

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
KATEDRA DŘEVĚNÝCH VÝROBKŮ A KONSTRUKCÍ
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ



Diplomová práce

MODIFIKACE ZKUŠEBNÍHO POSTUPU PRO HODNOCENÍ
PEVNOSTI V OHYBU U MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA

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

Diplomant: Bc. Ladislav Rubáš

2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Rubáš Ladislav

Dřevařské inženýrství

Název práce

Modifikace zkušebního postupu pro hodnocení pevnosti v ohybu u materiálů na bázi dřeva

Anglický název

The modification of the test procedure for evaluating the bending strength of wood based materials

Cíle práce

Cílem práce je snížení finanční a časové náročnosti při zkouškách modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu u materiálů na bázi dřeva. Konkrétně se jedná o vyhodnocení možnosti využití zkušebních vzorků menších rozměrů, než jaké jsou uvedeny v normě ČSN EN 326-1, při kontrole jakosti produkce. Součástí práce je zjištění korelačních závislostí mezi výsledky získanými při použití vzorků menších rozměrů a vzorky standardních rozměrů.

Metodika

1. Vytvoření osnovy a časového harmonogramu zpracování DP
2. Podrobné prostudování uvedené problematiky a metodiky měření
3. Vypracování literární rešerše
4. Výběr vhodné geometrie a rozměrů zkušebních těles pro porovnání
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

- 2/2013 - zadání diplomové práce
- 3/2013 - 8/2013 - zpracování literární rešerše
- 10/2013 - 1/2014 - provedení zkušebních měření
- 2/2014 - 3/2014 - vyhodnocování naměřených dat a průběžné zpracovávání výsledků
- 31. 3. 2014 - odevzdání práce ke kontrole vedoucím
- 20. 4. 2014 - odevzdání práce v tištěné i elektronické podobě

Rozsah textové části

textová část: 50-60 stran, přílohy: 10-20 stran

Klíčová slova

MDF desky, modul pružnosti v ohybu, pevnost v ohybu, MOE, vzorkování

Doporučené zdroje informací

DOLEŽAL, J. Matematickostatistické metody v dřevařském průmyslu. 1. vyd. Praha: Vyzkumný a vývojový ústav dřevařský, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Středisko interních publikací, 1973. 130 s. ISBN 80-7203-254-2.

GANDELOVÁ L.; HORÁČEK P.; ŠLEZINGEROVÁ J. Nauka o dřevě. 3. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009. 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2.

HRÁZSKÝ, J.; KRÁL, P. Technologie výroby aglomerovaných materiálů. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000. 218 s. ISBN 80-7157-428-7.

KOLLMANN, F.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. Principles of wood science and technology: Wood based materials. 3. vyd. Berlin: Springer, 1975. 703 s. ISBN 978-3-540-06467-1.

Příslušné normy ISO ČSN EN.

Vědecké články na dané téma z databázi dostupných z <http://infozdroje.sic.czu.cz/>.

Vedoucí práce

Böhm Martin, doc. Ing., Ph.D.

Termín odevzdání

duben 2014

Elektronicky schváleno dne 21.3.2014

doc. Ing. Martin Böhm, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 21.3.2014

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan fakulty

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Modifikace zkušebního postupu pro hodnocení pevnosti v ohybu u materiálů na bázi dřeva vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Martina Böhma, Ph.D. a použil 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 30. 4. 2014

.....

Bc. Ladislav Rubáš

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Martinu Böhmovi, Ph.D., za ochotu a trpělivost při vedení mé diplomové práce. Dále děkuji panu Ing. Vlastimilovi Borůvkovi Ph.D., a panu doc. Ing. Danielu Zahradníkovi Ph.D., za poskytnutí velmi užitečných informací a rad. Velice bych chtěl poděkovat i mé rodinně a mé snoubence za vytrvalou morální podporu, trvající po dobu mého studia.

Abstrakt

Název diplomové práce: *Modifikace zkušebního postupu pro zhodnocení pevnosti v ohybu u materiálů na bázi dřeva.*

Tato diplomová práce se věnuje problematice zmenšování zkušebních těles ze středně tvrdých dřevovláknitých desek při zkoušce pevnosti v ohybu a modulu pružnosti v ohybu. Úvodem diplomové práce jsou uvedeny charakteristika zkušebního materiálu, postup dle Českých technických norem a popis zařízení, které byly při pokusu použity. Následuje metodická část, která slouží jako kompletní zápis z provedené zkoušky. Výsledky provedené zkoušky jsou statisticky vyhodnoceny a doplněny o přehlednou soustavu grafů a tabulek, pro lepší představu o probíhajících trendech v chování zmenšovaných zkušebních vzorků. Dále diplomová práce tyto trendy vysvětluje, hledá pro ně možnost praktického využití a prezentuje pozitiva i negativa používání zmenšovaných zkušebních těles.

Klíčová slova: *MDF desky, modul pružnosti v ohybu, pevnost v ohybu, vzorkování.*

OBSAH

1	Úvod	9
2	Cíl práce	10
3	Literární rešerše	11
3.1	Definice dřevovláknitých desek a jejich třídění.....	11
3.1.1	Tvrdé dřevovláknité desky	11
3.1.2	Polotvrdá dřevovláknitá deska	11
3.1.3	Měkká dřevovláknitá deska	11
3.2	Historie výroby dřevovláknitých desek	12
3.3	Dřevozpracující družstvo Lukavec.....	13
3.4	Výroba MDF	14
3.4.1	Suroviny pro výrobu MDF desek.....	14
3.4.2	Zpracování výrobní suroviny	15
3.5	Modifikace zkušebních těles.....	20
3.6	Určování vlastností desek	21
3.7	Postup zkoušky.....	22
3.7.1	Odběr zkušebních těles	22
3.7.2	Ustálení vlhkosti vzorků.....	24
3.7.3	Postup provedení měření	24
3.7.4	Vyjádření výsledků	25
3.7.5	Zhotovení protokolu o zkoušce.....	27
3.8	Výstupy z měření	28
3.8.1	Pracovní diagram	28
3.8.2	Modul pružnosti v ohybu.....	29
3.8.3	Pevnost v ohybu	29
3.9	Přístroje a pomůcky.....	30

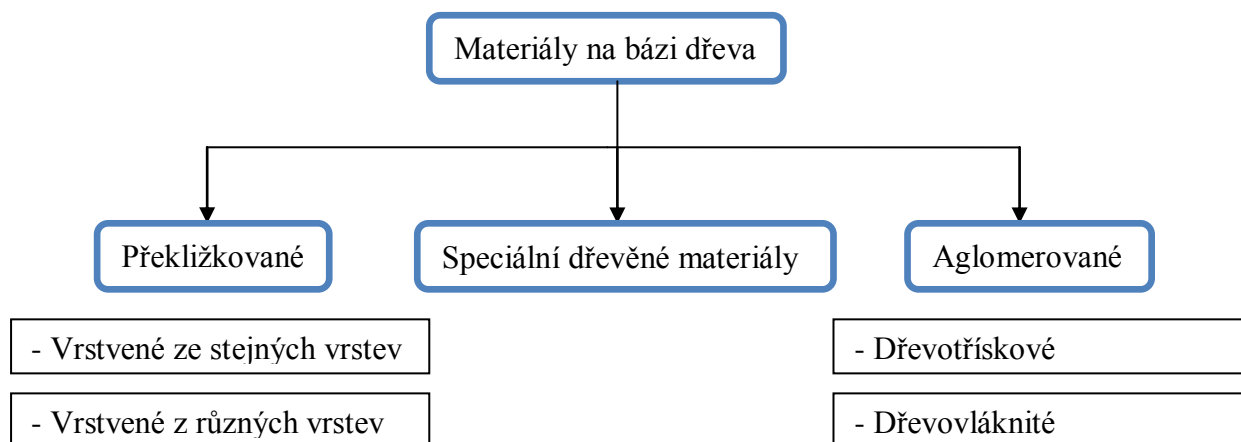
4	Metodika	33
4.1	Určení rozměrů zkušebních vzorků.....	33
4.2	Výroba zkušebních vzorků	34
4.3	Klimatizování.....	35
4.4	Měření rozměrů.....	36
4.5	Zkoušení mechanických vlastností.....	36
4.6	Statistické zpracování dat	38
4.6.1	Dílčí statistické ukazatele	38
4.6.2	Normální rozdělení četnosti.....	39
4.6.3	Vyloučení extrémů	39
4.6.4	Analýza rozptylu	40
4.6.5	Regresní analýza	40
5	Výsledky a diskuze	42
5.1	Mez pevnosti v ohybu	43
5.2	Pevnost v ohybu	46
5.3	Modul pružnosti v ohybu.....	50
5.4	Maximální průhyb	53
6	Závěr	57
7	Přehled literatury a použitých zdrojů	61
7.1	Použitá literatura	61
7.2	Internetové zdroje.....	63
8	Přílohy	65

1 Úvod

Lidé využívají dřevo od nepaměti jako snadno dostupnou surovinu. Již před 60 000 lety bylo využíváno k výrobě nejrůznějších nástrojů, oštěpů atd., hlavně kvůli snadné opracovatelnosti. V období mladší doby kamenné, tedy okolo roku 3500 před naším letopočtem, je již dřevo užíváno také ke stavbě lidských obydlí. Spotřeba dřeva časem neustále rostla především díky kladným vlastnostem, jako je snadná opracovatelnost, pevnost a obnovitelnost. Dřevo má ale i své slabé stránky. Mezi ně se řadí anizotropie, hygroskopicitata, nehomogenita, hořlavost a tvarové změny. Technický pokrok nám však umožnil, tyto negativní vlastnosti co nejvíce potlačit a dal vzniknout materiálům na bázi dřeva.

Materiály na bázi dřeva částečně eliminují negativní vlastnosti masivu a navíc nám dovolují zpracovávat surovinu, která by se dříve označovala jako odpad, což lze ocenit především z hlediska ekonomického a ekologického. Materiály na bázi dřeva se dělí podle struktury výrobní suroviny na překližkované nebo aglomerované.

Aglomerované materiály jsou reprezentovány především dřevovláknitými a dřevotřískovými deskami (tab.č.1). Tyto desky jsou velmi užitečným velkoplošným materiálem se širokou škálou využití. Mezi hlavní výhody patří velkoplošnost, izotropní vlastnosti a struktura bez přírodních vad. A právě dřevovláknitými deskami a modifikacemi zkušebních těles používaných při zkoušce mechanických vlastností v ohybu se tato práce zabývá.



Tab.č. 1: Rozdělení materiálů na bázi dřeva (Nutsch, 2003)

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je zjistit, zda vzorky menších rozměrů MDF desek, využívaných při stanovování modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu podle normy ČSN EN 310, poskytnou informace o modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu, které budou korespondovat s normovanými vzorky. V případě zjištění, že zkušební tělíska zmenšovat lze, bude uvedeno do jaké míry.

Téma této diplomové práce bude zpracováno pro firmu Dřevozpracující družstvo Lukavec, jež téma sama zadala.

Práce uvede ve své první části, literární rešerši, údaje a charakteristiky týkající se:

- historie a výroby polotvrdé dřevovláknité desky,
- způsobu provedení měření.

Na literární rešerši naváže metodika, kde bude podrobně popsán zkušební postup, na nějž navážou výsledky práce a diskuze se shrnutím:

- naměřených hodnot vzorků standardních rozměrů,
- jejich srovnání s naměřenými hodnotami vzorků se zmenšenými rozměry,
- zjištění korelačních závislostí mezi jednotlivými rozměrovými stupni zkušebních těles.

Ze zjištěných údajů bude sledováno a popsáno chování mechanických vlastností v závislosti na zmenšování zkušebních těles.

3 Literární rešerše

3.1 Definice dřevovláknitých desek a jejich třídění

V této kapitole bude vysvětlen pojem vláknitých desek a třídění jednotlivých druhů dřevovláknitých desek. Vlákňité desky jsou definovány podle normy ČSN EN 316, která nám říká "Vlákňité desky jsou vláknitý materiál tloušťky 1,5 mm a více, vyrobený z lignocelulosových vláken použitím ohřevu nebo tlaku. Soudržnosti je dosaženo zplstěním vláken (a jejich přirozenou lepivostí) a přidavkem syntetické pryskyřice na vlákno". Pojem dřevovláknitých desek lze jednoduše vysvětlit, jelikož se jedná o vláknité desky vyrobené z dřevních vláken. Třídění dřevovláknitých desek je obvykle závislé na hustotě materiálu a všeobecně se rozlišují na tvrdé, polotvrdé a měkké dřevovláknité desky.

3.1.1 Tvrdé dřevovláknité desky

Tvrdé dřevovláknité desky, které se také někdy nazývají Sololit (podle obchodního názvu bývalého českého výrobce SOLO Sušice), mají hustotu větší než 900 kg/m^3 . Podle způsobu výroby se liší povrch desek. Při suchém způsobu jsou obě strany hladké. Při mokřém způsobu výroby je na spodní straně desky viditelný obtisk odtokového síta a vrchní strana je hladká. Barva desek je světle až tmavě hnědá (Nutsch;2011). Běžně vyráběné desky mají tloušťku 3- 4 milimetry (Nutsch;2003). Samozřejmě jsou k dostání i tloušťky od 1,6 do 8 mm. Tvrdé dřevovláknité desky se hodí pro záda skříní a dna zásuvek. (Nutsch; 2011)

3.1.2 Polotvrdá dřevovláknitá deska

Polotvrdé dřevovláknité desky (neboli MDF) mají téměř homogenní strukturu. Desky se vyrábí s hustotou od 600 do 900 kg/m^3 a v tloušťkách od 6 do 50 milimetrů. Tato vláknitá deska se používá hlavně při výrobě nábytku, kvůli vhodným vlastnostem při opracování na bocích i v ploše. Opracované díly se používají jako nábytkové dveře a čela zásuvek. MDF desky mají hladký povrch, proto je možné zvolit povrchovou úpravu nátěrovými hmotami, nebo třeba foliovými polepy. (Nutsch; 2003)

3.1.3 Měkká dřevovláknitá deska

Měkké dřevovláknité desky (dříve pod názvem HOBRA) mají ze všech nejnižší hustotu okolo $230 - 350 \text{ kg/m}^3$. Podle svého použití se nazývají také jako dřevovláknité izolační desky (Nutsch;2003). Se svojí volnou strukturou vykazují velmi dobré zvukoabsorpční a tepelně izolační vlastnosti. Povrch desek může být hladký, děrovaný, nebo

drážkovaný. Používají se především jako výplně dělicích příček a dveří (*Nutsch; 2011*). Tloušťka desek se pohybuje v intervalu od 6 do 120 milimetrů (*Böhm; 2012*).

3.2 Historie výroby dřevovláknitých desek

Na počátku všeho byl papír. I díky tomu je historie výroby dřevovláknitých desek (neboli DVD) delší než historie desek dřevotřískových. Jako první přišel s patentem na výrobu desky z papíroviny Angličan Clay v roce 1772. S průmyslovou výrobou se začalo až v roce 1898 v Sanbury, kde vyrobili první polotvrdou vláknitou desku z papíru. V USA v roce 1924 využil Mason metodu explozivního rozvlákňování dřevoviny. Masonova metoda se rozšířila po celých Spojených státech. V Evropě byl průlomový vynález Švéda Asplunda v roce 1931, který pracoval na principu termomechanického rozvlákňování dřevní suroviny pod tlakem nasycené páry. Tento způsob se postupem času rozšiřoval nejen po celé Evropě, ale i po celém světě mimo USA (*Štefka; 2001*). Zvýšení produkce dřevovláknitých desek nastalo až během druhé světové války, jelikož sloužily jako stavební materiál dočasných vojenských konstrukcí, jež se velice snadno a rychle montovali. Po válce se poptávka po tomto materiálu dále zvyšovala především kvůli výstavbě rodinných domů a jejich interiérů (*Wilson, Richa; Snodgrass, Kathleen; 2007*).

Prostorem pro vylepšení hospodárnosti výroby dřevovláknitých desek byl kvůli vysoké spotřebě vody (mokrý způsob výroby) její snižování. Proto nejdříve vznikl způsob polosuchý a poté suchý, kde bylo využíváno vzduchu jako transportního média. V roce 1943 vyvinula firma Plywood Research Foundation v USA polosuchý způsob výroby s vlhkostí dřevních vláken od 22 do 35 %. V roce 1945 se ve firmě Weyerhaeuser Timber Co. začal používat suchý způsob výroby dřevovláknitých desek, kde se vlhkost vláken pohybuje v intervalu od 8 do 18% (*Štefka; 2001*).

Okolo roku 1955 ve Spojených státech Amerických započala výroba polotvrdých dřevovláknitých desek (takzvaných MDF desek). Polotvrdé dřevovláknité desky se ukázal jako velice perspektivní. Tento fakt dokládá zvýšení produkce ze 70 tisíc m³ v roce 1970 na více jak 9 miliónů m³ v roce 1992. (*Hrázský; 2000*)

U nás se začalo s výrobou vláknitých desek, až když firma DEFIBRATOR postavila první linku v národním podniku SOLO Sušice v roce 1949. Linka fungovala na principu výroby vláknitých desek mokrým způsobem. Výroba dřevovláknitých desek zde započala v roce 1950, kdy byla uvedena do provozu první linka s projektovanou kapacitou 12 000 tun za

rok. V roce 1962 byla zprovozněna druhá výrobní linka, která dokázala vyprodukovat dalších 18 000 tun DVD za rok. Třetí a zároveň poslední linka o projektované kapacitě 32 000 tun za rok byla zprovozněna v roce 1973. V podniku SOLO Sušice výroba trvala až do konce roku 1998, kdy byli odstaveny poslední dvě výrobní linky (Hrázský; 2000). V roce 1992 byla zahájena výroba polotvrdých dřevovláknitých desek v dřevozpracujícím družstvu Lukavec.

3.3 Dřevozpracující družstvo Lukavec

Dřevozpracující družstvo Lukavec je česká středně velká firma, která byla založena v roce 1953. Na začátku se zde vyrábělo pouze řezivo, ke kterému postupem doby přibývali další sortimenty. V roce 1958 byla zahájena výstavba haly na výrobu dřevotřískových desek a v roce 1960 byla uvedena do provozu. Firmě se dařilo a tak investovala do dalších výrobních hal a díky tomu zvyšovala svou výrobní kapacitu. Navíc se družstvu podařilo proniknout i na zahraniční trhy. V roce 1972 byla uvedena do provozu moderní dřevotřísková linka a v roce 1992 zahájila výrobu linka na produkci středně tvrdých dřevovláknitých desek (MDF), které dnes patří mezi pilíře podniku. Vlákno se zde vyrábí pomocí defibrátoru. Za poslední milník firmy lze považovat zahájení provozu nové moderní linky na výrobu nábytkových dílců (obr.č.1), kde pracují mimo zaměstnanců i plně automatizovaní roboti (DDL Lukavec).



Obr.č. 1 Nábytkové dílce (DDL Lukavec; 2013)

3.4 Výroba MDF

Tato kapitola se bude podrobněji zabývat výrobou polotvrdých dřevovláknitých desek. Pojednává o výběru výrobní suroviny, přes její zpracování a popisu výrobních technologií. Bude zde zmíněna i kapitola o použitých lepidlech a dalších látkách, které jsou ve výrobním procesu také využity.

3.4.1 Suroviny pro výrobu MDF desek

Hlavním zdrojem pro výrobu dřevovláknitých desek je dřevní hmota z odpadu z pilařské výroby (*Vaverka a kol.; 2008*). Tedy užitkové rovnané dříví, krajiny, odřezky, hobliny a štěpky. Dalším zdrojem je jehličnaté i listnaté dřevo z probírek v lese (*Josten a kol.; 2009*). Je nutné dát pozor na vysoký obsah kůry. Vhodnost dřevní suroviny pro výrobu DVD se určuje především podle:

- délky dřevních vláken
- obsahu hemicelulóz a ligninu
- rozvláknitelnosti

Záleží také na metodě výroby dřevovláknitých desek. U mokrého způsobu se používají hlavně jehličnaté a měkké listnaté sortimenty, kvůli větší délce vláken. Pro výrobu vláknitých desek suchým způsobem jsou vhodnější listnaté dřeviny, kvůli vyššímu obsahu hemicelulóz. Je možné využít i exotické dřeviny, které však díky vyššímu obsahu křemičitých látek rychleji otupují nože sekacích strojů, používaných při zpracování výrobní suroviny. (*Štefka; 2001*)

Kromě dřeva se mohou použít i některé nedřevěné lignocelulózové suroviny jako sláma (*rýžová sláma*) nebo bagasa*. Sláma se využívá hlavně v rozvojových zemích. Tyto vláknité desky se však vyznačují horší kvalitou, která je způsobená především nízkým obsahem ligninu a vyšším obsahem křemičitanů. (*Štefka; 2001*)

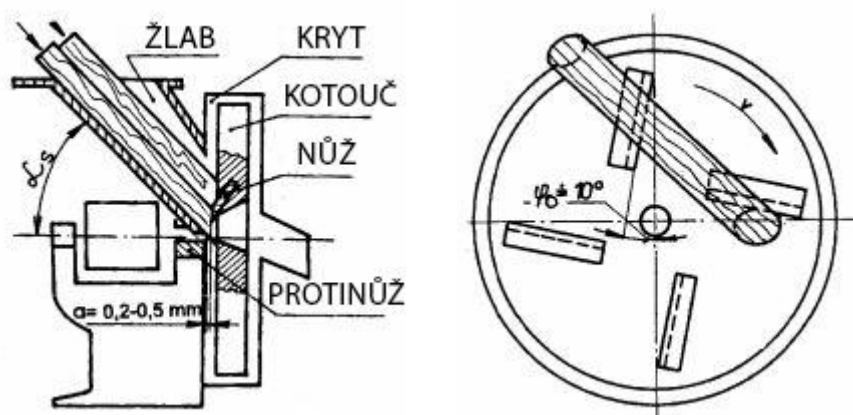
3.4.2 Zpracování výrobní suroviny

Výrobní surovina, ať už z listnatého, či jehličnatého dřeva, nebo jiné biomasy je nejdříve částečně mechanicky a poté chemicky rozvlákněna při současném působení páry (Josten; 2010).

3.4.2.1 Výroba štěpky

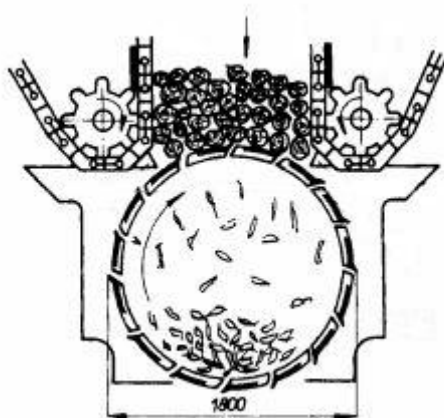
Mechanické rozvláknění se uskutečňuje ve štěpkovací sekačce, kde se výrobní surovina dělí na části o velikosti 20 x 20 x 5 milimetrů (Nutsch;2003). Štěpkovací zařízení jsou v podstatě dvojího druhu a to kotoučové nebo bubnové štěpkovací stroje.

U kotoučových štěpkovačů, jak již samotný název napovídá, je základem a zároveň nosičem řezných nástrojů kotouč. Ten může být až 3 metry široký. Z boku kotouče vystupují nože, které mají ostří orientované přibližně po poloměru kotouče. Každý kotouč disponuje dvěma až šestnácti noži (obr.č.2). Ke kotouči je dopravována surovina buď samospádem ve žlabu (při zpracovávání výřezů), nebo podávacími válci (u pilařských odřezků ve svazcích). (Lisičan;1996)



Obr.č. 2:Schéma kotoučového štěpkovacího zařízení (Lisičan;1996)

Bubnové štěpkovací zařízení (obr.č.3) je to, u kterého je charakteristický rotační pohyb řezných klínů, jenž jsou upevněny na rotujícím tělese. Řezným mechanismem je buben, na jehož plášti jsou umístěné nože. Dřevo je k bubnu dopravováno podávacím mechanismem. Odřezané štěpky prochází otvory mezi noži a tlakovou lištou (tzv. tlakovnicí). Typy bubnových sekaček s násypným hrdlem nebo hrdlem vsuvným slouží k sekání drobnějšího materiálu. (Lisičan; 1996)



Obr.č. 3:Schéma bubnového štěpkovacího zařízení. (Lisičan; 1996)

3.4.2.2 Skladování štěpky

Pro účel skladování slouží velká sila, nebo vybetonované (vyasfaltované) plochy, na kterých jsou volně ložené hromady štěpky. Oba dva způsoby mají pozitiva i negativa. Důležité však je, aby byla štěpka skladována v čistém prostředí, jelikož nečistoty zvyšují opotřebení řezných nástrojů (Hrázský; 2000). Další důležitou vlastností je vlhkost. Při vlhkosti štěpky pohybující se v intervalu 10 - 13% je největší řezný odpor. Se zvyšující se vlhkostí řezný odpor klesá až po bod nasycení vláken. Při přesáhnutí 30-ti % vlhkosti štěpky se řezný odpor zmenšuje zanedbatelně. Avšak jsou-li hromady štěpek převlhčené, dochází ke hnití a tím se snižuje hustota a výtěžnost dřeva (Štefka;2001).

3.4.2.3 Třídění a praní štěpky

Směs vyrobená v bubnových nebo kotoučových sekačkách se neskládá jen ze štěpek, ale i větší a menší frakce štěpky než, které jsou zapotřebí, kůry a minerální či kovové příměsi. Proto je zapotřebí tyto nežádoucí částice a frakce dřevní hmoty odstranit. (Štefka; 2001)

Nevhodné frakce štěpky se vytrídí na rovinných vibračních síťových třídících, kde se od sebe oddělují různé frakce. Štěpka, která slouží pro výrobu dřevního vlákna, by se měla blížit rozměrů okolo 20 x 20 x 5 milimetrů. Kovové částice jsou pak odstraňovány pomocí permanentních elektromagnetů. (Nutsch; 2003)

Nejdůležitější separace všech nežádoucích příměsí je praní štěpky, které je prováděno ve speciálních pračkách, kde ostatní látky těžší než dřevní hmota klesají ke dnu. V další části čištění je štěpka ostříkována proudem vody, která vyplavuje minerální příměsi a kůru. Hlavním pozitivem praní štěpek je zvyšování životnosti zařízení, které dále štěpku zpracovávají. Například životnost mlecích segmentů defibrátoru se zvýší ze 400 hodin až na 2000 hodin. (Hrázský;2000)

3.4.2.4 Výroba vlákna

Výroba vlákna probíhá na principu rozvlákňování, neboli dezintegrace, dřevní hmoty, štěpky nebo ostatních lignocelulóзовých materiálů na svazky, nebo na jednotlivá vlákna. Podmínkou je však zachování celistvosti vláken. (Hrázský; 2000)

Nutsch (2003) ve své knize uvádí, že se štěpky na rozvlákňovací proces předpřipravují ve vařáku, kde jsou změkčovány pod tlakem páry 7 až 8 barů, při teplotě v intervalu (140 - 160°C). Takto předpřipravená surovina je dále rozvlákňována v rafinátoru pod tlakem páry na jemná vlákna. Rafinátor funguje na principu mletí pomocí mlecích kotoučů od sebe navzájem vzdálených na délku menší než 0,1 milimetrů.

Mezi nejrozšířenější metodu rozvlákňování v Evropě patří termomechanický způsob. Nejvíce ho reprezentují rozvlákňovací zařízení DEFIBRÁTOR (podle výrobce Sunds Defibrator). Toto zařízení ve své lince používá i dřevozpracující družstvo Lukavec.

3.4.2.5 Defibrátor

Defibrátor je zařízení na výrobu dřevního vlákna termomechanickým způsobem. To znamená, že se štěpky současně propařují a rozvlákňují při teplotě 170-185°C. Pracovní mechanismus se skládá ze dvou kotoučů obvykle o průměru 800 milimetrů. Jeden z kotoučů je pevně uchycen a druhý rotuje. Mlecí kotouče mohou být vybaveny frézovaným nebo litým rýhováním. Frézované kotouče lze 2-5 krát přebrousit, nýbrž jsou dražší a výměna zabere více času. To jsou hlavní dva argumenty objasňující skutečnost, proč se příliš nepoužívají. Životnost litých kotoučů bývá v rozmezí mezi 800 až 2000 hodin, ojediněle však až 5000 hodin. Podle zvoleného tvaru, rozestupu a uspořádání drážek lze regulovat například jakost vlákna. Vzájemný rozstup kotoučů lze regulovat. Důležité je však to, že získaná struktura vláken v rozvlákněné hmotě zůstává celá a neporušená. Pro výrobu jedné tuny rozvlákněné hmoty je zapotřebí 200-250 kWh při ztrátě dřeva cca 10%. (Lisičan; 1996)

3.4.2.6 Přídavek pojiva

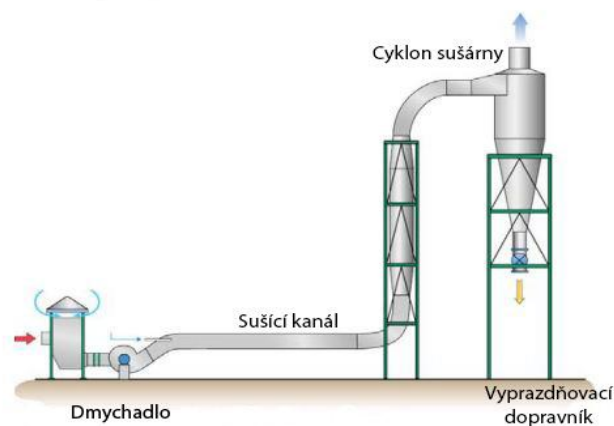
Vlákna sami o sobě nemají dostatečnou pojící schopnost a proto je zapotřebí použít pojiva. V moderních linkách se pojivo přidává k rozvlákněné hmotě v potrubí spojující rozvlákňovací zařízení se sušárnou (Hrázský; 2000). To znamená, že se lepidlo dávkuje ještě na vlhká vlákna a až poté dochází k sušení. Při nanášení lepidla se na vláknech nevytvoří souvislý povlak lepící směsi, ale povlak je jen částečný. Lepidlové spojení je tedy ve

skutečnosti bodové (Eisner; 1978). Poměr lepidla ku absolutně suchým dřevním vláknům je závislí na konkrétním druhu lepidla, avšak v průměru se pohybuje kolem 14% (Štefka; 2001). Hrázský (2000) uvádí že, poměr pryskyřice u MDF desky u fenolformaldehydové pryskyřice od 6% do 8% a u močovinoformaldehydové pryskyřice v intervalu od 8 do 10 % lepidla na absolutně suché vlákno.

Složení lepící směsi je různé. K UF, PF a MF pryskyřici se do lepící směsi přidávají i tvrdidla a hydrofobizační složka. Velký důraz se také klade na množství emisí formaldehydu a to především pro jeho nepříznivý vliv na lidský organismus (Hrázský; 2000). Formaldehyd (neboli CH₂-O) je totiž chemická látka, která je řazena kvůli svému charakteru mezi velmi těkavé organické látky (tedy VVOC) (Vaverka;2008). Jeho škodlivost tkví ve vyšší dlouhodobé koncentraci, která způsobuje vývoj astmatu či jiných dýchacích potíží. U citlivějšího lidského organismu může dojít až k rakovině dýchacích cest (Houška; 2013). Proto je snahou výrobců co nejvíce tento jev, tedy uvolňování formaldehydu do ovzduší, omezit. Například DDL Lukavec sleduje obsah formaldehydu velmi pečlivě a i díky tomu zde vyrobené MDF desky spadají do emisní třídy E1 (DDL Lukavec; 2013). Tzn., že množství emisí formaldehydu je menší než 0,1 ppm* (GermanTimber; 2006) o čemž informuje i certifikát od institutu Otto Graf.

3.4.2.7 Sušení vlákna

Vlákno, nebo celé svazky vláken, jsou specifické velkým měrným objemem a tendencí zplstňovat, nebo vytvářet shluky a usazeniny. S těmito vlastnostmi se musí při volbě sušící technologie počítat. Tyto požadavky nejvíce splňují proudové sušárny, ve kterých se vlákna suší ve vznosu navzájem od sebe oddělené. Výhodné jsou i nižší sušící teploty, tedy pod 160°C (Gran; 1987).



Obr.č. 4:Schéma proudové sušárny (Sunds MDF Dryer; 2010)

* ppm- částic na milion.

Proudová sušárna (obr.č.4) je složena z dmyhadla, parního potrubí, sušícího kanálu, cyklonu sušárny a z vyprazdňovacího dopravníku. Dmyhadlo žene do soustavy suchý horký vzduch, který se postupně sytí vlhkostí a odebírá jí tak ze směsi vláken. Vláknata jsou vzduchem nesena sušícím potrubím až k cyklonu, kde se oddělují od přehřáté páry. Zde jsou vlákna již vysušena na požadovanou vlhkost a putují přes vyprazdňovací dopravník k vrstvicímu zařízení. Pára je převáděna k parnímu rozdělovači a může být dále využívána. (*Europäisches Patentamt; 2009*)

První ztráta vlhkosti probíhá již při dopravě vlákna do cyklonů. Tato ztráta vlhkosti je způsobena prostřednictvím přepravního média, tedy horkým vzduchem. Tímto způsobem se sníží vlhkost z počátečních 100% na cca 40% (*Lampert; 1967*). Vlhkost vláken při výstupu ze sušárny se pak pohybuje v intervalu od 5 do 10% (*Štefka; 2001*). Vyhřívání sušárny může být uskutečněno pomocí spalín zemního plynu, dřevního prachu nebo párou (*Hrázský; 2000*). Po vysušení vlákna putuje do zásobníků vlákna a poté do vrstvicího zařízení.

3.4.2.8 Vrstvení a lisování vláknitého koberce

Vrstvení vysušeného vlákna je jedno z nejdůležitějších výrobních operací, kterou je zapotřebí provést naprosto precizně. Důležitost tkví nejenom v plošném rozložení materiálu, ale také ve vlivu na mechanické a fyzikální vlastnosti. Je více druhů zařízení, která se k tomuto účelu využívají. Mezi ně patří mechanické a pneumatické vrstvičky, nebo zařízení pro vrstvení výkyvnou tryskou. *Nutsch (2003)* uvádí, že pro získání 16 milimetrů tlusté MDF je zapotřebí 800 milimetrů silný vláknitý koberec.

Po navrstvení koberce putují vlákna k lisovacímu zařízení. To se skládá z předlisu a válcového lisu. V předlisu, jak název napovídá, se vláknitý koberec předlisuje, tzn. ne na konečnou tloušťku. Po předlisování následuje konečné lisování. Předlisovaný soubor vláken se následně protahuje pomocí kovových transportních pásů kontinuálně skrz válcový lis. Lisování zde probíhá při teplotách okolo 230°C na konečnou tloušťku s přesností $\pm 0,2$ mm (*Nutsch; 2003*). Princip výroby vychází z poznání papírenského průmyslu, konkrétně z lisování papírových rolí. Liší se však rychlostí výroby, která jen ojediněle překračuje rychlost 1,5- 15 metrů za minutu. (*Kollman; 1975*)

Výstupem z válcového lisu je z boku neoformátovaná "nekonečná" deska, která se po lisování musí nejprve příčně formátovat a následně podélně omítnout.

3.4.2.9 Dokončování MDF desek

Středně tvrdé dřevovláknité desky se nejprve ochlazují a kondicionují. Díky těmto procesům se sníží a vyrovná teplota v celém průřezu desky. Současně se vyrovnává vlhkost. Doporučuje se, aby teplota desek před skladováním klesla alespoň na 70°C. (*Štefka; 2001*)

Následují operace formátování a omítání, které jsou určující pro výsledný rozměr desky. Omítání může následovat ihned po lisování. Omítání je operace, při které se odstraňují boky materiálu, a tím se deska upraví na optimální šířku. Boky se odstraňují kvůli nedokonalostem v jejich struktuře (*Detvaj; 2009*). Současně s omítáním se vylisovaný formát desky, dělí na základní formát.

3.5 Modifikace zkušebních těles

Před tím, než bude v této kapitole zmíněno téma modifikace, je zapotřebí vysvětlit pojem "česká státní norma" (dále ČSN). ČSN je dokumentovaná dohoda, která poskytuje pravidla, směrnice, pokyny nebo například charakteristiky výsledků. Zajišťuje, aby materiály, výrobky, nebo třeba výrobní postupy vyhovovaly danému účelu. Dnes se oproti minulosti jejich forma omezila pouze na funkci doporučující, ne na příkazovou. To znamená, že jejich používání je zcela dobrovolné. Pouze vybrané normy nebo jejich pasáže jsou závazné. Tvorba a vydávání ČSN v současnosti zajišťuje Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. (*Český normalizační institut; 2012*)

V současnosti přechází systém českých norem (ČSN) na systém obvyklý v zemích Evropské unie. Tento proces se nazývá harmonizace českých norem. Harmonizované normy se značí ČSN EN. To jsou v dnešní době nejrozsáhlejší úpravy. Harmonizované normy jsou nezbytnou podmínkou pro volný oběh zboží a služeb na území Evropské unie. (*Zimová; 1999*)

Mimo harmonizačních úprav norem je občas zapotřebí modifikovat i normou dané postupy v oblasti materiálového testování. Jako příklad lze uvést experiment fakulty elektrotechnické v Plzni, jenž spočíval v provedení mechanické zkoušky pro zachycení tepelného stárnutí. Zde byl postup zkoušky proveden zcela v souladu s platnými normami, až na pár drobných modifikací týkajících se rozměrů zkušebních vzorků a vzájemné vzdálenosti podpěr trhačích zkušebního stroje. (*Boček V., Matějka F.; 2014*)

Ta samá situace, tj. změna rozměrů zkušebních těles a tomu podřízená úprava rozestupu podpěr zkušebního zařízení, nastává v případě této diplomové práce.

3.6 Určování vlastností desek

Určování fyzikálních a mechanických vlastností desek z aglomerovaných materiálů má význam, jak v průběhu výroby, tak i při závěrečném testování. A to i přesto, že jsou tyto materiály podstatně homogennější než rostlé dřevo.

První případ určování vlastností, tedy v průběhu výroby, se provádí, aby se zamezilo vzniku více či méně velkým odchylkám. Díky téměř totožnému charakteru výchozích materiálů lze bez problémů provádět plynulé zpracování a výroba se nemusí přizpůsobovat proměnlivým vlastnostem. Závěrečné testování slouží k získání informací, které jsou určující nejen pro výrobce ale i kupce. Naměřené hodnoty totiž umožňují vyhodnocení výrobního procesu a určení konkurenčních výhod výrobku. Říkají tedy, proč by si kupující měl vybrat právě tento materiál. (*Čížek; 1985*)

Vlastnosti deskových materiálů se měří a udávají v technických jednotkách, přičemž je pečlivě dodržován postup a způsob uspořádání zkoušek, jimiž se vlastnosti zjišťují (*Čížek; 1985*). A právě díky jednotnému způsobu provádění zkoušek u jednotlivých materiálů, je možné jejich vzájemné porovnání. Jednotný postup zkoušek je udán v příslušných technických normách, které vydává Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Cílem této práce je zjistit, zda je možné při zkoušce modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu použít zkušební vzorky s menšími rozměry a zda poskytnou výsledky korespondující s normovanými vzorky. Zkouška se bude striktně řídit podle normy ČSN EN 310. Snahou je dokázat, zda je možné tato zmenšená tělíska při zkoušce používat a o kolik lze rozměry zredukovat. Zmenšená zkušební tělíska by se používala pouze k testování v průběhu výroby a díky tomu by došlo k úspoře materiálu během výrobního procesu.

3.7 Postup zkoušky

V této kapitole je uveden postup zkoušky, dle příslušných norem ČSN, zejména ČSN EN 310 (Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu). Zkouška se skládá z následujících kroků:

- Odběr vzorků (podle ČSN EN 326-1)
- Ustálení vlhkosti vzorků
- Provedení měření (podle ČSN EN 310)
- Vyjádření výsledků (podle ČSN EN 310)
- Zhotovení protokolu o zkoušce (podle ČSN EN 326-1)

Níže následuje popis jednotlivých kroků zkoušky.

3.7.1 Odběr zkušebních těles

Pro zajištění jednotného postupu zkoušek je důležité respektovat postup odebrání zkušebních těles přesně podle normy ČSN EN 326-1.

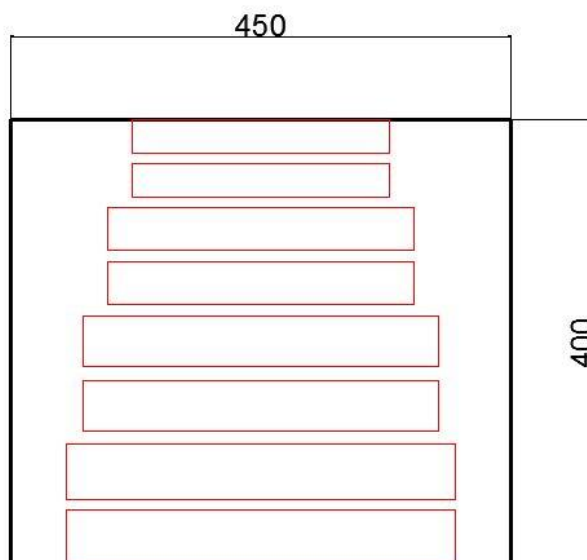
Další problematikou je proměnlivosti fyzikálních vlastností jednotlivých desek. Z tohoto důvodu je třeba otestovat větší množství desek daného materiálu. Jedině tak budou výsledky zkoušky akceptovatelné. O počtu zkušebních desek pojednává norma ČSN EN 326-2. (ČSN EN 326-2, 2011)

Při odběru těles z jednotlivých desek, je třeba přihlédnout ke skutečnosti, že je možný výskyt lokálních proměnlivostí vlastností desky. V normě ČSN EN 326-1 je určen minimální počet zkušebních těles z každé desky (tab.č.2).

Vlastnosti desek	EN	Počet těles
Vlhkost	EN 322	4
Změna rozměrů	EN 318	
Hustota	EN 323	6
Modul pružnosti a pevnost v ohybu	EN 310	
Rozlupčivost	EN 319	8
Bobtnání ve vodě	EN 317	
Přidržnost povrchu	EN 311	
Kvalita lepení překližovaných desek	EN 314-2	10

Tab.č. 2: Minimální počet *m* malých zkušebních tělísek z každé desky (ČSN EN 326-1)

Různé hodnoty může deska vykazovat i v závislosti na dvou hlavních směrech pořízení vzorku. Odběr vzorků se tedy uskutečňuje jak ve směru výroby, tak i ve směru kolmém na směr výroby (Čížek; 1985). V normě ČSN EN 326-1 je znázorněno pořezové schéma desky, které slouží jen jako ukázka (obr.č.5). Nejméně jedno zkušební těleso z každé desky musí přiléhat k boku oformátované desky, tzn. po odstranění profilu hrany nebo povrchové úpravy.



Obr.č. 5: Příklad pořezového schématu. (Zdroj vlastní; 2014)

Norma (ČSN EN 326-1; 1997) také doporučuje, všechna zkušební tělesa odebraná z jedné desky na stejné ploše označit:

- značkou zkoušené desky;
- pořadovým číslem zkušebního tělesa;
- a pokud je to možné, označit směr výroby a horní či dolní plochu desky.

Jak již bylo zmíněno, zkušební vzorky jsou zhotovovány v normou daných rozměrech a počtu. Stanovení modulu pružnosti a pevnosti v ohybu desek ze dřeva se pak řídí normou ČSN EN 310. V této normě jsou rozměry stanoveny následovně:

- Šířka b tělesa musí být 50 ± 1 milimetr.
- Délka musí být 20ti násobkem jmenovité tloušťky plus 50 milimetrů, s největší délkou 1050 milimetrů a minimální délkou 150 milimetrů. Jestliže je průhyb zkušebního tělesa veliký, ale nenastane zlom, musí být pro měření pevnosti v ohybu vzdálenost mezi podpěrami redukována. Ve zkušebním protokolu musí být uvedena vzdálenost mezi

podpěrami, na kterých byla neúspěšná zkouška provedena. Aby mohl být tento postup přijat, je nutné použít novou sadu zkušebních těles.

- *Jednou z podmínek je pravouhlost zkušebních těles. (ČSN EN 310; 1995)*

3.7.2 Ustálení vlhkosti vzorků

K fázi klimatizování vzorků je možné přistoupit až v momentě, kdy jsou zkušební tělesa zhotovena. Vlastnosti dřevěných materiálů se působením vlhkosti prokazatelně mění, proto norma ČSN EN 310 uvádí podmínky prostředí, ve kterém se tělesa klimatizují, včetně délky tohoto procesu.

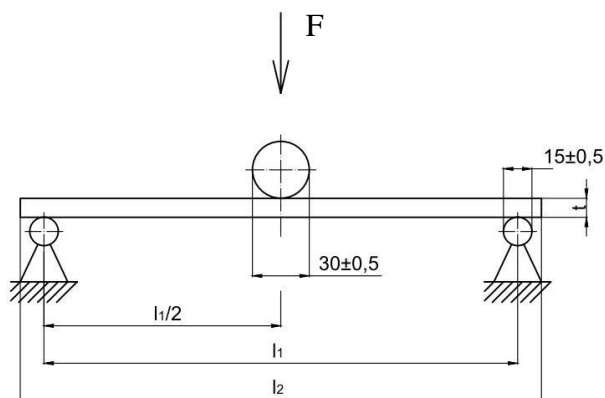
Norma uvádí: Zkušební tělesa musí být klimatizována do konstantní hmotnosti v prostředí s relativní vlhkostí vzduchu (65 ±5)% a teplotou (20 ±2) °C. Za konstantní hmotnost se považuje, jestliže výsledek dvou po sobě následujících vážení vykonaných v intervalu 24 hodin, se neliší více než o 0,1 % hmotnosti zkušebního tělesa. (ČSN EN 310; 1995)

Díky klimatizování se zabrání následujícím změnám, které probíhají vlivem vlhkosti dřevěného deskového materiálu nad 15 %. Velmi se zhoršuje většina mechanických i izolačních vlastností, zvětšuje se hmotnost a u některých deskových materiálů se podstatně zhoršuje vzhled. Některé vlastnosti však zůstávají stejné, ba dokonce se zlepšují. Jedná se o rázovou pevnost a ohybatelnost. Pozitivní vliv vlhkosti je samozřejmý u měření hořlavosti, která, stejně jako zvuková odrazivost, s rostoucí vlhkostí klesá. Velkou nepříjemností způsobenou vlhkostí jsou i trvalé deformace způsobené nepravidelným navlhnutím nebo vysycháním desek. (Čížek; 1985)

3.7.3 Postup provedení měření

Podstatou zkoušky je zjištění maximálního zatížení, tedy meze pevnosti, při porušení zkušebního tělesa a průběh deformační křivky tzv. pracovního diagramu. Tyto výstupy jsou zapotřebí pro stanovení pevnosti v ohybu a modulu pružnosti v ohybu. Postup zkoušky vychází přesně z normy ČSN EN 310, kde je i takto uveden.

Nejdříve je zapotřebí změřit šířku a tloušťku každého zkušebního tělesa. Tloušťka tělesa se měří v bodě průsečíků úhlopříček, zatímco šířka tělesa v polovině délky. Na trhačím stroji se nastaví vzdálenost mezi středy podpěr s přesností na 1 milimetr. Vzdálenost podpěr vychází z délky zkušebních těles. (ČSN EN 310; 1995)



Obr.č. 6: *Uspořádání ohybové zkoušky (ČSN EN 310; 1995)*

Nejmenší vzdálenost podpěr však nesmí být menší jak 100 milimetrů a větší jak 1000 milimetrů. Vzdálenost podpěr se změří a zaokrouhlí se na 0,5 milimetru. (ČSN EN 310; 1995)

Následně se zkušební tělesa položí naplocho na podpěry. Podélná osa musí být v pravém úhlu k podpěrám a se středem zkušebního tělesa přesně pod zatěžovací hlavou. Je-li tomu tak, je možné začít se zatěžováním.

Zatížení musí být provedeno v celém průběhu zkoušky konstantní rychlostí posuvu s dobou trvání v intervalu 60 ± 30 sekund. Při zatěžování se měří průhyb uprostřed zkušebního tělesa s přesností na 0,1 milimetru. Naměřené hodnoty se zakreslí do grafu s odpovídajícím zatížením naměřeným s přesností na 1% z naměřené hodnoty. Na konec se zaznamená maximální zatížení (mez pevnosti) s přesností na 1% z naměřené hodnoty. (ČSN EN 310; 1995)

3.7.4 Vyjádření výsledků

Postup vyjádření výsledků je stanovený v normě ČSN EN 310, která udává:

- Modul pružnosti E_m je vyjádřen vzorcem:

$$E_m = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4bt^3 (a_2 - a_1)} \quad (\text{N/mm}^2)$$

kde:

l_1 ... vzdálenost mezi středy podpěr (mm)

b ... šířka zkušební vzorku (mm)

t ... tloušťka zkušební vzorku (mm)

$F_2 - F_1$... přírůstek zatížení v lineární části zatěžovací křivky (N) (obr.č.7)

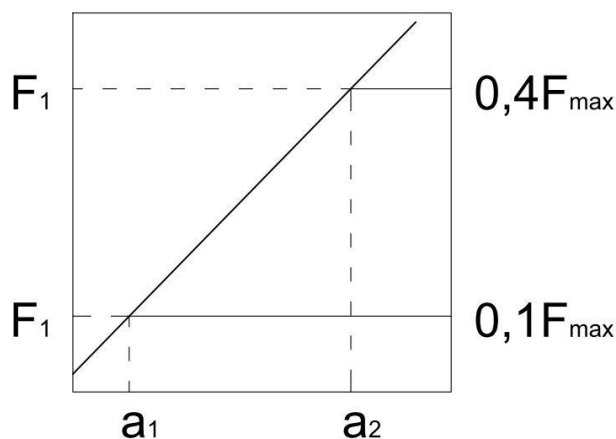
F_1 ... cca 10% z maximálního zatížení (N)

F_2 ... cca 40% z maximálního zatížení (N)

$a_2 - a_1$... přírůstek průhybu zkušební tělesa v jeho středu (mm)

a_1 ... průhyb při 10% zatížení (mm)

a_2 ... průhyb při 40% zatížení (mm)



Obr.č. 7: Přírůstek zatížení v lineární části zatěžovací křivky (ČSN EN 310; 1995)

- Pevnost v ohybu je vyjádřena vzorcem:

$$f_m = \frac{3F_{max}l_1}{2bt^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

kde:

F_{max} ... maximální zatížení "mez pevnosti" (N)

l_1 ... vzdálenost mezi středy podpěr (mm)

b ... šířka zkušební vzorku (mm)

t ... tloušťka zkušební vzorku (mm)

Modul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu se stanovuje pro každé zkušební těleso zvlášť s přesností na tři desetinná místa. Výsledný modul pružnosti v ohybu nebo pevnosti v ohybu je aritmetický průměr modulů pružnosti v ohybu nebo pevností v ohybu všech zkušebních těles. (ČSN EN 310; 1995)

Veškeré naměřené hodnoty, vypočtené výsledky a informace o odběru zkušebních těles jsou zaznamenány v takzvaných protokolech o zkoušce. Tyto protokoly jsou přiloženy v přílohové části této práce.

3.7.5 Zhotovení protokolu o zkoušce

V protokolu o zkoušce jsou uvedeny veškeré důležité informace, které slouží k ověření správnosti provedení zkoušky a dodržení veškerých dalších náležitostí, jež jsou dány požadavky uvedenými v příslušných normách. Protokol musí obsahovat informace o odběru vzorků a vyjádření výsledků zkoušky.

8 Protokol o zkoušce

8.1 Předepsané informace

Protokol o odběru vzorků, nařezávání zkušebních těles a vyjádření výsledků zkoušky musí obsahovat:

8.1.1 Název zkušební laboratoře

8.1.2 Popis kontrolované dávky

8.1.2.1 Jméno dodavatele (nebo jeho zástupce)

8.1.2.2 Místo a datum odběru vzorků a osoby přítomné u odběru

8.1.2.3 Všeobecný stav kontrolované dávky

8.1.2.4 Typ, druh a jakostní označení desek podle specifikace příslušné EN

8.1.2.5 Hustota podle EN 323

8.1.2.6 Vlhkost v čase zkoušky podle EN 322

8.1.2.7 Jmenovité rozměry desek

8.1.2.8 Rozsah kontrolované dávky

8.1.3 Popis výběru

8.1.3.1 Rozsah výběru

- počet desek n

- počet zkušebních těles z každé desky a pro každou skupinu zkušebních těles

8.1.3.2 Kopie použitého nařezávacího plánu

8.1.4 Výsledky zkoušky pro každou vlastnost zkoušenou podle příslušné EN

8.1.4.1 Průměr každé desky \bar{x}_i

8.1.4.2 Celkový průměr $\bar{\bar{x}}$

8.1.4.3 Průměrná směrodatná odchylka uvnitř desek \bar{s}_i

8.1.4.4 Směrodatná odchylka mezi deskovými průměry s_i

8.1.5 Každá odchylka od této EN a od příslušné zkušební normy a každá informace, která by mohla mít pro zkoušku význam

8.2 Doplnkové informace

Protokol o zkoušce může obsahovat následující doplňkové informace:

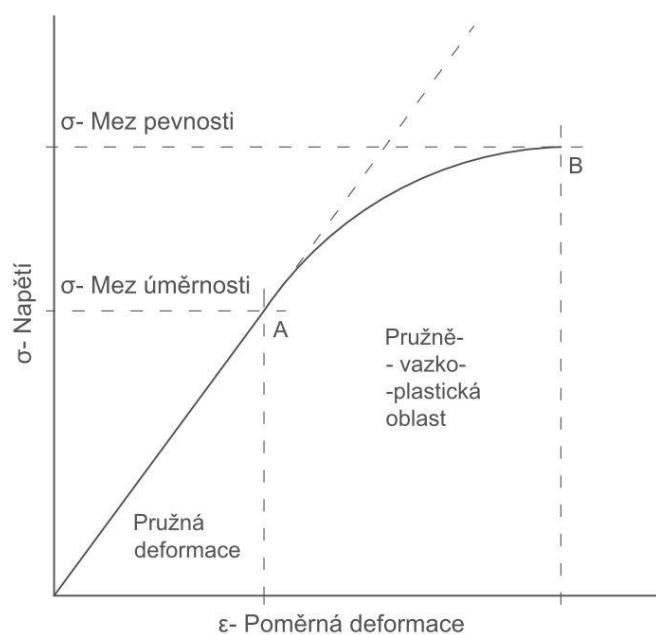
8.2.1 Doplňkový popis kontrolované dávky, data výroby desek, pokud jsou známa.

Obr.č. 8: Předepsané informace v protokolu o zkoušce (ČSN EN 326-1; 1997)

3.8 Výstupy z měření

3.8.1 Pracovní diagram

Na zkušebním (trhacím) stroji, kde je současně měřena deformace a velikost působícího silového zatížení, lze charakterizovat průběh křivky, kterou nazýváme pracovní diagram. Tato empirická křivka slouží mimo jiné i na určení velikosti modulu pružnosti. Na následujícím grafu (obr.č.9) je znázorněn obecný tvar pracovního diagramu. (Gandelová; 2002)



Obr.č. 9: Pracovní diagram pro dřevo (Matovič;1993)

Z grafu vyplývá, že je možné deformaci rozdělit na dva úseky. První úsek má lineární charakter až po mez úměrnosti σ_u . Mez úměrnosti je definována jako napětí, do kterého v tělese vznikají pouze pružné deformace. Pružná deformace je taková, navrátí-li se těleso do stavu shodného se stavem před účinkem napětí. Druhý úsek začínající v bodě meze úměrnosti a končící mezí pevnosti se liší plastičností vzniklých deformací. Čím větší je napětí nad mezí úměrnosti, tím větší deformace vznikají. Avšak napětí v tomto úseku již nemá lineární průběh, ale deformační čára nabývá charakteru křivky. Když působící napětí přesáhne mez pevnosti, dochází k porušení tělesa. (Gandelová; 2002)

3.8.2 Modul pružnosti v ohybu

Modul pružnosti vyjadřuje vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci. Čím větší modul pružnosti materiál vykazuje, tím větší napětí je zapotřebí vyvinout na vyvolání deformací. Rozlišujeme takzvané Youngovy moduly pružnosti a smykové moduly. Modul pružnosti v ohybu, se stejně jako tah a tlak, řadí mezi Youngovy moduly. Mezi smykové moduly se zařazuje smyk a krut. Významem těchto modulů pružnosti je využití při statických výpočtech, tudíž jsou to významné materiálové konstanty. (Gandelová; 2002)

Modul pružnosti ve statickém ohybu

V ohybu se udává pouze modul pružnosti kolmo na vlákna a zkouší se prakticky jen v tangenciálním směru. Zjišťování modulu pružnosti v ohybu je založeno na principu normálového namáhání zkušební tělesa. Při normálovém namáhání těles je konkávní strana namáhána na tlak a strana konvexní na tah. Neutrální osa přibližně uprostřed tělesa je nezatížena. (Gandelová; 2002)

3.8.3 Pevnost v ohybu

Pevnost v ohybu je jednou z nejcharakterističtějších vlastností deskového materiálu a lze podle ní velmi dobře posuzovat použitelnost daného materiálu (Čížek; 1985). Pevnost dřeva vyjadřuje odpor (odolnost) dřeva proti jeho trvalému porušení. Vyjadřuje se napětím, při kterém se poruší soudržnost tělesa. Při zatížení zkušební tělesa, které je umístěno na dvou podpěrách, silou působící v jeho středu vzniká v jeho horní části tlakové a v dolní části tahové napětí (Gandelová; 2002). K porušení MDF vzorků dochází výhradně v tahové, tedy spodní, zóně, jak je patrné na obrázku (obr.č.10). Z toho vyplývá že tlaková pevnost tohoto materiálu je větší než tahová. Průběh napětí lze vyjádřit pomocí pracovního diagramu. Při výpočtu napětí v ohybu se předpokládá lineární průběh napětí až po mez pevnosti (Požgaj; 1997)



Obr.č. 10: Zkušební vzorek po provedení zkoušky. (Zdroj vlastní; 2014)

3.9 Přístroje a pomůcky

Při ohybových zkouškách byly využity následující přístroje a měřicí pomůcky:

- analytická váha
- posuvné měřítko
- zkušební trhací stroj
- zkušební software.

Nejdříve byla využita analytická váha a to ve fázi klimatizování. K tomuto účelu byla využita váha značky Sartorius BP 3100 S. Váha disponuje snadno čitelným displejem o výšce 16,5 mm. Výhodou je interní kalibrace a další programy jako vážení v %, nebo komunikační rozhraní. (*Sartalex; 2014*)



Obr.č. 11: Analytická váha Sartorius (*Sartalex; 2014*)

Mezi další pomůcky, které byly zapotřebí pro provedení zkoušky, patří posuvné měřítko a zkušební stroj se speciálním softwarem.

Posuvné měřítko neboli šuplera, se používá pro přesnější měření těles s menšími rozměry. Dříve se využívalo mechanické posuvné měřítko s posuvným noniem. Dnes jsou však běžnější a hlavně praktičtější digitální měřítka, která šetří čas při odečítání hodnot. Posuvným měřítkem lze měřit vnější rozměry, vnitřní rozměry a hloubka s přesností na setiny milimetru. (*UTB; 2010*)



Obr.č. 12: Používané posuvné měřítko Mitutoyo (Mitutoyo; 2014)

Zkušební trhací stroj je nepostradatelné zařízení ve zkušebnách a laboratořích při kontrole kvality výrobků. Skládá se z pevného stolu, stojanu a pohyblivého příčnicku, který je elektromechanicky ovládán. Trhací stoje se od sebe vzájemně liší velikostí síly, kterou jsou schopné vyvinout. Zkušební stroj je napojen na počítačovou stanici, kterou je i kompletně ovládán. Trhací zkušební stroje umožňují provádět testování materiálu v tahu, tlaku, krutu, odtrhu a v ohybu (*Labortech; 2013*). Právě testováním v ohybu se zabývá tato práce.

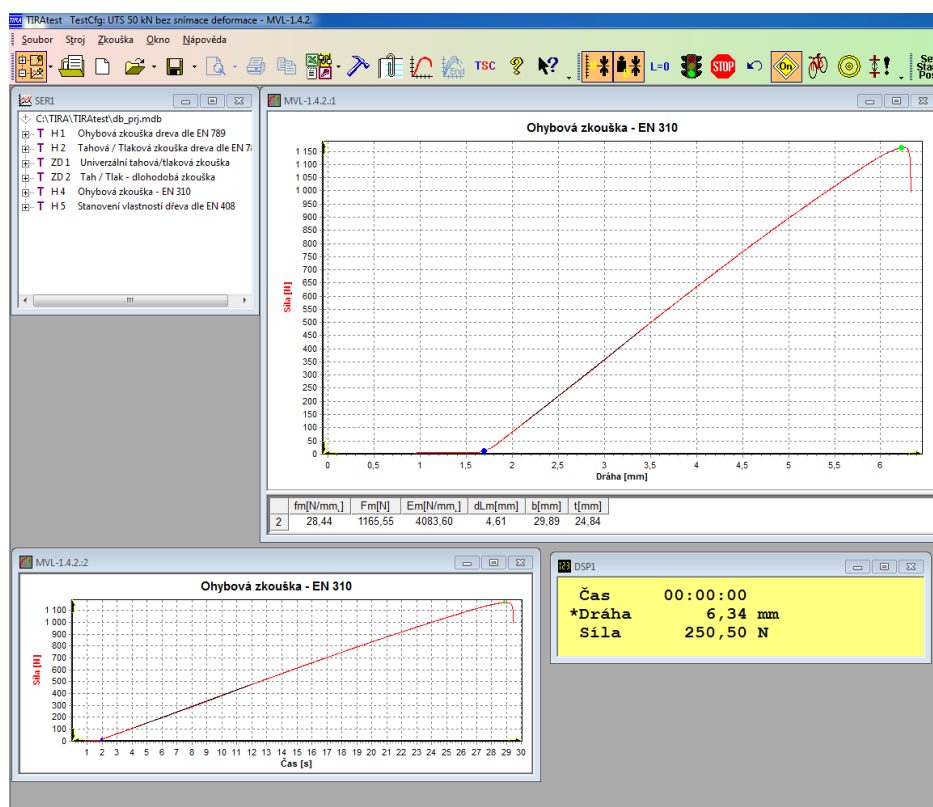


Obr.č. 13: Zkušební trhací stroj UTS 50. (Zdroj vlastní; 2014)

Další velmi důležitou součástí provedení zkoušky je software ovládající trhačí zkušební stroj. Díky softwaru je možné nejenom stroj řídit, ale i zaznamenávat různé mechanické a fyzikální hodnoty materiálu.

Většina zkušebních software programů je kompatibilní s operačním systémem Microsoft Windows, proto je lze bez problémů nainstalovat na jakoukoliv počítačovou stanici disponující zmíněným operačním systémem. (TIRA; 2013)

Rozhraní zkušebního programu je uživatelsky velice přívětivé. Veškeré číselné výsledky experimentů jsou přehledně uvedeny ve formě tabulek nebo grafů. V horní části grafického rozhraní se nachází panel nástrojů, díky kterému jsou funkce softwaru snadno přístupné. V programu je možné nastavit velmi mnoho různých parametrů jako rozměry zkušebních vzorků, jejich hmotnost, rychlost posuvu příčnicku atp. Díky tomu jsou výsledky zkoušek velice přesné. (Roček; 2010)



Obr.č. 14: Rozhraní zkušebního programu TIRA. (Zdroj vlastní; 2014)

4 Metodika

Prvním úkolem, který musel být splněn, bylo zajištění co největšího množství literárních zdrojů pojednávajících o problematice zkoušení vlastností dřevěných aglomerovaných materiálů a modifikací zkušebních těles při těchto zkouškách. Velmi důležité bylo shromáždění veškerých českých technických norem, podle kterých se zkoušení vlastností materiálů provádí, jelikož jedině pečlivé dodržování postupu zkoušky, tak jak ho uvádí norma, zajistí objektivní výsledek měření a možnost srovnání naměřených hodnot s ostatními takto naměřenými hodnotami.

Po shromáždění a prostudování dostupných zdrojů byl stanoven následující postup:

- Určení rozměrů zkušebních těles- určení a odůvodnění rozměrů, podle kterých se budou zkušební vzorky zhotovovat.
- Zhotovení zkušebních vzorků a jejich značení
- Klimatizování všech zhotovených vzorků
- Měření hodnot důležitých pro provedení zkoušky
- Provedení zkoušky na zkušebním trhacím stroji UTS 50 a sběr naměřených hodnot
- Statistické vyhodnocení naměřených dat.

4.1 Určení rozměrů zkušebních vzorků

Mimo zkušebních těles zhotovených v rozměrech, které uvádí norma (viz kap. 8.1.3), je nutné vyrobit i vzorky zmenšených rozměrů. Všechny zmenšované rozměry zkušebních těles jsou uvedeny v tabulce (tab.č.3), kde jsou upraveny délkové i šířkové rozměry. Tabulka vychází z rozměru uvedeného v literatuře (Čížek; 1985), tedy 15 krát tloušťka desky zkoušeného materiálu. Vysvětlení ostatních rozměrů je uvedeno dále v této kapitole. Podle délkových rozměrů je následně přepočítán i rozměr šířkový. Zmenšení šířky je přepočteno ve stejném poměru jako zmenšení délkové.

Tloušťka desky (mm)	Délka propočet	Šířka
Podle normy	20*tl + 50 mm	50 mm
15	350	50
1. zmenšení	18*tl + 50 mm	45 mm
15	320	45
2. zmenšení	15*tl + 50 mm	37,5 mm
15	275	37,5
3. zmenšení	12*tl + 50 mm	30 mm
15	230	30

Tab.č. 3: Rozměry zkušebních těles podle normy i zmenšených

První stupeň zmenšení slouží pro případ, že se druhý a třetí stupeň zmenšení prokáže jako neuspokojiví pro použití při zkoušce. Selže-li i tento první stupeň zmenšení, jsou zmenšovaná zkušební tělesa nepoužitelná a jakékoli další zmenšování je v praxi zbytečné.

Druhý stupeň zmenšení vychází z tvrzení, že se zkušební tělesa odebírají v délce 15 - 20ti násobku tloušťky, které ve své publikaci uvádí Čížek (1985). Proto je tento rozsah zmenšení zaveden.

Třetí stupeň zmenšení, tedy na 12-ti násobek délky, slouží jako zkouška, zda i menší vzorky, než jsou uvedeny v literatuře, mají alespoň dostatečnou vypovídající hodnotu potřebnou pro úspěšné provedení zkoušky.

4.2 Výroba zkušebních vzorků

K tomu aby bylo možné vyrobit zkušební tělesa, musí být materiál pro jejich odběr. Díky firmě DDL Lukavec, která poskytla středně tvrdé dřevovláknité desky v požadovaném rozměru, tloušťce a hlavně množství, bylo možné s výrobou zkušebních vzorků bez problémů začít.

Pro výrobu zkušebních těles byla využita možnost navštěvovat školní truhlářskou dílnu, kde díky vybavenosti dřevozpracujícími stroji proběhlo zhotovení všech zkušebních těles s požadovanou přesností ± 1 milimetr. Většina obráběcích operací byla provedena na stolní kotoučové pile.

Vzhledem k proměnlivosti fyzikálních a mechanických vlastností mezi a uvnitř jednotlivých desek, musel být odběr proveden z více MDF desek. Každá z jednotlivých desek musela být nejprve ze všech čtyř stran oformátována, tedy zbavena případného profilu nebo povrchové úpravy na bocích desek. Samotný výběr zkušebních těles z desek, byl proveden zcela náhodně. Tím je zamezeno nepřesnostem výsledků vlivem proměnlivosti vlastností

uvnitř desek. Na obrázku (obr.č.5) je naznačen nářezový plán jedné z desek, kde je znázorněno rozmístění zkušebních vzorků.

Při výrobě zkušebních těles se také dbalo na další požadavky. Jedním z nich je kupříkladu vzájemná kolmost stran. Dohromady bylo zhotoveno 40 zkušebních vzorků, tedy 10 těles v každé sérii přesně tak, jak je to uvedeno v tabulce č. 3 (viz. kap. č. 11.1). Tělesa vyrobená v jednotlivých sériích byla nařezána ve směru shodném s výrobou, ale i ve směru kolmém k proudu výroby od každého po pěti kusech.



Obr.č. 15:Nařezané zkušební vzorky. (Zdroj vlastní; 2014)

Všechny vzorky byly hned po nařezání označeny číslem desky a pořadovým číslem zkušebního tělesa. Značení vzorků bylo provedeno vždy na vrchní straně desky. Díky tomu odpadl problém při zkoušení, kde by se musely vzorky testovat z obou stran.

4.3 Klimatizování

Podstatné pro klimatizování zkušebních těles je, jak je uvedeno v kapitole 8.2, ustálení vlhkosti vzorků. Zkušební vzorky byly uloženy v klimatizované místnosti déle jak dva týdny. Po uplynutí této doby bylo možné započít se zjišťováním, zda je vlhkost vzorků ustálena. Zjišťování vycházelo z dvou po sobě následujících měření hmotnosti v intervalu 24 hodin, jejichž hodnoty se od sebe nesměly lišit o více než 0,1%. Naměřené hodnoty jsou zapsány v následující tabulce (tab.č.4)

Měření	Den	Čas	Hmotnost	Rozdíl
1. měření	18. 3. 2014	11:15	193,42	0,02 %
2. měření	19. 3. 2014	11:15	193,38	

Tab.č. 4: Základní informace o měření ustálení vlhkosti zkušebních těles. (Zdroj vlastní; 2014)

Jak je znázorněno v tabulce, rozdíl hmotností dvou po sobě následujících vážení je 0,02 %. Je tedy menší, než rozdíl požadovaný normou a mohlo se uskutečnit měření a provedení zkoušky.

4.4 Měření rozměrů

Před samotným měřením fyzikálních a mechanických vlastností na zkušebním stroji, bylo nutné proměřit šířku a tloušťku každého zkušební vzorku dle normy ČSN EN 310. U každého vzorku byla zjišťována tloušťka v průsečíku úhlopříček a šířka v polovině délky tak jak je to znázorněno na obrázku (obr.č.16).



Obr.č. 16: Měřené rozměry. (Zdroj vlastní; 2014)

Naměřené délkové a šířkové rozměry jednotlivých těles byly použity při výpočtu meze pevnosti a modulu pružnosti v ohybu. V tabulce předkládané v příloze č. 1 je uveden kompletní soupis naměřených délkových i šířkových hodnot.

4.5 Zkoušení mechanických vlastností

Zkoušení mechanických vlastností zkušebních těles, bylo provedeno pomocí trhacího stroje fungujícího na elektromechanickém principu. Ovládání zkušební trhacího stroje bylo řízené pomocí počítačové pracovní stanice s nainstalovaným zkušebním softwarem.

Zkušební tělesa byla rozdělena do série podle velikosti. Dohromady tedy vzešly 4 sérií po 10 vzorcích. Každá série byla zkoušena zvlášť, aby bylo zajištěno měření mechanických vlastností zkušebních vzorků se shodnými rozměry a možnost srovnání naměřených hodnot se vzorky ostatních rozměrů. Před začátkem zkoušky bylo zapotřebí nastavit některé parametry zkušební softwaru TIRA. V programovém rozhraní bylo zadáno, o jakou zkoušku se jedná, dále nastavení požadovaných mechanických ukazatelů, které budou měřeny, rychlost posuvu

příčnicku (tzv. zkušební rychlost), výchozí pozici příčnicku a statistické ukazatele, které budou vyhodnocovány. Bez nastavení uvedených parametrů by experiment nemohl proběhnout.

Po nastavení programu bylo nutné přestavit podpěry zkušebního stroje na rozestupy, které jsou uvedeny v tabulce (tab.č.5) s přesností na 1 mm.

Tloušťka desky (mm)	Rozestup podpěr
Podle normy	
15	300
1. zmenšení	
15	270
2. zmenšení	
15	225
3. zmenšení	
15	180

Tab.č. 5: Rozestup podpěr zkoušecího mechanismu. (Zdroj vlastní; 2014)

Po nastavení rozestupů podpěr následovalo samotné zkoušení. Zkušební tělesa byla pokládána na plochu na podpěry, podélnou osou v pravém úhlu k těmto podpěrám se středem pod zatěžovací hlavou (ČSN EN 310). Z každé sady vzorků bylo na podpěry položeno 5 vzorků vrchní stranou vzhůru a 5 vzorků naopak. Tento postup sloužil k omezení nepřesností, způsobených strukturou materiálu. Ihned po uložení zkušební tělesa na podpěry byly do programu TIRA vloženy rozměry zkušební tělesa v milimetrech, tedy šířka a tloušťka zaokrouhlená na dvě desetinná místa. Tímto způsobem se odzkoušely všechny zkušební tělesa dané sady. Po odzkoušení všech vzorků sady byly získány požadovaná data, tedy mechanické i statistické hodnoty a pracovní diagramy a graf závislosti působení zatěžující síly v čase.

Po odzkoušení jedné sady byla přestavěna vzdálenost podpěr a bylo zahájeno testování zkušebních těles jiných rozměrů. Tímto způsobem byly otestovány všechny série zkušebních vzorků.



Obr.č. 17: Uspořádání ohybové zkoušky. (Zdroj vlastní; 2014)

4.6 Statistické zpracování dat

Popisná statistika se zabývá metodami sběru a zpracováním získaných hromadných údajů a jevů. Vlastní statistickou práci lze rozdělit na několik fází, které na sebe navzájem navazují. Nejdříve se přistupuje k tzv. statistickému zjišťování, to jest například sběr dat při zkoušce mechanických vlastností zkoumaného materiálu. Výsledkem bývají neuspořádané a někdy rozsáhlé podkladové materiály, které je třeba roztrždit a shrnout, neboli statisticky zpracovat. (Jindrová; 2008) Úkolem statistického zpracování naměřených hodnot bylo vyhodnotit sledované znaky statistického souboru, zkušebních těles, pokročilými statistickými metodami tak, aby bylo možné potvrdit či zamítnout předem vyslovenou hypotézu.

První operací bylo posouzení naměřených hodnot z hlediska normálního rozdělení četnosti a vyloučení extrémních hodnot. Pro hlavní posouzení naměřených mechanických a fyzikálních hodnot statistického souboru byla využita analýza rozptylů (neboli ANOVA) a regresní analýza. Testování proběhlo na hladině významnosti $\alpha = 0,05 = 5\%$.

4.6.1 Dílčí statistické ukazatele

Statistické vyhodnocování nelze provést bez základních statistických ukazatelů. Mezi ně patří průměr souboru, směrodatná odchylka, variační koeficient a rozpětí vyhodnocovaného souboru. A právě tyto pojmy se následující kapitola pokusí vysvětlit.

4.6.1.1 Průměr souboru

Je hodnota charakterizující polohu vyhodnocovaného souboru. Je určován na základě všech naměřených hodnot měřeného znaku. Je definován jako součet všech naměřených hodnot, který je vydělený rozsahem tohoto souboru (Jindrová; 2008).

4.6.1.2 Směrodatná odchylka

K definování směrodatné odchylky je nejprve zapotřebí vysvětlit jinou statistickou veličinu a tou je rozptyl. Rozptyl je základní mírou variability, měřící současně variabilitu hodnot kolem aritmetického průměru a variabilitu ve smyslu vzájemných odchylek jednotlivých hodnot znaků (Jindrová; 2008). Směrodatná odchylka je druhou odmocninou z hodnoty rozptylu a má velký význam při hodnocení souboru, při testování různých hypotéz pomocí statistických metod. (Doležal; 1973)

4.6.1.3 Variační koeficient

Je relativní mírou rozptýlení hodnot (bez ohledu na použité měrové jednotky) a stanoví se v % jakožto podíl směrodatné odchylky a průměru. Proto by variační koeficient náležel spíše k parametrům souboru než k výběrovým charakteristikám. Výsledná variabilita bývá u jednotlivých vlastností materiálů poměrně konstantní a to platí i při zjišťování mechanických a fyzikálních vlastností materiálů na bázi dřeva. (*Doležal; 1973*)

4.6.1.4 Rozpětí souboru

Nebo také variační rozpětí je nejjednodušší mírou absolutní variability. Je to rozdíl největší a nejmenší hodnoty sledovaného znaku. Udává délku intervalu, ve kterém se jednotlivé hodnoty sledovaného znaku pohybují. Nepatří mezi nejspolehlivější charakteristiky výběru, jelikož velmi závisí na extrémnosti krajních hodnot intervalu. Poskytuje jen velmi hrubý odhad variability. (*Jindrová; 2008*)

4.6.2 Normální rozdělení četnosti

Je nejvíce rozšířeným rozdělením pravděpodobnosti, které se vyskytuje v praktických aplikacích. Vzniká při sčítání velkého počtu konkrétně naměřených hodnot. Při velkém počtu naměřených hodnot získáme křivku charakteristického tvaru, tj. podobné Gaussově křivce (*Doležal; 1973*). Normalita zkoumaných dat byla vytvořena pomocí histogramů.

4.6.3 Vyloučení extrémů

Ve skupině naměřených hodnot se může stát, že některá hodnota je na první pohled velmi odlišná od ostatních. Buďto může být o mnoho větší nebo menší. V obou případech hrozí nepřípustné ovlivnění některých statistických ukazatelů jako průměru výběru nebo rozptylu. Veškeré extrémní hodnoty se projeví v bodovém diagramu. Takto odhalené extrémní hodnoty je nutné posoudit pomocí dalších testů. Vhodný test je tzv. Dixonův test nebo metoda vylučování extrémních hodnot. (*Doležal; 1973*)

Vznik extrémních hodnot může být podmíněn buď vadou materiálu, překlepem při opisování naměřených údajů, rozměrů tělesa apod. (*Drápela, Zach; 1999*)

4.6.4 Analýza rozptylu

Analýza rozptylu (anova) se v technické praxi používá buď jako samostatná technika, nebo jako postup umožňující analýzu zdrojů variability u lineárních statistických modelů (Lukášek; 2012). Anova byla použita kvůli požadovanému odhadu nejen průměru, ale i rozptylu jednotlivých průměrů (Doležal; 1973). Cílem bylo zjistit, zda existuje významný rozdíl mezi rozptyly mechanických vlastností zkušebních těles mezi sériemi a uvnitř jednotlivých sérií.

Nutností pro rozptylovou analýzu však je, aby veškeré dílčí výběry byly o stejném rozsahu. V případě, že tomu tak není se propočít výrazně komplikuje. Proto, v případě vyloučení některé z hodnot vlivem její extrémnosti, dochází k jejímu nahrazení hodnotou průměrnou (Doležal; 1973). Pro testování metodou anova je také zapotřebí splnění základních předpokladů, mezi které patří podmínka statistické nezávislosti náhodných chyb, podmínka normality rozdělení náhodných chyb a podmínka shody rozptylů náhodných chyb (Jindrová; 2008). Proto musel být proveden test normality a test homogenity rozptylů.

Postatou této metody je rozklad celého rozptylu dat na známé zdroje variability (objasněná složka) a složku neobjasněnou, o níž se předpokládá, že je náhodná. Následně se testují hypotézy o významnosti jednotlivých zdrojů variability. Postup rozptylové analýzy lze rozdělit do pěti kroků (Meloun, Militký; 2006):

- odhad parametrů základního modelu Anova
- testování jeho významnosti a konstrukce různých modelů
- vyjádření složek rozptylů a testování jejich významnosti
- ověření předpokladu normality a indikace silně vybočujících hodnot
- interpretace výsledků s ohledem na zadání dat a jejich případné úpravy.

4.6.5 Regresní analýza

Regresní analýza patří mezi nejhojněji využívané statistické metody. Využití spočívá ve schopnosti odhalit a kvantifikovat funkční vztahy mezi proměnnými. Pomocí metody nejmenších čtverců popisuje závislost jedné proměnné na druhé (jednoduchá regresní analýza), či na více proměnných (vícenásobná regresní analýza). Podstatou je stanovit nejvěrněji vystihující regresní model, tj. určit matematickou lineární nebo nelineární rovnici, která tuto závislost mezi proměnnými vysvětluje. Jako hlavní ukazatel závislosti bude

hodnocen determinanční koeficient r^2 . Determinant může nabývat hodnot v intervalu od 0 do 1, přičemž jeho hodnota po vynásobení 100 udává, z kolika procent je veličina závisle proměnná ovlivněna veličinou nezávisle proměnnou. Dalším důležitým ukazatelem je korelační koeficient neboli těsnost. Hodnota těsnosti informuje o přilehlosti hodnot k regresní přímce. (Doležal; 1973)

5 Výsledky a diskuze

Z naměřených hodnot je možné provést zhodnocení naměřených mechanických vlastností. Jako první budou zhodnocovány zkušební tělesa tloušťky 15 milimetrů. K tomuto účelu je použito celkem 40 zkušebních těles, které jsou rozdělené do čtyř sérií po 10 kusech podle odlišných délkových a šířkových rozměrů. Každá z testovaných desek je originální, tzn. má různé mechanické vlastnosti. Právě proto jsou představeny průměrné hodnoty vycházející z naměřených hodnot všech z desek. U každé ze zkoumaných vlastností je nejprve demonstrována přehledná tabulka, v níž jsou uvedeny průměrné hodnoty dané vlastnosti pro každou velikost zkušebních těles. Průměrné hodnoty jsou dále doprovázeny dílčími statistickými ukazateli, tedy rozptylem, variačním koeficientem a rozpětím. Dále jsou naměřené hodnoty posuzovány bodovým diagramem, analýzou rozptylu a regresní analýzou.

Následně budou vyzorované projevy chování zkušebních těles v závislosti na jejich rozměrech vysvětleny. Jedním z hlavních výstupů je přepočtový koeficient délky, jehož funkcí bude korekce zkreslení naměřených mechanických hodnot vlivem zkrácení zkušebních těles. Přepočtový koeficient délky je korekcí odlišností středních hodnot zkoumané mechanické vlastnosti. Tyto odlišnosti vznikají vlivem zkracování zkušebních těles, resp. zmenšování rozestupu podpěr zkušebního stroje. Korekce střední hodnoty je provedena podle následujícího předpisu:

$$X_n = k_{\text{korekce}} * X_z$$

Kde: X_n = hodnota mechanického ukazatele nezmenšovaných zkušebních těles

X_z = hodnota mechanického ukazatele zmenšovaných zkušebních těles

k_{korekce} = přepočtový koeficient délky

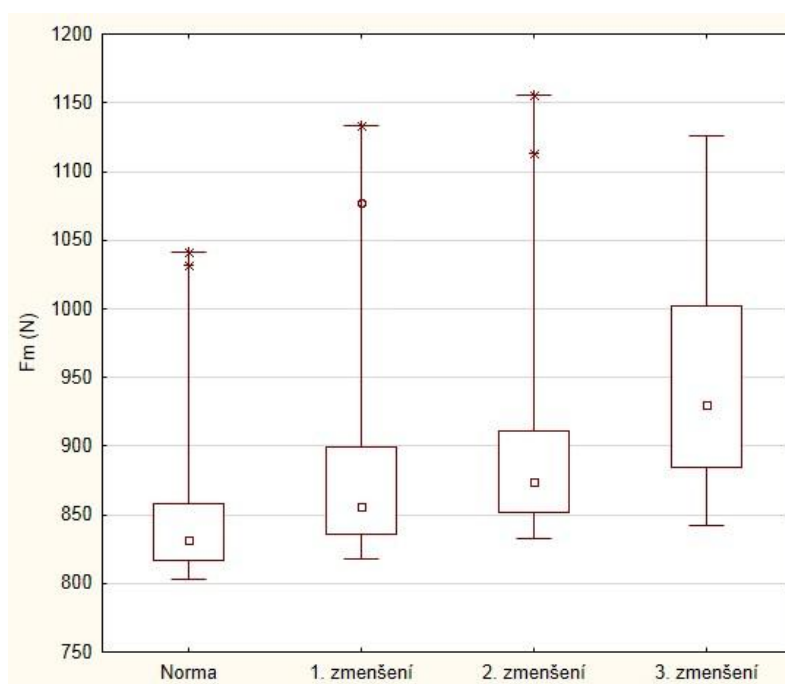
5.1 Mez pevnosti v ohybu

- Průměrná hodnota meze pevnosti v ohybu testovaných MDF desek ve formě zkušebních těles se různí v závislosti na rozměrech. Tyto průměrné hodnoty jsou zobrazeny v tabulce (tab. č. 6) včetně dílčích statistických ukazatelů.

Rozměry vzorků tl. 15 mm	Střední hodnota (N)	Směrodatná odchylka	Variační koeficient (%)	Minimum / maximum (N)
Norma	869,96	89,93	10,34	803,5/1041,8
1. zmenšení	903,04	110,24	12,21	818,05/1133,7
2. zmenšení	922,45	114,83	12,45	832,85/1155,95
3. zmenšení	951,66	91,65	9,63	842,55/1126,05

Tab.č. 6: Průměrné hodnoty a dílčí statistické ukazatele meze pevnosti v ohybu. (Zdroj vlastní; 2014)

Z tabulky je patrné, že variabilita průměrných hodnot meze pevnosti v ohybu mezi jednotlivými sériemi se pohybuje v intervalu od 869,96 do 951,66 N. Nejvyšší pevnost vykazují nejmenší zkušební tělesa a naopak. Platí tedy nepřímá úměra. To může být způsobeno zmenšujícím se vzájemným rozestupem podpěr zkušebního stroje.



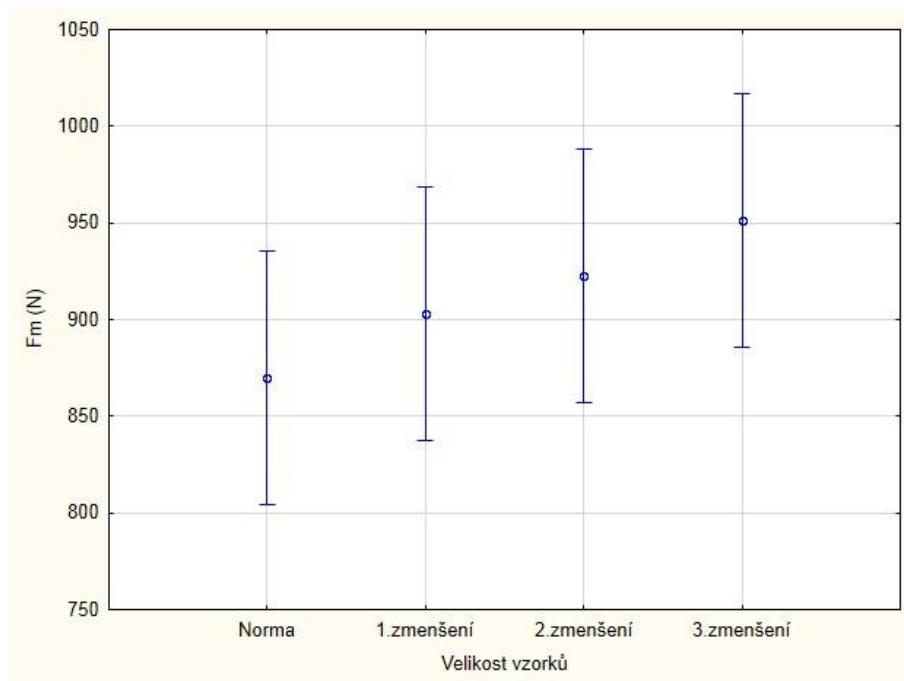
Obr.č. 18: Mez pevnosti v ohybu: Krabicový graf. (Zdroj vlastní; 2014)

Na obrázku č. 18 je znázorněn krabicový graf, na kterém jsou vyobrazeny odlehle a extrémní hodnoty. U prvních třech skupin vzorků lze vypořadovat jednu odlehlou a čtyři extrémní hodnoty. Vysvětlení je prosté. Jedna z testovaných desek se vykazuje lepšími

mechanickými vlastnostmi než ostatní. Lepší vlastnosti nemohla způsobit tělesa s výrobní chybou, nebo poškozením. Proto nemá smysl tyto hodnoty vylučovat.

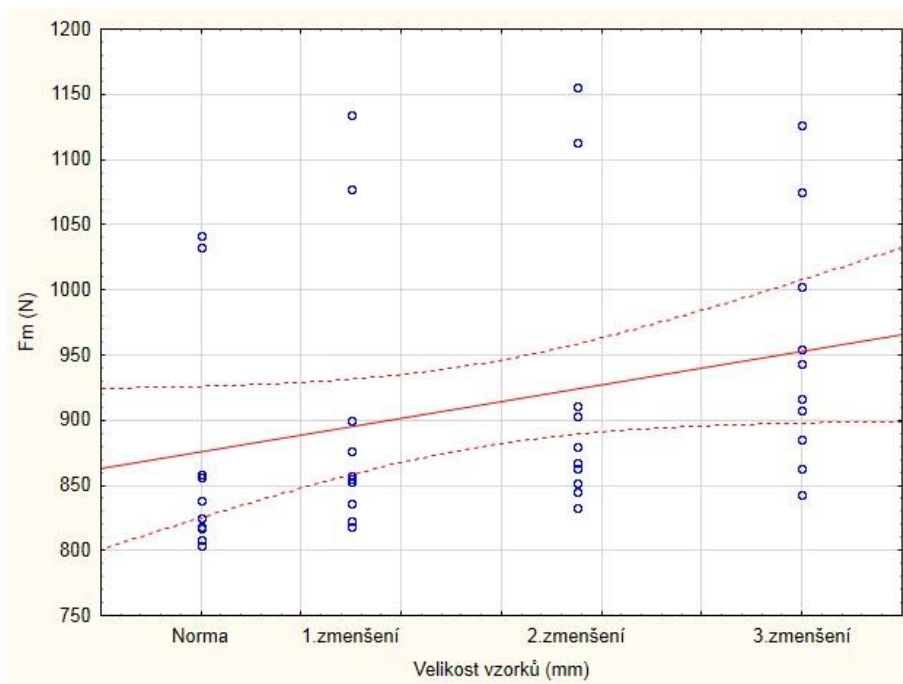
Střední hodnota meze pevnosti v ohybu se v závislosti na snižování rozměrů zkušebních těles chová následovně:

- Při přechodu z normované velikosti na velikost 1. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 3,8 % tedy z 869,96 N na 903,04 N.
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 2. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 6 %, tedy z 869,96 N na 922,45 N.
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 3. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 9,4 % tedy z 869,96 N na 951,66 N.



Obr.č. 19: Mez pevnosti v ohybu: Analýza rozptylu. (Zdroj vlastní; 2014)

Ke znázornění variability meze pevnosti v ohybu uvnitř souboru vzorků stejného rozměru slouží diagram rozptylové analýzy (obr.č.19). Analýzou rozptylu nebyla na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ prokázána statisticky významná odlišnost. Pro hodnocení byl vybrán Tukey HSD test (příloha.č.2).



Obr.č. 20: Lineární regrese: Velikost vzorku (mm);mez pevnosti v ohybu (F_m): $y = 1068,7231 - 0,6439*x$; $r = -0,2886$; $p = 0,0710$; $r^2 = 0,0833$. (Zdroj vlastní; 2014)

Pro odhalení závislosti meze pevnosti v ohybu a rozměry zkušebních těles byla použita lineární regrese (obr.č.20). Koeficient determinace dosahuje hodnoty 0,085. Závislost jde tedy označit jako slabou. Lineární závislost meze pevnosti v ohybu s velikostí zkušebních vzorků lze popsat rovnicí:

Mez pevnosti v ohybu (N)= 1068,7231 - 0,6439 * velikost zkušebního vzorku (mm).

- Mez pevnosti v ohybu se vyznačuje průběhem, podléhajícím nepřímé úměře. Čím jsou menší rozměry zkušebních těles, tím je větší hodnota meze pevnosti v ohybu. To je dáno zmenšující se vzájemné vzdálenosti podpěr zkušebního stroje. Tvrzení vyplývá ze vzorce výpočtu průhybu prostého nosníku (Gandelová; 2002):

$$v = \frac{F * l^3}{48 * E * I_a} \quad (\text{m})$$

kde: F = zatěžující síla (N)

l = délka nosníku (m)

E = Youngův modul pružnosti (N/mm²)

I_a = kvadratický moment průřezu (mm⁴)

v = průhyb nosníku (m)

z toho vyplývá:

$$F = \frac{v \cdot 48 \cdot E \cdot I_a}{l^3} \text{ (N)}$$

Je tedy zřejmá nepřímá závislost mezi zatěžující silou a délkou nosníku (vzdálenosti podpěr zkušebního stroje). Čím menší je rozstup podpěr zkušebního stroje, tím větší zatěžující sílu je zapotřebí vyvinout.

Analýzou rozptylu nebyla na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ prokázána odlišnost. To znamená, že rozptyly uvnitř jednotlivých souborů stejné délky jsou podobné rozptylům souborů délek různých.

Z vyhodnocení regresní analýzy byly získány koeficienty determinace a těsnosti. Hodnocení bylo provedeno podle Janky (*Doležal; 1973*), který hodnotu koeficientů popisuje takto:

Nízká těsnost hodnot a málo významná korelace. ($r = -0,2886$; $R^2 = 0,0833$)

Z toho vyplývá, že závislost meze pevnosti v ohybu na velikosti zkušebních vzorků je málo významná a hodnoty nejsou přilehlé k přímce lineární regrese.

- **Přepočtové koeficienty střední hodnoty (k_{korekce})**

Velikost vzorků	$F_m \text{ (N)}^1$	$F_m \text{ (N)}^2$	k_{korekce}
1. zmenšení	869,96	903,04	0,963
2. zmenšení	869,96	922,45	0,943
3. zmenšení	869,96	951,66	0,914

Tab.č. 7: Přepočtové koeficienty střední hodnoty: Mez pevnosti v ohybu. (Zdroj vlastní; 2014)

1) Mez pevnosti v ohybu nezmenšených zkušebních vzorků

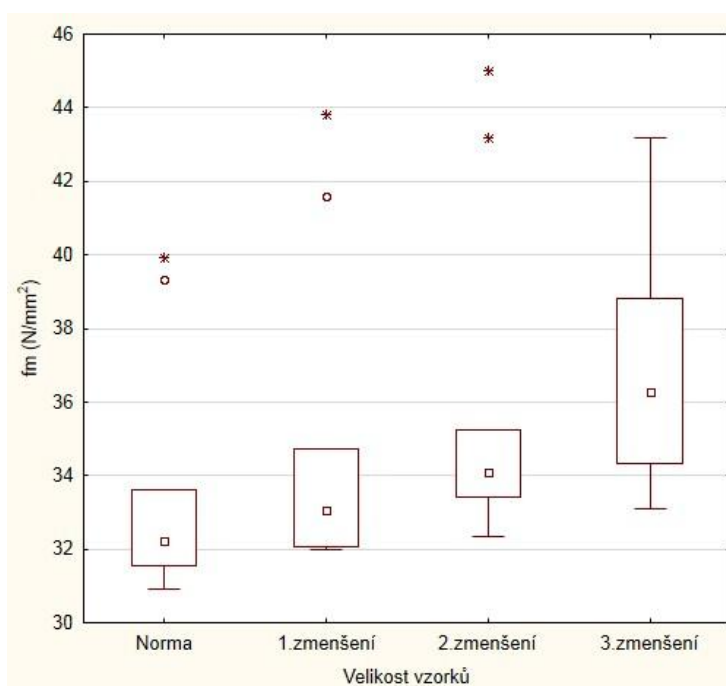
2) Mez pevnosti v ohybu zmenšovaných zkušebních vzorků

5.2 Pevnost v ohybu

- Průměrné hodnoty pevnosti v ohybu a dílčí statistické ukazatele jsou uvedeny v následující tabulce (tab.č.21). Průměrné hodnoty se pohybují v intervalu od 33,51 do 36,93 N/mm. Střední hodnota i směrodatná odchylka roste s poklesem rozměrů zkušebních těles.

Rozměry vzorků tl. 15 mm	Střední hodnota (N/mm ²)	Směrodatná odchylka	Variační koeficient (%)	Minimum / maximum (N/mm ²)
Norma	33,51	3,16	9,44	30,9/39,94
1.zmenšení	34,89	4,03	11,55	31,99/43,82
2.zmenšení	35,89	4,21	11,72	32,34/45,01
3.zmenšení	36,93	3,09	8,38	33,12/43,20

Obr.č. 21:Pevnost v ohybu: Průměrné hodnoty a dílčí statistické ukazatele. (Zdroj vlastní; 2014)



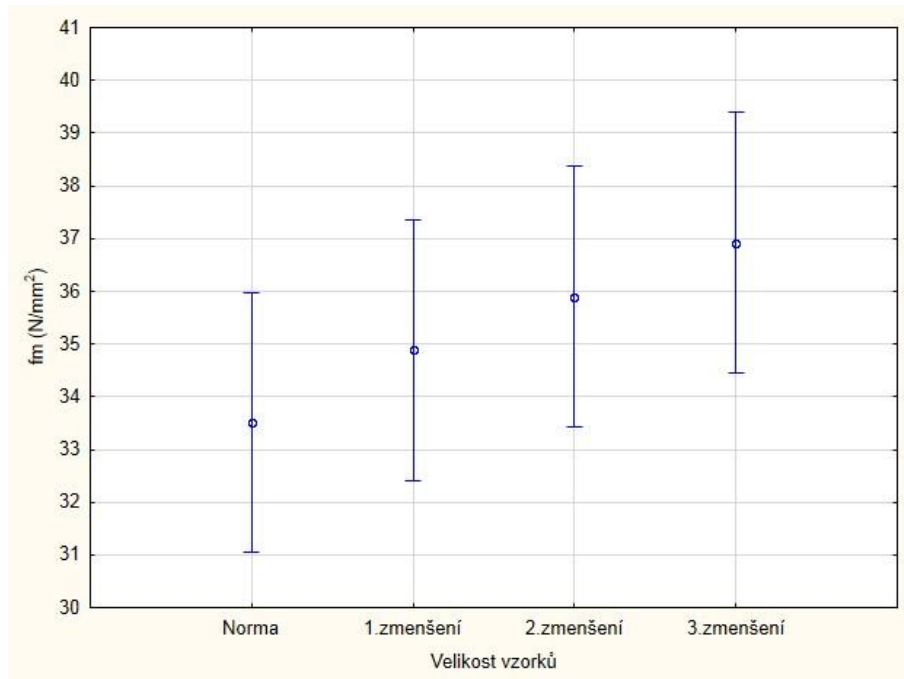
Obr.č. 22: Pevnost v ohybu: Krabicový graf pro zkušební tělesa. (Zdroj vlastní; 2014)

Z krabicového grafu, jenž je vyobrazen na obrázku (obr.č. 22), lze vyčíst výskyt odlehlých a extrémních hodnot. Ani tyto 2 odlehlé a 4 extrémní údaje se, stejně jako v případě meze pevnosti v ohybu, nebudou ze statistického souboru vylučovat. Výskyt těchto hodnot jen potvrzuje teorii, že jedna ze zkoušených desek disponuje lepšími mechanickými vlastnostmi.

Střední hodnota pevnosti v ohybu se v závislosti na snižování rozměrů zkušebních těles chová následovně:

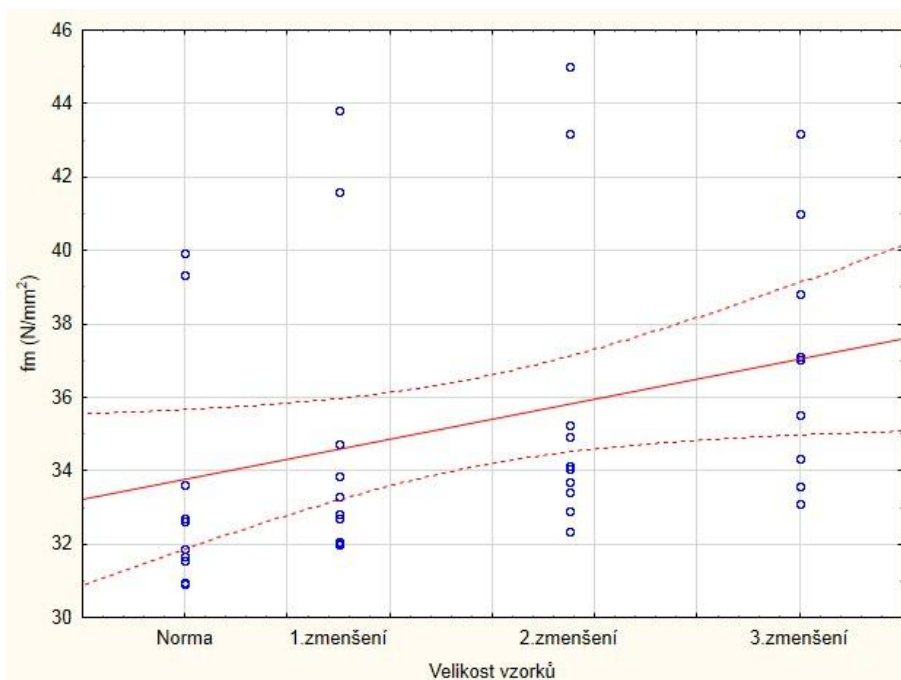
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 1. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 4 % tedy z 33,51 N/mm² na 34,89 N/mm².
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 2. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 7,1 %, tedy z 33,51 N/mm² na 35,89 N/mm².

- Při přechodu z normované velikosti na velikost 3. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 10,2 % tedy z 33,51 N/mm² na 36,93 N/mm².



Obr.č. 23: Modul pružnosti v ohybu: Analýza rozptylu. (Zdroj vlastní; 2014)

Pro znázornění variability byl použit diagram analýzy rozptylu (obr.č.23), na němž je zobrazené vzájemné postavení rozptylů souborů s různými rozměry. Rozptylovou analýzou nebyla na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ mezi jednotlivými soubory prokázána statisticky významná odlišnost. Pro hodnocení byl použit Tukey HSD test (příloha č.3).



Obr.č. 24: Pevnost v ohybu: Velikost vzorku (mm): pevnost v ohybu (fm): $y = 41,9679 - 0,0273 *x$; $r = -0,3213$; $p = 0,0432$; $r^2 = 0,1032$. (Zdroj vlastní; 2014)

Při zjišťování závislosti pevnosti ohybu na velikosti zkušebních těles byl pomocí lineární regrese vypočítán koeficient determinace, jenž dosahuje hodnoty 0,1. To znamená, že zkoumaná závislost je velmi slabá. Lineární závislost lze popsat tímto předpisem:

$$\text{Pevnost v ohybu (N)} = 41,9679 - 0,0273 * \text{velikost vzorku (mm)}.$$

- Pevnost v ohybu vychází z meze pevnosti v ohybu. Proto je podobný i trend chování zkušebních těles v závislosti na jejich zmenšování. To je zřejmé z rovnice pevnosti v ohybu (podle ČSN EN 310; 1995), která říká:

$$f_m = \frac{3 * F_m * l_1}{2 * b * t^2}$$

kde: F_m = Mez pevnosti v ohybu (N)

l_1 = rozpětí podpor (mm)

b = šířka zkušebních těles (mm)

t = tloušťka zkušebních těles (mm)

Analýzou rozptylu nebyla na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ prokázána odlišnost. To znamená, že rozptyly uvnitř jednotlivých souborů stejné délky jsou podobné rozptylům souborů délek různých.

Korelační a determinační koeficienty byly vyhodnoceny podle Janky (Doležal; 1973) takto:

Nízká těsnost a málo významná korelace ($r = -0,3213$; $R^2 = 0,1032$)

Z toho vyplývá, že závislost pevnosti v ohybu na velikosti zkušebních vzorků je málo významná a hodnoty jsou jen mírně přilehlé k přímce lineární regrese.

- **Přepočtové koeficienty střední hodnoty (k_{korekce})**

Velikost vzorků	f_m (N/mm ²) ¹⁾	f_m (N/mm ²) ²⁾	k_{korekce}
1. zmenšení	33,51	34,89	0,96
2. zmenšení	33,51	35,89	0,934
3. zmenšení	33,51	36,93	0,907

Tab.č. 8: Přepočtové koeficienty střední hodnoty: Pevnost v ohybu. (Zdroj vlastní; 2014)

1) Pevnost v ohybu nezmenšených zkušebních vzorků

2) Pevnost v ohybu zmenšovaných zkušebních vzorků

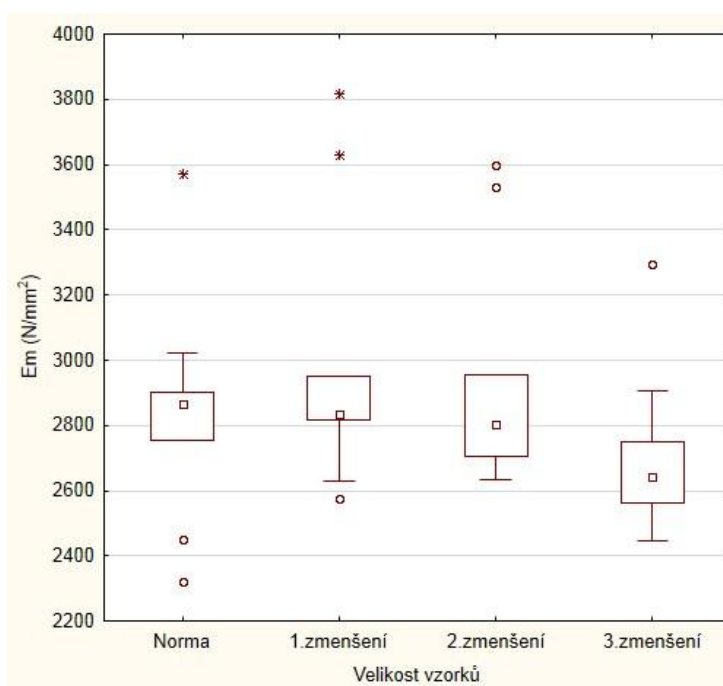
5.3 Modul pružnosti v ohybu

• Stejným způsobem, jako byly vyhodnoceny předešlé mechanické ukazatele, byla zpracována i data modulu pružnosti v ohybu. Shrnutí průměrů jednotlivých sérií společně s dílčími statistickými ukazateli je uvedeno v následující tabulce (tab.č.9).

Rozměry vzorků Tl. 15 mm	Střední hodnota (N/mm ²)	Směrodatná odchylka	Variační koeficient (%)	Minimum / maximum (N/mm ²)
Norma	2848,12	316,72	11,12	2319,81/3570,16
1.zmenšení	2980,57	389,32	13,06	2575,91/3817,51
2.zmenšení	2933,94	332,69	11,34	2631,68/3596,5
3.zmenšení	2699,82	233,01	8,63	2448,25/3292,77

Tab.č. 9: Modul pružnosti v ohybu: Průměrné hodnoty a dílčí statistické ukazatele. (Zdroj vlastní; 2014)

Variabilita průměrů modulu pružnosti v ohybu se pohybuje v rozmezí od 2699,82 do 2980,57 N/mm. Nejvyšší hodnotou se prezentují vzorky v souboru 1. zmenšení. Oproti tomu nejnižší hodnotu vykazují vzorky 3.zmenšení. Lepší přehled poskytuje krabicový graf (obr.č.25).

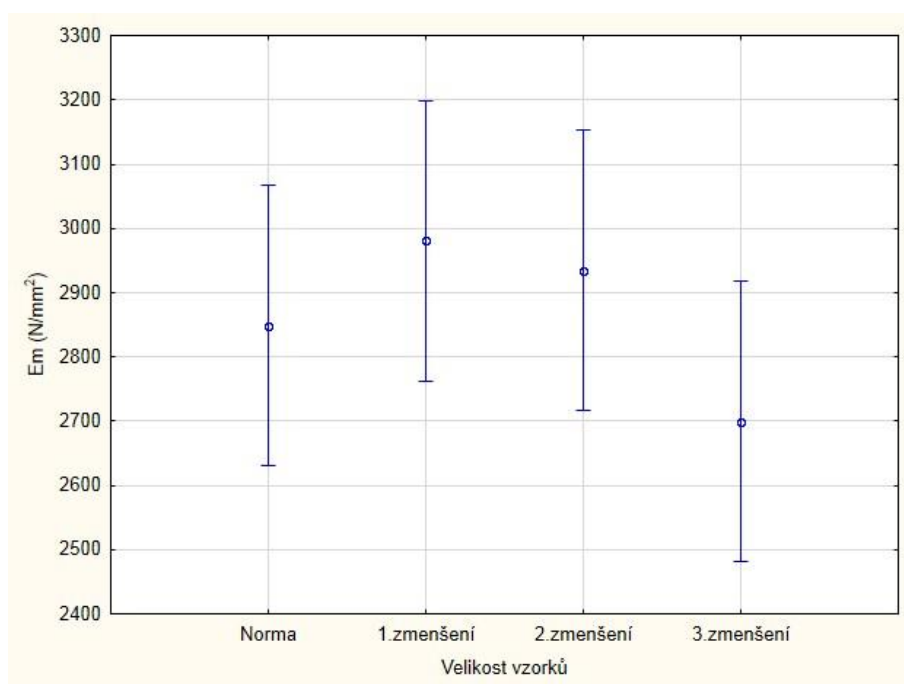


Obr.č. 25: Modul pružnosti v ohybu: Krabicový graf. (Zdroj vlastní; 2014)

Krabicový graf (obr.č.25) poskytuje přehled o výskytu odlehlých a extrémních hodnot. Veškeré extrémní hodnoty jsou jako u předešlých případů způsobeny lepšími mechanickými vlastnostmi jedné z desek.

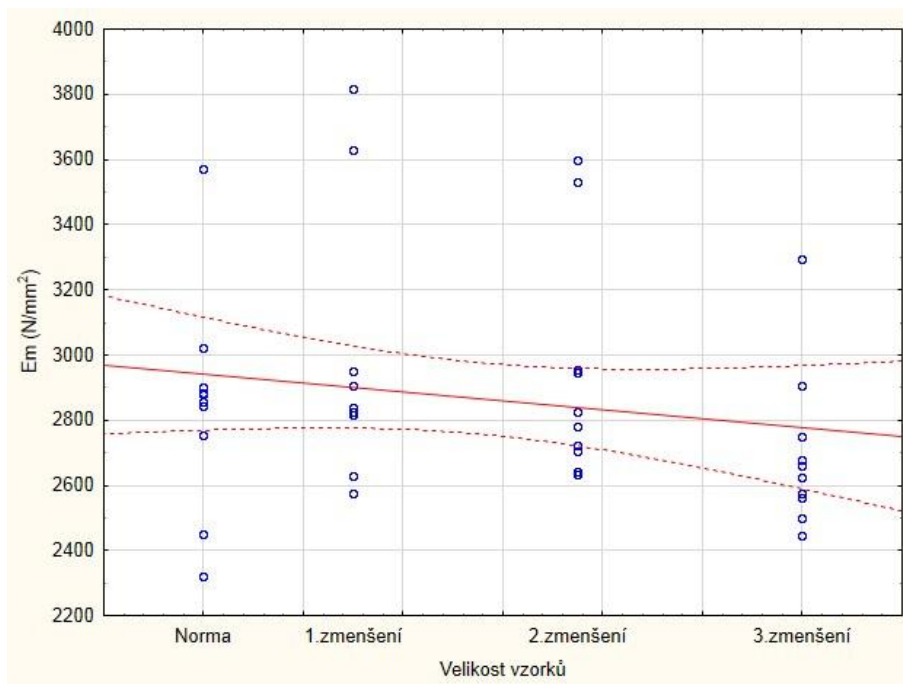
Střední hodnota modulu pružnosti v ohybu se v závislosti na snižování rozměrů zkušebních těles chová následovně:

- Při přechodu z normované velikosti na velikost 1. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 4,6 % tedy z 2848,12 N/mm² na 2980,57 N/mm².
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 2. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 3 %, tedy z 2848,12 N/mm² na 2933,94 N/mm².
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 3. zmenšení, střední hodnota klesla o 5 % tedy z 2848,12 N/mm² na 2699,82 N/mm².
- Při změně velikostí z 2. zmenšení na 3. zmenšení byl zaznamenán významný pokles středních hodnot modulu pružnosti v ohybu o 8 %.



Obr.č. 26: Modul pružnosti v ohybu: Analýza rozptylu. (Zdroj vlastní; 2014)

Analýzou rozptylu nebyla na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ prokázána odlišnost mezi žádným ze sledovaných statistických souborů. K prokázání odlišnosti byl použit Tukey HSD test (příloha č.4).



Obr.č. 27: Modul pružnosti v ohybu: Velikost vzorku (mm): Modul pružnosti v ohybu (N/mm): $y = 2531,8671 + 1,3692 * x$; $r = 0,1831$; $p = 0,2582$; $r^2 = 0,0335$ (Zdroj vlastní; 2014).

Pro odhalení závislosti modulu pružnosti v ohybu a rozměry zkušebních těles byla použita lineární regrese (obr.č.27). Koeficient determinace dosahuje hodnoty 0,03. Závislost jde tedy označit jako velmi slabou. Lineární závislost meze pevnosti v ohybu s velikostí zkušebních vzorků lze popsat rovnicí:

Modul pružnosti v ohybu (N/mm) = 2531,8671 + 1,3692 * velikost vzorku (mm).

- Trend modulu pružnosti v ohybu má konkávní průběh. To je do značné míry způsobeno vzorcem (ČSN EN 310; 1995) pro jeho výpočet.

$$E_m = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4bt^3 (a_2 - a_1)} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

kde: l_1 ... vzdálenost mezi středy podpěr (mm)

b ... šířka zkušebního vzorku (mm)

t ... tloušťka zkušebního vzorku (mm)

$F_2 - F_1$... přírůstek zatížení v lineární části zatěžovací křivky (N)

F_1 ... cca 10% z maximálního zatížení (N)

F_2 ... cca 40% z maximálního zatížení (N)

$a_2 - a_1$... přírůstek průhybu zkušebního tělesa v jeho středu (mm)

a₁... průhyb při 10% zatížení

a₂... průhyb při 40% zatížení

V čitateli vzorce se vyskytuje třetí kvadrát z rozpětí podpěr zkušebního stroje. Tato jednotka tedy velmi významně ovlivňuje hodnotu celého výrazu a tím je vysvětlen i zaznamenaný průběh modulu pružnosti v ohybu.

Analýzou rozptylu nebyla na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ prokázána odlišnost mezi žádným ze sledovaných statistických souborů. Mezi rozptyly uvnitř souboru stejné velikosti a mezi soubory různých velikostí nebyl prokázán významný rozdíl.

Korelační a determinační koeficienty byly vyhodnoceny podle Janky (*Doležal; 1973*) takto:

Nízká těsnost a málo významná korelace ($r = 0,1831$; $R^2 = 0,0335$)

Z toho vyplývá, že závislost pevnosti v ohybu na velikosti zkušebních vzorků je málo významná a hodnoty jsou jen málo přilehlé k přímce lineární regrese.

- **Přepočtové koeficienty střední hodnoty (k_{korekce})**

Velikost vzorků	E_m (N/mm ²) ¹⁾	E_m (N/mm ²) ²⁾	k_{korekce}
1. zmenšení	2848,12	2980,57	0,956
2. zmenšení	2848,12	2933,94	0,971
3. zmenšení	2848,12	2699,82	1,055

Tab.č. 10: Přepočtové koeficienty střední hodnoty: Modul pružnosti v ohybu. (Zdroj vlastní; 2014)

1) Modul pružnosti v ohybu nezmenšených zkušebních vzorků

2) Modul pružnosti v ohybu zmenšovaných zkušebních vzorků

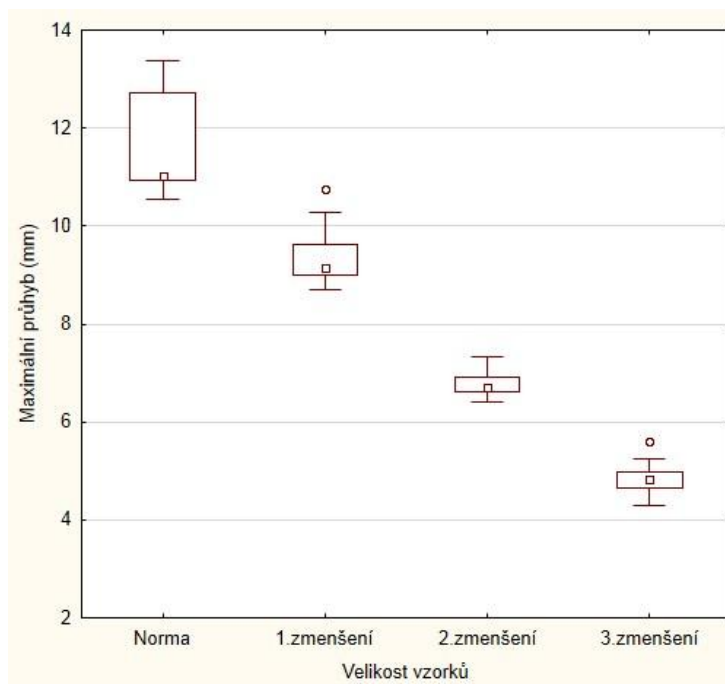
5.4 Maximální průhyb

- Maximální průhyb neboli míra průhybu, při kterém dochází k přerušení vazeb a tím k destrukci zkušební tělesa, je shrnut v následující tabulce, kde jsou mimo průměrných hodnot uvedeny i dílčí statistické ukazatele.

Rozměry vzorků Tl. 15 mm	Střední hodnota (mm)	Směrodatná odchylka	Variační koeficient (%)	Minimum / maximum (mm)
Norma	11,62	1,03	8,87	10,54/13,38
1.zmenšení	9,37	0,66	7,06	8,69/10,75
2.zmenšení	6,78	0,3	4,46	6,41/7,34
3.zmenšení	4,87	0,37	7,56	4,29/5,61

Tab.č. 11: Maximální průhyb: Průměrné hodnoty a dílčí statistické ukazatele. (Zdroj vlastní; 2014)

Z tabulky (tab.č.11) je možné odečíst interval průměrných hodnot, který se nachází v intervalu od 4,87 do 11,62 mm. Čím menší tedy zkoušený vzorek je, tím rychleji dochází ke konečnému lomu. Rozložení hodnot je lépe čitelné z krabicového grafu (obr.č.28), jenž následuje.

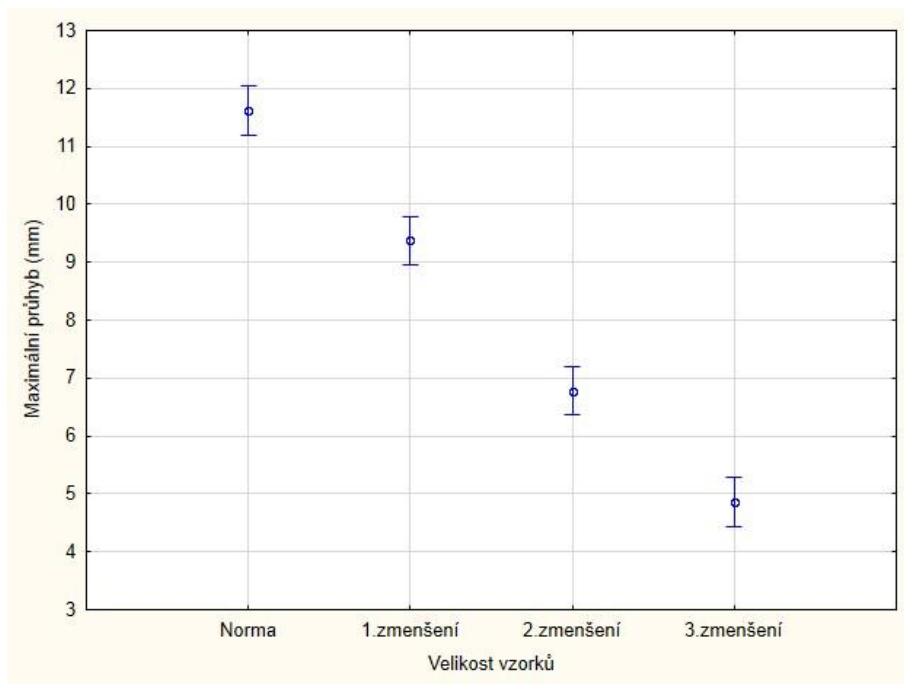


Obr.č. 28: Maximální průhyb: Krabicový diagram. (Zdroj vlastní; 2014)

Prostřednictvím krabicového grafu se ukázalo, že ze všech naměřených hodnot, jsou jen dvě odlehlé a žádná extrémní. Je zde také patrný trend přímé závislosti maximálního průhybu na velikosti zkušebních těles.

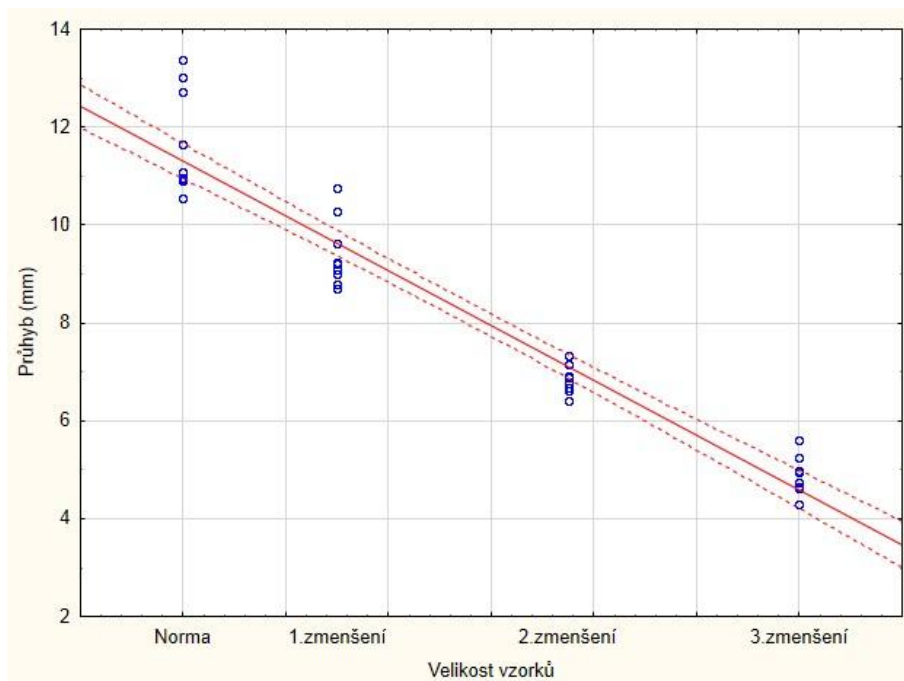
Střední hodnota maximálního průhybu se v závislosti na snižování rozměrů zkušebních těles chová následovně:

- Při přechodu z normované velikosti na velikost 1. zmenšení, střední hodnota klesla o 19,4 % tedy z 11,62 mm na 9,37 mm.
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 2. zmenšení, střední hodnota klesla o 41,7 %, tedy z 11,62 mm na 6,78 N.
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 3. zmenšení, střední hodnota klesla o 58,1 % tedy z 11,62 mm na 4,87 N.



Obr.č. 29: Maximální průhyb: Analýza rozptylu. (Zdroj vlastní; 2014)

Analýzou rozptylu (obr.č.29) byla prokázána odlišnost mezi všemi sledovanými statistickými soubory. Dokazuje to provedený Tukey HSD test při hladině spolehlivosti $\alpha = 0,05$ (příloha č.5).



Obr.č. 30: Maximální průhyb: Velikost vzorku (mm): Maximální průhyb (mm): $y = -5,4729 + 0,0559 * x$; $r = 0,9651$; $p = 0,0000$; $r^2 = 0,9314$. (Zdroj vlastní; 2014)

Prostřednictvím lineární regrese (obr.č.30) byla zjištěna silná závislost mezi maximálním průhybem a rozměrem zkušební tělesa. Hodnota determinace dosahuje 0,93. Tato závislost jde popsat lineárním vztahem:

$$\text{Maximální průhyb (mm)} = -5,4729 + 0,0559 * \text{velikost vzorku (mm)}.$$

- Ze statistického hodnocení vyplývá, že čím je zkušební vzorek menší, tím je menší i maximální průhyb tělesa. *Gandelová (2002)* uvádí, že deformace při ohybu je definována jako poměr vzniklého průhybu nosníku a poloměru ohybu. Se zmenšováním délky zkušebních těles, je nutné snižovat i rozestup podpěr zkušební stroje. Čím je rozpětí podpěr menší, tím vzniká větší poloměr ohybu zkušební tělesa (při stejně velkém průhybu) a tím více je vzorek deformován. Jedná se tedy o přímou úměru.

Analýzou rozptylu byla na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ prokázána odlišnost mezi všemi ze sledovaných statistických souborů. Mezi rozptyly uvnitř souboru stejné velikosti a mezi soubory různých velikostí byl prokázán významný rozdíl.

Korelační a determinační koeficienty byly vyhodnoceny podle Janky (*Doležal; 1973*) takto:

Velmi vysoká těsnost i korelační závislost ($r = 0,9651$; $R^2 = 0,9314$)

To znamená, že maximální průhyb zkušebních vzorků je značně závislý na jejich velikosti. Naměřené hodnoty také těsně přiléhají k regresní přímce.

- **Přepočtové koeficienty střední hodnoty (k_{korekce})**

Velikost vzorků	dLm (mm) ¹⁾	dLm (mm) ²⁾	k_{korekce}
1. zmenšení	11,62	9,37	1,24
2. zmenšení	11,62	6,78	1,714
3. zmenšení	11,62	4,87	2,386

Tab.č. 12: Přepočtové koeficienty střední hodnoty: Maximální průhyb. (Zdroj vlastní; 2014)

1) Maximální průhyb nezmenšených zkušebních vzorků.

2) Maximální průhyb zmenšovaných zkušebních vzorků.

6 Závěr

Při shromažďování a pročitání literatury týkající se tématu modifikace zkušebních těles, byla nalezena informace o zmenšování zkušebních vzorků. Čížek (1985) uvádí: "*velikost zkušebních těles se odebírá v délce 15 až 20 krát tloušťka zkoušeného materiálu.*" Přitom v ČSN EN 310 se uvádí délka zkušebního tělesa 20 krát jeho tloušťka. Mohla by tedy být velikost zkušebních těles menší? Kdyby ano, podávali by dostatečně přesné informace? A o kolik by se mohla zkušební tělesa zmenšit? Na konci této kapitoly nastal čas, si položené otázky zodpovědět.

Mez pevnosti v ohybu.

- Byl zjištěn nepřímo úměrný růst střední hodnoty meze pevnosti v ohybu v závislosti na zmenšujícím se rozměru zkušebních těles (resp. rozponu podpěr zkušebního stroje).
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 1. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 3,8 % tedy z 869,96 N na 903,04 N.
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 2. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 6 %, tedy z 869,96 N na 922,45 N.
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 3. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 9,4 % tedy z 869,96 N na 951,66 N.
- Nárůst hodnoty v závislosti na zmenšování rozponu podpěr zkušebního stroje, vyplývá ze vzájemné závislosti těchto dvou veličin (ze vztahu pro výpočet prostého nosníku).
- Mezi jednotlivými rozměrovými stupni nebyla prokázána statisticky významná odlišnost. (při hladině významnosti $\alpha = 0,05$). Zmenšování může proběhnout u všech zkoumaných rozměrových skupin.
- Korelační analýzou nebyla prokázána závislost mezi velikostí meze pevnosti v ohybu a rozměry zkušebních těles.
- Mez pevnosti zmenšovaných zkušebních těles lze přepočítat na hodnotu těles normovaných rozměrů pomocí korekčního koeficientu. Korekční koeficienty ($k_{\text{korekční}}$) pro vzorky 1. zmenšení $k_{\text{korekční}} = 0,963$; pro vzorky 2. zmenšení $k_{\text{korekční}} = 0,943$; pro vzorky 3. zmenšení $k_{\text{korekční}} = 0,914$.

Pevnost v ohybu.

- Byl zjištěn nepřímý úměrný růst střední hodnoty pevnosti v ohybu v závislosti na zmenšujícím se rozměru zkušebních těles (resp. rozponem podpěr zkušebního stroje).
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 1. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 4 % tedy z 33,51 N/mm² na 34,89 N/mm².
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 2. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 7,1 %, tedy z 33,51 N/mm² na 35,89 N/mm².
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 3. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 0,2 % tedy z 33,51 N/mm² na 36,93 N/mm².
- Střední hodnoty pevnosti v ohybu se pohybují v intervalu od 33,51 N/mm² do 36,93 N/mm².
- Mezi jednotlivými rozměrovými stupni nebyla na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ prokázána statisticky významná odlišnost. Zmenšování může proběhnout mezi všemi rozměrovými stupni.
- Korelační analýzou nebyla prokázána závislost mezi velikostí meze pevnosti v ohybu a rozměry zkušebních těles.
- Pevnost v ohybu zmenšených zkušebních těles lze přepočítat na hodnotu těles normovaných rozměrů pomocí těchto korekčních koeficientů ($k_{\text{korekční}}$). Korekční koeficienty ($k_{\text{korekční}}$) pro vzorky 1. zmenšení $k_{\text{korekční}} = 0,96$; pro vzorky 2. zmenšení $k_{\text{korekční}} = 0,934$; pro vzorky 3. zmenšení $k_{\text{korekční}} = 0,907$.

Modul pružnosti v ohybu.

- Byl zjištěn konkávní průběh růstu v závislosti na zmenšujícím se rozměru zkušebních těles (resp. rozponu podpěr zkušebního stroje).
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 1. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 4,6 % tedy z 2848,12 N/mm² na 2980,57 N/mm².
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 2. zmenšení, střední hodnota vzrostla o 3 %, tedy z 2848,12 N/mm² na 2933,94 N/mm².
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 3. zmenšení, střední hodnota klesla o 5 % tedy z 2848,12 N/mm² na 2699,82 N/mm².
- Při změně velikostí z 2. zmenšení na 3. zmenšení byl zaznamenán významný pokles středních hodnot modulu pružnosti v ohybu o 8 %. Tento trend se vlivem rovnice pro výpočet

modulu pružnosti v ohybu bude prohlubovat, tzn., že se střední hodnota bude vlivem dalšího snižování rozměrů exponenciálně snižovat.

- Střední hodnoty modulu pružnosti v ohybu vychází z intervalu od 2699,82 N/mm² (střední hodnoty 3. zmenšení) do 2980,57 N/mm² (střední hodnoty 1. zmenšení).
- Mezi jednotlivými rozměrovými stupni nebyla na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ prokázána statisticky výrazná odlišnost.
- Korelační analýzou nebyla prokázána závislost mezi velikostí meze pevnosti v ohybu a rozměry zkušebních těles.
- Zmenšování zkušebních těles může probíhat vlivem konkávního průběhu do 2. zmenšení. Třetí stupeň zmenšení disponuje znatelně menší střední hodnotou a její pokles (z 2. stupně zmenšení na 3. stupeň zmenšení o 8 %) vlivem dalšího zmenšování bude i nadále exponenciálně růst.
- Modul pružnosti v ohybu zmenšených zkušebních těles lze přepočítat na hodnotu těles normovaných rozměrů pomocí následujících korekčních koeficientů ($k_{\text{korekční}}$). Korekční koeficienty ($k_{\text{korekční}}$) pro vzorky 1. zmenšení $k_{\text{korekční}} = 0,956$; pro vzorky 2. zmenšení $k_{\text{korekční}} = 0,971$; pro vzorky 3. zmenšení $k_{\text{korekční}} = 1,055$.

Maximální průhyb.

- Byl zjištěn přímo úměrný průběh růstu v závislosti na zmenšujícím se rozměru zkušebních těles (resp. rozponu podpěr zkušebního stroje).
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 1. zmenšení, střední hodnota klesla o 19,4 % tedy z 11,62 mm na 9,37 mm.
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 2. zmenšení, střední hodnota klesla o 41,7 %, tedy z 11,62 mm na 6,78 mm.
- Při přechodu z normované velikosti na velikost 3. zmenšení, střední hodnota klesla o 58,1 % tedy z 11,62 mm na 4,87 mm.
- Střední hodnoty maximálního průhybu se pohybují v rozmezí od 11,62 mm do 4,87 mm.
- Průběh je odvislý od zvyšujícího se poloměru ohybu v závislosti na snižování vzájemné vzdálenosti podpěr zkušebního stroje.
- Mezi všemi rozměrovými stupni byla na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ prokázána statisticky významná odlišnost.

- Závislost maximálního průhybu na velikosti zkušební tělesa byla vyhodnocena jako velmi silná.

- Maximální průhyb zmenšovaných zkušebních těles lze přepočítat na hodnotu těles normovaných rozměrů pomocí těchto korekčních koeficientů. Korekční koeficienty ($k_{\text{korekční}}$) pro vzorky 1. zmenšení $k_{\text{korekční}} = 1,24$; pro vzorky 2. zmenšení $k_{\text{korekční}} = 1,714$; pro vzorky 3. zmenšení $k_{\text{korekční}} = 2,386$.

Ze zjištěných informací tedy vyplývají i odpovědi na hlavní otázky, které byly položeny na začátku této diplomové práce.

- **Mohla by být velikost zkušebních těles menší?**

Ano mohla. S tím, že pro získání hodnoty, jakou vykazují zkušební tělesa normovaných rozměrů, je zapotřebí použít korekční koeficient. Díky tomu získáme hodnotu blížící se hodnotám nezmenšovaných zkušebních těles.

- **O kolik by se mohla zkušební tělesa zmenšit?**

Bylo zjištěno omezení při zmenšování rozměrů zkušebních těles u modulu pružnosti v ohybu. U délky 12 krát tloušťka materiálu bylo zjištěno velké ovlivnění veličiny vlivem vzorce pro výpočet tohoto mechanického ukazatele.

- **Podávaly by dostatečně přesné informace?**

Mimo tahového a tlakového napětí, které při ohýbání na zkušební těleso působí má na průběh vliv i napětí smyková. Aby se toto smykové napětí minimalizovalo, musí se přizpůsobit poměr rozestupu podpěr zkušebního stroje. Ideální poměr rozestupu podpěr a tloušťky materiálu je 35:1 (*Kollmann; 1975*). Proto se nemůže s jistotou říci, do jaké míry jsou zmenšená zkušební tělesa zatížena chybovostí. Na tuto otázku by dokázalo odpovědět až zavedení a zkoušení pomocí zmenšených těles v praxi.

7 Přehled literatury a použitých zdrojů

7.1 Použitá literatura

- ČÍŽEK J., 1985: Vlastnosti a zpracování třískových a vláknitých desek. SNTL nakladatelství technické literatury, Praha, 351 s.
- ČSN EN 310, 1995: Desky ze dřeva- Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu, 8 s.
- ČSN EN 316, 1996: Vlákenné desky. Definice, klasifikace a značky, 7 s.
- ČSN EN 326-1, 1997: Desky ze dřeva- odběr vzorků, nařezávání a kontrola- Část 1, 12 s.
- ČSN EN 326-2, 2011: Desky na bázi dřeva- odběr vzorků, nařezávání a kontrola- Část 2, 36 s.
- DETVAJ J., 2009: Technológia piliarskej výroby. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, 233 s.
- DOLEŽAL J., 1973: Matematickostatistické metody v dřevařském průmyslu. Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, Praha, 204 s.
- DRÁPELA K., ZACH J., 1999: Statistické metody I. pro obory lesního, dřevařského a krajinného inženýrství. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 160s.
- EISNER K., 1978: Technológia výroby konstrukčních veľkoplošných materiálov, část II. Technológia aglomerovaných materiálov. Vysoká škola lesnícka a drevárska vo Zvolene, Zvolen, 218 s.
- GANDELOVÁ L., 2002: Nauka o dřevě. Mendelova zemědělská univerzita v Brně, Brno, 178 s.
- GRAN G., 1987: Holztechnologie 28. č. 3, s 143-146
- HRÁZSKÝ J., 2000: Technologie výroby aglomerovaných materiálů. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 218 s.
- JINDROVÁ A., PRÁŠILOVÁ M., ZEIPPELT R., 2008: Statistika I. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 175 s.
- JOSTEN E., REICHE T., 2009: Dřevo a jeho obrábění. Grada Publishing, Praha, 336 s.
- KOLLMANN F., KUENZI E. W., STAMM A. J., 1975: Principles of Wood Science and Technology: Wood Based Materials. 3.vyd. Springer, Berlin, 703 s.
- LAMPERT H., 1967: Faserplatten. VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 456 s.
- LISIČAN J., 1669: Teória a technika spracovania dreva. Matcentrum, Zvolen, 626 s.

- MELOUN M., MILITKÝ J., 2006: Kompendium statistického zpracování dat- metody a řešené úlohy. Academia, Praha, 982 s.
- NUTSCH W. A KOL., 2003: Holztechnik Fachkunde. Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten, 615 s.
- NUTSCH W., 2011: Handbuch der Konstruktion: Möbel und Einbauschränke. Deutsche Verlags-Anstalt, München, 406 s.
- POŽGAJ A., 1997: Štruktúra a vlastnosti dreva- druhe vydanie. Příroda a.s., Bratislava, 485 s.
- ŠTEFKA V.,2001: Kompozitné drevné materiály časť II. Technológia aglomerovaných materiálov. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, 205 s.
- VAVERKA J. A KOL., 2008:Dřevostavby pro bydlení, Grada Publishing, Praha, 380 s.

7.2 Internetové zdroje

- BOČEK V., MATĚJKA F., 2014: Mechanické zkoušky pro zachycení tepelného stárnutí. Západočeská univerzita v Plzni: fakulta elektrotechnická, Plzeň, online: <http://ketsrv.fel.zcu.cz/diagnostika/konference/Sbornik/Sekce3/49.pdf>, Staženo: 10.4.2014.
- BÖHM M., REISNER J., BOMBA J., 2012: Materiály na bázi dřeva. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, Praha, online: http://fld.czu.cz/~bohm/materialy_na_bazi_dreva.pdf, Staženo: 24.10.2013, 183 s.
- ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2012: Normy. Český normalizační institut, Praha, online: <http://csni.cz/tag/normy>, Staženo: 10.4.2014.
- DDL LUKAVEC, 2013: Historie. DDL Lukavec, Lukavec, online: <http://www.ddl.cz/o-firme/historie.html>, Staženo: 7.2.2014
- EUROPÄISCHES PATENTAMT, 2009: Verfahren zur Herstellung von Faserplatten aus Holzfasern. Europäisches Patentamt, Leverkusen, online: <https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.0/publication-dates/20110504/patents/EP1670623NWB1/document.html>, Staženo: 29.3.2014
- HOUŠKA P., 2013: Formaldehyd umí i zabíjet. Dřevo a stavby.cz, Praha, online: <http://www.drevoastavby.cz/cs/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/stavebni-chemie/2161-formaldehyd-umi-i-zabijet>, Staženo 12.2.2014.
- GERMAN TIMBER, 2006: Glulam: High-tech for timber construction. Holzabsatzfonds, Bonn, online: <http://www.ecotec-energiesparhaus.de/DatenHolztechnik-Glulam-High-tech-for-timber-construction.pdf>, Staženo: 19.3.2014, 2s.
- LABORTECH; 2013: Zkušební trhací stroje do 50 kN. Labortech s.r.o., Opava, online: <http://www.labortech.cz/produkty/zkusebni-stroje/zkusebni-trhaci-stroje-elektromechanicke/0-50kn-stolni-provedni/>, Staženo: 1.4.2014
- MITUTOYO, 2012: Absolute Digimatic Posuvná měřítka. Mytutoyo Česko s.r.o., Teplice, online: <http://www.mitutoyo.cz/ebook/index-cz.html#/I/>, Staženo: 1.4.2014, 658 s.
- RICHA W., SNODGRASS K., 2007: Early 20th-Century Building Materials: Fiberboard and Plywood. United States Department of Agriculture Forest Service, Missoula, online: www.fs.fed.us/dpubspdfpubspdf07732308pdf07732308dpi72.pdf, Staženo: 23.10.2013, 10 s.
- SARTALEX, 2014: Přesné laboratorní váhy Sartorius řady ED. Sartalex, Ústí nad Labem, online: <http://sartalex.cz/produkty/laboratorni-vahy/laboratorni/vahy-rady-ed/>, Staženo: 10.4.2014.

- SUNDS MDF DRYER, 2010: Fieber drying process. Sunds MDF Technologies, Sundsvall,
online: http://www.dieffenbacher.de/fileadmin/Inhalte_gb/101_daten_sprache/004_pdf/001_holzplattentechnik/006_DG/003_sunds/SMT_Fiber_drying.pdf, Staženo: 29.3.2014, 3 s.
- TIRA, 2013: TIRA Werkstoffprüftechnik. TIRA GmbH, Schalkau, online: http://www.tira-gmbh.de/material/_loads/_offen/Prospekt_TIRA_WPT_2013_deutsch.pdf,
Staženo: 2.4.2014, 6 s.
- UTB, 2010: Základy měření fyzikálních veličin. UTB ve Zlíně, Zlín, online:
http://ufmi.ft.utb.cz/texty/zakl_fyz/ZF_lab_01.pdf, Staženo: 1.4.2014, 6 s.
- ZIMOVÁ Z., 1999: Česká státní norma v současnosti. Dům a zahrada.cz, Praha,
online: <http://www.dumazahrada.cz/stavba-rekonstrukce/penize-pravo/1999/9/29/ceska-statni-norma-v-soucasnosti/>, Staženo: 10.4.2014.

8 Přílohy

Číslo vzorku	Šířka (mm)	Tloušťka (mm)	Fm (N)	Rozpon podpěr (mm)	Em (N/mm ²)	Fm (N/mm ²)	Průhyb (mm)
1.1.1.	50,12	15,3	825,45	300	2319,814	31,65989	13,38
1.1.2.	49,96	15,36	856,2	300	2449,844	32,68759	13,03
1.2.1.	50,04	15,27	818,6	300	2842,604	31,57104	10,91
1.2.2.	50,12	15,27	803,5	300	2883,506	30,93921	10,54
1.3.1.	50,18	15,32	808,65	300	2755,212	30,89761	10,98
1.3.2.	50,05	15,2	838,25	300	2902,759	32,62082	11,09
1.4.1.	50,04	15,18	816,6	300	2881,114	31,86846	10,93
1.4.2.	50,06	15,15	858,45	300	2854,904	33,62106	11,66
1.5.1.	50,08	15,31	1041,8	300	3570,16	39,93762	10,96
1.5.2.	50,18	15,34	1032,1	300	3021,276	39,33262	12,73
2.1.1.	45,26	15,23	899,75	270	2575,909	34,71063	10,75
2.1.2.	45,15	15,24	876,4	270	2627,547	33,84774	10,27
2.2.1.	45,28	15,27	836,25	270	2907,029	32,07795	8,78
2.2.2.	45,61	15,26	857,6	270	2814,82	32,70172	9,25
2.3.1.	45,16	15,26	852,5	270	2838,236	32,83117	9,21
2.3.2.	44,99	15,21	855,35	270	2950,847	33,28315	9,01
2.4.1.	45,11	15,2	823,15	270	2815,923	31,98704	9,08
2.4.2.	45,09	15,15	818,05	270	2827,53	32,01322	9,08
2.5.1.	45,16	15,24	1077,65	270	3817,512	41,61107	8,69
2.5.2.	45,17	15,23	1133,7	270	3630,391	43,82312	9,63
3.1.1.	37,37	15,25	832,85	225	2707,2	32,34281	6,61
3.1.2.	37,48	15,26	903,45	225	2631,676	34,93568	7,34
3.2.1.	37,46	15,26	910,85	225	2721,385	35,24064	7,16
3.2.2.	37,41	15,25	880,1	225	2946,893	34,14117	6,41
3.3.1.	37,45	15,22	845,4	225	2642,439	32,88932	6,9
3.3.2.	37,36	15,18	852,25	225	2780,071	33,41107	6,68
3.4.1.	37,4	15,2	863,05	225	2826,592	33,70939	6,62
3.4.2.	37,37	15,17	867,3	225	2953,378	34,03681	6,41
3.5.1.	37,35	15,26	1113,25	225	3533,291	43,19832	6,76
3.5.2.	37,22	15,26	1155,95	225	3596,504	45,0119	6,92
4.1.1.	29,94	15,25	955	180	2497,7	37,03187	5,25
4.1.2.	29,94	15,26	1002,25	180	2448,248	38,81316	5,61
4.2.1.	29,88	15,26	884,95	180	2624,527	34,33941	4,63
4.2.2.	29,99	15,24	916,85	180	2662,339	35,53986	4,73
4.3.1.	29,96	15,17	907,45	180	2560,677	35,53641	4,94
4.3.2.	30,15	15,17	863,05	180	2576,508	33,58468	4,64
4.4.1.	29,89	15,16	842,55	180	2749,618	33,11579	4,29
4.4.2.	29,95	15,14	943,6	180	2679,44	37,11104	4,94
4.5.1.	30,18	15,27	1126,05	180	3292,766	43,20402	4,64
4.5.2.	30,29	15,29	1074,85	180	2906,393	40,9824	4,98

Příloha č. 1: Naměřené hodnoty zkušebních vzorků při zkoušení mechanických vlastností. (Zdroj vlastní; 2014)

Tukeyův HSD test; proměnná Fm (Měření 24.3.2014) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 10457,, sv = 36,000					
	Typ 15 mm	1	2	3	4
		869,96	903,04	922,45	951,66
1- Norma	1		0,887198	0,663014	0,296327
2- 1.zmenšení	2	0,887198		0,974002	0,713819
3- 2.zmenšení	3	0,663014	0,974002		0,918783
4- 3.zmenšení	4	0,296327	0,713819	0,918783	

Příloha č. 2: Tukey HSD test: Mez pevnosti v ohybu. (Zdroj vlastní; 2014)

Tukeyův HSD test; proměnná fm (Měření 24.3.2014) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 14,860, sv = 36,000					
	Typ 15 mm	1	2	3	4
		33,514	34,889	35,892	36,926
1- Norma	1		0,855093	0,520109	0,214686
2- 1.zmenšení	2	0,855093		0,936987	0,642165
3- 2.zmenšení	3	0,520109	0,936987		0,931507
4- 3.zmenšení	4	0,214686	0,642165	0,931507	

Příloha č. 3: Tukey HSD test: Pevnost v ohybu. (Zdroj vlastní; 2014)

Tukeyův HSD test; proměnná Em (Měření 24.3.2014) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1158E2, sv = 36,000					
	Typ 15 mm	1	2	3	4
		2848,1	2980,6	2933,9	2699,8
1- Norma	1		0,820087	0,942153	0,764764
2- 1.zmenšení	2	0,820087		0,989914	0,269764
3- 2.zmenšení	3	0,942153	0,989914		0,425956
4- 3.zmenšení	4	0,764764	0,269764	0,425956	

Příloha č. 4: Tukey HSD test: Modul pružnosti v ohybu. (Zdroj vlastní; 2014)

Tukeyův HSD test; proměnná Průhyb (Měření 24.3.2014)					
Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy					
Chyba: meziskup. PČ = ,43294, sv = 36,000					
	Typ 15 mm	1	2	3	4
		11,621	9,3750	6,7810	4,8650
1- Norma	1		0,000159	0,000159	0,000159
2- 1.zmenšení	2	0,000159		0,000159	0,000159
3- 2.zmenšení	3	0,000159	0,000159		0,000159
4- 3.zmenšení	4	0,000159	0,000159	0,000159	

Příloha č. 5: Tukey HSD test: Maximální průhyb. (Zdroj vlastní; 2014)