m ³]
OSB 18	24	582
CTD 18	9,45	1355
SKD 18	4,28	811,14
DTD BK II	39,34	599
DTD BK T	7,97	599
DTD HPL	22,08	690
DTD bez PÚ	7,8	594
DTD BK II	17,16	500
DTD BK T	2,18	523
DTD HPL	20	476
DTD bez PÚ	1,63	493



Obr. 33 - Graf srovnávající pevnosti v ohybu materiálů často používaných ve stavitelství s našimi vyrobenými DTD

Král a kol. (2015) uvádí hodnoty MOR OSB desky, cementotřískové desky a sádkartonové desky. Hodnoty DTD jsou získány z pokusu v této práci. Tabulka č. 9 zobrazuje také průměrné hustoty těchto desek. V porovnání tedy DTD o hustotě asi 599 kg/m³ s dýhou testovanou rovnoběžně s vlákny má lepší vlastnosti nežli OSB deska o hustotě 582 kg/m³. Také hodnoty DTD s HPL se velmi přibližují pevnostím v ohybu OSB desce. Ostatní hodnoty jsou zanedbatelné.

7. Závěr

V práci byly testovány desky o dvou odlišných hustotách asi 500 a 700 kg/m³, které byly pomocí povrchových materiálů (dýha a HPL) upraveny. Povrchové materiály měly vykompenzovat zhoršené mechanické a fyzikální vlastnosti desek kvůli snížené hustotě.

Fyzikální vlastnosti jako bobtnání vykompenzovalo pouze použití HPL, ale přesto je nutná dodatečná úprava hran desek. U ohybových vlastností, tedy modul pružnosti a pevnost v ohybu, jsou oba použité povrchové materiály účinné, tedy dokážou kompenzovat sníženou hustotu dřevotřískových desek oproti dřevotřískové desce bez povrchové úpravy s hustotou vyšší.

Dýha a HPL jsou vhodné pro sendvičové materiály, které se mají používat pro prvky více zatěžované, místo dřevotřískových desek o vysokých hustotách. Také oproti OSB deskám dřevotřískové desky s redukovanou hustotou šetří materiál (přírodní zdroje), mají lepší tepelné a akustické vlastnosti a je levnější, protože i náklady pro výrobu budou nižší.

8. Summary

Focus of the bachelor thesis was to evaluate Effect of the surface material on bending properties of the particleboards with reduced density. The research was partially inspired by sandwich constructions, where the core delivering lightweight attribute and covering material the strength. It was assumed that the right covering material will transfer the stressing the surface layers while core is not stressed significantly.

The own method as well as materials used in research were chosen on the ground of the state of art obtained by literature review. In research panels with higher and lower density were produced. Veneer and HPL was for surface covering used. It was assumed that panels with different surface covering materials may provide similar properties as the reference particleboard of the higher density. The performed test has shown interesting relations between bending and swelling properties. However particleboard with low density does not provide sufficient shear strength to fully compete with their counterparts of higher density. The results of the swelling then shown that HPL is decreasing the swelling by the same level for both panel types.

9. Seznam literatury

Odborné publikace:

BÖHM, M. 2005. Technologie výroby aglomerovaných materiálů, ČZU Praha [online] <http://fld.czu.cz/~bohmf/aglomerovane_materialy.pdf>

BULIAN, F.; GRAYSTONE, J. A. 2009. Wood coatings theory and practice, Elsevier Science, 320 s.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. 2010. Wood handbook - Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p. (11-10)

HAVÍŘOVÁ, Z. 2005. Dům ze dřeva. 1. vydání, ERA group, spol. s.r.o., Brno, 99 s.

HRÁZSKÝ, J.; KRÁL, P. 2005. Effects of the thickness of rotary-cut veneers on properties of plywood sheets. Part1. Compressibility of plywood. Journal of forest science, 51, 2005 (9): 403 - 411.

HRÁZSKÝ, J.; KRÁL, P. 2007. Kompozitní materiály na bázi dřeva. Část 1.: Aglomerované materiály. 1. vydání, MZLU v Brně, 253 s.

HRÁZSKÝ, J.; KRÁL, P. 2004. Kompozitní materiály na bázi dřeva. Část 1.: Aglomerované materiály. Cvičení, MZLU v Brně, 132 s.

HRÁZSKÝ, J.; KRÁL, P. 2004 b. Analysis of properties of boards for concrete formwork. Journal of forest science, 50, 2004 (8): 382-398.

HRÁZSKÝ, J. KRÁL, P. 2000. Technologie výroby aglomerovaných materiálů. 1. vydání, MZLU v Brně, 218 s.

ISTEK, A.; AYDEMIR, D.; AKSU, S. 2010. The effect of décor paper and resin type on the physical, mechanical, and surface quality properties of particleboards coated with impregnated décor papers, Properties of laminated particleboard, Bio Recourses 5(2), 1074-1083.

ISTEK, A.; SIRADAG, H. 2013. The effect of Density on Particleboard Properties, International Caucasian forestry symposium, str. 932-938.

KRÁL, P.; HRÁZSKÝ, J. 2006. Kompozitní materiály na bázi dřeva. Část 2: Dýhy a vrstvené materiály, cvičení, 1. vydání, Brno: MZLU v Brně, 170 s.

KRÁL, P.; KLÍMEK, P.; MISHRA, P.K.; WIMMER, R.; DĚCKÝ, D. 2015. Specific modulus and density profile as characterization criteria of prefabricated wood composite materials, ACTA UNIVERSITATIS AGRICULTURAE ET SILVICULTURAE MENDELIANAE BRUNENSIS, Volume 63, Number 2, 2015

MATOVÍČ, A. 1993. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva, Brno: VŠZ v Brně, 212 s.

MEDVED, S.; DIPOROVICH-MOMČILOVIČ, M.; POPOVIČ, M.; ANTONOVIČ, A.; JAMBREKOVIČ, V. 2011. Dimensional stability of particleboard, Future with forest – congress, 1525-1534.

NEMLI, G.; COLAKOGLU, G. 2004. The influence of lamination technique on the properties of particleboard, Building and Environment 40 (2005) 83-87.

NEMLI, G.; ORS, Y.; KALAYCIOGLU, H. 2004. The choosing of suitable decorative surface covering material types for interior and use applications of particleboard, Construction and Building Materials 19 (2005) 307-312.

NEMLI, G.; USTA, M. 2003. Influences of some manufacturing factors on the important quality properties of melamine-impregnated papers, Building and Environment 39 (2004), 567-570.

NEMLI, G.; GEZER, E.D.; HIZIROGLU, S. 2003. The changes in important quality properties of continuous presses laminates (CPL) with some changes in thickness and press parameters, Building and Environment 38 (2003) 913-917.

THOEMEN, H.; IRLE, M.; SERNEK, M. 2010. Chapter 1, Wood-Based Panels: An Introduction for Specialists, Brunel University Press 283 s.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2002. chapter 10: Wood Products Industry, Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, 6/2002 10.6.2-1

Technické normy:

EN 312: Třískové desky: Požadavky. Evropský výbor pro normalizaci, 2010. 16 s.

ČSN EN 323: Dosky z dřeva: Zisťovanie hustoty. Český normalizační institut, 1994. 7 s

EN 310: Desky ze dřeva: Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu. Praha: Český normalizační institut, 1995. 8 s.

EN 319: Třískové a vláknité desky: Stanovenie pevnosti v ťahu kolmo na rovinu dosky. Európska komisia pre normalizáciu, 1993. 9 s.

ČSN EN 317: Třískové a vláknité desky: Stanovení bobtnání po uložení ve vodě. Praha: Český normalizační institut, 1993. 7 s.

Seznam obrázků

Obr. 1 - Schéma síťového třídiče třísek (Hrázský a Král, 2007)	5
Obr. 2 - Schéma mísení směsi (Thoemen a kol., 2010).....	6
Obr. 3- Lisovací diagram TD pro víceetážový lis (Hrázský a Král, 2007).....	7
Obr. 4 – Tloušťkové bobtnání s ohledem na hustotu DTD (Istek a Siradag, 2013)	13
Obr. 5 – MOR na typ materiálů použitého na povrchové vrstvy (Nemli a kol., 2004) ..	14
Obr. 6 – Vliv hustoty na MOR (Istek a Siradag, 2013)	14
Obr. 7 - Graf ukazující vliv typu materiálu na naměřený MOE (Nemli a kol., 2004) ...	15
Obr. 8 – Vliv hustoty na MOE (Istek a Siradag, 2013)	15
Obr. 9 – Graf ukazující množství třísek v ks o specifických rozměrech v mm.....	16
Obr. 10 – Formovací krabice pro dřevotřískové desky	19
Obr. 11 – Ruční nanášení lepidla válečkovou nanášečkou.....	20
Obr. 12 - Měření rozměrů zkušebních těles (EN 325).....	21
Obr. 13 - Princip ohybové zkoušky	22
Obr. 14 - Zatěžovací křivka v oblasti pružné deformace (EN 310).....	23
Obr. 15 - Stroj ZWICK z50 pro testování ohybu a tahové pevnosti	24
Obr. 16 - ANOVA test pro hustotu desek.....	27
Obr. 17 - Scheffeho test pro hustotu („****“ ve stejném sloupci znamená statisticky bezvýznamný rozdíl $p > 0.05$)	27
Obr. 18- Krabicový graf pro hustotu.	28
Obr. 19 - ANOVA pro bobtnání po dvou hodinách	30
Obr. 20 - Scheffeho test pro bobtnání po 2 hod. („****“ ve stejném sloupci znamená statisticky bezvýznamný rozdíl $p > 0.05$)	30
Obr. 21 - Krabicový graf, na kterém je vidět největší bobtnání dýhovaných desek.....	31
Obr. 22 - ANOVA pro bobtnání po 24 hod.	32
Obr. 23 - Scheffeho test pro bobtnání po 24 hod. („****“ ve stejném sloupci znamená statisticky bezvýznamný rozdíl $p > 0.05$)	32
Obr. 24 - Krabicový graf pro bobtnání po 24 hod.	33
Obr. 25 - Graf ANOVA pro MOR v závislosti na rozdílných deskách.....	36
Obr. 26 - Scheffeho test pro MOR („****“ ve stejném sloupci znamená statisticky bezvýznamný rozdíl $p > 0.05$)	36
Obr. 27 - Krabicový graf pro MOR	37
Obr. 28- Graf ANOVA pro MOE	38

Obr. 29 - Scheffeho test pro MOE („****“ ve stejném sloupci znamená statisticky bezvýznamný rozdíl $p > 0.05$)	38
Obr. 30 - Krabicový graf pro MOE	39
Obr. 31 - ANOVA test zobrazující tahovou pevnost.....	41
Obr. 32 - Krabicový graf pro tahovou pevnost.....	41
Obr. 33 - Graf srovnávající pevnosti v ohybu materiálů často používaných ve stavitelství s našimi vyrobenými DTD	46

Seznam tabulek

Tab. 1 - Vypočítané navážky jednotlivých přísad pro desky o hustotě 500 kg/m^3	18
Tab. 2 - Vypočítané navážky jednotlivých přísad pro desky o hustotě 700 kg/m^3	18
Tab. 3 - Popisná statistika hustoty a bobtnání pro 700 Kg/m^3	29
Tab. 4 - Popisná statistika hustoty a bobtnání pro 500 kg/m^3	29
Tab. 5 - Popisná statistika MOR a MOE pro 700 kg/m^3	34
Tab. 6 - Popisná statistika MOR a MOE pro 500 kg/m^3	35
Tab. 7 - Naměřené hodnoty pevnosti v tahu desek s vyšší hustotou	40
Tab. 8 - Naměřené hodnoty pevnosti v tahu desek s nižší hustotou	40
Tab. 9 - Přehled pevnosti v ohybu a hustoty jiných materiálů	46

Seznam příloh

A– Tabulka třídění třísek.....	54
B– Výpočty dalších charakteristik třísek.....	55
C– Tabulka bobtnání pro DTD o vyšší hustotě.....	58
D– Tabulka bobtnání pro DTD o nižší hustotě.....	59
E– Tabulka pro ohybové vlastnosti pro DTD o vyšší hustotě.....	60
F– Tabulka pro ohybové vlastnosti desek o nižší hustotě.....	62

Přílohy

G– Tabulka třídění třísek

Tabulka obsahující rozměry třísek měřené pomocí milimetrového papíru. Toto měření mělo simulovat třídění třísek pomocí síťového třídiče. Obsahuje také analytické prvky jako vážený průměr, směrodatnou odchylku a variační koeficient.

STATISTICKÉ VÝHODNOCENÍ ROZMĚRŮ TŘÍSEK						
číslo řádku	šířka [mm]	délka [mm]	interval šířky [mm]	počet	pořadové číslo intervalu	četnost [%]
1	7	33	(1-2)	9	0	30,00
2	6	23	(3-4)	13	1	43,33
3	4	27	(5-6)	6	2	20,00
4	5	28	(7-8)	2	3	6,67
5	4	17				
6	6	22				
7	3	19				
8	3,5	32				
9	6	13				
10	2	27				
11	8	13				
12	6	25				
13	2	45				
14	2	20				
15	3	17				
16	2	24				
17	3	18				
18	1	13				
19	2	12				
20	5	11				
21	3	16				
22	3	13				
23	2	10				
24	2	25				
25	2	19				
26	3	22				
27	4	14				
28	4	20				
29	4	18				
30	3	26				
p [mm]	3,68	20,73				
s [mm]	1,74	7,71				
v [%]	47,36	37,19				

H– Výpočty dalších charakteristik třísek

Výpočet štíhlostního stupně:

$$S = \frac{L}{h \cdot \rho_0}$$
$$S = \frac{0,02073}{0,00368 \cdot 500}$$
$$\underline{S = 0,0113}$$

Měrný povrch třísek:

Výpočet měrného povrchu 100 gramů absolutně suchých třísek (m²)

$$A = \frac{0,2}{h \cdot \rho_0}$$
$$A = \frac{0,2}{1,84}$$
$$\underline{A = 0,1087}$$

a) Výpočet objemu desky (Vd)

Objem desky se vypočítá pomocí vzorce, viz níže, kde A je tloušťka desky, B je šířka desky a C délka desky.

$$Vd = A \cdot B \cdot C [m^3]$$

b) Výpočet hmotnosti částic v desce (Msum)

Celková hmotnost částic v desce se vypočítá jako plánovaná objemová hmotnost desky krát vypočítaný objem desky.

$$Msum = \rho \cdot Vd [kg]$$

Výsledek vyjadřuje hmotnostní zastoupení částic v desce (třísek, lepidla, aditiv) při specifikované vlhkosti a bez rozlišení vrstev desky. Tento výsledek je základem, od kterého se postupně odečítají jednotlivé složky, a také se specifikuje rozdělení na vrstvy.

c) Výpočet částic při odečtu SVR vlhkosti (Msvrminus)

Částice musí být vypočítány při odečtení vlhkost TF po klimatizaci na stav vlhkostní rovnováhy – vyrovnání vlhkosti s okolním prostředím. Do vzorce bude

použita získaná hmotnost částic v desce a 8% vlhkost TD po klimatizaci na SVR.

$$M_{svrminus} = \frac{M_{sum} \cdot 100}{100 + SVR} [kg]$$

Hmotnost v kg vyjadřuje hmotnost lepidla, třísek, parafinové emulze a tvrdidla po odpočtu vlhkosti 8 %.

d) Výpočet absolutně suchých třísek bez ostatních látek

Pro výpočet je potřeba znát hmotnost třísek $M_{střed}$. Dále také nános aditiva $addstřed$ [%]. A také Procentuální zastoupení nánosu lepidla na třískách (lepstřed)

$$a.s.střed = \frac{M_{střed} \cdot 100}{100 + addstřed + lepstřed} [kg]$$

Výpočet absolutně suchých třísek po odečtení nánosu aditiv a nánosu lepidla pro jednotlivé vrstvy z hmotnosti třísek povrchových a středových. Tento výsledek je potřebný ke zjištění hmotností třísek, které musí mít určitou vlhkost. Rovněž jsou k tomuto výsledku vztaženy hodnoty nánosů lepidla a aditiva.

e) Výpočet potřebného množství třísek s určitou vlhkostí

Na tento výpočet je nutno znát hmotnost absolutně suchých třísek z předešlého výpočtu a také vlhkost třísek, což je u zadání stejný jak pro povrchové i pro středové třísky 4%.

$$M_{třísky\ stred} = \frac{a.s.střed}{100} \cdot (4 \cdot 100) [kg]$$

Výsledek v kg je hmotnost středových třísek potřebná na jednu desku.

f) Hmotnost lepidla o specifické sušině

Zde je nejlepší udělat mezi výpočty, kde se bude brát sušinu o koncentraci 100% a nános lepidla na jednotlivých vrstvách v % a poté se z toho vypočítá hmotnost lepidla o sušině, která je zadána, což je 55%.

$$M_{sublepstř} = \frac{\%_{lepstř}}{100} \cdot a.s.střed [kg]$$

$$M_{lepstř} = \frac{M_{sublepstř} \cdot 100}{\%sušlep} [kg]$$

Výsledné množství lepidla v kg, které je potřebné pro vrstvu jedné desky.

g) Hmotnost aditiva o specifické sušině

$$M_{subaddstř} = \frac{\%add}{100} \cdot a.s.stř [kg]$$

$$M_{addstř} = \frac{M_{subaddstř} \cdot 100}{\%sušadd} [kg]$$

Výpočty ukazují hmotnost aditiva, například parafínová emulze, nebo jiné látky na bázi roztoku, pro jednotlivé vrstvy.

h) Hmotnost tvrdidla o spec. Sušině

Opět se použijí mezivýpočty, nános tvrdidla (8%), hmotnost lepidla o specifické sušině (55%) a množství sušiny tvrdidlo NH₄Cl (%suštvrd).

$$M_{subtvrdstř} = \frac{\%tvrd}{100} \cdot M_{lepstř} [kg]$$

$$M_{tvrdstř} = \frac{M_{subtvrdstř} \cdot 100}{\%suštvrd} [kg]$$

Hmotnost tvrdidla je poslední potřebná vypočítaná hmotnost na výrobu jedné desky.

I– Tabulka bobtnání pro DTD o vyšší hustotě

Výsledky bobtnání pro desky o vyšší hustotě, zleva: průměrná tloušťka, m_1 - hmotnost před vložením do vody, vypočtená hustota, m_2 – hmotnost po dvou hodinách bobtnání, G_2 – bobtnání po dvou hodinách, m_3 – hmotnost po 24 hodinách bobtnání, G_{24} – bobtnání po 24 hodinách. Pod tabulkami je pro jednotlivé povrchové úpravy i popisná statistika (průměr, minimum, maximum a směrodatná odchylka a variační koeficient)

Bez PÚ	Tl. [mm]	m_1 [g]	P [kg/m ³]	m_2 [g]	G_2 [%]	m_3 [g]	G_{24} [%]
1	16,17	22,00	541,47	40,00	10,76	43,00	13,92
2	15,75	26,00	650,53	42,00	11,24	45,00	13,49
3	15,81	24,00	595,25	42,00	12,52	44,00	15,28
4	15,79	25,00	622,51	41,00	10,83	45,00	13,37
5	15,90	22,00	546,63	40,00	9,31	42,00	11,17
6	16,29	24,00	583,30	41,00	11,82	45,00	13,60
7	15,74	26,00	651,33	42,00	10,58	46,00	13,02
x		24,14	598,72	41,14	11,01	44,29	13,41
min		22,00	541,47	40,00	9,31	42,00	11,17
max		26,00	651,33	42,00	12,52	46,00	15,28
s		1,68	45,20	0,90	1,01	1,38	1,22
v [%]		6,94	7,55	2,19	9,21	3,12	9,12

HPL	Tl. [mm]	m_1 [g]	P [kg/m ³]	m_2 [g]	G_2 [%]	m_3 [g]	G_{24} [%]
2	18,34	36,00	776,05	50,00	9,93	57,00	18,49
3	18,09	31,00	680,35	48,00	11,03	53,00	15,98
4	18,19	33,00	718,19	48,00	8,91	53,00	12,67
5	17,92	30,00	658,59	48,00	11,25	52,00	17,02
6	18,13	30,00	653,29	48,00	9,63	52,00	12,94
7	18,28	35,00	756,00	46,00	8,70	54,00	13,38
8	18,39	35,00	747,97	48,00	10,82	56,00	13,22
x		32,86	712,92	48,00	10,04	53,86	14,81
min		30,00	653,29	46,00	8,70	52,00	12,67
max		36,00	776,05	50,00	11,25	57,00	18,49
s		2,54	49,44	1,15	1,03	1,95	2,33
v [%]		7,75	6,93	2,41	10,23	3,62	15,71

BK dýha	Tl. [mm]	m_1 [g]	P [kg/m ³]	m_2 [g]	G_2 [%]	m_3 [g]	G_{24} [%]
1	19,00	31,00	642,74	50,00	13,40	56,00	17,93
2	18,90	30,00	626,91	52,00	14,87	54,00	15,56
3	19,57	31,00	626,46	53,00	12,26	56,00	13,49
4	18,87	30,00	629,37	52,00	12,14	54,00	13,70
5	18,73	28,00	588,63	48,00	10,38	53,00	11,48
6	18,81	30,00	630,54	49,00	10,95	55,00	13,67
7	19,54	35,00	711,82	52,00	12,67	57,00	15,41
x		30,71	636,64	50,86	12,38	55,00	14,46
min		28,00	588,63	48,00	10,38	53,00	11,48
max		35,00	711,82	53,00	14,87	57,00	17,93
s		2,14	37,15	1,86	1,50	1,41	2,05
v [%]		6,96	5,84	3,67	12,08	2,57	14,16

J– Tabulka bobtnání pro DTD o nižší hustotě

Výsledky bobtnání pro desky o nižší hustotě, zleva: průměrná tloušťka, m_1 - hmotnost před vložením do vody, vypočtená hustota, m_2 – hmotnost po dvou hodinách bobtnání, G_2 – bobtnání po dvou hodinách, m_3 – hmotnost po 24 hodinách bobtnání, G_{24} – bobtnání po 24 hodinách. Pod tabulkami je pro jednotlivé povrchové úpravy i popisná statistika (průměr, minimum, maximum a směrodatná odchylka a variační koeficient)

Bez PÚ	Tl. [mm]	m_1 [g]	P [kg/m ³]	m_2 [g]	G_2 [%]	m_3 [g]	G_{24} [%]
1	16,30	20,04	488,85	41,65	16,44	42,33	17,12
2	16,40	20,94	512,59	42,67	19,33	43,07	19,45
3	15,87	21,37	535,30	42,73	17,14	43,69	19,34
4	16,05	21,92	539,10	42,79	19,56	43,12	21,93
5	15,87	18,75	470,94	40,16	15,11	41,45	16,76
6	16,08	18,16	444,08	36,22	10,07	37,43	15,80
x		20,20	498,48	41,04	16,28	41,85	18,40
min		18,16	444,08	36,22	10,07	37,43	15,80
max		21,92	539,10	42,79	19,56	43,69	21,93
s		1,51	38,08	2,70	3,69	2,46	2,36
v [%]		7,48	7,64	6,57	22,69	5,89	12,84

HPL	Tl. [mm]	m_1 [g]	P [kg/m ³]	m_2 [g]	G_2 [%]	m_3 [g]	G_{24} [%]
1	18,33	28,10	544,71	56,20	15,10	57,20	16,12
2	28,18	29,15	548,81	58,30	17,60	59,30	19,20
4	19,45	28,55	543,58	57,10	12,11	59,10	13,01
5	18,98	28,16	534,25	56,32	11,90	57,32	12,11
x		28,31	547,56	56,62	14,40	57,82	15,45
min		27,60	534,25	55,20	11,90	56,20	12,11
max		29,15	566,44	58,30	17,60	59,30	19,20
s		0,58	11,82	1,15	2,40	1,33	2,89
v [%]		2,04	2,16	2,04	16,66	2,30	18,72

Dýha	Tl. [mm]	m_1 [g]	P [kg/m ³]	m_2 [g]	G_2 [%]	m_3 [g]	G_{24} [%]
1	20,55	20,04	529,21	41,65	17,13	42,33	20,12
2	21,13	20,94	544,81	42,67	20,18	43,07	22,16
3	20,89	21,37	565,84	42,73	18,15	43,69	23,18
4	20,16	21,92	478,18	42,79	18,70	43,12	19,70
5	20,46	18,75	464,76	40,16	17,70	41,45	17,99
x		20,60	516,56	42,00	18,37	42,73	20,63
min		18,75	464,76	40,16	17,13	41,45	17,99
max		21,92	565,84	42,79	20,18	43,69	23,18
s		1,24	43,42	1,13	1,16	0,86	2,06
v [%]		6,04	8,41	2,69	6,34	2,02	9,97

K– Tabulka pro ohybové vlastnosti pro DTD o vyšší hustotě

Výsledky pro ohyb desek o vyšší hustotě (700 kg/m³), zleva: průměrná tloušťka, šířka, délka, MOR - pevnost v ohybu, MOE - modul pružnosti a hustota. Pod tabulkami je pro jednotlivé povrchové úpravy popisná statistika (průměr, minimum, maximum a směrodatná odchylka a variační koeficient)

Dýha II	Tloušťka	Šířka	Délka	MOR	MOE	Hustota
Č.	mm	mm	mm	MPa	MPa	kg/m ³
1	18,94	49,95	490	37,57	5062,38	579
2	18,74	50,09	490	41,34	5057,44	589
3	18,95	49,8	490	38,4	4454,01	624
4	18,85	49,76	490	44,98	5409,14	627
5	18,66	50,03	490	38,98	5112,36	587
6	18,71	50,26	490	34,74	4787,57	586
x	18,81	49,98	490,00	39,34	4980,48	598,67
min	18,66	49,76	490,00	34,74	4454,01	579,00
max	18,95	50,26	490,00	44,98	5409,14	627,00
s	0,12	0,19	0,00	3,50	325,01	21,08
v [%]	0,653	0,374	0,000	8,888	6,526	3,521

Dýha T	Tloušťka	Šířka	Délka	MOR	MOE	Hustota
Č.	mm	mm	mm	MPa	MPa	kg/m ³
8	19,24	49,99	477	5,27	992,03	624
9	19,17	50,23	476	10,87	1487,99	648
10	19,15	50,14	476	9,62	1677,54	610
11	19,2	49,72	476	6,17	1111,35	586
13	19,3	49,96	477	11,44	1960,36	558
16	19,2	50,23	477	4,44	893,33	566
x	19,21	50,05	476,50	7,97	1353,77	598,67
min	19,15	49,72	476,00	4,44	893,33	558,00
max	19,30	50,23	477,00	11,44	1960,36	648,00
s	0,05	0,20	0,55	3,04	422,47	34,89
v [%]	0,28	0,39	0,11	38,13	31,21	5,83

HPL	Tloušťka	Šířka	Délka	MOR	MOE	Hustota
Č.	mm	mm	mm	MPa	MPa	kg/m ³
17	18,04	50,15	410	30,18	3322,15	724
19	18,24	50,11	410	28,48	4891,89	677
20	17,94	50,08	410	11,16	4242,24	669
21	17,92	50,13	410	18,28	4563,57	714
22	17,86	49,72	410	29,44	4965,2	632
23	17,78	50,14	410	14,96	4105,28	723
x	17,96	50,06	410,00	22,08	4348,39	689,83
min	17,78	49,72	410,00	11,16	3322,15	632,00
max	18,24	50,15	410,00	30,18	4965,20	724,00
s	0,16	0,17	0,00	8,31	607,57	36,86
v [%]	0,89	0,33	0,00	37,62	13,97	5,34

Bez PÚ	Tloušťka	Šířka	Délka	MOR	MOE	Hustota
Č.	mm	mm	mm	MPa	MPa	kg/m ³
25	15,88	49,86	390	7,58	1394,61	656
26	15,67	50,17	390	10,99	2097,29	615
27	15,67	49,87	390	8,28	1414,9	553
28	15,56	49,97	390	5,96	998,59	559
29	16,03	50	390	5,74	1004,42	666
30	16,03	50	390	12,33	2215,67	574
31	15,52	50	390	5,97	1151,44	606
32	15,67	49,96	390	6,21	1414,54	559
33	15,67	49,96	390	7,11	1261,03	559
x	15,74	49,98	390,00	7,80	1439,17	594,11
min	15,52	49,86	390,00	5,74	998,59	553,00
max	16,03	50,17	390,00	12,33	2215,67	666,00
s	0,19	0,09	0,00	2,37	438,31	43,83
v [%]	1,21	0,18	0,00	30,41	30,46	7,38

L– Tabulka pro ohybové vlastnosti desek o nižší hustotě

Výsledky pro ohyb desek o nižší hustotě (500 kg/m³), zleva: průměrná tloušťka, šířka, délka, MOR - pevnost v ohybu, MOE - modul pružnosti a hustota. Pod tabulkami je pro jednotlivé povrchové úpravy popisná statistika (průměr, minimum, maximum a směrodatná odchylka a variační koeficient)

Dýha II	Tloušťka	Šířka	Délka	MOR	MOE	Hustota
Č.	mm	mm	mm	MPa	MPa	kg/m ³
1	19,3	50	410	13,53	3524,37	479
2	19,3	50	410	20,25	4045,51	518
3	19,3	50	410	16,32	4134,48	503
4	19,3	50	410	17,15	4350,13	503
5	19,3	50	410	20,53	4524,08	521
6	19,3	50	410	20,9	4476,57	473
7	19,3	50	410	20,42	4642,25	518
8	19,3	50	410	8,2	2678,57	493
x	19,30	50,00	410,00	17,16	4047,00	501,00
min	19,30	50,00	410,00	8,20	2678,57	473,00
max	19,30	50,00	410,00	20,90	4642,25	521,00
s	0,00	0,00	0,00	4,47	655,93	18,20
v [%]	0,00	0,00	0,00	26,03	16,21	3,63

Dýha T	Tloušťka	Šířka	Délka	MOR	MOE	Hustota
Č.	mm	mm	mm	MPa	MPa	kg/m ³
9	19,3	50	410	2,01	209,88	511
10	19,3	50	410	2,15	187,22	523
11	19,3	50	410	1,97	323,9	548
12	19,3	50	410	2,07	259,09	533
13	19,3	50	410	2,41	302,84	541
14	19,3	50	410	2,35	502,51	465
15	19,3	50	410	2,31	369,99	543
x	19,30	50,00	410,00	2,18	307,92	523,43
min	19,30	50,00	410,00	1,97	187,22	465,00
max	19,30	50,00	410,00	2,41	502,51	548,00
s	0,00	0,00	0,00	0,18	106,90	28,74
v [%]	0,00	0,00	0,00	8,04	34,72	5,49

HPL	Tloušťka	Šířka	Délka	MOR	MOE	Hustota
Č.	mm	mm	mm	MPa	MPa	kg/m ³
16	17,67	50	390	22,19	2710,8	557
17	17,67	50	390	25,68	2723,29	560
18	17,67	50	390	15,52	2657,71	560
19	17,67	50	3390	14,12	2674,53	62
20	17,67	50	390	23,01	2706,46	557
21	17,67	50	390	19,4	2650,04	557
x	17,67	50,00	890,00	19,99	2687,14	475,50
min	17,67	50,00	390,00	14,12	2650,04	62,00
max	17,67	50,00	3390,00	25,68	2723,29	560,00
s	0,00	0,00	1224,74	4,50	30,47	202,58
v [%]	0,00	0,00	137,61	22,50	1,13	42,60

bez PÚ	Tloušťka	Šířka	Délka	MOR	MOE	Hustota
Č.	mm	mm	mm	MPa	MPa	kg/m ³
22	15,62	50	350	1,65	390,48	490
23	15,62	50	350	1,03	270	479
24	15,62	50	350	0,91	230,42	465
25	15,53	50	350	2,05	360,24	482
26	15,41	50	350	1,7	494,5	515
27	15,41	50	350	2,43	422,79	527
x	15,54	50,00	350,00	1,63	361,41	493,00
min	15,41	50,00	350,00	0,91	230,42	465,00
max	15,62	50,00	350,00	2,43	494,50	527,00
s	0,10	0,00	0,00	0,58	97,82	23,45
v [%]	0,66	0,00	0,00	35,81	27,07	4,76