

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra základního zpracování dřeva

**Zhodnocení vybraných fyzikálních
a mechanických vlastností dřeva ořešáku
černého z antropogenně ovlivněných stanovišť**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Ondřej Křivský

Vedoucí práce: Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

2015

Zadání BP

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Zhodnocení vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva ořešáku černého z antropogenně ovlivněných stanovišť vypracoval samostatně pod vedením Ing. Aleše Zeidlera, 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 15. 4. 2015

Podpis autora

Poděkování

Chtěl bych tímto velice poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Aleši Zeidlerovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc při plnění úkolů, přínosné rady a za čas, který mé práci věnoval.

Abstrakt

Fyzikální a mechanické vlastnosti mají velký význam při využití a zpracování dřeva. Variabilita těchto vlastností se projevuje v rámci druhu dřeviny i částí jednoho kmene. Důvodem je heterogenita dřeva. Jedná se o rostoucí přírodní materiál, na který mají velký vliv růstové a stanovištní podmínky. Je tedy žádoucí znát, jaké fyzikální a mechanické vlastnosti vykazuje dřevo z různých lokalit. Tyto vlastnosti je možné porovnávat mezi sebou, a tak pozorovat vliv lokality na růstu určitého druhu a na kvalitu jeho dřeva.

Tato diplomová práce se zabývá zjišťováním vybraných fyzikálních a mechanických vlastností dřeva ořešáku černého (*Juglans nigra*L.), pěstovaného na rekultivovaných hnědouhelných výsypkách z oblasti Úžín. Z fyzikálních vlastností je předmětem výzkumu hustota dřeva a sesychání. Z mechanických vlastností je zkoumána pevnost v tangenciálním ohybu, modul pružnosti v tangenciálním ohybu a pevnost v tlaku podél vláken. Zkoušky byly provedeny na vzorcích o známé vlhkosti a následně byly výsledky přepočteny na vlhkost dřeva 12%. Výsledky jsou porovnány s údaji uvedenými v odborné literatuře a také s vybranými domácími dřevinami v ČR.

V porovnání s hodnotami uváděnými v odborné literatuře, byly u vzorků dřeva ořešáku černého (*Juglans nigra*. L) z lokality výsypky Úžín, naměřeny vyšší hodnoty fyzikálních vlastností dřeva, tedy hustoty dřeva a sesychání ve všech směrech. Z mechanických vlastností byla naměřena vyšší pevnost v tlaku ve směru vláken a pevnost v tangenciálním ohybu. Naopak modul pružnosti v tangenciálním ohybu vykazoval nižší hodnoty, než uváděli odborné zdroje.

Klíčová slova

Ořešák černý (*Juglans nigra* L.), dřevo, vlastnosti, variabilita, výsypky.

Abstract

Physical and mechanical properties have very big importance in the using and processing of wood. The variability of these properties display itself in the type of wood and part of one strain. This is due of heterogeneity wood. This is a growing natural material that has great influence for growing and place conditions. The goal is to know which physical and mechanical properties of wood had come from different locations. These properties can be compared between themselves and observe the effect of different places on the growing on each tipe of wood and it's quality.

This thesis is based on the identification of some physical and mechanical properties of black walnut (*Juglans nigra*L.) wood, grown on recultivation brown coals substrates in the Úžín area. In the physical wiew is the subject of research is wood density and dry shrinkage. From the mechanical wiew is research bending strength, elasticity in bending and tangential compressive strength along fibers. Research were performed on samples of known wetness aspects and then were the results recalculate on 12%. The results are compared with the other datas in the vocational literature and also with selected homegrown datas in the country.

In the compare with datas manchend in vocational literature were samples of black walnut (*Juglans nigra*. L) wood, from the Úžín area were measured higher values of physical wood properties, wood density and dry shrinkage in all wiews. From the mechanical wiew were measured higher compressive strength along the fiber direction and the strength in the tangential bend. On the other side tangential bending showed lower values than vocational literature.

Keyterms

Black walnut (*Juglans nigra*L.), Wood, properties, variability,

Obsah

1	Úvod.....	15
2	Cíl práce	17
3	Charakteristika zkoumané dřeviny.....	18
3.1	Všeobecný přehled rodu Juglans - ořešák	18
3.1.1	Pohlavní křížení	19
3.1.2	Choroby ořešáku	20
3.1.3	Alelopatie	21
3.2	Ořešák černý (Juglans nigra).....	22
3.2.1	Kmen a kořen	24
3.2.2	Listy a květy	25
3.2.3	Plody	26
3.2.4	Znaky dřeva ořešáku	27
3.2.5	Využití dřeva ořešáku	30
4	Vlastnosti zkoumané dřeviny.....	31
4.1	Fyzikální vlastnosti dřeviny	31
4.1.1	Vlhkost dřeva	31
4.1.2	Hustota dřeva	34
4.1.3	Sesychání	38
4.2	Mechanické vlastnosti dřeviny.....	40
4.2.1	Pevnost dřeva v tlaku	41
4.2.2	Pevnost dřeva v ohybu	43
4.2.3	Modul pružnosti v ohybu	46
5	Metodika	48
5.1	Lokalita odběru vzorků	48
5.2	Odběr a kódování zkušebních vzorků	49

5.3	Popis jednotlivých měření	50
5.3.1	Měření hustoty	50
5.3.2	Sesychání dřeva.....	52
5.3.3	Meze pevnosti v tlaku ve směru vláken	53
5.3.4	Mez pevnosti v tangenciálním ohybu	53
5.3.5	Modul pružnosti v ohybu	54
5.4	Statistické vyhodnocení dat.....	56
6	Výsledky měření	58
6.1	Hustota.....	58
6.1.1	Hustota dřeva při 0% vlhkosti.....	58
6.1.2	Variabilita hustoty dřeva při vlhkosti 0 % v poloměru kmene	59
6.1.3	Hustota dřeva při 12% vlhkosti.....	60
6.1.4	Variabilita hustoty dřeva při vlhkosti 12 % v poloměru kmene	62
6.1.5	Konvenční hustota dřeva.....	63
6.1.6	Variabilita konvenční hustoty v poloměru kmene	65
6.2	Sesychání.....	66
6.2.1	Sesychání v radiálním směru	66
6.2.2	Variabilita radiálního sesychání v poloměru kmene.....	68
6.2.3	Sesychání tangenciální	70
6.2.4	Variabilita tangenciálního sesychání v poloměru kmene.....	72
6.2.5	Objemové sesychání.....	74
6.2.6	Variabilita objemového sesychání v poloměru kmene	75
6.3	Pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken	77
6.3.1	Variabilita pevnosti v tlaku ve směru vláken v poloměru kmene... ..	79
6.4	Pevnost dřeva v ohybu	81
6.5	Modul pružnosti v ohybu	83

7	Diskuze.....	86
8	Závěr	91
9	Použité zdroje.....	94
10	Přílohy.....	98

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled známých kříženců ořešáku.....	20
Tabulka 2: Průměr kmenů použitých pro odběr vzorků.....	49
Tabulka 3: Hustota dřeva při vlhkosti $w = 0 \%$ [kg/m^3]	58
Tabulka 4: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu hustoty při 0% vlhkosti jednotlivých stromů	59
Tabulka 5: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu hustoty při 0% vlhkosti jednotlivých sekcí v určité vzdálenosti od dřeně.....	59
Tabulka 6: Hustota dřeva při vlhkosti $w = 12 \%$ [kg/m^3]	61
Tabulka 7: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu hustoty při 12% vlhkosti jednotlivých kmenů	61
Tabulka 8: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu hustoty při 12% vlhkosti jednotlivých sekcí v určité vzdálenosti od dřeně.....	63
Tabulka 9: Konvenční hustota dřeva [kg/m^3]	64
Tabulka 10: Tukeyho test mnohonásobného porovnání středních hodnot konvenční hustoty mezi jednotlivými kmeny	64
Tabulka 11: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu konvenční hustoty v závislosti na jednotlivých sekcích v určité vzdálenosti od dřeně.....	66
Tabulka 12: Sesychání dřeva v radiálním směru [%]	67
Tabulka 13: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnoty radiálního sesychání pro jednotlivé kmeny.....	67
Tabulka 14: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu radiálního sesychání v závislosti na jednotlivých sekcích v určité vzdálenosti od dřeně.....	69
Tabulka 15: Sesychání dřeva v tangenciálním směru [%]	70
Tabulka 16: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu tangenciálního sesychání v závislosti na jednotlivých kmenech	71
Tabulka 17: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu tangenciálního sesychání v závislosti na jednotlivých sekcích vzdálenosti od dřeně	72
Tabulka 18: Objemové sesychání dřeva [%]	74

Tabulka 19: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu objemového sesychání v závislosti na jednotlivých kmenech	75
Tabulka 20: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu objemového sesychání v závislosti na jednotlivých sekcích vzdálenosti od dřene	76
Tabulka 21: Mez pevnosti v tlaku rovnoběžně se směrem vláken při vlhkosti $w = 12 \%$ [MPa]	78
Tabulka 22: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na jednotlivých kmenech.....	78
Tabulka 23: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na jednotlivých sekcích vzdálenosti od dřene	79
Tabulka 24: Mez pevnosti v ohybu v tangenciálním směru $w = 12 \%$ [MPa].....	81
Tabulka 25: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu pevnosti v tangenciálním ohybu v závislosti na jednotlivých kmenech	82
Tabulka 26: Modul pružnosti v tangenciálním ohybu při vlhkosti dřeva $w = 12 \%$ [MPa]	84
Tabulka 27: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu pružnosti v tangenciálním ohybu v závislosti na jednotlivých kmenech.....	84
Tabulka 28: Průměrné hodnoty hustot dřeva ρ_0	86
Tabulka 29: Průměrné hodnoty hustot dřeva ρ_{12}	87
Tabulka 30: Průměrné hodnoty hustot dřeva ρ_k	87
Tabulka 31: Sesychání	88
Tabulka 32: Koeficienty sesychání a bobtnání u vybraných druhů dřev	88
Tabulka 33: Hodnoty mez pevnosti v tlaku ve směru vláken pro dřevo některých dřevin (podle Ugoleva, 1975)	89
Tabulka 34: Mez pevnosti vybraných dřev v ohybu při vlhkosti 12 % a nad mezí hygroskopicity (podle Ugoleva, 1975 a 1986).....	90
Tabulka 35: Modul pružnosti v ohybu	90
Tabulka 36: Porovnání naměřených hodnot s hodnotami ořešáku černého a ořešáku královského udávanými hodnotami z jednotlivých zdrojů	98

Seznam obrázků

Obrázek 1: Vliv toxické látky juglon na ostatní porost.....	22
Obrázek 2: Výskyt ořešáku černého	23
Obrázek 3 a, b: Kmen ořešáku černého	25
Obrázek 4 a, b: Listy a květy ořešáku černého	26
Obrázek 5: Plody ořešáku černého.....	27
Obrázek 6: Juglans nigra - tangenciální řez (vlevo), radiální řez (uprostřed), příčný řez (vpravo)	28
Obrázek 7: Radiální řez ořešáku, homogenní (vlevo) a heterogenní (vpravo) dřevné paprsky	29
Obrázek 8: Juglans nigra tangenciální řez (vlevo), příčný řez (vpravo)	29
Obrázek 9: Juglans regia – tangenciální řez (vlevo), příčný řez (vpravo)	29
Obrázek 10: Pevnost v tlaku ve směru vláken	42
Obrázek 11: Tvar zkušebního tělesa a jeho uložení na podpěry při zkoušení pevnosti	44
Obrázek 12: Jednoduchý ohyb	44
Obrázek 13: Charakter porušení dřeva v ohybu.....	45
Obrázek 14: Označení vzorků v závislosti na vzdálenosti od dřevě	49
Obrázek 15: Posuvné měřidlo	51
Obrázek 16: Sartorius BP 3100 S.....	51
Obrázek 17: Uložení vzorku na podpěrách zkušebního stroje UTS 50	55
Obrázek 18: Pracoviště zkušebního stroje UST 50.....	55

Seznam grafů

Graf 1: Závislost hustoty na vlhkosti dřeva	37
Graf 2: Interval spolehlivosti hustoty při 12% vlhkosti pro jednotlivé kmeny.....	58
Graf 3: Krabicový graf rozložení hodnot hustoty jednotlivých stromů při vlhkosti 0 %	59
Graf 4: Interval spolehlivosti hustoty při vlhkosti 0 % na vzdálenost od dřeně ...	60
Graf 5: Krabicový graf závislosti hustoty při vlhkosti 0 % na vzdálenosti od dřeně.....	60
Graf 6: Interval spolehlivosti hustoty na kmenu	61
Graf 7:Krabicový graf závislosti hustoty na kmenu	62
Graf 8: Interval spolehlivosti hustoty na vzdálenosti od dřeně.....	62
Graf 9: Krabicový graf rozložení hodnot hustoty na vzdálenosti od dřeně	63
Graf 10: Interval spolehlivosti konvenční hustoty pro jednotlivé kmeny.....	64
Graf 11: Krabicový graf rozložení hodnot konvenční hustoty pro jednotlivé kmeny.....	65
Graf 12: Interval spolehlivosti konvenční hustoty na vzdálenosti od dřeně	65
Graf 13: Krabicový graf rozložení hodnot konvenční hustoty na vzdálenosti od dřeně.....	66
Graf 14: Interval spolehlivosti radiálního sesychání v % pro jednotlivé kmeny ..	67
Graf 15: Krabicový graf v závislosti radiálního sesychání na kmenu	68
Graf 16: Interval spolehlivosti radiálního sesychání na vzdálenost od dřeně.....	68
Graf 17: Krabicový graf závislosti radiálního sesychání na vzdálenosti od dřeně	69
Graf 18: Bodový graf závislosti meze pevnosti v tlaku na hustotě.....	70
Graf 19: Interval spolehlivosti tangenciálního sesychání v % pro jednotlivé kmeny	71
Graf 20: Krabicový graf závislosti tangenciálního sesychání na kmenu	71
Graf 21: Interval spolehlivosti tangenciálního sesychání na vzdálenost od dřeně	72
Graf 22: Krabicový graf závislosti tangenciálního sesychání na vzdálenosti od dřeně.....	73
Graf 23: Bodový graf závislosti tangenciálního sesychání na hustotě.....	73
Graf 24: Interval spolehlivosti objemového sesychání v % pro jednotlivé kmeny	74
Graf 25: Krabicový graf závislosti objemového sesychání na kmenu.....	75

Graf 26: Interval spolehlivosti objemového sesychání na vzdálenost od dřene ...	76
Graf 27: Krabicový graf v závislosti objemového sesychání na vzdálenosti od dřene.....	76
Graf 28: Bodový graf závislosti objemového sesychání na hustotě	77
Graf 29: Interval spolehlivosti meze pevnosti v tlaku ve směru vláken na kmenu	78
Graf 30: Krabicový graf závislosti meze pevnosti v tlaku ve směru vláken na kmenu	79
Graf 31: Interval spolehlivosti meze pevnosti v tlaku II na vzdálenosti od dřene	80
Graf 32: Krabicový graf závislosti meze pevnosti v tlaku na vzdálenosti od dřene.....	80
Graf 33: Bodový graf závislosti meze pevnosti v tlaku na hustotě.....	81
Graf 34: Interval spolehlivosti meze pevnosti v ohybu na kmenu.....	82
Graf 35: Krabicový graf závislosti meze pevnosti v ohybu na kmenu	82
Graf 36: Bodový graf závislosti meze pevnosti v ohybu na hustotě.....	83
Graf 37: Interval spolehlivosti meze pružnosti v tangenciálním ohybu na kmenu	84
Graf 38: Krabicový graf závislosti meze pružnosti v tangenciálním ohybu na kmenu	85

1 Úvod

Dřevo je pro současnou společnost prakticky nenahraditelným materiálem. Jedná o přírodní kompozitní materiál, který se svými vlastnostmi vyrovná, nebo dokonce předčí mnoho jiných modernějších materiálů. Dřevo je jeden z nejdéle a nejvíce používaných materiálů. Jeho světová spotřeba se neustále zvyšuje a to nejen pro konstrukční, papírenské a nábytkářské účely, ale také pro potřeby stavebně-architektonické, energetické a umělecké. V současné době se dřívě nevyužitá dřevní hmota využívá také jako vstupní výrobní surovina pro mnoho jiných materiálů na bázi dřeva.

Dřevo je přírodní rostlý materiál. Jeho stavba a struktura je do značné míry variabilní a to nejen v rámci jednoho druhu dřeviny, ale také v rámci jednoho kmene. Mikroskopická a makroskopická stavba dřeva má přímý vliv na jeho fyzikální a mechanické vlastnosti. Kromě mnoha jiných faktorů, které ovlivňují mikroskopickou a makroskopickou stavbu dřeva, má velký význam lokalita růstu dřeviny a místní mikroklimatické podmínky stanoviště.

Do nejrůznějších lokalit v ČR již bylo introdukováno mnoho dřevin pro různé účely, v tomto případě za účelem rekultivace hnědouhelné výsypky. Některé dřeviny jsou zajímavé svojí texturou nebo mají dobré fyzikální a mechanické vlastnosti, ale ve větším hospodářském využití není zcela využít jejich potenciál. Jednou z těchto dřevin je i ořešák černý (*Juglans nigra* L.), jehož dřevo je v původní oblasti výskytu velmi ceněné a hojně hospodářsky využívané. Na našem území se nijak významně hospodářsky nevyužívá. Tato dřevina je u nás vysazována převážně v parcích jako okrasná dřevina.

Ořešák černý (*Juglans nigra* L.) je původní dřevinou severní Ameriky. Do Evropy byl introdukován jako okrasná parková dřevina již v 17. století. O introdukci jsou v ČR zmínky až z 19. století (Lednice 1803, Opočno 1820 a Konopiště 1831). V regionu svého původního rozšíření je však ceněnou lesnickou dřevinou.

Pro možné využití dřeviny v našich podmínkách, je velice podstatné, znát její fyzikálně mechanické vlastnosti. Proto se tato diplomová práce zabývá zhodnocením vybraných vlastností dřeva ořešáku černého (*Juglans nigra* L.)

z území severočeské hnědouhelné výsypky Úžín. Jako patřičné ukazatele fyzikálních a mechanických vlastností dřeva ořešáku černého byly zvoleny následující:

- hustota dřeva při vlhkosti 0 %,
- hustota dřeva při vlhkosti 12 %,
- konvenční hustota.

Z fyzikálních vlastností byla předmětem výzkumu:

- mez pevnosti v tlaku ve směru vláken,
- mez pevnosti v ohybu kolmo na vlákna v tangenciálním směru,
- modul pružnosti v tangenciálním ohybu.

Fyzikální i mechanické zkoušky byly provedeny dle příslušných norem. Vlhkost těles v době zkoušky byla zjišťována pomocí gravimetrické metody. Následně se hodnoty měřených mechanických veličin přepočítaly na 12% vlhkost dřeva, ve které jsou také uvedeny.

Naměřená data byla statisticky vyhodnocena. Vyhodnocena byla také závislost jednotlivých fyzikálních a mechanických vlastností na umístění zkušební vzorku v průměru kmene, tedy zda tyto vlastnosti jsou ovlivněny vzdáleností vzorku od dřeně. Naměřená data byla vyhodnocena a porovnána s údaji uvedenými v odborné literatuře.

2 Cíl práce

Hlavním cílem této diplomové práce je zhodnotit naměřené fyzikální a mechanické vlastnosti a jejich variabilitu na vzorcích odebraných z různých kmenů ořešáku černého (*Juglans nigra* L.) z antropogenně ovlivněného stanoviště a posoudit vliv polohy vzorku v průměru kmene na měřené fyzikální a mechanické vlastnosti.

Dalším cílem je nalézt závislost zjištěných mechanických vlastností na hustotě dřeva a vzájemně porovnat výsledky popisné statistiky. Naměřené údaje porovnat s hodnotami uváděnými v odborné literatuře. Zhodnotit vliv růstových podmínek stanoviště na vlastnosti dřeva.

Z fyzikálních vlastností bude stanovena hustota při vlhkosti dřeva 0 % a 12 %, konvenční hustota dřeva a sesychání dřeva.

Z mechanických vlastností bude stanovena: mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny při vlhkosti 12 %, mez pevnosti v tangenciálním ohybu při vlhkosti 12 % a modul pružnosti v ohybu při vlhkosti 12 %.

3 Charakteristika zkoumané dřeviny

3.1 Všeobecný přehled rodu *Juglans* - ořešák

Rod *Juglans* obsahuje opadavé keře (řídčeji) i střední až velmi vzrůstné stromy s hluboce brázditou borkou. Fylogeneticky se jedná o poměrně starý rod odvozený z primitivních krytosemenných dřevin s fosilními záznamy datovanými zhruba období křídly a pak hojně z třetihor. Světový areál rodu *Juglans* je u recentních druhů disjunktivní s několika centry (subareály) v severoamerické oblasti (východ i západ) s přesahem do Střední Ameriky, ve východní a západní Asii. Další druhy nalezneme na západě Jižní Ameriky. Areál původního rozšíření je po celé severní polokouli, v celém teplém mírném a subtropickém pásu a zasahuje také do horských oblastí pásu tropického. Jde o rostlinný druh, který pro vyžráních svých plodů vyžaduje dlouhé a teplé vegetační období. Z pohledu globálních klimaticko-vegetačních komplexů nalézáme rozšíření převážně v lesích mírné zóny (opadavé listnaté lesy), některé druhy osídlily podnebí mlžných tropických lesů, jiné naopak okrajově zasahují až do vyprahlých částí kontinentů nebo do boreálního pásma s oceánickým klimatem.

Ořešáky jsou statné stromy s rozložitou kuželovitou korunou. Kůra je světlešedá až černá na starých stromech hluboce brázditá. Dřeň mladých výhonkům přešrádkovaná. Pupeny stojí na větvi střídavě, jsou kulovité až konické, kryté vstřícnými šupinami. Postraní pupeny jsou často dva nad sebou, samčí květní pupeny jsou na povrchu mřížovité. Listy jsou opadavé, lichozpeřené, celokrajné nebo pilovité. Ořešák kvete současně s rašením listů a květy jsou různopohlavní. Samčí květy směstnané v mnohokvětých jehnědách, visí na loňských letorostech. Plodem ořešáku je peckovice, se zeleným masitým holým nebo žláznatým exokarpem, která při dozrání plodu puká a odpadá nebo sesychá.

Ořešáky nám poskytují velmi cenné dřevo a některé druhy též chutné plody velké výživové hodnoty. Ořešáky patří mezi prastaré kulturní ovocné dřeviny, a proto je dnes tolik rozšířený. Pro zahradní a krajinou tvorbu mají v našich podmínkách význam druhy rostoucí v mírném pásmu.

Ořešáky patří do čeledi ořešákovitých (Juglandaceae). Celý rod obsahuje kolem 40 druhů, z nichž asi osm druhů má hospodářský význam. Mezi druhy ořešáků, které jsou v našich podmínkách méně často pěstované, ale se kterými lze experimentovat, řadíme:

- Ořešák japonský (*Juglans ailantifolia*),
- Ořešák popelavý (*Juglans cinerea*),
- Ořešák mandžuský (*Juglans mandshurica*).

V našich klimatických podmínkách jsou nejčastěji pěstovány tyto druhy ořešáků:

- Ořešák královský (*Juglans regia*),
- Ořešák černý (*Juglans nigra*).

3.1.1 Pohlavní křížení

Pohlavní křížení je jednou z neúčinnějších a nejnadějnějších metod selekce, při níž záměrně vytváříme rostliny s novými cennými vlastnostmi. Vhodné kombinace křížení umožňují změnit a zlepšit v krátké době povahu divokých dřevin. Každé křížení však nedává rovnocenné výsledky. Ořešáky jsou dřeviny, které se mezi sebou snadno kříží, jak dosvědčují hybridy vzniklé náhodně v přírodě, např. *j.nigra* x *j.regia*, *j.cinerea* x *j.regia*. Další možné varianty druhového křížení jsou znázorněny v níže uvedené tabulce. U prvního pokolení mezidruhových kříženců se velmi často projevuje bujný vzrůst a někteří kříženci mohou svou růstovou energií až několikanásobně převyšovat rodičovské druhy.

Tabulka 1: Přehled známých kříženců ořešáku

	<i>J. regia</i>	<i>J. nigra</i>	<i>J. cinerea</i>	<i>J. mandshurica</i>	<i>J. Sieboldiana</i>	<i>J. cordiformis</i>	<i>J. Hindsii</i>
<i>J. regia</i>	—	<i>J. intermedia</i> Carr.	<i>J. alata</i> Schn.	nepojmenován Mič. Jabl.	<i>J. notha</i> Rehd.	<i>J. notha</i> Batesii Rehd.	Paradox
<i>J. nigra</i>	<i>J. intermedia</i> Carr.	—	nepojmenován	nepojmenován			Royal
<i>J. cinerea</i>	<i>J. quadrangulata</i>	nepojmenován	—	nepojmenován Jabl.	<i>J. Bixbyi</i> Rehd.	<i>J. lancastriensis</i> Rehd.	
<i>J. mandshurica</i>	nepojmenován	nepojmenován	nepojmenován Jabl.	—	nepojmenován Mič. Jabl.		
<i>J. Sieboldiana</i>	<i>J. notha</i> Rehd.		<i>J. Bixbyi</i> Rehd.	nepojmenován Mič. Jabl.			
<i>J. cordiformis</i>	<i>J. notha</i> Batesii Rehd.		<i>J. lancastriensis</i> Rehd.				
<i>J. Hindsii</i>	Paradox	Royal					

Zdroj: Pokorný, 1952

3.1.2 Choroby ořešáku

Antraknózy a bakteriální skvrnitosti na ořešáku

Žlutohnědé skvrny mohou vznikat zejména na listech a kolem nervatury, ale objevují se i na listových řapících, plodech či na letorostech. Skvrny se později zbarví úplně dohněda. Jsou ohraničené a neustále se zvětšují. Napadené listy se deformují, zasychají a již koncem léta předčasně opadávají. V důsledku předčasného opadávání dochází ke špatnému vyžrání letorostů a ke zvýšenému riziku poškození mrazy.

Na plodech jsou skvrny šedohnědé až černé, mírně propadlé a lehce zaměnitelné se skvrnami způsobenými bakteriemi. Silněji napadené plody jsou deformované, nedostatečně vyžralé a často předčasně opadávají. Infekce ohrožuje ořešák především v období od poloviny května do poloviny června, kdy je deštivé a teplé počasí. Výskyt antraknózy a bakteriální skvrnitosti na ořešáku lze zmírnit chemickým ošetřením měďnatými přípravky, které se provádí před odkvětem ořešáku.

Z patogenních činitelů působí velké a nevratné poškození v teplejších oblastech zejména jmelí (*Viscum album* L. ssp. *album*), které se u mladých i starých exemplářů dokáže šířit v koruně velkou rychlostí a je příčinou postupného usychání kosterních větví a celých partií koruny. Ošetření řezem je většinou dočasné a mnohdy nepříliš efektivním či nejcitlivější řešením. Jako preventivní způsob ochrany může posloužit pouze výsadba v oblastech, kde se jmelí nedaří.

3.1.3 Alelopatie

Zajímavostí je, že listy ořešáků produkují chemické látky, které za deště stékají s vodou do půdy a zpomalují růst jiných druhů rostlin. Kořeny ořešáků produkují látku, které mohou být toxické pro část rostlinných druhů, které pak mohou i odumřít. Nazývá se alelopatie, vůči které jsou některé keře imunní, např. černý bez, hlošina, rybíz. Slivoně jsou např. alelopatii ořešáku odolnější než jabloně. Ořešák černý (*Juglans nigra*) a ořešák vlašský (*Juglans regia*) obsahují ve svých kořenech toxickou látku juglon a byl zaznamenán úhyn rostlin pod stromem do vzdálenosti délky jeho kořenů

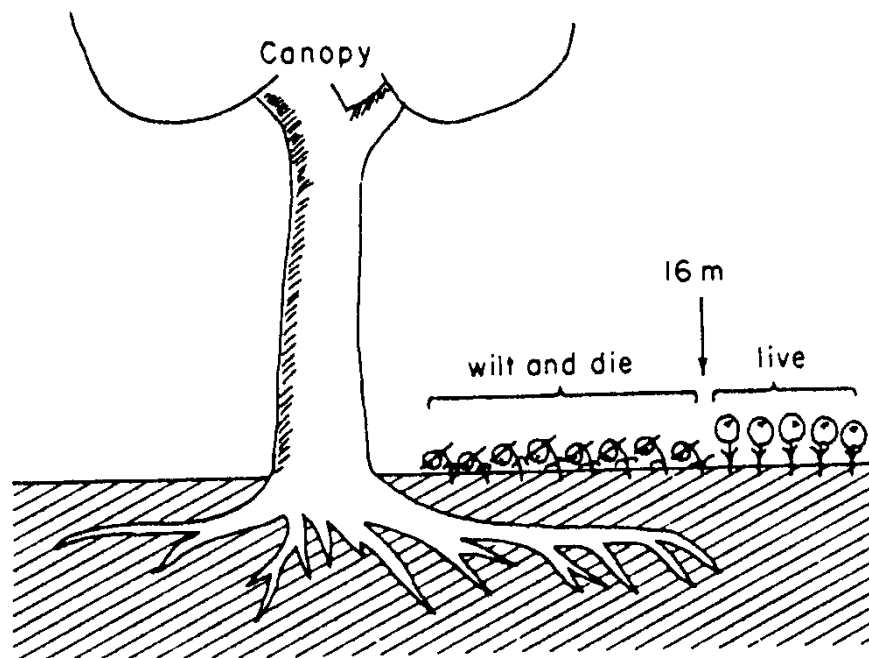
Alelopatie je:

- chemické interakce mezi vyššími rostlinami,
- chemicky zprostředkovaný souboj rostlin o živiny,
- alelopatické látky - sekundární látky, strukturně jednoduché - terpenické či aromatické povahy,
- alelopatie je častá mezi stromy a keři, ale také mezi pouštními rostlinami, kde je málo vláhy a živin; existuje ve všech klimatických pásech.

Juglon je:

- vodorozpustný hnědý pigment,
- ve stromu vázán ve formě netoxického glykosidu,

- přítomen nejenom v kořenech, ale i listech a slupkách plodů,
- detekovatelný ještě v hloubce 8 m a vzdálenosti až 27 m od kmene,
- toxicita vůči ostatním rostlinám,
- zabraňuje klíčení semen jiných rostlin,
- některé rostliny jsou schopny alelopatické toxiny tolerovat.



Obrázek 1: Vliv toxické látky juglon na ostatní porost

Zdroj: uochb.cz, [online], 2015

3.2 Ořešák černý (*Juglans nigra*)

Juglans nigra je jedním z deseti druhů ořešáků. Je znám také jako American walnut a Virginia walnut (Velká Británie), canaletto, black hickory nut a walnut tree (USA) a Canadian walnut (Kanada a USA). Příbuzné druhy zahrnují

jihoamerický *J. neotropica*, *J. columbiensis* a *J. australis* (zvaný v USA a Velké Británii Peruvian walnut).

Ořešák černý je hojně rozšířen po Severní Americe, od jihu Ontaria v Kanadě dolů do Texasu a na východ od Maine po Floridu. Příbuzné druhy se vyskytují v Jižní Americe, konkrétně v Peru, Kolumbii, Ekvádoru, Venezuele, Argentině a Mexiku.



Obrázek 2: Výskyt ořešáku černého

Zdroj: prace-se-drevem.spibi.cz, [online], 2015

Ve svém původním areálu roste v lesích. Protože má malou konkurenční schopnost a je výrazně světlomilný, nejčastěji se vyskytuje na lesních okrajích anebo v blízkosti vodních toků. Nejčastěji se vyskytuje s dřevinami jako je dub červený (*Quercus rubra*), dřezovec trojtrný (*Gleditsia triacanthos*), břestovec západní (*Celtis occidentalis*), liliovník tulipánokvětý (*Liriodendron tulipifera*), javor cukrový (*Acer saccharum*), nahovětvec dvoudomý (*Gymnocladus dioicus*) a dalšími druhy. Vyžaduje hluboké, dobře propustné a živinami bohaté půdy, neutrální až mírně bazické a písčitohlinité.

Ořešák černý je opadavý strom dorůstající až 30 m do výšky a až 20 m do šířky. Je citlivý na jarní mráz, ale jinak je krátkodobě mrazuvzdorný až do -35 °C. Ořešák černý má širokou, rozložitou korunu. Listy jsou lichozpeřené, pilovité, jsou lesklé, mají zelenou barvu a jsou dlouhé až 60 cm.

Jako parková a okrasná dřevina se rozšířil do Evropy, střední Asie a Číny. Do Evropy byl introdukován v 17. století. Na území Čech se dostal až v 19. století - např. Lednice 1803, Konopiště 1831 (botany.cz, [online], 2015). V Čechách ořešák černý v plošných porostech téměř vůbec neexistuje, přehlédneme-li ojedinělé výsadby na Radnicku a u Budyně nad Ohří. To však neznamená, že by v Čechách nebyly vhodné podmínky pro jeho růst, dosvědčují nám to pěkné stromy v četných parcích (Opočno, Pardubice, Roudnice aj.) Hlavní výsadby v našem státě jsou soustředěny na jižní Moravě, kde byly s ořešákem černým získány velmi dobré zkušenosti. Největší rozlohu zaujímají jeho porosty na Moravě okolí Uherského Hradiště Břeclavsku. Starší porosty jsou čistě monokultury a vyžadují naléhavě podsadbu krycí půdoochranné dřeviny. Při výsadbě ořešáku černého musíme věnovat pozornost volbě vhodného stanoviště.

Nároky ořešáku černého na minerální a fyzikální složení půdy jsou vysoké. Žádá půdu hlubokou, svěží, bohatou živinami a humusem. Nejlépe roste na bohatých půdách s vyšším obsahem vápníku, draslíku a humusu, na půdách hlinitých, humosních, písčích i půdách jílovitých, pokud jsou propustné. Zamokřené, těžké jílovité půdy a chudé čisté písky mu nevyhovují. Nejlepší stanoviště pro ořešáky jsou tedy jasanové a lepší dubové půdy (Pokorný, 1952). V nárocích na světlo je ořešák černý slunnou dřevinou a v tomto ohledu je jednou z nejnáročnějších dřevin. Jedině v prvních dvou až čtyřech letech snáší mírné horní nebo silnější boční zastínění, později mu stín ochranného porostu škodí (Pokorný, 1952).

Ořešák černý patří mezi nejrychleji rostoucí ořešáky, a proto se často uplatňuje v lesnictví. V produkci dřeva se ukázal jako nejlepší, přesto je stav jeho výsadeb v Čechách poměrně malý a zdaleka nejsou využita všechna vhodná stanoviště pro tuto dřevinu.

3.2.1 Kmen a kořen

Ořešák černý je strom, dorůstající výšky 30 – 50 m a dosahující průměru kmene až 2,5 m. V porostu vytváří rovný, přímý, plnodřevný kmen s vysoce nasazenou

korunou. Na volném prostoru vytváří velikou rozložitou korunu s nízkým kmenem. Šedočerná kůra se mění již kolem 5. – 8. roku v podélně brázditou temnou borku (Pokorný, 1952). Jednoleté větve šedě pýřité, poněkud žláznaté, jen slabě lesklé. Dřeň je přehrádkovaná.

Kořen je typicky kulový, v prvním roce dorůstá 50-70 cm délky. Kořenové vlášení je v prvních letech vyvinuto jen na spodní části kulového kořenu, takže velmi špatně snáší přesadby. Vodorovně větvené kořeny se vytvářejí až ve druhém roce (Pokorný, 1952). Kořenový systém je hluboký, kulový. Dřevo má široké, nafialověle hnědé jádro a světlou, úzkou běl. Je pevné, tvrdé, těžké, ohebné (Pagan, 1998).



Obrázek 3 a, b: Kmen ořešáku černého

Zdroj: botany.cz, [online], 2015

3.2.2 Listy a květy

Listy jsou lichozpeřené, pilovité, jsou lesklé, mají zelenou barvu a jsou dlouhé až 60 cm. U lichozpeřených listů chybí velmi často koncový lístek, proto mají charakter listů sudozpeřených. Jsou 25 – 50 cm dlouhé a mají 15 – 21 vejčité kopinatých lístků. Lístky jsou při bázi zaokrouhlené, na konci protažené v delší špičce a na obvodu ostře pilovité. Konečné lístky bývají menší než lístky

prostřední. Plstnatost zachována jen na rubu lístků v úhlech nervů a na větvení. Listy raší v polovině května, opadávají počátkem října (Pokorný, 1952).

Květy ořešáků jsou diklinické a tvoří je převislé jehnědy, které vykvétají od května do června. Květ obsahuje 20 – 30 tyčinek s načervenalými prašníky. Samčí jehnědy se zakládají v předešlém roce, samičí racemózního typu vyrůstají na letorostech. Samčí květy mají žlutou až žlutozelenou barvu a jsou až 10 cm dlouhé. Soustředěny jsou na horním okraji loňských větévek a rozkvétají současně s rašením listů v květnu. Samičí květy jsou jemně pýřité s červenými bliznami ve skupinkách po třech až pěti. Samičí květy jsou menší, dosahují délky přibližně 5 cm. Květy ořešáků jsou samosprašné a jsou opylovány větrem. (Pokorný, 1952).



Obrázek 4 a, b: Listy a květy ořešáku černého

Zdroj: zahrada-park-krajina.cz, [online], 2015

3.2.3 Plody

Z květů se později vytvářejí plody, což jsou ořechy ukryté ve zdužnatělém obalu. Peckovice jsou kulovité, zřídka hruškovitého tvaru a mají průměr 5-7 cm, vyrůstají jednotlivě, nebo po dvou plodech. Žlutozelené dužnaté oplodí je zprvu pýřité, později olysává, na povrchu je svraskalé hrbolaté, při dozrání černá.

Nepuká a špatně se sloupává. Endokarp je rovněž kulovitý, s velmi tvrdou, hluboce zbrázděnou skořápkou. Olejnaté, laločnaté semeno se těžko vyprošťuje ze skořápky a většinou má natrpklou chuť. Existuje i kulturní forma se sladkým semenem a tenkou skořepinou (Pokorný, 1952). Plody dozrávají a opadávají během října. Ořešák je plodný téměř každoročně, ale roky s bohatou úrodou se dostavují po čtyřech až pěti letech. Solitéry začínají plodit již před desátým rokem a plodnost si udržují až do vysokého stáří. Velikost ořechů dosti kolísá a v určitých mezích se mění též podle počasí vegetačního období (suché léto – menší plody). Průměrně přichází na 1 kg 70 – 90 ořechů s oplodím 25 – 30 ks (Pokorný, 1952).



Obrázek 5: Plody ořešáku černého

Zdroj: zelen.cz, [online], 2015

3.2.4 Znaky dřeva ořešáku

Ořešák černý je těžké dřevo. Musí být sušeno opatrně, aby nedošlo k popraskání a deformaci. Po vyschnutí je tvarově velmi stabilní. Dřevo ořešáku má střední hustotu, nízkou tuhost a rázovou houževnatost. Pro svoji mírnou pevnost v ohybu a tlaku, má velmi dobré předpoklady pro ohýbání. Dobře se opracovává ručně i strojově a lze jej úspěšně vyhlazovat a leštit. Je velmi trvanlivé.

Makroskopické znaky

Jedná se o roztroušeně pórovitou, jádrovou dřevinu. U ořešáků se jedná stavbou o přechod mezi kruhovitě pórovitými a roztroušeně pórovitými dřevinami. Na rozdíl od dalších našich roztroušeně pórovitých dřevin, má však okem dobře

viditelné cévy. Můžeme je označovat, jak uvádí Šlezingerová et al. (1996), za polokruhovitě pórovité dřeviny. Hranice letokruhů jsou málo výrazné, ale dobře patrné. Dřeňové paprsky jsou vidět pouze na radiálním řezu (obrázek 6).

Vyznačuje se šedivě hnědou barvou s takřka černým žilkováním. Jádrové dřevo je v mladším věku stromu světlé, později tmavne a získává tmavě hnědou barvu, která ve stáří přechází takřka v černou. Bělové dřevo mívá odstíny ve škále od hnědavě šedé po světle šedou (Mikulka, 2010). Kresba dřeva ořešáku je nezaměnitelná.

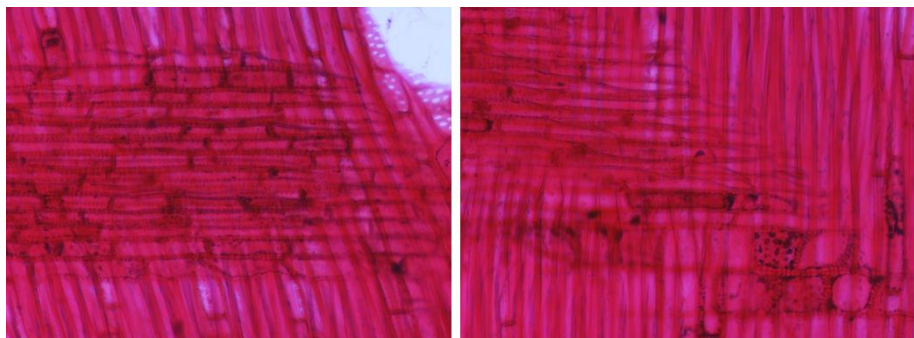


Obrázek 6: Juglans nigra - tangenciální řez (vlevo), radiální řez (uprostřed), příčný řez (vpravo)

Zdroj: autor práce

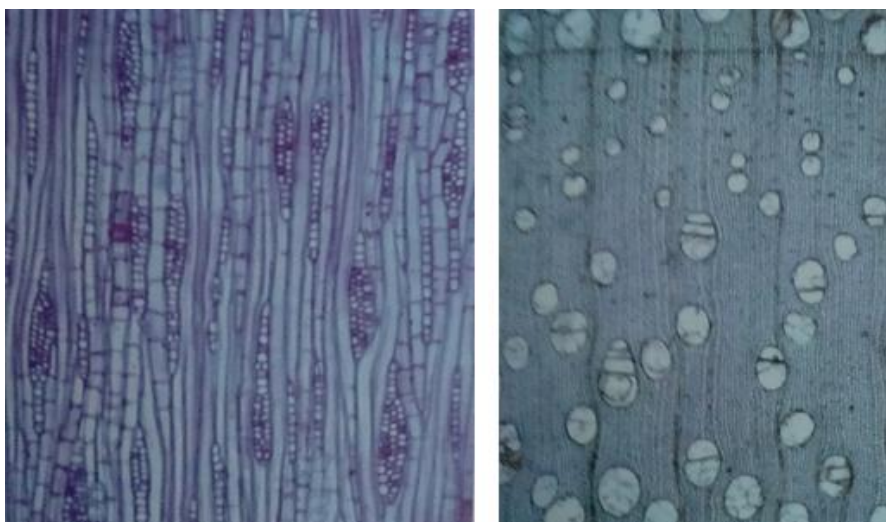
Mikroskopické znaky

Na příčném řezu jsou patrné zřetelné široké cévy, zacpané thylami (obrázek 8). Cévy jsou rovnoměrné rozložené v celém letokruhu, můžeme pozorovat zmenšení průměru cév směrem od jarního k letnímu dřevu. Na tangenciálním řezu u ořešáku černého (*Juglans nigra*) - obrázek 8, jsou patrné užší dřeňové paprsky, které dosahují na šířku nižšího počtu buněk, než u ořešáku královského (*Juglans regia*) - obrázek 9. Šířka dřeňového paprsku se pohybuje od jedné do čtyř buněk. Dřeňové paprsky ořešáku mohou být jak homogenní tak i heterogenní (Obrázek 7). Perforace jsou jednoduché (fld.czu.cz, [online], 2015).



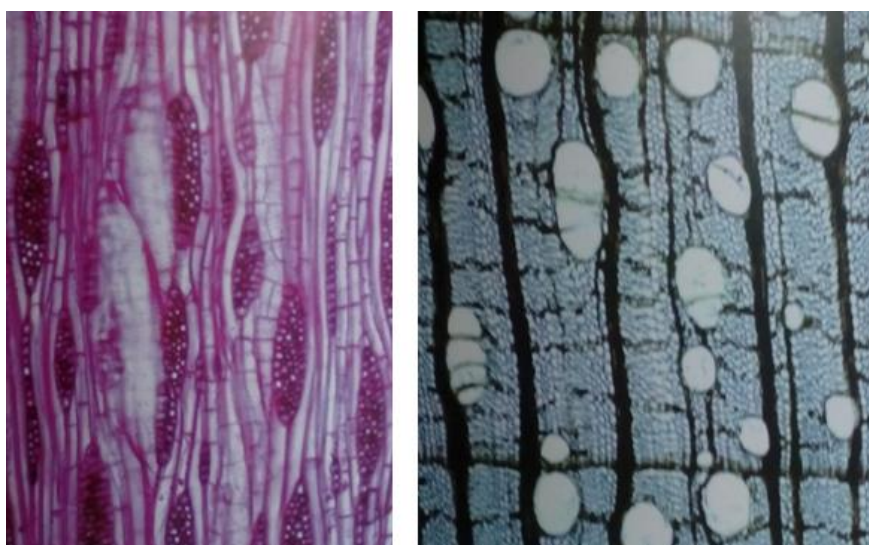
Obrázek 7: Radiální řez ořešáku, homogenní (vlevo) a heterogenní (vpravo) dřevové paprsky

Zdroj: fld.czu.cz, [online], 2015



Obrázek 8: Juglans nigra tangenciální řez (vlevo), příčný řez (vpravo)

Zdroj: Wagenführ, 2000



Obrázek 9: Juglans regia – tangenciální řez (vlevo), příčný řez (vpravo)

Zdroj: Wagenführ, 2000

3.2.5 Využití dřeva ořešáku

Ořechové dřevo se už od 17. století používá na výrobu prvotřídního nábytku, na výrobu pažeb cenných mysliveckých pušek, na pistolové střenky, na palubní desky luxusních automobilů, na vybavení interiérů bank, kanceláří a drahých obchodů. Ořechové dřevo se využívá v řezbářství a dřevosochařství. Je oblíbeným materiálem pro špičkové dřevěné umělecké předměty, jako například přívěsky a šperky a na různé soustružené výrobky. Odedávna se ořechové dřevo používalo i na vykládání (intarzie) nábytku, zvláště díky svojí neopakovatelné kresbě a kontrastu k světlým dřevům smrkovým.

Velmi významné a rozšířené je využití dřeva na výrobu vysoce dekorativních ořechových dýh, které se používají na výrobu nábytku, konstrukčních překližek a dřevotřískových desek, dveří, obložek, podlahových panelů, apod. Pro tyto účely se většinou používá odolné a atraktivní dřevo z ořešáků, vzrostlých v hornatých oblastech Přední a Centrální Asie. Ořešáky v tomto prostředí rostou pomalu a dožívají se až několika set let. Jsou odolné a se širokým kmenem. Káci se nejdříve po 100 letech, až když průměr kmene dosáhne alespoň 120 cm. Dřevo mají husté, tvrdé, s rovnoměrnou strukturou, s krásnou barvou a kresbou. Ořešák dobře odolává plísním a houbám. Spolu s dubem se jedná o jedno z nejvyhledávanějších dřev (Mikulka, 2010). Pro svoje vlastnosti je ořechové dřevo velice ceněno.

4 Vlastnosti zkoumané dřeviny

4.1 Fyzikální vlastnosti dřeviny

Mezi fyzikální vlastnosti patří vlastnosti, které lze zkoumat bez narušení chemického složení a celistvosti materiálu. Mezi tyto vlastnosti zahrnujeme: barvu a kresbu dřeva, lesk dřeva, vůně dřeva, vlhkost dřeva, hustota dřeva, tepelné, zvukové a elektrické vlastnosti dřeva (Škára, 1996).

4.1.1 Vlhkost dřeva

Dřevo je hygroskopický materiál. Svoji vlhkost se neustále snaží vyrovnat s okolním prostředím. Je schopný vodu přijímat nebo odevzdávat, a to ve skupenství plynném nebo kapalném. Z praktického hlediska je voda nejdůležitější kapalinou, i když dřevo je schopné přijímat i jiné kapaliny. Ve většině případů voda ve dřevě ovlivňuje jeho vlastnosti a často způsobuje jejich zhoršení. Obsah vody ve dřevě ovlivňuje hustotu dřeva, způsobuje rozměrové změny, ovlivňuje odolnost proti houbám a napadení hmyzem a další fyzikálně mechanické vlastnosti (Šlezingerová et al., 1996).

Přítomnost kapalin (vody) ve dřevě nazýváme vlhkostí dřeva a je vyjádřena jako vlhkost absolutní a relativní:

- **Absolutní vlhkost - podíl hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu,**

používá pro charakteristiku fyzikálních a mechanických vlastností dřeva, vypočte se dle vzorce (1):

$$w_a = \frac{m_v}{m_0} * 100 = \frac{m_w - m_0}{m_0} * 100 [\%] \quad (1)$$

Legenda: w_a – absolutní vlhkost; m_0 – hmotnost dřeva v absolutně suchém stavu; m_w – hmotnost dřeva při vlhkosti w ; m_v – hmotnost vody

- **Relativní vlhkost - podíl hmotnosti vody k hmotnosti mokrého dřeva,**
Vypočítá se dle vzorce (2). Používá v technické praxi nebo tam, kde je nutné znát procentuální zastoupení vody v celkové hmotnosti mokrého dřeva, například při nákupu nebo prodeji (Horáček, 1998).

$$- w_r = \frac{m_v}{m_w} * 100 = \frac{m_w - m_0}{m_w} * 100 [\%] \quad (2)$$

Legenda: w_r – relativní vlhkost; m_0 – hmotnost dřeva v absolutně suchém stavu; m_w – hmotnost dřeva při vlhkosti w ; m_v – hmotnost vody

V praxi se rozlišují tyto stupně vlhkosti dřeva (Požgaj et al., 1993; Škára, 1996):

- Mokré dřevo (více než 100 %) - dřevo uložené dlouhodobě ve vodě,
- Syrové dřevo (50 – 100 %) - dřevo z čerstvě poraženého stromu,
- Dřevo sušené dlouhodobě vzduchem (15 – 20 %) - v obyčejných podmínkách exteriéru,
- Dřevo sušené ve vytápěných místnostech (8 – 10 %) - dřevo sušené v interieru,
- Absolutně suché dřevo (0 %) - sušené v sušárnách při $t = 103 \pm 2$ °C.

Z hlediska uložení vody ve dřevě ji můžeme rozdělit na vodu:

- chemicky vázanou
- vázanou (hygroskopickou)
- volnou (kapilární)

Chemicky vázaná voda je ve dřevě obsažená jako součást chemických sloučenin a nelze ji ze dřeva odstranit sušením, ale pouze spálením. Ve dřevě je tedy zastoupena i v absolutně suchém stavu, její množství je jedno až dvě procenta v sušině dřeva. Nemá prakticky žádný význam při zjišťování charakteristických fyzikálních nebo mechanických vlastností.

Za vodu vázanou neboli hygroskopickou se považuje voda obsažená v buněčných stěnách. Na hydroxylové skupiny – OH amorfních částí celulózy a hemicelulózy se vážou, za pomoci vodíkových můstků molekuly vody. Vázaná voda se ve dřevě vyskytuje v průměru při vlhkostech 0 až 30 %, na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva má největší a zásadní význam.

Voda volná neboli kapilární vyplňuje lumény buněk a mezibuněčné prostory. Na změnu fyzikálních a mechanických vlastností má podstatně menší vliv než voda vázaná.

Hranice mezi vodou volnou a vázanou se stanoví na základě určení meze nasycení buněčných stěn - MNBS nebo meze hygroskopicity – MH (Horáček, 1998).

Hodnota vlhkosti při dosažení meze nasycení buněčných stěn je závislá na dřevině a na teplotě, pohybuje se v rozmezí 22 – 35 %. Pro technické účely byla zavedena střední hodnota 30 % (Škára, 1996).

Vlhkost při nasycené buněčných stěn znamená, že mikrokapilární systém v buněčné stěně je zcela zaplněn vodou. Tato vlhkost se vyjadřuje mezi nasycení buněčných stěn MNBS nebo mezi hygroskopicity (MNBS ~ MN = 22 - 35 %).

MNBS – je takový stav buňky, při kterém je plně nasycena vodou buněčná stěna, ale v lumenu buněk ani v mezibuněčných prostorách není žádná voda v kapalném skupenství. Lze říci, že se jedná o maximální vlhkost buněčných stěn dřeva, které bylo dlouhodobě uloženo ve vodě. Teplota na tuto veličinu nemá prakticky žádný vliv. MNBS se u našich dřev pohybuje v rozmezí 22 až 35 % (průměrně 30 %) a je závislá zejména na anatomické a chemické stavbě dřeva, to znamená zejména na druhu. Určuje se jen velmi obtížně (Horáček, 1998).

MH – vlhkosti na mezi hygroskopicity dřevo dosáhne dlouhodobě vystavené vzduchu, jehož relativní vlhkost je blízká bodu nasycení ($\varphi = 0,995$ %). Při teplotě 15 až 20° C jsou obě veličiny srovnatelné (Horáček, 1998).

Rozdíl mezi mezi hygroskopicity a mezi nasycení buněčných stěn je tedy v prostředí, kterému je dřevo vystaveno.

Zjišťování vlhkosti gravimetrickou metodou

Jedná se o přímou metodu zjišťování vlhkosti, která vychází z definičního vzorce vlhkosti. Tato metoda je nejpřesnější metodou určení vlhkosti. Používá se také jako referenční metoda při posuzování přesnosti elektrických vlhkoměrů (Šlezingerová et al., 1996).

Principem metody je zjištění hmotnosti tělesa vlhkého dřeva m_w a zjištění hmotnosti absolutně suchého dřeva m_0 (Požgaj et al., 1993). Z hmotnosti tělesa před vysušením a po vysušení se vypočítá vlhkost dle vzorce (1) nebo (2). Podmínky zkoušky předepisuje příslušná norma ČSN.

Výhodou gravimetrické metody je vysoká přesnost a stanovení vlhkosti. Nevýhodou je především časová náročnost, pracnost přípravy těles a nemožnost kontinuálního měření (Šlezingerová et al., 1996).

4.1.2 Hustota dřeva

Hustota dřeva je fyzikální vlastnost, která je dána podílem hmotnosti dřeva k jeho objemu. Značena je řeckým písmenem ρ a základní jednotkou je $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, jako další je používána jednotka $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Požgaj et al., 1993).

Pro charakteristiku hustoty dřeva používáme nejčastěji tyto vlhkostní stavy:

- a) hustota dřeva v suchém stavu $w = 0\%$
- b) hustota dřeva při vlhkosti 12 %
- c) hustota dřeva vlhkého $w > 0\%$ (Horáček, 1998; Šlezingerová et al., 1996).

Obecně je možné říci, že čím je hustota dřeva vyšší hodnoty (za předpokladu stejné vlhkosti nebo $w = 0\%$), tím jsou také vyšší hodnoty některých fyzikálních a mechanických vlastností dřeva (Matovič, 1993).

Hustota dřeviny při určité vlhkosti se vypočítá jako podíl hmotnosti m_w a objemu V_w při téže vlhkosti podle vzorce (3).

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}] \quad (3)$$

Legenda: ρ_w – hustota dřeva při dané vlhkosti [kg/m^3];
 m_w – hmotnost vzorku při vlhkosti w [kg]; V_w – objem vzorku při vlhkosti w [m^3]

Pro korekci hustoty ρ_w o známé vlhkosti w na hustotu ρ_{12} dřeva při vlhkosti 12 % použijeme vzorec (4) dle normy ČSN 49 0108.

$$\rho_{12} = \rho_w * \left[1 - \frac{(1-K)*(W-12)}{100} \right] \quad (4)$$

Legenda: ρ_{12} – hustota dřeva při $w=12\%$ [kg/m^3]; ρ_w – hustota dřeva při dané vlhkosti [kg/m^3];
 W – vlhkost vzorků [%]; K – koeficient pro korekci $K=0,85*10^{-3}$

Z hlediska porovnání výsledků a při některých teoretických výpočtech je vhodnější použití hustoty dřeva v absolutně suchém stavu ρ_0 , tedy hmotnost a objem dřeva je měřen při nulové vlhkosti. Hustota se vypočítá podle vzorce (5).

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \text{ [kg.m}^{-3}\text{]} \quad (5)$$

Legenda: ρ_0 – hustota absolutně suchého dřeva [kg/m³];
 m_0 – hmotnost absolutně suchého vzorku $w=0$ % [kg]; V_0 – objem absolutně suchého vzorku [m³]

Konvenční hustota je veličinou vhodnou pro technologické výpočty v lesním a dřevozpracujícím průmyslu. Je definována jako podíl hmotnosti dřeva při vlhkosti 0 % a objemu při vlhkosti nad mezí hygroskopicity, kdy už ve dřevě nedochází k rozměrovým změnám. Konvenční hustotu vypočítáme dle vzorce (6).

$$\rho_k = \frac{m_0}{V_{max}} \text{ [kg.m}^{-3}\text{]} \quad (6)$$

Legenda: ρ_k – konvenční hustota dřeva [kg/m³];
 m_0 – hmotnost absolutně suchého vzorku $w=0$ % [kg]; V_{max} – maximální objem vzorku [m³] (objem při vlhkosti $w \geq MNBS \sim MN$)

Pomocí této veličiny lze např. přepočíst zásobu mokrého dřeva (s vlhkostí nad mezí hygroskopicity) v objemových jednotkách na hmotnost sušiny a naopak, což nalézá praktické uplatnění zejména při váhové přejímce dříví. V anglické literatuře odpovídá konvenční hustotě pojem „basic specific gravity“ (mendelu.cz, [online], 2015).

Dřeviny zastoupené v ČR můžeme dle hustoty rozdělit do tří skupin.

- **dřeviny s nízkou hustotou** - označujeme dřeviny o hustotě $\rho_{12} < 540 \text{ kg.m}^{-3}$. Jedná se např. o smrk, borovici, jedli, topol atd.
- **dřeviny se střední hustotou** - označujeme dřeviny s hustotou v intervalu $540 \text{ kg.m}^{-3} < \rho_{12} < 750 \text{ kg.m}^{-3}$. Mezi tyto dřeviny patří např. dub, buk, modřín, bříza atd.
- **dřeviny s vysokou hustotou** - považujeme dřeviny jejich hustota $\rho_{12} > 750 \text{ kg.m}^{-3}$. Do této skupiny řadíme např. habr nebo akát (Lexa et al., 1952; Požgaj et al., 1993).

Hustota exotický dřevin dosahuje větší variability, pohybuje se v intervalu od nejlehčího dřeva, jímž je balza (*Ochroma lagopus* Sw.) s hustotou $\rho_0 = 130 \text{ kg.m}^{-3}$ až po nejtěžší dřevo za které je považován guajak (*Guaiacum officinale* L.) s hustotou $\rho_0 = 1360 \text{ kg.m}^{-3}$ (Lexa et al., 1952; Požgaj et al., 1993).

Závislost hustoty dřeva na vzdálenosti od dřeně

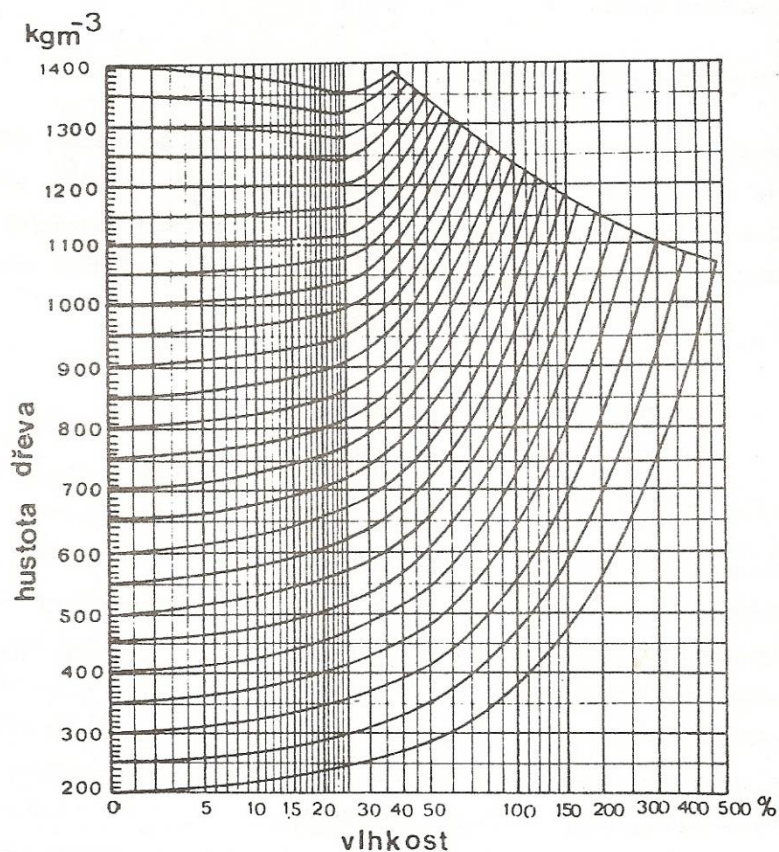
Změny hustoty v průměru kmene jsou převážně způsobeny nepravidelnou šířkou letokruhů a vysoká hustota se může vyskytnout v libovolném průměru kmene (Požgaj et al., 1993).

Rozložení hustoty dřeva po průměru kmene můžeme shrnout takto:

- hustota smrkového dřeva a dřeva některých dalších jehličnatých dřevin vzrůstá směrem k obvodu, přičemž nejvyšší hustoty dosahují periferní části kmene. Přibližně podobnou tendenci mají i kruhovitě pórovité dřeviny, což souvisí se změnou šířky letokruhů a podílů letního dřeva,
- u některých roztroušeně pórovitých dřevin vzrůstá hustota od dřeně směrem k obvodu kmene jen po určitou hranici a dále směrem k obvodu kmene klesá. Na některých dřevinách má hustota dřeva od dřeně směrem k periferní části kmene jednoznačně vzrůstající tendenci (Požgaj et al., 1993)

Závislost hustoty dřeva na vlhkosti

Pokud dřevo přijímá vodu a to ať už ve formě plynné nebo kapalné dochází ke zvyšování jeho hmotnosti (Matovič, 1993). Tím pádem je ovlivněna i hustota dřeva a dojde tedy také k jejímu zvýšení. Tuto závislost znázorňuje graf 1.



Graf 1: Závislost hustoty na vlhkosti dřeva

Zdroj: Kollmann, 1951

Přítom i mez hygroscopicity má zásadní význam při určování hustoty, jelikož ke změně objemu nad touto hranicí vlhkosti dřeva již nedochází

Do meze hygroscopicit dřevo přijímá do buněčných stěn vodu vázanou a současně zvyšuje svůj objem (bobtná). Velikost změny hustoty tedy závisí na hmotnosti přijaté vody a na hodnotě zvýšení objemu dřeva (Matovič, 1993).

Hustota vlhkého dřeva do vlhkosti $w \leq MH$ (průměrně $w=30\%$) se vypočítá z hustoty absolutně suchého dřeva dle vzorce (7).

$$\rho_w = \rho_0 * \frac{100+w}{K_{\alpha V} * w + 100} \quad (7)$$

Legenda: ρ_w – hustota vlhkého dřeva [kg/m^3]; ρ_0 – hustota absolutně suchého dřeva [kg/m^3]; $K_{\alpha V}$ – koeficient objemového bobtnání; w – vlhkost [%]

Hmotnost dřeva se zjišťuje vážením. Při zjišťování hmotnosti absolutně suchého dřeva se musí příslušný vzorek vysušit při teplotě $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Vzorek je vysušen,

jestliže se jeho hmotnost nemění po několikátém vážení opakovaném v určitém intervalu. Při zjišťování hmotnosti dřeva při určité vlhkosti se po vážení zjistí vlhkost vzorku (Matovič, 1993).

Objem vzorků můžeme zjistit několika způsoby, což závisí především na tvaru vzorku a vlhkosti. U pravidelných vzorků vypracovaných podle ČSN 49 0108 je nejčastěji používán stereometrický způsob měření pomocí posuvného měřítka (Matovič, 1993).

Zjišťování hustoty v absolutně suchém stavu a konvenční hustoty je předepsáno ČSN 49 0108. Norma předepisuje zkušební tělesa ve tvaru pravoúhlých hranolů se základnou 20 x 20 mm a délkou ve směru vláken 25 ± 5 mm (Matovič, 1993).

Podle platné normy ČSN 49 0108 se hustota dřeva udává při vlhkosti 12 %, což odpovídá dlouhodobému vystavení prostředí o teplotě 20 °C a vlhkosti 65 % (Požgaj, 1987, Šlezingerová et al., 1996).

4.1.3 Sesychání

Sesychání β lze definovat jako proces změn, ve dřevě a v některých materiálech na bázi dřeva, při kterém se zmenšují lineární rozměry, plocha nebo objem tělesa v důsledku ztráty vody vázané. Výpočet se provede dle vzorce (8).

$$\beta_i = \left(\frac{a_{i \max} - a_{i 0}}{a_{i \max}} \right) * 100 \quad (8)$$

Legenda: β_i – sesychání (v příslušném lineárním směru, plošný, objem) [%]; $a_{i \max}$ – příslušný rozměr (v příslušném lineárním směru [mm], plošný [mm²], objem [mm³]) při vlhkosti $w > MNBS \sim MN$; $a_{i 0}$ – příslušný rozměr (v příslušném lineárním směru [mm], plošný [mm²], objem [mm³]) při vlhkosti $w=0$ %

Sesychání podobně jako bobtnání vzrůstá se stoupající hustotou dřeva (Požgaj, 1993).

Experimentálně se určili následující rovnice:

$$- \text{objemové bobtnání} \quad \beta_v = 28 * \rho_0 \quad (9)$$

$$- \text{tangenciální bobtnání} \quad \beta_t = 17 * \rho_0 \quad (10)$$

$$- \text{radiální bobtnání} \quad \beta_r = 9,1 * \rho_0 \quad (11)$$

Legenda: ρ_0 – hustota absolutně suchého dřeva [g/cm³]; β_v – objemové bobtnání [%]; β_t – tangenciální bobtnání [%]; β_r – radiální bobtnání [%]

Hodnoty sesychání a bobtnání je v praxi často potřebné vzájemně přepočíst. Při údajích v % je možné hodnoty vzájemně přepočítat podle vzorců (12) a (13).

$$\beta_i = \frac{100 \cdot \alpha_i}{100 + \alpha_i} \quad (12)$$

$$\alpha_i = \frac{100 \cdot \beta_i}{100 - \beta_i} \quad (13)$$

Legenda: β_i – sesychání (v příslušném lineárním směru, plošný, objem) [%]; α_i – bobtnání (v příslušném lineárním směru, plošný, objem) [%]

Celkové lineární sesychání podél vláken je 0,1 až 0,6 % napříč vláken v radiálním směru 3,3 až 6 % a v tangenciálním směru 6 až 12 % z původních rozměrů dřeva (Matovič, 1993).

Průměrné celkové objemové sesychání se udává 12 % (9 – 19 %) z původního objemu dřeva a jeho velikost závisí na druhu dřeviny. Sesychání v tangenciálním směru je 1,5 až 2x větší než ve směru radiálním (Matovič, 1993).

Rozdílné sesychání dřeva v tangenciálním a radiálním směru má mnoho příčin. Jedná se například o úhel skonu mikro fibril vzhledem k podélné ose buněčných stěn, průběh dřevných paprsků ve dřevě, rozložení jarního, letního dřeva a podobně. Sesychání podél vláken je pro malé hodnoty zcela zanedbatelné, větší praktický význam má sesychání napříč vláken, se kterým je potřeba v technické praxi počítat (Matovič, 1993).

Z praktického hlediska a pro matematické výpočty je také potřeba znát hodnotu o kolik se změní rozměry (lineární, plošné nebo objemové) pokud klesne vlhkost dřeva o 1%. Tuto hodnotu udává příslušný koeficient sesychání, který se vypočte dle vzorce (14).

$$K_{\beta_i} = \frac{\beta_i}{w_1 - w_2} \quad (14)$$

Legenda: K_{β_i} – koeficient sesychání (v příslušném lineárním směru, plošný, objem); β_i – sesychání (v příslušném lineárním směru, plošný, objem) [%]; w_1 – vlhkost dřeva $w = \text{MNBS} \sim \text{MN}$ [%]; w_2 – vlhkost absolutně suchého dřeva [%]

Na základě hodnot koeficientu objemového sesychání můžeme rozdělit dřeva do následujících skupin:

- **dřeva málo sesychaná** - koeficient objemového sesychání je menší, než 0,4; mezi tyto dřeva patří například tis, olše, vrba, topol, kaštanovník, akát,
- **dřeva středně sesychaná** – koeficient objemového sesychání je 0,4 až 0,47; mezi tyto dřeva patří borovice, smrk, jedle, dub, jilm, javor, jasan, ořešák, osika,
- **dřeva hodně sesychaná** – koeficient objemového sesychání je větší než 0,47; mezi tyto dřeva patří modřín, bříza, buk, habr a lípa (Horáček, 1998).

Bobtnání dřeva je dějem opačným k sesychání. Nastává, pokud dřevo navlhá (přijímá vodu, která se ukládá do buněčných stěn) a spočívá ve zvětšování lineárních rozměrů dřeva. Tento děj podléhá stejným zákonitostem jako sesychání. Probíhá od 0 % obsahu vody ve dřevě do meze nasycení buněčných stěn, tedy jen v rámci příjmu vody vázané. Bobtnání nastává, jestliže je vlhkost okolního prostředí (vzduchu) větší než vlhkost dřeva (Matovič, 1993).

4.2 Mechanické vlastnosti dřeviny

Mechanické vlastnosti dřeva jsou dány jeho schopností odporovat působení vnějších mechanických sil. Mechanické vlastnosti se dělí do tří skupin:

- **Základní** – pevnost, pružnost, plastičnost a houževnatost,
- **Odvozené** – tvrdost, odolnost proti tečení, odolnost proti trvalému zatížení a odolnost proti únavovému lomu,
- **Technologické** – štípatelnost, opotřebení nástrojů, schopnost impregnování a ohybatelnost dřeva (Šlezingerová et al., 1996; Požgaj et al., 1993).

Vnější mechanické síly mohou z časového hlediska působit na zkušební těleso následujícím způsobem:

- **Staticky** - plynule a pomalu síla narůstá,
- **Rázově** - síla působí ihned plnou hodnotou,

- Kmitavě - síla mění střídavě směr i velikost,
- Trvale - síla působí dlouhou dobu (Dubovský et al., 2001)

Mechanické vlastnosti ovlivňuje anizotropní stavba dřeva. Anizotropní charakter vlastností je zapříčiněn uspořádáním a orientací molekul stavebních látek ve dřevě. Orientace kovalentních a vodíkových vazeb určují velikost a orientaci mechanických vlastností na úrovni mikrostruktury a makrostruktury dřeva. Tvar a uspořádání základních mechanických elementů dřeva, tracheid a libriformních vláken, směr fibril ve střední vrstvě sekundární buněčné stěny a rozdílná orientace kovalentních a vodíkových vazeb zapříčiňují výrazný rozdíl mechanických vlastností v podélném směru a ve směru kolmém na vlákna (Šlezingerová et al., 1996).

Pevnost

Pevností dřeva rozumíme odolnost nebo odpor dřeva proti trvalému porušení. Číselně pevnost vyjadřujeme napětím, při kterém se poruší soudržnost materiálu. Dřevo je organický materiál, ve kterém chemické složky (celulóza, hemicelulóza a lignin) obsahují různé druhy vazeb, přičemž 30 % z dřevní substance představuje amorfni část. To znamená, že vypočítat teoretickou pevnost takového materiálu je velice nepravděpodobné.

Napětí, při kterém nakonec dochází k porušení tělesa, je označováno jako mez pevnosti. Mez pevnosti je tedy nejvyšší hodnota napětí, kterou dřevo snese bez porušení celistvosti tělesa (Šlezingerová et al., 1996).

4.2.1 Pevnost dřeva v tlaku

Tlaková pevnost dřeva ve směru vláken je z hlediska praktického využití velmi důležitou vlastností. Působením tlaku na těleso podél vláken dochází k deformaci projevující se zkrácením délky tělesa (Matovič, 1993, Šlezingerová et al., 1996).

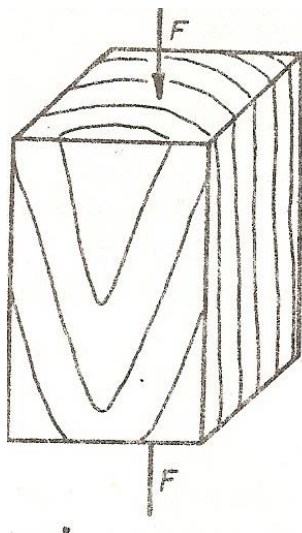
U dřeva, jakož to u anizotropního materiálu musíme rozlišovat směry působení tlaku. Rozlišujeme tři pevnosti v tlaku z hlediska působení na dřevní vlákna:

- Pevnost v tlaku působícím podél vláken σ_L (obrázek 10)
- Pevnost v tlaku působícím kolmo k vláknům v radiálním směru σ_R ,
- Pevnost v tlaku působícím kolmo k vláknům v tangenciálním směru σ_T
(Požgaj et al., 1993).

Zjišťování tlakové pevnosti dřeva ve směru vláken se provádí podle ČSN 49 0110. Výpočet se provede podle vzorce (15).

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{a*b} \text{ [MPa]} \quad (15)$$

Legenda: σ_{max} – mez pevnosti v tlaku ve směru vláken; F_{max} – síla na mezi pevnosti; a, b – rozměry tělesa v tangenciálním a radiálním směru



Obrázek 10: Pevnost v tlaku ve směru vláken

Zdroj: Požgaj, 1987

Se stoupající vlhkostí až do meze hygroskopicity se pevnost v tlaku ve směru vláken snižuje. V ČSN 49 0110 je pro všechny dřeviny uveden opravný koeficient 0,04, tj. se změnou vlhkosti o 1 % se změní tato vlastnost cca o 4 %. Přepočítání na 12% vlhkost se provádí podle vzorce (16).

$$\sigma_{max\ 12} = \sigma_{max\ w} * [1 + \alpha * (w - 12)] \quad (16)$$

Legenda: $\sigma_{max\ w}$ – mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny při vlhkosti w v době zkoušky [MPa]; $\sigma_{max\ 12}$ – mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny při vlhkosti w=12 % [MPa]; w – vlhkost tělesa v době zkoušky [%]; α – opravný vlhkostní koeficient (pro všechny dřeviny 0,04)

Pevnost v tlaku ve směru vláken může také ovlivnit odklon vláken od podélné osy. Odklon vláken o 15° může způsobit pokles pevnosti v tlaku ve směru vláken až o 20 %. Zvýšený počet suků nebo jejich větší rozměry obvykle pevnost v tlaku ve směru vláken také negativně snižují (Matovič, 1993).

Průměrná hodnota meze pevnosti v tlaku ve směru vláken u dřev s vlhkostí 12 % je cca 50 MPa variační koeficient se pohybuje v rozmezí 8 – 16 %. (Šlezingerová et al., 1996)

Deformace se projevuje náhlým poklesem zatěžující síly. Charakter deformace závisí na jakosti a stavbě dřeva. Důležitými faktory ovlivňujícími pevnost v tlaku jsou hustota a vlhkost dřeva. (Matovič, 1993).

4.2.2 Pevnost dřeva v ohybu

Pevnost v ohybu je jednou z nejdůležitějších mechanických vlastností dřeva. U dřeva rozlišujeme dva způsoby pevnosti v ohybu s ohledem na průběh vláken, kdy:

- vlákna probíhají rovnoběžně s podélnou osou tělesa a síla působí napříč vláken v radiálním nebo tangenciálním směru,
- vlákna probíhají kolmo na podélnou osu tělesa, kdy příčný řez je orientován ve směru působící síly nebo kolmo k působící síle (Šlezingerová et al., 1996).

Zpravidla se sleduje a používá pevnost dřeva v ohybu napříč vláken. Při zkoušení dřeva se orientují zkušební tělesa obvykle tak, aby zatížení působilo napříč vláken v tangenciálním směru, tzn. tangenciální ohyb (Matovič, 1993).

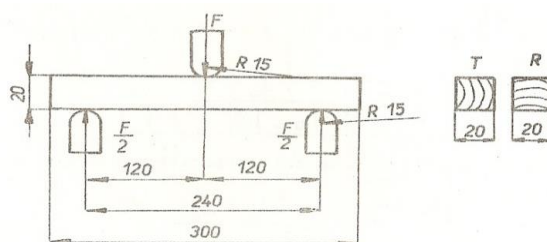
Výraznější rozdíly mezi pevností dřeva v ohybu v radiálním a tangenciálním směru byly zjištěny jen u dřeva jehličnatých dřevin (mez pevnosti v tangenciálním směru je o 10 až 12 procent větší než ve směru radiálním). U listnatých dřevin jsou hodnoty meze pevnosti dřeva při statickém ohybu v obou směrech prakticky stejné - rozdíl maximálně 2 až 4 procenta (Matovič, 1993; Šlezingerová et al., 1996).

Zkoušení dřeva ve statickém ohybu napříč vláken je uvedeno v ČSN 49 0115. Při tříbodovém ohybu, kdy je jednoduchý nosník umístěn na dvou podpěrách a síla F působí v jeho středu dle obrázku 11, se při výpočtu maximálního napětí v povrchových vrstvách vychází z Navierova vzorce (17). Průběh napětí při jednoduchém ohybu je zobrazen na obrázku 12.

$$\sigma_{max} = \frac{3 \cdot F \cdot l_0}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (17)$$

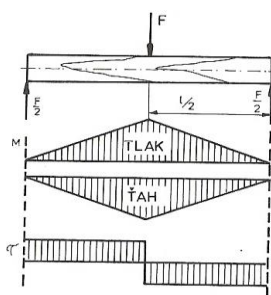
Legenda: σ_{max} – mez pevnosti v tlaku ve směru vláken; F – působící síla [N]; l_0 – vzdálenost mezi podpěrami [m]; h – výška [m]; b – šířka [m]

Tento vztah předpokládá lineární průběh napětí až do porušení materiálu na mezi pevnosti. Jedná se tedy určité zjednodušení skutečného průběhu napětí během ohybu. Skutečný výpočet by byl značně komplikovaný a nevhodný pro praktické účely (Požgaj et al., 1993; Šlezingerová et al., 1996).



Obrázek 11: Tvar zkušebního tělesa a jeho uložení na podpěry při zkoušení pevnosti

Zdroj: Požgaj, 1987



Obrázek 12: Jednoduchý ohyb

Zdroj: Požgaj et al., 1993

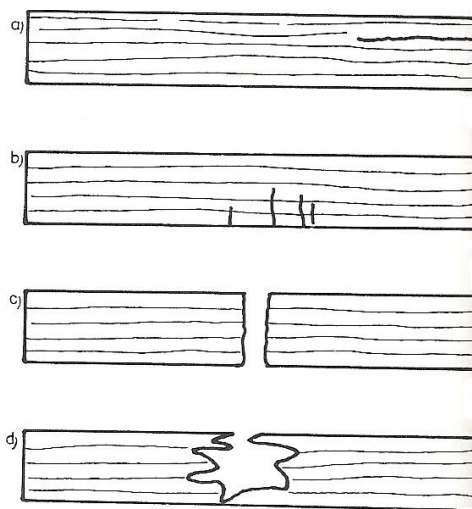
Mez pevnosti v ohybu kolmo na vlákna je větší než mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny a menší než tahová pevnost rovnoběžně s vlákny asi 1,5 krát. Průměrná hodnota meze pevnosti v ohybu při vlhkosti 12 % se pro naše domácí

dřeviny pohybuje od 50 do 130 MPa, variační koeficient 10 až 17 % (Požgaj et al., 1993).

Rozdíl mezi pevností v radiálním a tangenciálním ohybu se vyskytuje jen u jehličnatých dřevin. U listnatých dřevin můžeme pokládat pevnost v obou směrech za stejnou (Požgaj et al., 1993).

Charakter porušení dřeva při zatížení v ohybu kolmo na vlákna vyobrazené na obrázku 13:

- a) Porušení ve střední zóně tělesa na jeho okrajích, které vznikly vlivem smykových napětí nebo důsledkem výskytu trhlin v čelních řezech,
- b) Roztrhnutí vláken na straně tělesa zatížené tahovým napětím,
- c) Tupý zlom v celé výšce tělesa,
- d) Vlákňitý zlom v celé výšce tělesa (Požgaj et al., 1993)



Obrázek 13: Charakter porušení dřeva v ohybu

Zdroj: Požgaj et al., 1993

Mez pevnosti ve statickém ohybu napříč vláken při zjištěné vlhkosti těles v době zkoušky se vypočte ze vzorce (18).

$$\sigma_{\max 12} = \sigma_{\max w} * [1 + \alpha * (w - 12)] \quad (18)$$

Legenda: $\sigma_{\max w}$ – mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny při vlhkosti w v době zkoušky [MPa]; $\sigma_{\max 12}$ – mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny při vlhkosti $w=12$ % [MPa]; w – vlhkost tělesa v době zkoušky [%]; α – opravný vlhkovostní koeficient (pro všechny dřeviny 0,04)

4.2.3 Modul pružnosti v ohybu

Postup pro zjišťování modulu pružnosti dřeva při statickém ohybu kolmo na vlákna v tangenciálním směru určuje norma ČSN 49 0116.

Modul pružnosti v ohybu se udává pouze kolmo na vlákna a zkouší se prakticky jen v tangenciálním směru. Při zatížení nosníků je konkávní strana namáhána na tlak a konvexní strana na tah. Neutrální osa přibližně uprostřed tělesa je nezatížena (Šlezingerová et al., 1996).

Deformace při ohybu je definována jako poměr vzniklého průměru nosníku a poloměru ohybu.

V případě že se jedná o nosník s pravoúhlým průřezem, pak se modul průřezu tělesa vypočte dle vzorce (19).

$$I_T = \frac{b * h^3}{12} \quad (19)$$

Legenda: I_T – modul průřezu; b - šířka zkušební tělesa [mm]; h – výška zkušební tělesa [mm]

Modul pružnosti v ohybu se zatížením ve středu tělesa se následně vypočítá podle vztahu (20).

$$E_L = \frac{F * l_0^3}{4 * b * h^3 * \Delta y} \quad (20)$$

Legenda: E_L – modul pružnosti v ohybu; F - působící síla [N]; l_0 - vzdálenost podpěr [mm]; b - šířka zkušební tělesa [mm]; h – výška zkušební tělesa [mm]; Δy - průhyb tělesa [mm]

Modul pružnosti obecně klesá s rostoucí vlhkostí dřeva a to až do meze hygroskopicity. Pokud se vlhkosti dřeva změní o 1 %, pak se hodnota modulu pružnosti v ohybu změní o 1 % (Šlezingerová et al., 1996).

Pro přepočet modulu pružnosti v ohybu o známé vlhkosti w na vlhkost 12 % se použije vzorec (21).

$$E_{12} = \frac{E_w}{1 - \alpha * (w - 12)} \quad (21)$$

Legenda: E_{12} – modul pružnosti v ohybu při vlhkosti 12 % [MPa]; E_w – modul pružnosti v ohybu při vlhkosti w [MPa]; w – vlhkost [%]; α – opravný vlhkostní koeficient (0,04 pro všechny dřeviny)

Modul pružnosti se vzrůstající vlhkostí klesá až do meze hygroskopicity. Přepočet na 12% vlhkost se provádí u modulu pružnosti v ohybu jen v rozpětí 9 až 15 % vlhkosti. (Matovič, 1993)

5 Metodika

5.1 Lokalita odběru vzorků

Výsypka Užín se nachází severovýchodním směrem od Chabařovic. Zde se na severovýchodní hranici severočeské hnědouhelné pánve vyskytují denudační relikt produktivního miocénu. Jsou označovány jako separátní pánvičky. Úžínská pánvička je největší separátní pánvičkou o rozloze více než 560 ha (Macůrek, 2005).

Výsypka byla založena rypadlovým způsobem o výměře 82ha. Geologický materiál na vnitřní převýšenou výsypku Užín, pochází z dolů A. Zápotocký, který zásoboval uhlím tlakovou plynárnu, sousedící s povrchovým dolem. Důl ukončil svou těžbu v roce 1980.

Část výsypky k zemědělské rekultivaci byla převrstvena orníci, lesnická rekultivace proběhla přímo. Půdotvorný substrát (antropozem) tvoří šedé jíly montmorilloniticko-illiticko-kaolinitické s obsahem fyzikálního jílu 20-25%, jejich povrchový půdní horizont ovlivněný půdotvorným procesem lze hodnotit zrnitostně jako hlinitý, přecházející směrem do hloubky v zeminu jílovitohlinitou.

Dle Nováka (1953) lze substrát hodnotit jako hlinitý až jílovitohlinitý a podle NRSCS USDA trojúhelníkového diagramu zrnitosti půd ho lze hodnotit jako prachovito-hlinitou zeminu. Půdní reakce je proměnlivá v různých profilech a všeobecně lze říci, že je slabě kyselá. Substrát má střední obsah organických látek, je vytvořen vrchní humusový horizont většinou bezkarbonátový. Kationtová výměnná kapacita je vysoká až velmi vysoká, stupeň nasycenosti půdy může být kolísavý v různých profilových hloubkách – vrchní horizont nasycený, spodní horizonty slabě nasycené. Z přijatelných živin má substrát velmi nízké zásoby fosforu, naopak vysoké zásoby draslíku a vápníku a velmi vysoké zásoby hořčíku. Z hlediska hydrofyzikálního jsou zde půdy velmi strukturní, silně pórovité, silně vododržné, a vyznačují se tedy příznivými vsakovacími vlastnostmi (Novák, 1953).

5.2 Odběr a kódování zkušebních vzorků

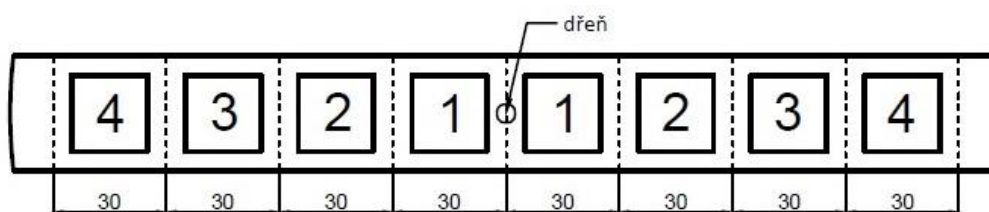
Z pokácených kmenů ořešáku černého (*Juglans nigra* L.) z výzkumné plochy Střimice, v oblasti výsypky Úžín, byly k potřebám měření použity středové výřezy kmene, označeny jako A, B a C, které se dále zpracovaly na požadované rozměry těles vhodných pro jednotlivé zkoušky. Vždy byla zohledněna a řádně zaznamenána poloha každého vzorku v průměru kmene dle obrázku 14.

Výřezy, odebrané ze všech kmenů, pochází vždy z bazální části délky 140 cm. Předpokládané stáří dřevin, ze kterých byly vzorky odebrány, byla 45 let. Průměrná výška jednotlivých stromů byla 16 m. Průměry jednotlivých kmenů ve výčetní výšce, jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Průměr kmenů použitých pro odběr vzorků

kmen	průměr $d_{1,3}$ [cm]
A	78
B	75
C	73

Zdroj: Autor práce



Obrázek 14: Označení vzorků v závislosti na vzdálenosti od dřeně

Zdroj: Autor práce

Soubor pro měření čítal 400 vzorků o rozměrech 20 x 20 x 30 mm a 125 vzorků o rozměrech 20 x 20 x 300 mm. Na stanovení hustoty, sesychání a zkoušky tlaku rovnoběžně s vlákny, byla použita tělesa o rozměrech 20 x 20 x 30 mm, kde nejdelší rozměr tělesa odpovídá směru průběhu vláken dřeva v tělese. Na stanovení pevnosti v ohybu kolmo k vláknům byly použity

vzorky o rozměrech 20 x 20 x 300 mm, kde opět průběh podélné osy tělesa odpovídá směru vláken.

Všechny vzorky byly před začátkem měření řádně uloženy na Fakultě lesnické a dřevařské v Praze. Zde se zkušební tělesa nechala aklimatizovat.

5.3 Popis jednotlivých měření

5.3.1 Měření hustoty

Při stanovení hustoty je velice důležité zohlednit vlhkost zkoumaných vzorků. U těles byla stanovena hustota při vlhkosti 12 % a při vlhkosti 0 %. Při stanovení hustoty bylo postupováno dle ČSN 49 0108.

Požadavky na zkušební tělesa - Norma předepisuje zkušební tělesa ve tvaru pravoúhlých hranolů se základnou 20 x 20 mm a délkou ve směru vláken 25 ± 5 mm. Na příčném řezu musí být dle normy minimálně 5 letokruhů. Norma nevyžaduje použití striktně ortotropních těles. Zkušební tělesa nesmí obsahovat žádné vady (suky, trhliny apod.), ani biotické a abiotické poškození, také nesmí obsahovat běl.

Požadavky na měřicí přístroje – pro měření lineárních rozměrů se použije posuvné měřidlo s přesností 0,01 mm, hmotnost se zjišťuje za pomoci váhy s přesností 0,01 g.

Postup měření hustoty při vlhkosti 12 % - Hustota dřeva při 12% vlhkosti byla určována na 400 vzorcích o rozměrech 20 x 20 x 30 mm. Řádně označené vzorky, které byly dlouhodobě vystaveny prostředí temperované místnosti o teplotě 20 °C a vlhkosti vzduchu 65 %. Vzorky se měřili pomocí digitálního posuvného měřítka s přesností 0,01 mm a to vždy ve středu tělesa. Hmotnost vzorků byla určována pomocí váhy Sartorius BP 3100 S (obrázek 16) s přesností na 0,01 g. Výsledky měřených hodnot byly zaznamenány do tabulek a následně byla vypočtena hustota dřeva při vlhkosti w podle vzorce (22).

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w * b_w * c_w} * 10^6 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]} \quad (22)$$

Legenda: ρ_w – hustota dřeva při vlhkosti w [kg.m⁻³]; m_w – hmotnost dřeva při vlhkosti w [g]; a_w , b_w , c_w – rozměry vzorku při vlhkosti w [mm]

Následně byla zjištěna vlhkost vzorků gravimetrickou metodou v době zkoušky. Vlhkost byla stanovena na základě náhodného výběru u dvaceti vzorků dle vzorce (1). Poté byla výsledná hustota při známé vlhkosti w přepočítána dle vzorce (4) na hustotu při vlhkosti $w=12\%$.



Obrázek 15: Posuvné měřidlo
Zdroj: autor práce



Obrázek 16: Sartorius BP 3100 S
Zdroj: autor práce

Postup měření hustoty při vlhkosti 0 %

Hustota dřeva při 0 % vlhkosti byla stanovena u 205 vzorků o rozměrech 20 x 20 x 30 mm, následně byli tyto vzorky použity ke stanovení sesychání. Vzorky byly po aklimatizaci vloženy do sušárny, kde docházelo k pomalému zvyšování teploty až na $103 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$, tak aby nedošlo ke vzniku výsušných trhlin. V průběhu sušení byly průběžně kontrolovány rozměry těles. Sušení bylo ukončeno až po úplné aklimatizaci těles, tedy tehdy, pokud se dvě následující kontrolní měření prováděná po dvou hodinách lišila o méně než 0,02 mm. Po ukončení procesu sušení, byla stanovena hmotnost těles s přesností 0,01 g. Následně bylo provedeno měření tří rozměrů zkušebních těles, prováděné vždy ve středu tělesa s přesností 0,01 mm. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulek a byla vypočítána hustota jednotlivých těles podle vzorce (23).

$$\rho_0 = \frac{m_0}{a_0 * b_0 * c_0} * 10^6 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (23)$$

Legenda: ρ_0 – hustota dřeva při 0 % vlhkosti [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]; m_0 – hmotnost dřeva při 0 % vlhkosti [g]; a_0, b_0, c_0 – rozměry vzorku při vlhkosti 0 % [mm]

5.3.2 Sesychání dřeva

Postup při zjišťování sesychání dřeva udává norma ČSN 49 0128.

Požadavky na zkušební tělesa – zkušební tělesa o tvaru pravoúhlého hranolu a rozměrech 20 x 20 x 30 mm, vlákna orientována rovnoběžně s nejdelší hranou tělesa. Norma předepisuje použití speciálně ortotropních těles. To znamená, že úhel sklonu letokruhů ke dvěma přilehlým stranám dosahuje maximálně 10°.

Požadavky na měřicí přístroje – pro určení lineárních rozměrů tělesa se používá posuvné měřidlo s přesností 0,01 mm. K určení hmotnosti se používají s přesností 0,01 g. K vysušení těles se použije sušárna s regulovanou teplotou o $t=103 \pm 2$ °C.

Postup měření sesychání dřeva - Zkouška byla provedena na souboru 205 vzorků o rozměrech 20 x 20 x 30 mm. Byly použity stejné vzorky jako pro zjištění hustoty při 12% vlhkosti, ale pouze ty které měli jasně rozlišený tangenciální a radiální řez (tzn. Průběh hranice letokruhů na příčném řezu je rovnoběžný se dvěma stranami příčného řezu zkušební tělesa).

Klimatizovaná tělesa byla ponořena do nádob s destilovanou vodou a zatížena závažím, aby bylo zabezpečeno, že celý objem tělesa bude ponořený a mohl přijímat vlhkost. Po týdnu byla destilovaná voda měněna. Vzorky se nechaly ponořené v destilované vodě až do ustálení rozměrů, které byly kontrolovány po třech dnech. Jestliže se rozměry po dvou následujících měřeních nezměnily o více jak 0,02 mm, byla zkušební tělesa prohlášena za rozměrově ustálená a přistoupilo se k samotnému měření. Před měřením byly vzorky vyjmuty z vody, osušeny a byly změřeny rozměry všech tří směrů, vždy ve středu tělesa. Následně se vzorky nechaly aklimatizovat v prostředí zkušebny. Po dosažení rovnovážného stavu byly vzorky vloženy do sušárny. Teplota sušárny byla postupně zvyšována tak, aby se předešlo vzniku výsušných trhlin na vzorcích, až na 103 ± 2 °C. Sušení bylo ukončeno dosažením rovnovážného stavu těles (tzn. rozměry dvou po sobě následujících měření, v rozmezí dvou hodin se nelišily o více jak 0,02 mm). Po dosažení rovnovážného stavu byly vzorky opět měřeny posuvným měřidlem vždy uprostřed vzorku ve třech směrech a to s přesností 0,01 mm. Naměřená data byla řádně zaznamenána a následně bylo vypočteno radiální, tangenciální a objemové sesychání dle vzorce (8) v %.

5.3.3 Meze pevnosti v tlaku ve směru vláken

Postup při zjišťování meze pevnosti v tlaku ve směru vláken udává norma ČSN 49 0110. Podstatou metody je zjištění maximálního zatížení, které způsobí porušení zkušební tělesa v tlaku a výpočet napětí při tomto zatížení (Dubovský et al., 2001).

Požadavky na zkušební tělesa – zkušební tělesa se zhotoví ve tvaru pravoúhlého hranolu s podstavou 20 x 20 mm a výškou ve směru vláken 30 mm. Počet zkušebních těles musí být minimálně 30 kusů (Požgaj, 1987).

Požadavky na měřicí přístroje a zkušební zařízení – posuvné měřidlo s přesností 0,1 mm. Zkušební stroj s plynule rovnoměrně se zvětšujícím se zatížením, jehož přesnost měření zatížení nepřesahuje 1 %. Přípravek zabezpečující rovnoměrné zatížení tělesa a laboratorní sušárna.

Postup měření meze pevnosti v tlaku ve směru vláken - Měření meze pevnosti v tlaku podél vláken bylo provedeno dle normy ČSN 49 0110. Tato norma předepisuje čas porušení tělesa $1 \pm 0,5$ minuty od začátku zatěžování. Dle normy ČSN 49 0110 není nutné provádět tuto zkoušku na striktně ortotropních tělesech.

Na klimatizovaných tělesech byly pomocí posuvného měřítka vždy ve středu tělesa změřeny radiální a tangenciální rozměry. Rozměry byly zaznamenány do programu UTS test systém, který je ovládacím softwarem zkušebního stroje UTS 50 (obrázek 17, 18). Následně byly jednotlivé vzorky vloženy mezi čelisti měřicího stroje. Pomocí ovládacího softwaru byl stroj spouštěn. Zjištění meze pevnosti v tlaku ve směru vláken probíhalo automaticky za pomoci výpočetní techniky napojené na zkušební stroj podle vzorce (15). Následně byla stanovena vlhkost vzorků v době zkoušky gravimetrickou metodou a hodnota meze pevnosti o známé vlhkosti w byla pomocí vzorce (16) přepočtena na mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při vlhkosti dřeva $w=12$ %.

5.3.4 Mez pevnosti v tangenciálním ohybu

Požadavky na zkušební tělesa – Zkušební těleso se zhotoví ve tvaru pravoúhlého hranolu o příčném průřezu 20 x 20 mm a délce ve směru vláken, která

se rovná patnáctinásobku hrany příčného řezu. Roční přírůstky musí probíhat rovnoběžně s jednou dvojicí hran, minimální počet zkušebních těles musí být 36 (Požgaj, 1987).

Požadavky na měřicí přístroje a zkušební zařízení – posuvné měřidlo s přesností 0,01 mm. Zkušební stroj s plynule rovnoměrně se zvětšujícím se zatížením, jehož přesnost měření zatížení nepřesahuje 1 %. Laboratorní sušárna vhodná pro dosažení teploty $t = 103 \pm 2^\circ\text{C}$.

Postup měření meze pevnosti v tangenciálním ohybu - Zkušební těleso uložíme do zkušebního stroje na dvě podpěry, které jsou od sebe vzdáleny na délku patnáctinásobku výšky tělesa. Poloměr zaoblení podpěr a zatěžujícího trnu musí být 15 mm (Požgaj, 1987). Pomocí ovládacího softwaru UTS test systém se spustí zkušební stroj. Měření meze pevnosti v tangenciálním ohybu probíhá automaticky za pomoci výpočetní techniky napojené na zkušební stroj podle vzorce (17). Výsledky měření jsou zaznamenávány automaticky do tabulky v elektronické podobě. Data byla následně převedena do tabulkového prohlížeče MS Excel. Následně byla stanovena vlhkost vzorků v době zkoušky gravimetrickou metodou a hodnota meze pevnosti o známé vlhkosti w byla pomocí vzorce (18) přepočtena na mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při vlhkosti dřeva $w=12\%$.

5.3.5 Modul pružnosti v ohybu

Pro zjišťování modulu pružnosti dřeva při statickém ohybu kolmo na vlákna v tangenciálním směru postupujeme podle normy ČSN 49 0116. Modul pružnosti při zjištěné vlhkosti těles se vypočítá dle vztahu (20) (Matovič, 1993).

Požadavky na zkušební tělesa – zkušební tělesa musí mít tvar pravoúhlého hranolu o základně 20 x 20 mm na příčném řezu, a délky 300 – 380 mm ve směru vláken.

Požadavky na měřicí přístroje a zkušební zařízení – posuvné měřítko s přesností 0,01 mm. Zkušební stroj s plynule rovnoměrně se zvětšujícím se zatížením, jehož přesnost měření zatížení nepřesahuje 1 %. Průhyboměr

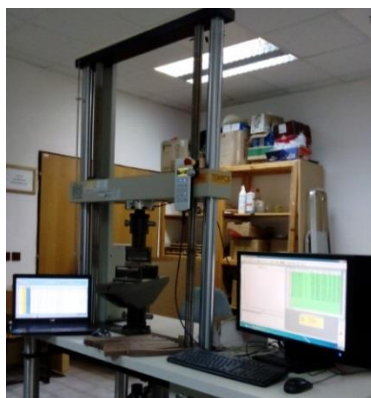
umožňující změřit průhyb v zóně čistého ohybu s přesností na 0,001 mm. Vzdálenost podpěr musí být od 240 do 320 mm.

Postup měření modulu pružnosti v tangenciálním ohybu - U aklimatizovaných těles nejprve změříme příčné rozměry ve středu délky tělesa s přesností 0,1 mm. Zkušební těleso uložíme do zkušebního stroje na dvě podpěry, které jsou od sebe vzdáleny na délku patnácti násobku výšky tělesa. Poloměr zaoblení podpěr a zatěžujícího trnu musí být 15 mm (Požgaj, 1987). Následně pomocí ovládacího softwaru UTS test system spustíme zkušební stroj. Výsledky měření jsou zaznamenávány automaticky do tabulky v elektronické podobě. Data byla následně převedena do tabulkového prohlížeče MS Excel. Následně byla stanovena vlhkost vzorků v době zkoušky gravimetrickou metodou a hodnota meze pevnosti o známé vlhkosti w byla pomocí vzorce (21) přepočtena na mez pevnosti v tlaku ve směru vláken při vlhkosti dřeva $w=12\%$.



Obrázek 17: Uložení vzorku na podpěrách zkušebního stroje UTS 50

Zdroj: Autor práce



Obrázek 18: Pracoviště zkušebního stroje UST 50

Zdroj: Auto práce

5.4 Statistické vyhodnocení dat

U každého souboru naměřených dat byly vyhodnoceny následující statistické ukazatele: aritmetický průměr, minimální a maximální naměřená hodnota, směrodatná odchylka a variační koeficient. Pro porovnání více souborů a vyhodnocení, zda se jedná o významné statistické odlišnosti, byla použita Tukeyho metoda vícenásobného porovnání dat.

Výsledky měření byly řádně zaznamenávány za pomoci tabulkového softwaru MS Excel a následně statisticky zpracovány a vyhodnoceny za pomoci statistického programu STATISTICA.

Aritmetický průměr

Charakterizuje hodnotu, okolo které se pohybují jednotlivé prvky souboru. (Drápela, Zach, 1999). Výpočet provedeme podle vztahu (24).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (24)$$

Legenda: \bar{x} – aritmetický průměr; x_i – zjištěné hodnoty; N – rozsah celého souboru

Rozptyl souboru

Aritmetický průměr odchylek od průměru, vyjadřuje variabilitu hodnot kolem aritmetického průměru i odlišnost hodnot znaku. Rozptyl spadá do momentových charakteristik (Drápela, Zach, 1999). Vypočítá se dle vztahu (25).

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N} \quad (25)$$

Legenda: \bar{x} – aritmetický průměr; x_i – zjištěné hodnoty; N – rozsah celého souboru; σ^2 – rozptyl

Směrodatná odchylka

Nejlépe charakterizuje variabilitu souborů dat. Nejvýznamnější výhodou je shodný rozměr veličiny směrodatné odchylky s daty (Drápela, Zach, 1999). Výpočet provedeme dle vztahu (26).

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (26)$$

Legenda: σ – směrodatná odchylka; σ^2 – rozptyl

Variační koeficient

Je procentuální hodnotou směrodatné odchylky vztažené na průměr (Schels, 2008). Variační koeficient se vypočítá dle vzorce (27).

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100 \quad (27)$$

Legenda: V – variační koeficient; σ – směrodatná odchylka; \bar{x} – aritmetický průměr

6 Výsledky měření

6.1 Hustota

6.1.1 Hustota dřeva při 0% vlhkosti

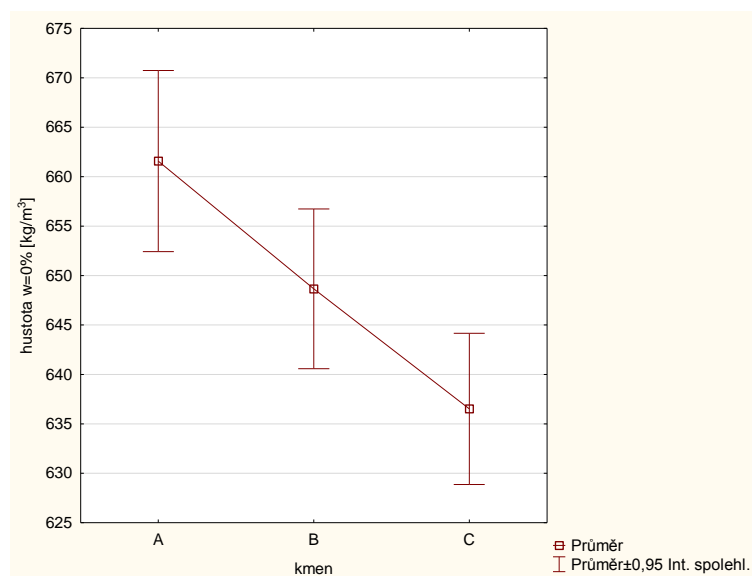
Hustota dřeva ořešáku černého (*Juglans nigra*, L.) při vlhkosti 0 % byla měřena na skupině čítající 205 vzorků. Průměrná hustota dřeva při vlhkosti 0 % byla 649 kg/m^3 . Naměřené minimum činilo 559 kg/m^3 a maximum 743 kg/m^3 . Směrodatná odchylka tohoto měření byla vypočtena ve výši 36 kg/m^3 . Variační koeficient vyšel 5,5 %. Statistické údaje pro jednotlivé kmeny jsou uváděny v tabulce č. 3.

Tabulka 3: Hustota dřeva při vlhkosti $w = 0 \%$ [kg/m^3]

Kmen	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Sm.odch.	Var. koef.
A	60	662	578	733	35	5,4
B	80	649	566	743	36	5,6
C	65	637	559	715	31	4,8

Zdroj: Autor práce

Grafické znázornění intervalu spolehlivosti nabízí graf 2. Tukeyho test odhalil, že statisticky významné rozdíly existují mezi kmenem A a C, jak je znázorněno v tabulce 4. Rozložení hodnot hustoty dle kmene stromů je znázorněno v grafu 3.



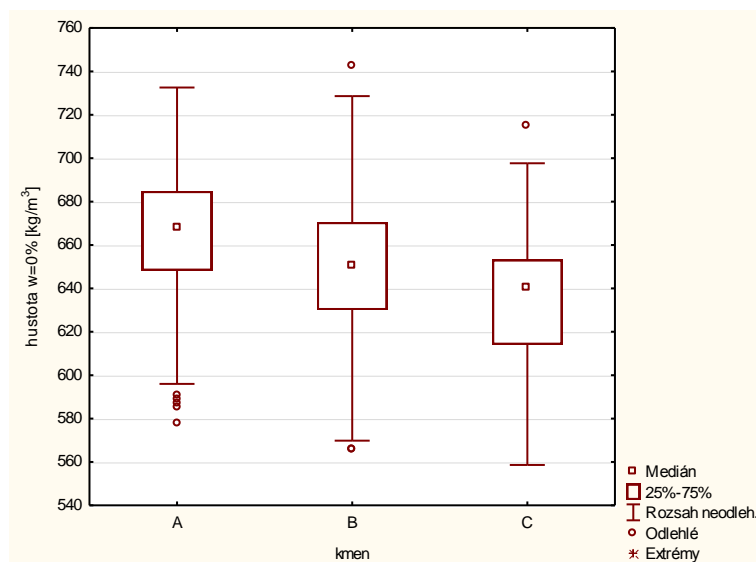
Graf 2: Interval spolehlivosti hustoty při 12% vlhkosti pro jednotlivé kmeny

Zdroj: Autor práce

Tabulka 4: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu hustoty při 0% vlhkosti jednotlivých stromů

kmen	A	B	C
A	-		*
B		-	
C	*		-

Zdroj: Autor práce



Graf 3: Krabicový graf rozložení hodnot hustoty jednotlivých stromů při vlhkosti 0 %

Zdroj: Autor práce

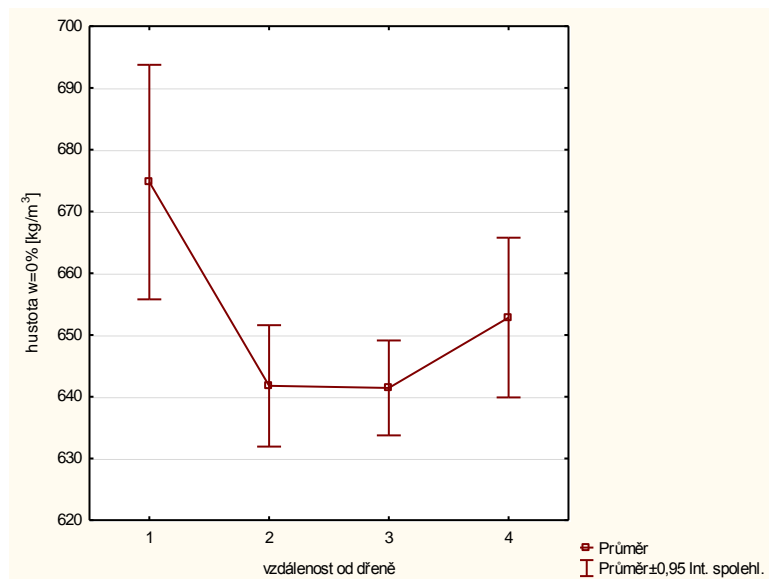
6.1.2 Variabilita hustoty dřeva při vlhkosti 0 % v poloměru kmene

Z grafu 4 vyplývá, že střední hodnoty sekce 1 vzdálené od dřeně v intervalu 0-30mm vykazuje rozdíl oproti ostatním sekcím. Tukeyho test mnohonásobného porovnání odhalil významný statistický rozdíl mezi sekcemi 1-2 a 1-3, je uveden v tabulce 5. Rozložení hodnot dat hustoty při 0% vlhkosti v poloměru kmene, je znázorněno v krabicovém grafu 5.

Tabulka 5: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu hustoty při 0% vlhkosti jednotlivých sekcí v určité vzdálenosti od dřeně

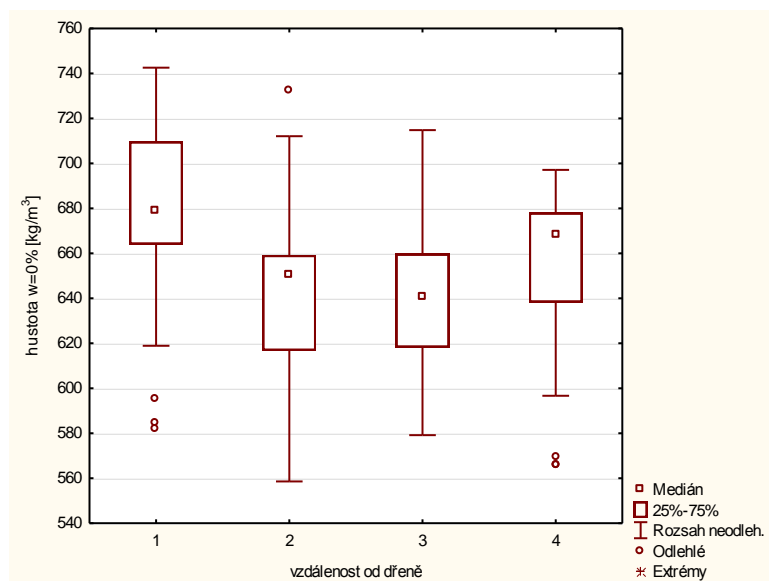
vzdálenost od dřeně	1	2	3	4
1	-	*	*	
2	*	-		
3	*		-	
4				-

Zdroj: Autor práce



Graf 4: Interval spolehlivosti hustoty při vlhkosti 0 % na vzdálenost od dřevě

Zdroj: Autor práce



Graf 5: Krabicový graf závislosti hustoty při vlhkosti 0 % na vzdálenosti od dřevě

6.1.3 Hustota dřeva při 12% vlhkosti

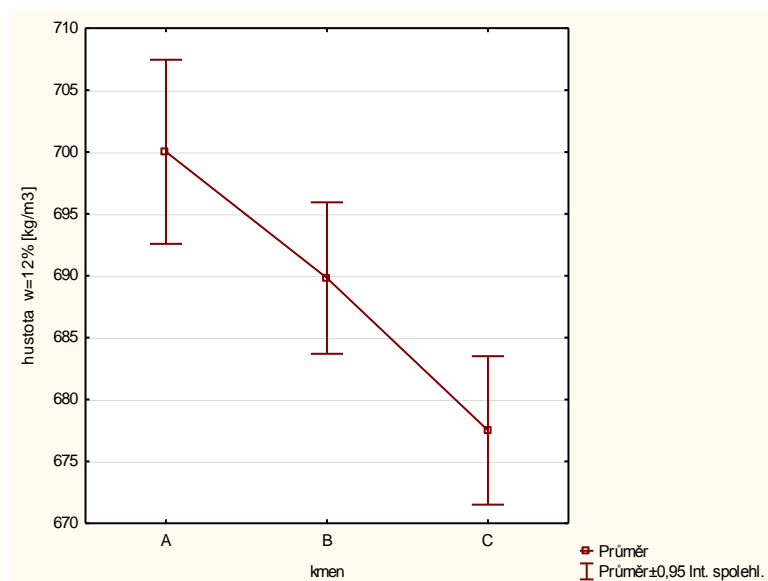
Hustota dřeva při vlhkosti 12 % byla měřena na souboru čítajícím 400 vzorků. Průměrná hustota dřeva při vlhkosti 12 % byla vypočtena jako 689 kg/m^3 . Naměřené minimum bylo 587 kg/m^3 naměřené maximum činilo 785 kg/m^3 , jedná se tedy o poměrně velkou variabilitu vzorků. Směrodatná

odchylka byla vypočtena ve výši 39 kg/m³. Variační koeficient byl vypočten ve výši 5,7 %. Statistické údaje pro jednotlivé stromy jsou uváděny v tabulce 6. Hodnoty hustoty v tabulce jsou uváděny v kg/m³. Z grafu 6 rozptylu hodnot je patrné, že alespoň dva kmeny se významně statisticky liší. Následně Tukeyho metoda mnohonásobného porovnání odhalila významný statistický rozdíl mezi kmeny A-B a A-C, jak je znázorněno v tabulce 7. Rozložení hodnot hustoty při vlhkosti dřeva 12 %, je znázorněno v krabicovém grafu 7.

Tabulka 6: Hustota dřeva při vlhkosti $w = 12\%$ [kg/m³]

Kmen	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Sm. odch.	Var. koef.
A	118	700	613	780	41	5,8
B	164	690	600	785	40	5,8
C	118	678	587	752	33	4,9

Zdroj: Autor práce



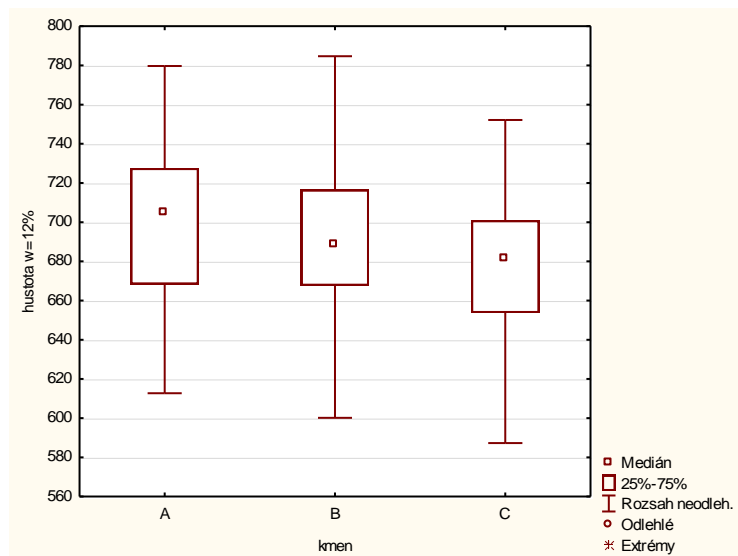
Graf 6: Interval spolehlivosti hustoty na kmenu

Zdroj: Autor práce

Tabulka 7: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu hustoty při 12% vlhkosti jednotlivých kmenů

kmen	A	B	C
A	-		*
B		-	*
C	*	*	-

Zdroj: Autor práce

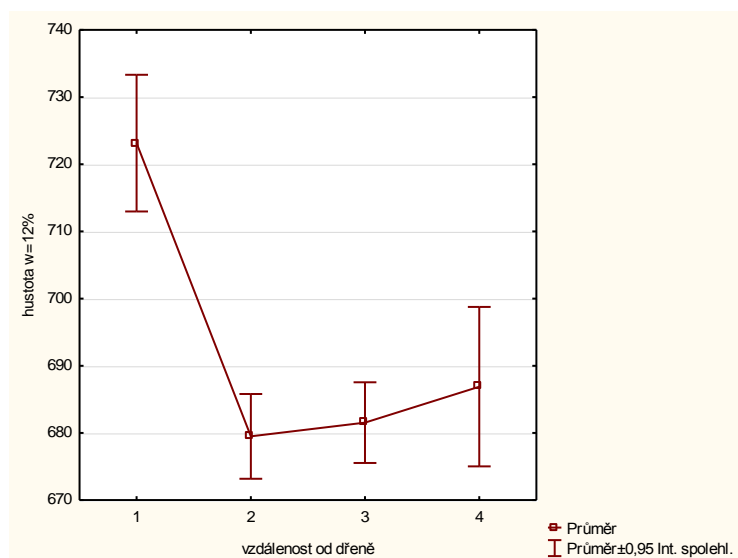


Graf 7: Krabicový graf závislosti hustoty na kmenu

Zdroj: Autor práce

6.1.4 Variabilita hustoty dřeva při vlhkosti 12 % v poloměru kmene

Ze středních hodnot zobrazených v grafu 8 zaznamenáváme výraznou odlišnost hustoty při 12 % vlhkosti u vzorků odebraných ze sekce 1 (tedy 0 – 30 mm od dřeně). Toto následně potvrzuje i Tukeyho test mnohonásobného porovnání, jak je znázorněno v tabulce 8. Tukeyho test tedy odhalil statisticky významnou odlišnost první sekce vzdálenosti od dřeně oproti ostatním sekcím. Rozložení hodnot hustoty při vlhkosti 12 % je znázorněno v grafu 9.



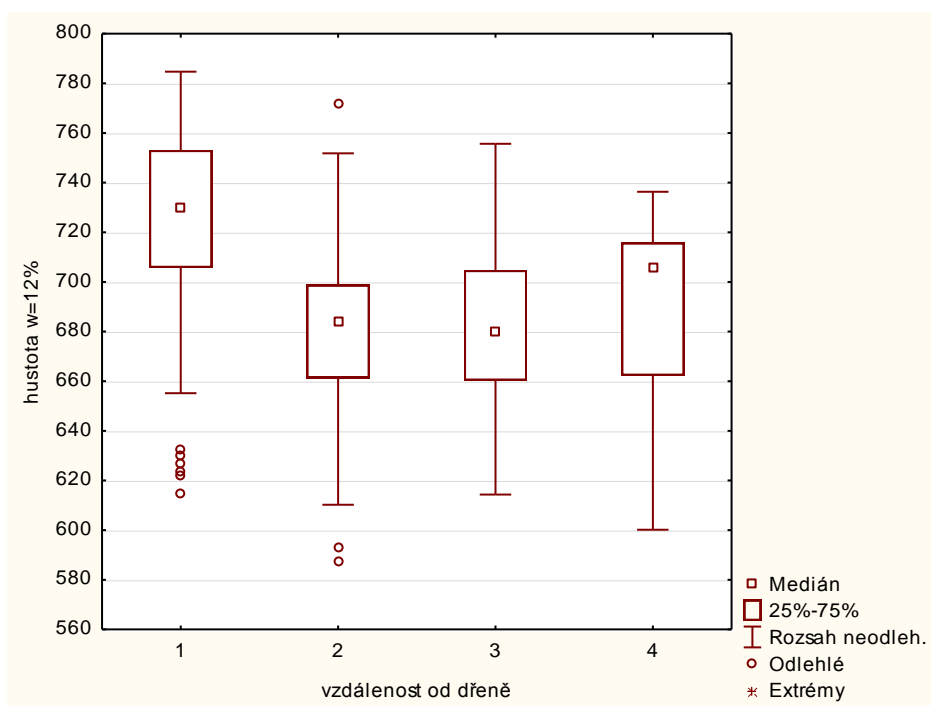
Graf 8: Interval spolehlivosti hustoty na vzdálenosti od dřeně

Zdroj: Autor práce

Tabulka 8: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu hustoty při 12% vlhkosti jednotlivých sekci v určité vzdálenosti od dřevě

vzdálenost od dřevě	1	2	3	4
1	-	*	*	*
2	*	-		
3	*		-	
4	*			-

Zdroj: Autor práce



Graf 9: Krabicový graf rozložení hodnot hustoty na vzdálenosti od dřevě

Zdroj: Autor práce

6.1.5 Konvenční hustota dřeva

Konvenční hustota byla měřena na souboru 205 vzorků. Průměrná konvenční hustota byla vypočítána jako 550 kg/m^3 . Naměřené minimum bylo 486 kg/m^3 , maximum bylo 634 kg/m^3 . Směrodatná odchylka byla vypočtena ve výši 28 kg/m^3 a variační koeficient byl vypočten ve výši 5 %.

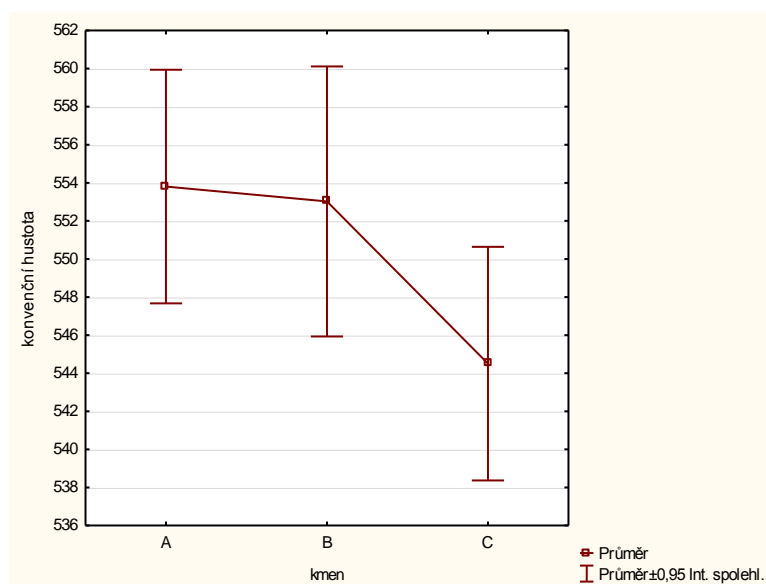
Intervaly spolehlivosti konvenční hustoty jednotlivých kmenů jsou uvedeny v grafu 10, z kterého je patrné, že kmen C se liší. A však Tukeyho test mnohonásobného porovnání uvedený v tabulce 10 žádnou významnou statistickou

odlišnost nepotvrdil. Rozložení hodnot pro jednotlivé kmeny je znázorněno v grafu 11. Hodnoty hustoty v tabulce jsou uváděny v kg/m^3 .

Tabulka 9: Konvenční hustota dřeva [kg/m^3]

Kmen	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Sm. odch.	Var. koef.
A	60	554	493	607	24	4,3
B	80	553	486	634	32	5,8
C	65	545	489	615	25	4,5

Zdroj: Autor práce



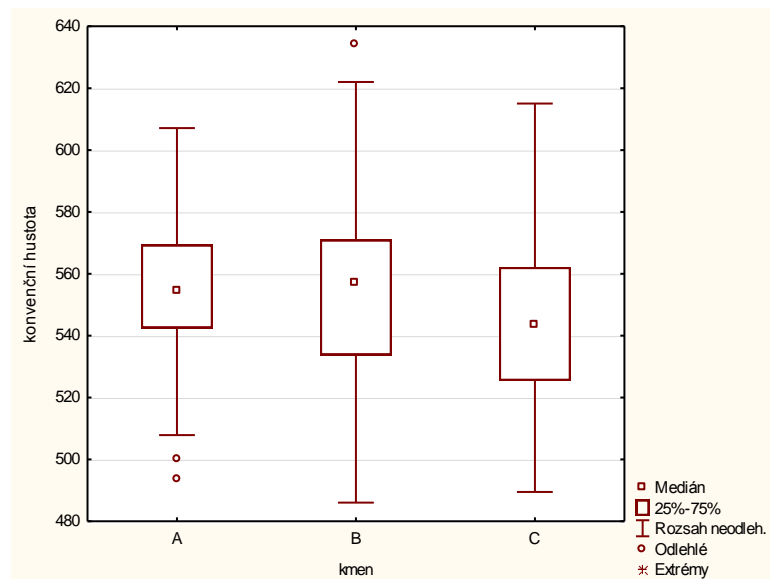
Graf 10: Interval spolehlivosti konvenční hustoty pro jednotlivé kmeny

Zdroj: Autor práce

Tabulka 10: Tukeyho test mnohonásobného porovnání středních hodnot konvenční hustoty mezi jednotlivými kmeny

kmen	A	B	C
A	-		
B		-	
C			-

Zdroj: Autor práce

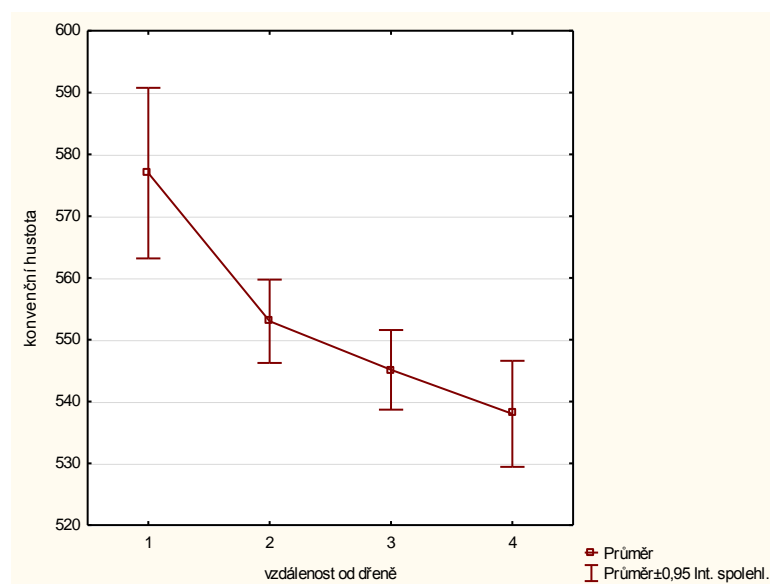


Graf 11: Krabicový graf rozložení hodnot konvenční hustoty pro jednotlivé kmene

Zdroj: Autor práce

6.1.6 Variabilita konvenční hustoty v poloměru kmene

Z grafu 12 je patrné, že sekce 1 vzdálenosti od dřevě vykazuje oproti ostatním sekcím výrazně vyšší střední hodnotu. Následně provedený Tukeyho test mnohonásobného porovnání odhalil významný statistický rozdíl mezi sekcemi 1-2, 1-3, 1-4 a 2-4, jak je zobrazeno v tabulce 11. Rozvržení hodnot konvenční hustoty v rámci jednotlivých sekcí vzdálenosti od dřevě je zobrazeno v grafu 13.



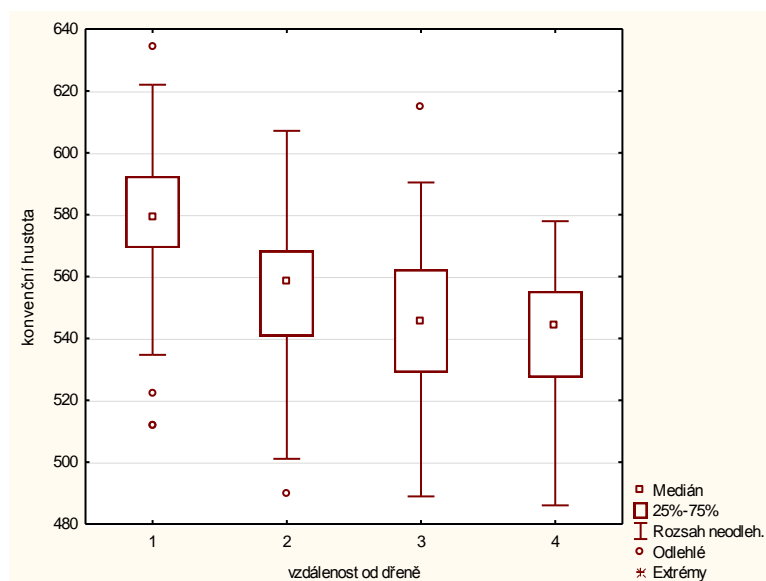
Graf 12: Interval spolehlivosti konvenční hustoty na vzdálenosti od dřevě

Zdroj: Autor práce

Tabulka 11: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu konvenční hustoty v závislosti na jednotlivých sekcích v určité vzdálenosti od dřevě

vzdálenost od dřevě	1	2	3	4
1	-	*	*	*
2	*	-		*
3	*		-	
4	*	*		-

Zdroj: Autor práce



Graf 13: Krabicový graf rozložení hodnot konvenční hustoty na vzdálenosti od dřevě

Zdroj: Autor práce

6.2 Sesychání

6.2.1 Sesychání v radiálním směru

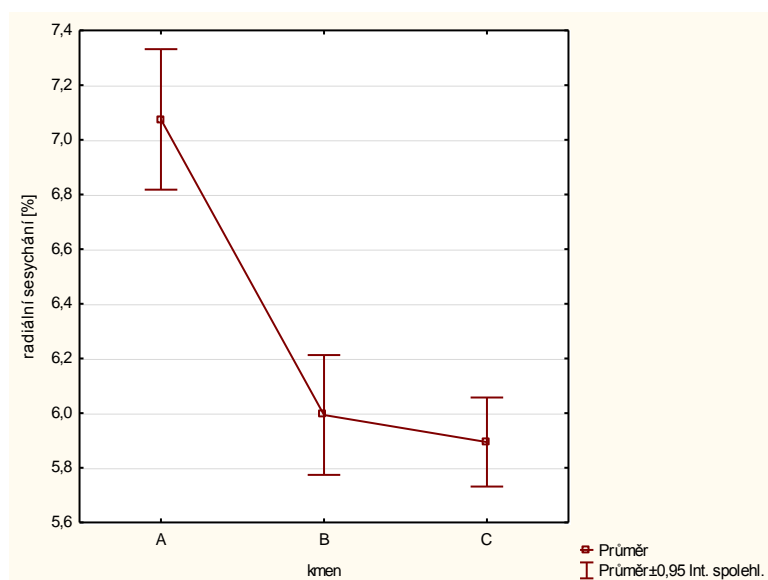
Hodnoty radiálního sesychání byly měřeny na skupině 205 vzorků. Průměrná hodnota radiálního sesychání byla vypočtena jako 6,3 %. Naměřené minimum činilo 3,9 % a naměřené maximum 10,6 %. Směrodatná odchylka činila 1 % a variační koeficient byl vypočten jako 16,4 %. Statistické údaje pro jednotlivé kmeny jsou uváděny v tabulce 12. Z analýzy rozptylu hodnot zobrazeného v grafu 14 vyplývá, že se výrazně odlišuje kmen A od ostatních, což následně potvrdil Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro hodnoty radiálního sesychání

uvedený v tabulce 13. Rozložení hodnot radiálního sesychání je uvedeno v krabicovém grafu 15.

Tabulka 12: Sesychání dřeva v radiálním směru [%]

Kmen	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Sm. odch.	Var. koef.
A	60	7,1	4,3	8,9	1,0	14,1
B	80	6,0	3,9	10,6	1,0	16,4
C	65	5,9	4,2	7,8	0,7	11,1

Zdroj Autor práce



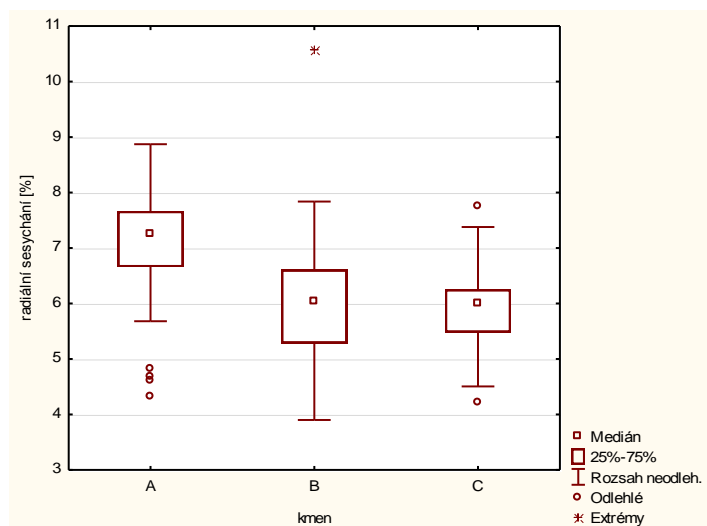
Graf 14: Interval spolehlivosti radiálního sesychání v % pro jednotlivé kmene

Zdroj Autor práce

Tabulka 13: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnoty radiálního sesychání pro jednotlivé kmene

kmen	A	B	C
A	-	*	*
B	*	-	
C	*		-

Zdroj Autor práce

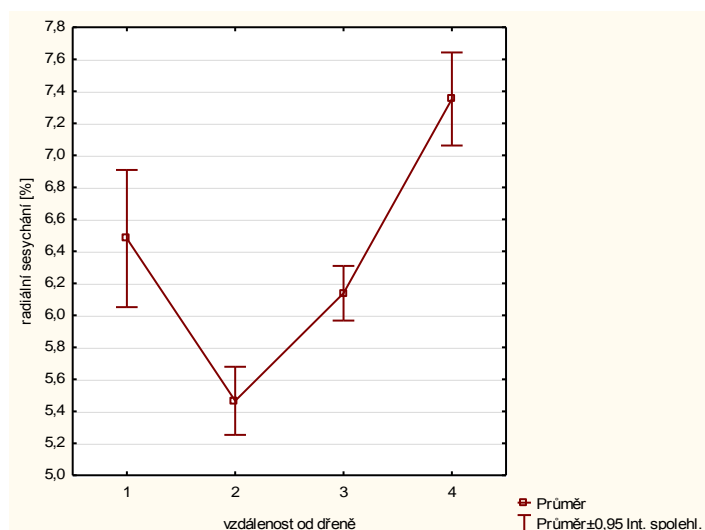


Graf 15: Krabicový graf v závislosti radiálního sesychání na kmenu

Zdroj Autor práce

6.2.2 Variabilita radiálního sesychání v poloměru kmene

Střední hodnoty radiálního sesychání se s průběhem vzdálenosti od dřene výrazně mění, jak znázorňuje graf 16. Tukeyho test mnohonásobného porovnání středních hodnot odhalil, že statisticky významný rozdíl není pouze mezi sekcemi 1 a 3, u ostatních dvojic se statisticky významný rozdíl potvrdil, jak je uvedeno v tabulce 14. Rozložení hodnot radiálního sesychání udávaných dle vzdálenosti od dřene je uvedeno v grafu 17.



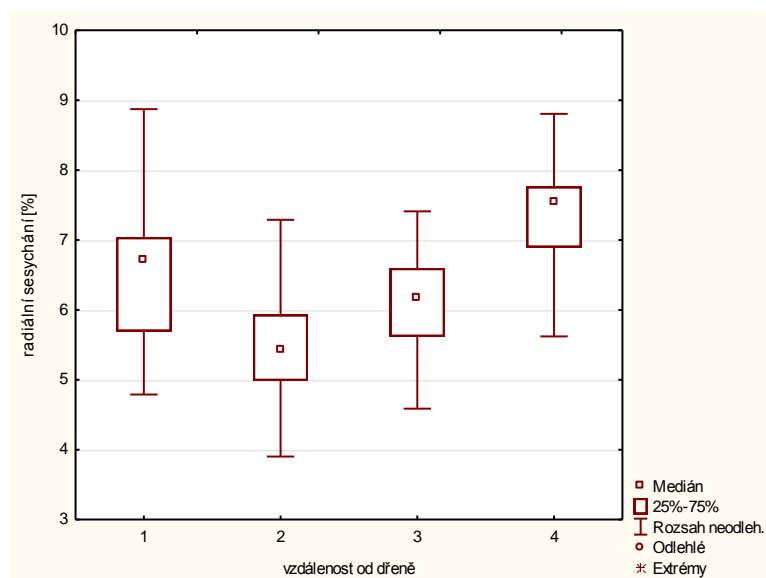
Graf 16: Interval spolehlivosti radiálního sesychání na vzdálenost od dřene

Zdroj Autor práce

Tabulka 14: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu radiálního sesychání v závislosti na jednotlivých sekcích v určité vzdálenosti od dřevě

vzdálenost od dřevě	1	2	3	4
1	-	*		*
2	*	-	*	*
3		*	-	*
4	*	*	*	-

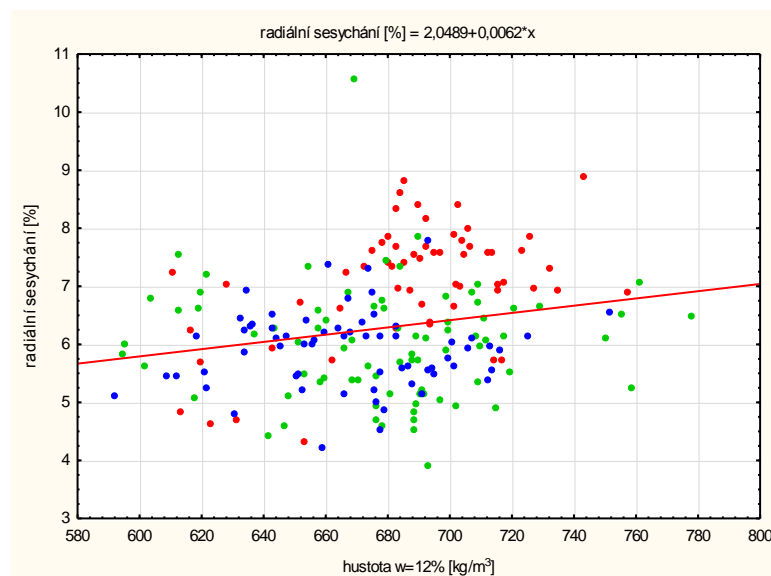
Zdroj Autor práce



Graf 17: Krabicový graf závislosti radiálního sesychání na vzdálenosti od dřevě

Zdroj Autor práce

Na základě naměřených dat byla zjištěna rostoucí tendence, kdy s rostoucí hustotou dochází ke zvýšení celkového radiálního sesychání dřeva. V grafu 18 jsou uvedeny naměřené hodnoty a jsou proloženy přímkou. Jednotlivé kmeny jsou pro přehlednost odlišeny v grafu 18 jinou barvou (A – zelená, B – červená, C – modrá). Lineární regresní rovnice závislosti celkového radiálního sesychání na hustotě dřeva při vlhkosti 12 % je uvedena v grafu 18.



Graf 18: Bodový graf závislosti meze pevnosti v tlaku na hustotě

Zdroj Autor práce

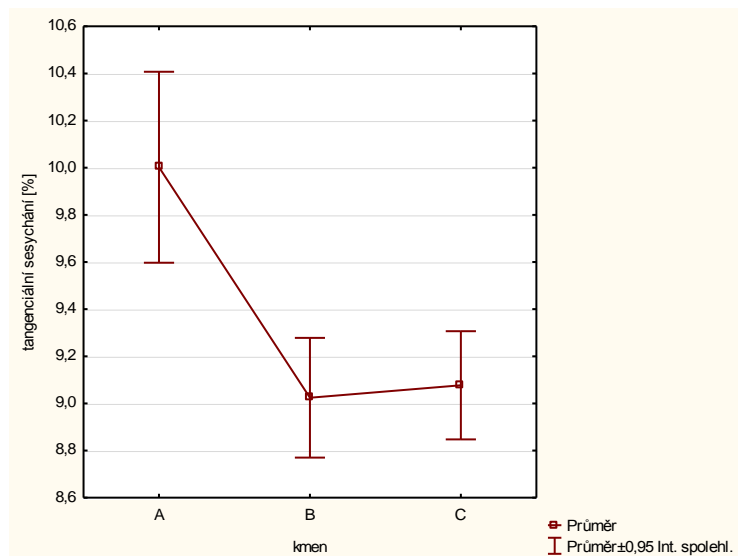
6.2.3 Sesychání tangenciální

Hodnoty tangenciálního sesychání byly určovány na souboru 205 vzorků. Průměrná hodnota tangenciálního sesychání byla vypočtena jako 9,3 %. Naměřené minimum bylo 6,8 %, naměřené maximum bylo 13,2 %. Směrodatná odchylka činila 1,3 %. Variační koeficient byl vypočten ve výši 13,9 %. Statistické údaje pro jednotlivé kmene jsou uváděny v tabulce 15. Graf 19 naznačuje výraznou odlišnost střední hodnoty kmene A. Tukeyho test mnohonásobného porovnání potvrdil, že statisticky významná odlišnost je mezi kmeny A-B a A-C jak je uvedeno v tabulce 16. Rozložení hodnot tangenciálního sesychání s ohledem na jednotlivé kmene je znázorněn v grafu 20.

Tabulka 15: Sesychání dřeva v tangenciálním směru [%]

Kmen	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Sm. odch.	Var. koef.
A	60	10,0	7,1	13,2	1,6	15,7
B	80	9,0	6,8	12,6	1,1	12,6
C	65	9,1	6,8	11,3	0,9	10,2

Zdroj Autor práce



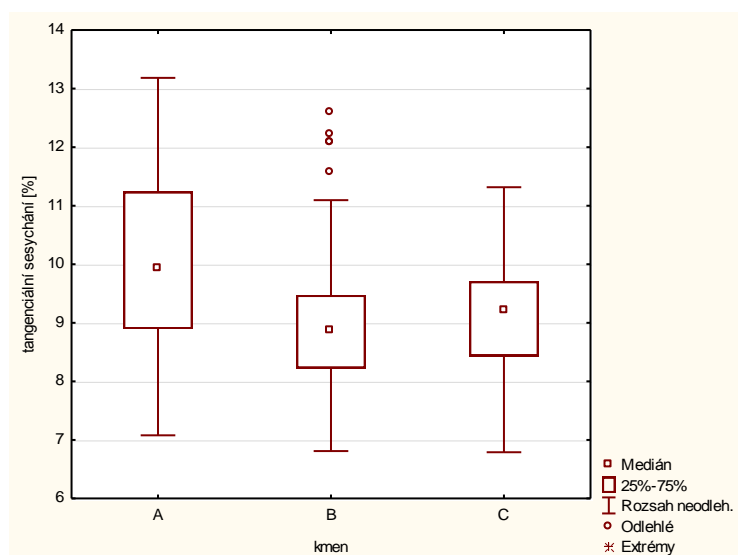
Graf 19: Interval spolehlivosti tangenciálního sesychání v % pro jednotlivé kmene

Zdroj Autor práce

Tabulka 16: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu tangenciálního sesychání v závislosti na jednotlivých kmenech

kmen	A	B	C
A	-	*	*
B	*	-	
C	*		-

Zdroj Autor práce

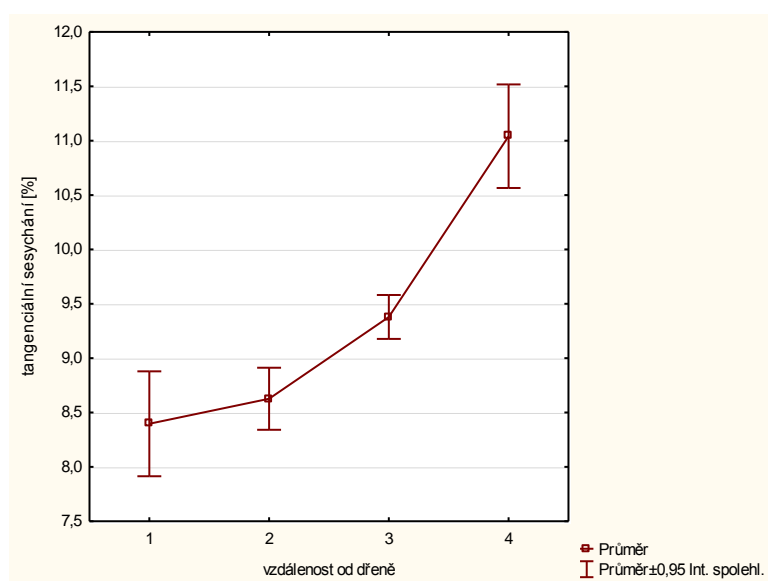


Graf 20: Krabicový graf závislosti tangenciálního sesychání na kmenu

Zdroj Autor práce

6.2.4 Variabilita tangenciálního sesychání v poloměru kmene

Střední hodnoty jednotlivých sekcí vzdáleností od dřevě vykazují nárůst směrem k obvodu kmene, tato skutečnost je zobrazena v grafu 21. Provedením Tukeyho testu mnohonásobného porovnání bylo zjištěno, že statisticky významný rozdíl není pouze mezi sekcemi 1-2, mezi ostatními sekcemi Tukeyho test prokázal statisticky významné rozdíly, jak je uvedeno v tabulce 17. Je tedy prokázána vzrůstající tendence tangenciálního sesychání směrem k obvodu kmene od sekce 2 (30-60 mm). Rozložení hodnot tangenciálního sesychání v rámci jednotlivých sekcí vzdálenosti od dřevě zobrazuje krabicový graf 22.



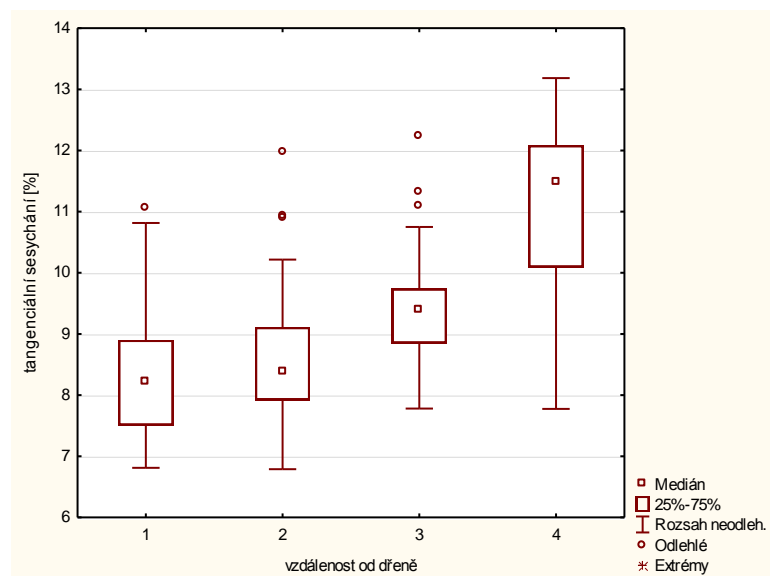
Graf 21: Interval spolehlivosti tangenciálního sesychání na vzdálenost od dřevě

Zdroj Autor práce

Tabulka 17: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu tangenciálního sesychání v závislosti na jednotlivých sekcích vzdálenosti od dřevě

vzdálenost od dřevě	1	2	3	4
1	-		*	*
2		-	*	*
3	*	*	-	*
4	*	*	*	-

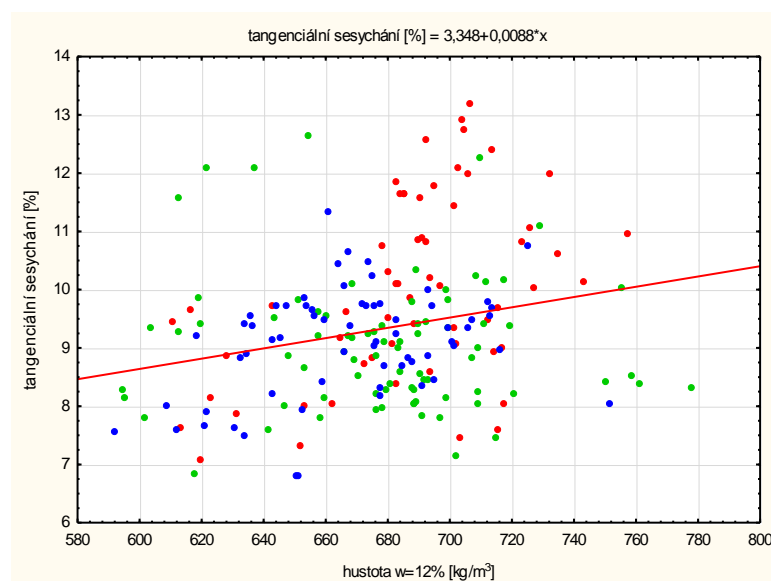
Zdroj Autor práce



Graf 22: Krabicový graf závislosti tangenciálního sesychání na vzdálenosti od dřevě

Zdroj Autor práce

Z měření vyplynula vzrůstající tendence celkového sesychání v tangenciálním směru na hustotě $w=12\%$, jak zobrazuje graf 23. Tato tendence lze vyjádřit lineární rovnicí závislosti hustoty na celkovém sesychání, jak je uvedeno v grafu 23. Jednotlivé kmeny jsou pro přehlednost odlišeny v grafu 18 jinou barvou (A – zelená, B – červená, C – modrá).



Graf 23: Bodový graf závislosti tangenciálního sesychání na hustotě

Zdroj Autor práce

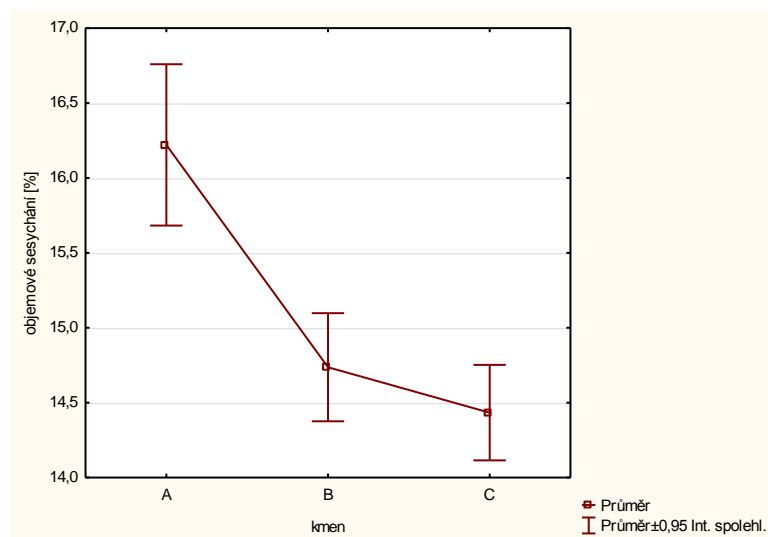
6.2.5 Objemové sesychání

Hodnoty objemového sesychání byly měřeny na skupině 205 vzorků. Průměrná hodnota objemového sesychání byla vypočtena jako 15,1 %. Naměřené minimum je 12,1 % a naměřené maximum 19,7 %. Směrodatná odchylka činila 1,8 %. Variační koeficient byl vypočten ve výši 12,2 %. Statistické údaje pro jednotlivé kmeny jsou uváděny v tabulce 18. Z grafu 24 je patrné, že hodnoty kmene A se v celkovém objemovém sesychání od ostatních liší. Následně provedený Tukeyho test mnohonásobného porovnání potvrdil, že významný statistický rozdíl je mezi A-B a A-C, jak je uvedeno v tabulce 19. Rozložení hodnot objemového sesychání v rámci jednotlivých kmenů zobrazuje krabicový graf 25.

Tabulka 18: Objemové sesychání dřeva [%]

Kmen	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Sm. odch.	Var. koef.
A	60	16,2	12,1	19,7	2,1	12,8
B	80	14,7	12,0	19,4	1,6	11,0
C	65	14,4	11,9	17,5	1,3	8,9

Zdroj: Autor práce



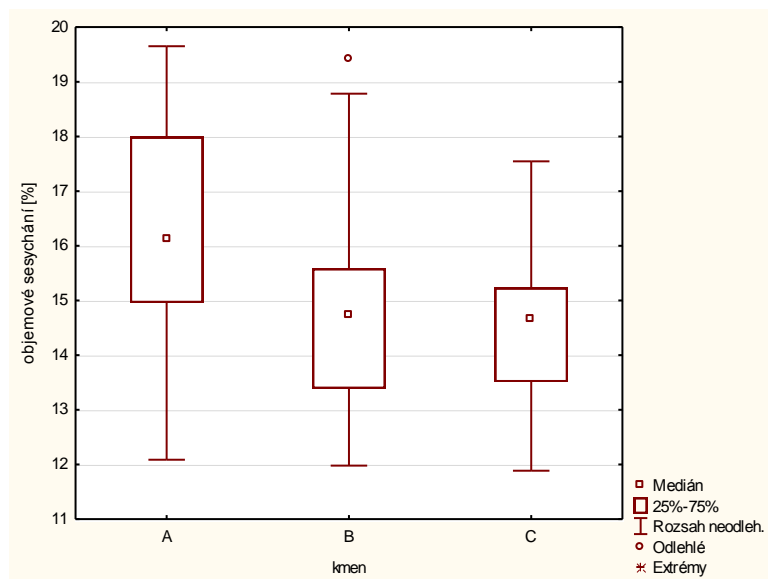
Graf 24: Interval spolehlivosti objemového sesychání v % pro jednotlivé kmeny

Zdroj: Autor práce

Tabulka 19: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu objemového sesychání v závislosti na jednotlivých kmenech

kmen	A	B	C
A	-	*	*
B	*	-	
C	*		-

Zdroj Autor práce

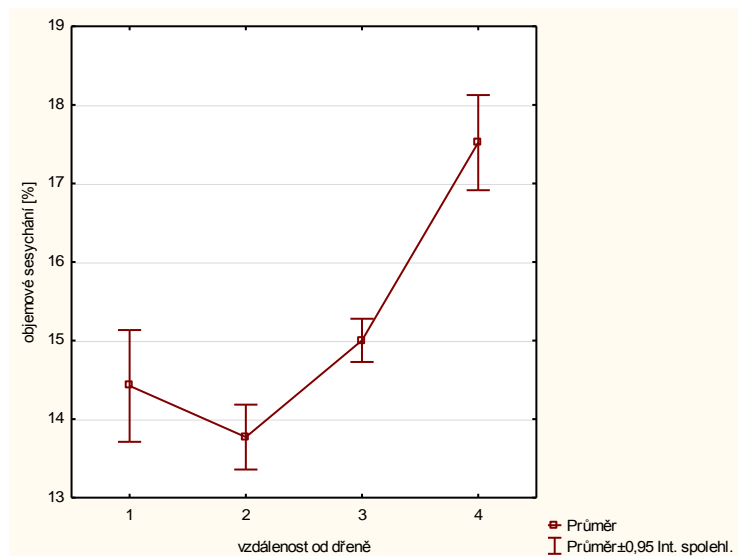


Graf 25: Krabicový graf závislosti objemového sesychání na kmenu

Zdroj: Autor práce

6.2.6 Variabilita objemového sesychání v poloměru kmene

Střední hodnoty jednotlivých sekcí vzdáleností od dřeně vykazují nárůst směrem k obvodu kmene, jak zobrazuje graf 26. Tukeyho test mnohonásobného porovnání odhalil významnou statistickou odlišnost mezi sekcemi 1-4, 2-3, 2-4 a 3-4, jak je uvedeno v tabulce 20. Lze tedy tvrdit, že objemové sesychání vzhledem ke zvyšující se vzdálenosti od dřeně má vzrůstající tendenci od sekce 2 (30-60mm). Rozložení hodnot objemového sesychání v rámci jednotlivých sekcí vzdálenosti od dřeně zobrazuje krabicový graf 27.



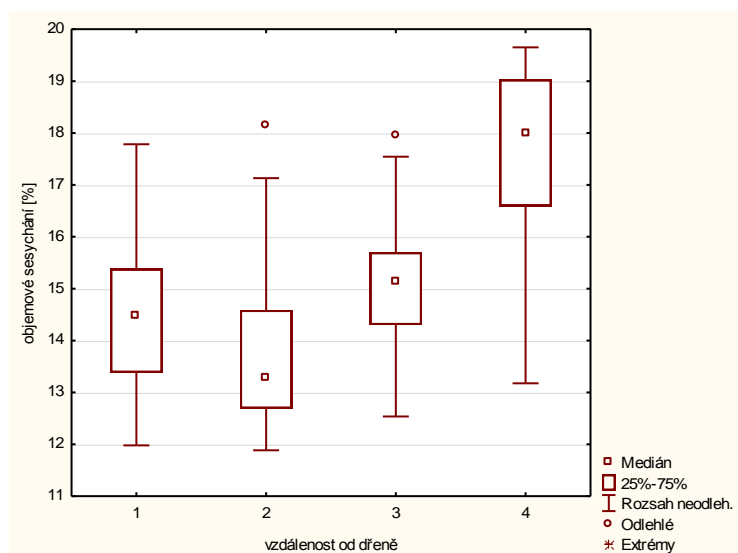
Graf 26: Interval spolehlivosti objemového sesychání na vzdálenost od dřevě

Zdroj: Autor práce

Tabulka 20: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu objemového sesychání v závislosti na jednotlivých sekcích vzdálenosti od dřevě

vzdálenost od dřevě	1	2	3	4
1	-			*
2		-	*	*
3		*	-	*
4	*	*	*	-

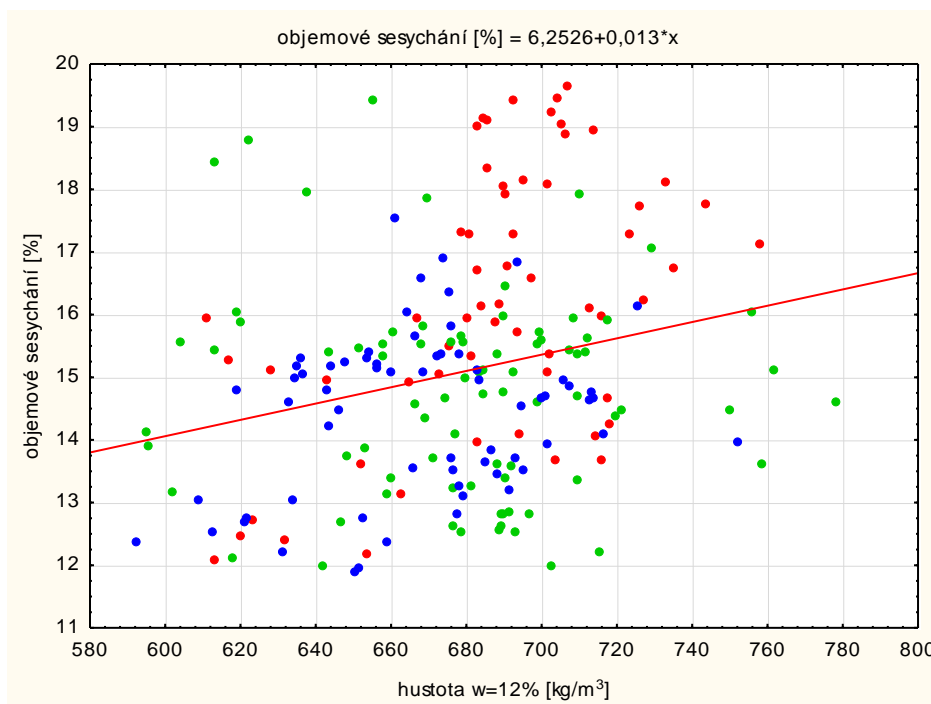
Zdroj: Autor práce



Graf 27: Krabicový graf v závislosti objemového sesychání na vzdálenosti od dřevě

Zdroj: Autor práce

Z naměřených údajů vyplynul vzrůstající charakter objemového sesychání, zvyšující se s hustotou. Získané údaje byly proloženy lineární rovnicí závislosti celkového objemového sesychání na hustotě. Tvar této rovnice je uveden v grafu 28. Jednotlivé kmeny jsou pro přehlednost odlišeny v grafu 18 jinou barvou (A – zelená, B – červená, C – modrá).



Graf 28: Bodový graf závislosti objemového sesychání na hustotě

Zdroj: Autor práce

6.3 Pevnost dřeva v tlaku ve směru vláken

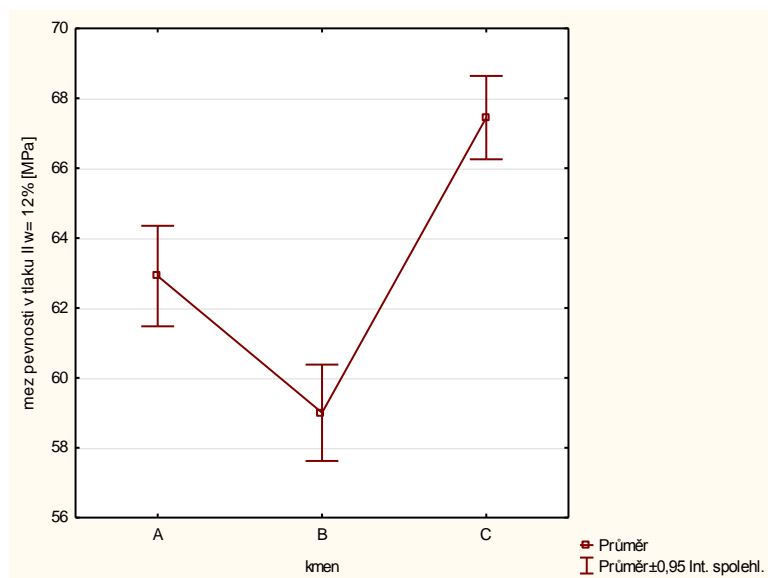
Průměrné hodnoty meze pevnosti v tlaku rovnoběžně se směrem vláken byly určeny na souboru 196 vzorků. Průměrná mez pevnosti dřeva v tlaku rovnoběžně se směrem vláken přepočtena na vlhkost 12 % byla stanovena jako 62 MPa. Naměřené minimum činilo 45 MPa, naměřené maximum činilo 75 MPa. Směrodatná odchylka byla vypočtena jako 6,6 MPa. Variační koeficient byl vypočten ve výši 10,6 %. Statistické údaje pro jednotlivé kmeny jsou uváděny v tabulce 21. Střední hodnoty jednotlivých stromů se od sebe výrazně liší, provedením Tukeyho testu mnohonásobného porovnání byla zjištěna výrazná statistická odlišnost mezi všemi kmeny, jak je uvedeno v tabulce 22. Rozložení

hodnot pevnosti dřeva v tlaku v rámci jednotlivých kmenů zobrazuje krabicový graf 30.

Tabulka 21: Mez pevnosti v tlaku rovnoběžně se směrem vláken při vlhkosti $w = 12\%$ [MPa]

Kmen	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Sm. odch.	Var. koef.
A	58	62,9	49,8	72,7	5,5	8,7
B	85	59,0	44,5	68,6	6,4	10,8
C	53	67,4	51,5	75,3	4,3	6,4

Zdroj Autor práce



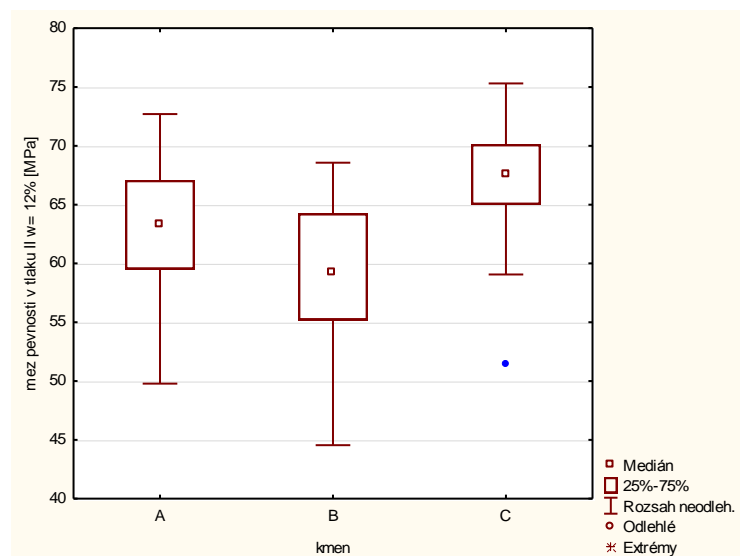
Graf 29: Interval spolehlivosti meze pevnosti v tlaku ve směru vláken na kmenu

Zdroj Autor práce

Tabulka 22: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na jednotlivých kmenech

kmen	A	B	C
A	-	*	*
B	*	-	*
C	*	*	-

Zdroj Autor práce



Graf 30: Krabicový graf závislosti meze pevnosti v tlaku ve směru vláken na kmenu

Zdroj: Autor práce

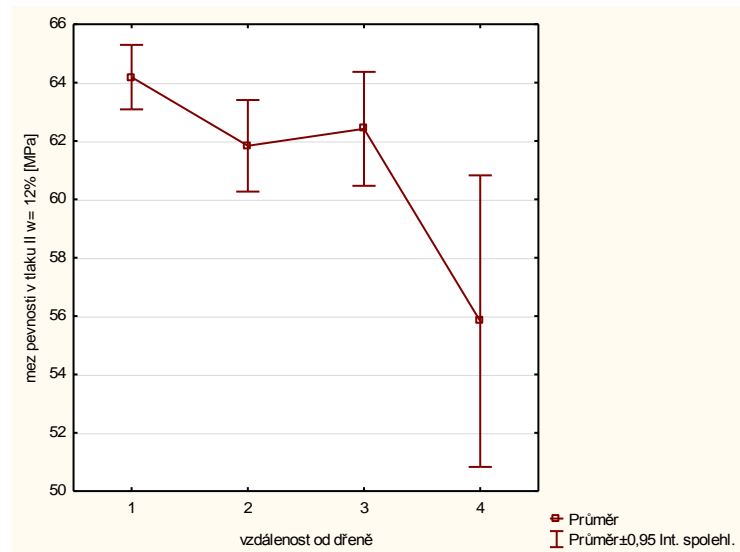
6.3.1 Variabilita pevnosti v tlaku ve směru vláken v poloměru kmene

Střední hodnoty jednotlivých sekcí vzdáleností od dřene vykazují dle grafu 31 spíše pokles směrem k obvodu kmene. Tukeyho test mnohonásobného porovnání prokázal významnou statistickou odlišnost sekce 4 (90 – 120 mm) vzdálenosti od dřene oproti ostatním, jak je znázorněno v tabulce 23. Rozložení hodnot pevnosti v tlaku ve směru vláken v rámci jednotlivých sekcí vzdálenosti od dřene zobrazuje krabicový graf 32.

Tabulka 23: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu pevnosti v tlaku ve směru vláken v závislosti na jednotlivých sekcích vzdálenosti od dřene

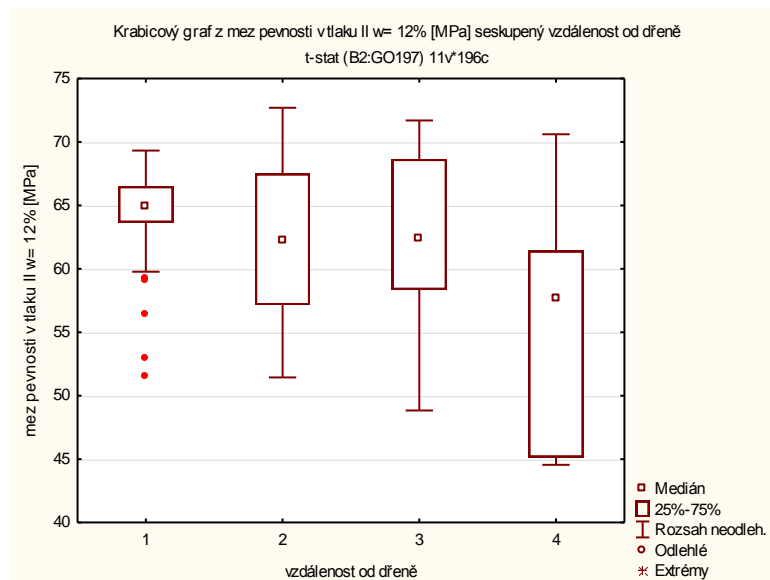
vzdálenost od dřene	1	2	3	4
1	-			*
2		-		*
3			-	*
4	*	*	*	-

Zdroj: Autor práce



Graf 31: Interval spolehlivosti meze pevnosti v tlaku II na vzdálenosti od dřevě

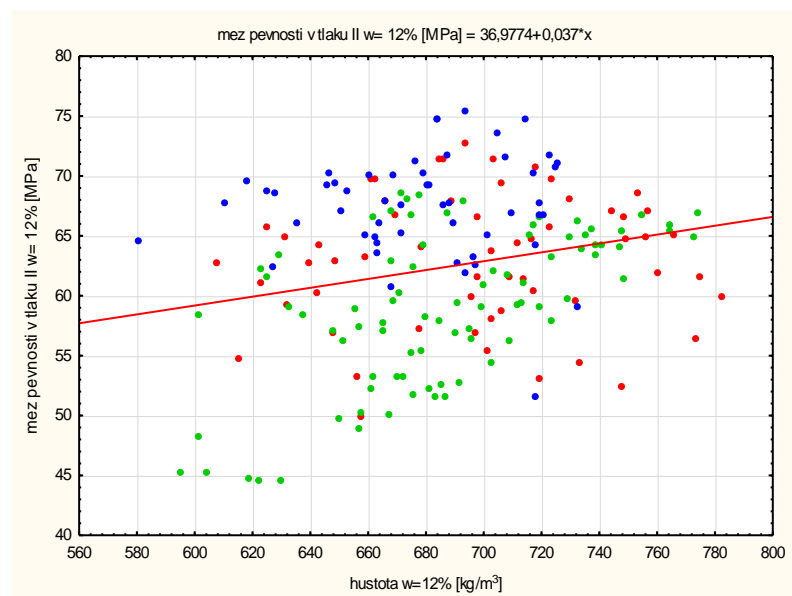
Zdroj Autor práce



Graf 32: Krabicový graf závislosti meze pevnosti v tlaku na vzdálenosti od dřevě

Zdroj: Autor práce

Z naměřených hodnot meze pevnosti v tlaku ve směru rovnoběžném s vlákny, byla zaznamenána vzrůstající tendence v závislosti na stoupající hustotě dřeva při vlhkosti 12 %. Data byla proložena přímkou, jejíž lineární rovnice je uvedena v grafu 33. Jednotlivé kmene jsou pro přehlednost odlišeny v grafu 33 jinou barvou (A – zelená, B – červená, C – modrá).



Graf 33: Bodový graf závislosti meze pevnosti v tlaku na hustotě

Zdroj: Autor práce

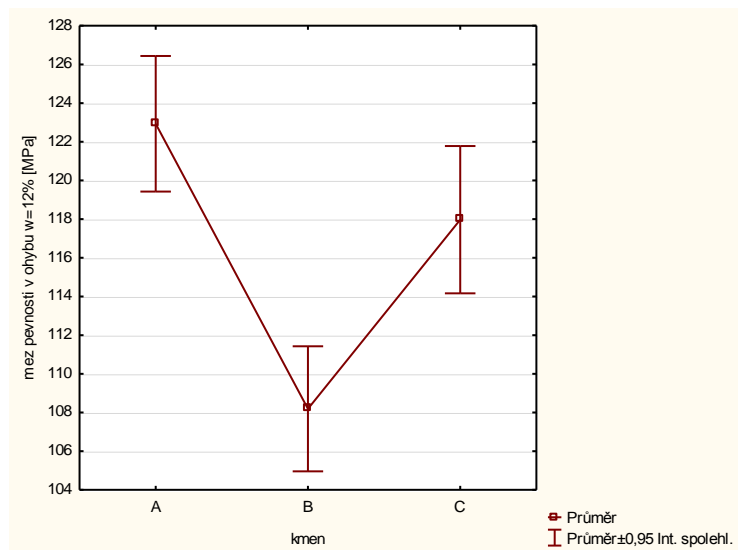
6.4 Pevnost dřeva v ohybu

Mez pevnost dřeva v ohybu kolmo na směr vláken v tangenciálním směru, byla stanovena na skupině čítající 124 vzorků. Průměrná pevnost dřeva v ohybu kolmo na směr vláken v tangenciálním směru při vlhkosti 12 % byla vypočtena ve výši 116 MPa. Naměřené minimum bylo 73 MPa a naměřené maximum činilo 142 MPa. Směrodatná odchylka měření vyšla 13 MPa. Variační koeficient byl vypočten ve výši 11 %. Statistické údaje pro jednotlivé kmeny jsou uváděny v tabulce č. 24. Střední hodnota kmenu B vykazovala v tangenciálním ohybu rozdíl oproti zbylým kmenům. Toto tvrzení následně potvrdil Tukeyho test mnohonásobného porovnání, který odhalil statisticky významnou odlišnost kmene B oproti A a C, jak je zobrazeno v tabulce 25. Rozložení hodnot pevnosti dřeva v tangenciálním ohybu v rámci jednotlivých kmenů zobrazuje krabicový graf 35.

Tabulka 24: Mez pevnosti v ohybu v tangenciálním směru $w = 12\%$ [MPa]

Kmen	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Sm. odch.	Var. koef.
A	37	123	82	139	11	8,5
B	45	108	88	127	11	9,9
C	42	118	73	142	12	10,4

Zdroj: Autor práce



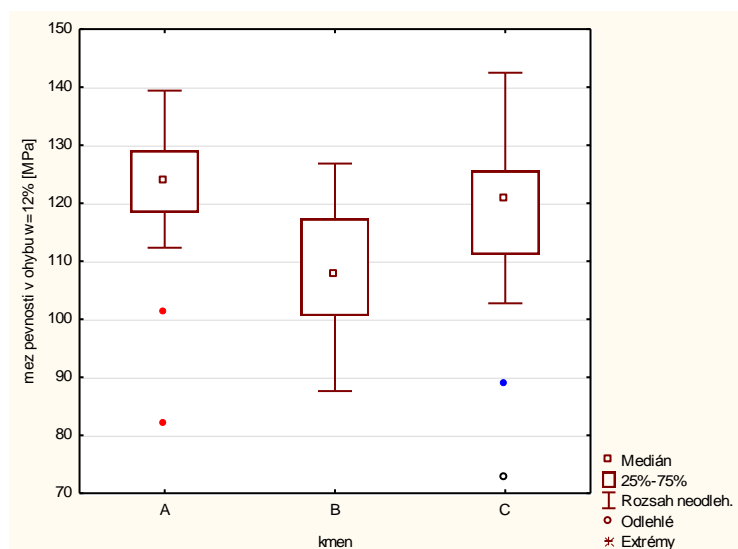
Graf 34: Interval spolehlivosti meze pevnosti v ohybu na kmenu

Zdroj: Autor práce

Tabulka 25: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu pevnosti v tangenciálním ohybu v závislosti na jednotlivých kmenech

kmen	A	B	C
A	-	*	
B	*	-	*
C		*	-

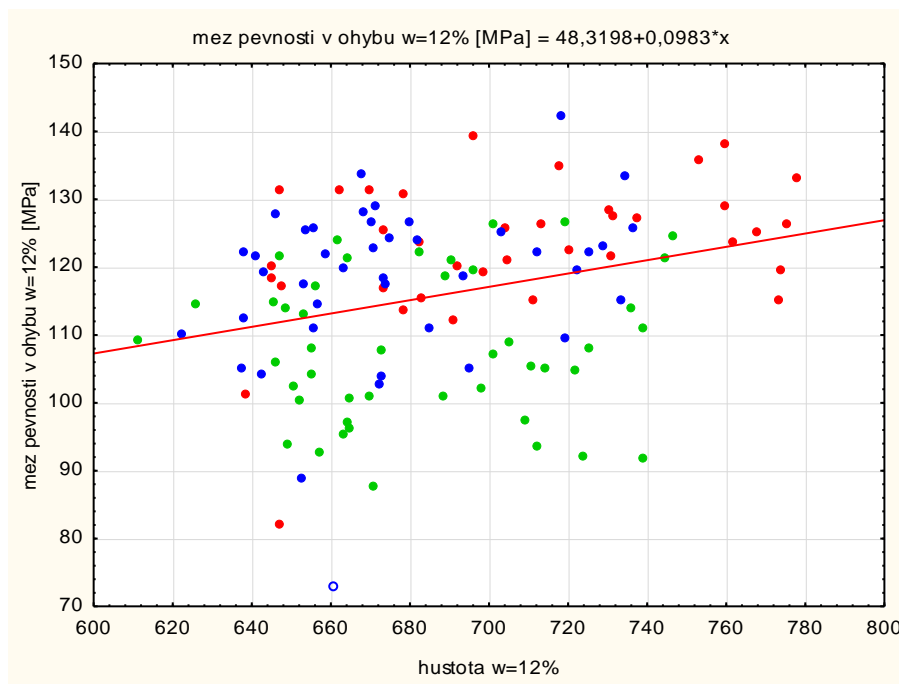
Zdroj: Autor práce



Graf 35: Krabicový graf závislosti meze pevnosti v ohybu na kmenu

Zdroj: Autor práce

Z hodnot meze pevnosti v tangenciálním ohybu a hustoty těles při 12% vlhkosti je pozorována vzrůstající tendence, kdy se vzrůstající hustotou stoupá i pevnost v ohybu. Lineární regresní rovnice meze pevnosti v tangenciálním ohybu a hustoty těles při vlhkosti 12 % je uvedena v grafu 36. Jednotlivé kmeny jsou pro přehlednost odlišeny v grafu 33 jinou barvou (A – zelená, B – červená, C – modrá).



Graf 36: Bodový graf závislosti meze pevnosti v ohybu na hustotě

Zdroj: Autor práce

6.5 Modul pružnosti v ohybu

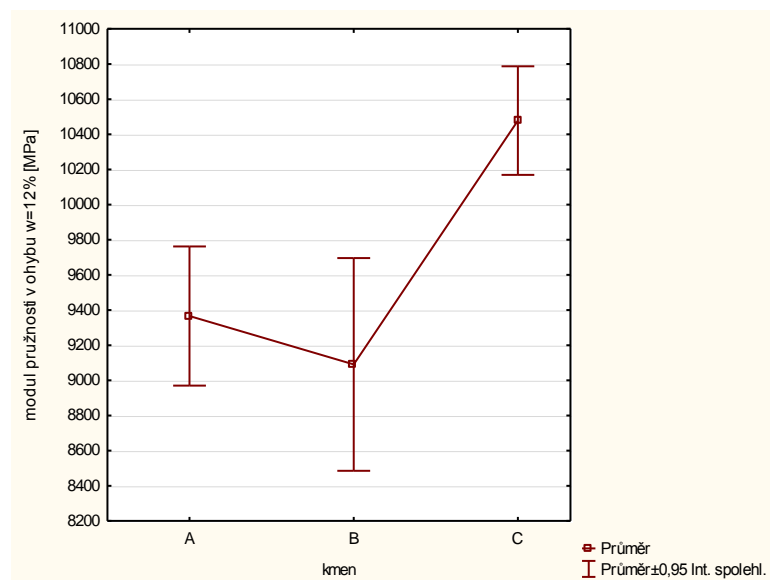
Modul pružnosti v ohybu byl stanoven na souboru 124 vzorků. Průměrný modul pružnosti dřeva v ohybu při vlhkosti 12 % byl vypočten ve výši 9643 MPa. Naměřené minimum činilo 5117 MPa, naměřené maximum bylo 12779 MPa. Směrodatná odchylka byla vypočtena ve výši 1601 MPa. Variační koeficient byl vypočten jako 16,6 %. Variační koeficient je poměrně vysoký a poukazuje na velkou variabilitu dat. Statistické údaje pro jednotlivé kmeny jsou uváděny v tabulce č. 26. Z grafu 37 je patrné, že střední hodnota kmene C se značně odlišuje od ostatních ale zároveň je zatížena nejmenší chybou. Následným

provedením Tukeyho testu mnohonásobného porovnání bylo zjištěno, že kmen C skutečně vykazuje významný statistický rozdíl oproti ostatním dvěma kmenům. Kmen B je zatížen chybou převyšující 22 %, což poukazuje na velice vysokou variabilitu naměřených dat u tohoto kmene. Rozložení dat v rámci jednotlivých kmenů je zobrazeno v grafu 38.

Tabulka 26: Modul pružnosti v tangenciálním ohybu při vlhkosti dřeva $w = 12\%$ [MPa]

Kmen	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Sm. odch.	Var. koef.
A	37	9366	7437	12001	1187	12,7
B	45	9091	5117	12779	2014	22,2
C	42	10478	8350	12251	991	9,5

Zdroj: Autor práce



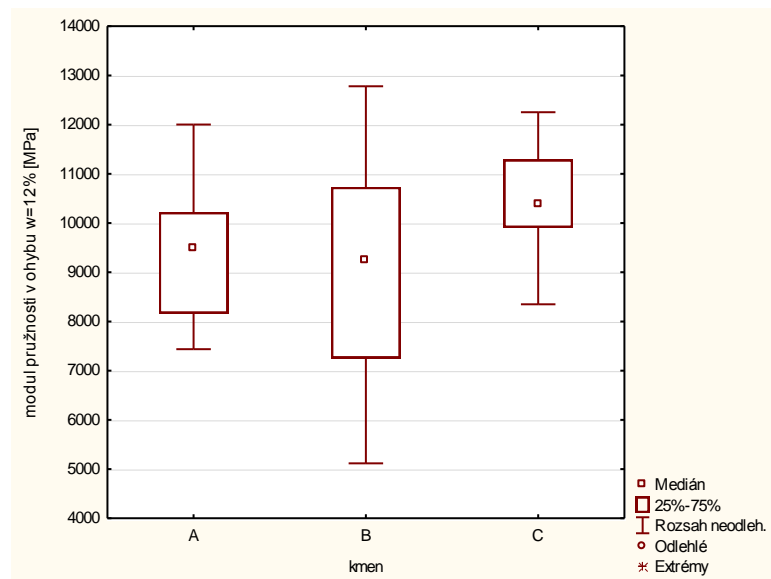
Graf 37: Interval spolehlivosti meze pružnosti v tangenciálním ohybu na kmenu

Zdroj: Autor práce

Tabulka 27: Tukeyho test mnohonásobného porovnání pro střední hodnotu pružnosti v tangenciálním ohybu v závislosti na jednotlivých kmenech

kmen	A	B	C
A	-		*
B		-	*
C	*	*	-

Zdroj: Autor práce



Graf 38: Krabicový graf závislosti meze pružnosti v tangenciálním ohybu na kmenu

Zdroj: Autor práce

7 Diskuze

Hustota dřeva při 0% vlhkosti

Naměřená průměrná hustota dřeva ořešáku černého (*Juglans nigra*L.) při vlhkosti 0% byla naměřena jako 650 kg/m^3 . Pro porovnání jsou v tabulce 28 uvedeny vybrané dřeviny vyskytující se c ČR. Je patrné, že hodnota hustoty při 0% vlhkosti, měřena na vzorcích ořešáku černého se nejvíce blíží našemu zástupci tohoto druhu, kterým je ořešák královský (*Juglans regia* L.)

Tabulka 28: Průměrné hodnoty hustot dřeva ρ_0

Druh dřeviny		ρ_0 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
latinský název	český název	
<i>Larix decidua</i>	Modřín opadavý	560
<i>Castanea sativa</i>	Kaštanovník jedlý	560
<i>Acer platanoides</i>	Javor mléč	630
<i>Ulmus glabra</i>	Jilm horský	640
<i>Juglans regia</i>	Ořešák královský	660
<i>Fraxinus excelsior</i>	Jasan ztepilý	670
<i>Quercus robur</i>	Dub letní	680
<i>Fagus sylvatica</i>	Buk lesní	685
<i>Carpinus betulus</i>	Habr obecný	750
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Trnovník akát	760

Zdroj: Autor práce

Hustota dřeva při 12% vlhkosti

Průměrná hustota dřeva ořešáku černého (*Juglans nigra* L.) se pohybovala okolo hodnoty 690 kg/m^3 . Také při porovnání hodnot hustoty dřeva při vlhkosti 12% jsme došli k závěru, že největší podobnost vykazuje dřevo ořešáku černého se dřevem ořešáku královského (*Juglans regia* L.).

Tabulka 29: Průměrné hodnoty hustot dřeva ρ_{12}

Druh dřeviny		ρ_{12} [kg.m ⁻³]
latinský název	český název	
Larix decidua	Modřín opadavý	590
Castanea sativa	Kaštanovník jedlý	600
Acer platanoides	Javor mléč	670
Ulmus glabra	Jilm horský	680
Juglans regia	Ořešák královský	700
Fraxinus excelsior	Jasan ztepilý	710
Quercus robur	Dub letní	725
Fagus sylvatica	Buk lesní	720
Carpinus betulus	Habr obecný	790
Robinia pseudoacacia	Trnovník akát	800

Zdroj: Autor práce

Konvenční hustota

Naměřená průměrná konvenční hustota se pohybovala okolo hodnoty 550 kg/m³, což se podobá hodnotě konvenční hustoty javoru mléče (*Acer platanoides*), jilmu horského (*Ulmus glabra*), méně pak ořešáku královského (*Juglans regia* L). V tabulce jsou uvedeny hodnoty konvenční hustoty pro vybrané dřeviny.

Tabulka 30: Průměrné hodnoty hustot dřeva ρ_k

Druh dřeviny		ρ_k [kg.m ⁻³]
latinský název	český název	
Larix decidua	Modřín opadavý	485
Castanea sativa	Kaštanovník jedlý	510
Acer platanoides	Javor mléč	540
Ulmus glabra	Jilm horský	570
Juglans regia	Ořešák královský	590
Fraxinus excelsior	Jasan ztepilý	600
Quercus robur	Dub letní	610
Fagus sylvatica	Buk lesní	570
Carpinus betulus	Habr obecný	625
Robinia pseudoacacia	Trnovník akát	660

Zdroj: Autor práce

Sesychání

Naměřené hodnoty sesychání vykazovali vyšší hodnoty radiálního tangenciálního i objemového sesychání, než uvádí odborné zdroje, jak je patrné z přílohy 1. Tento fakt může být zapříčiněn tím, že byla naměřena vyšší hustota dřeva, než uvádí autoři, a proto se dá říci, že i sesychání by tedy dosahovalo vyšších hodnot. Hodnoty sesychání v příslušném směru a objemové sesychání spolu s příslušnými koeficienty jsou uvedeny v tabulce 31.

Tabulka 31: Sesychání

Sesychání [%]	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Sm. odch.	Var. koef.
radiální	205	0,21	0,13	0,35	0,034	16,4
tangenciální	205	0,31	0,23	0,44	0,043	13,9
objemové	205	0,50	0,40	0,66	0,061	12,2
Koeficient sesychání	Počet	Průměr	Minimum	Maximum	Sm. odch.	Var. koef.
radiální	205	6,3	3,9	10,6	1,0	16,4
tangenciální	205	9,3	6,8	13,2	1,3	13,9
objemové	205	15,1	11,9	19,7	1,8	12,2

Zdroj: Autor práce

Pro porovnání jsou v tabulce 32 uvedeny koeficienty sesychání vybraných dřevin. Z porovnání naměřených hodnot se nejvíce podobá z našich dřevin hodnotám uváděným pro břízu nebo buk.

Tabulka 32: Koeficienty sesychání a bobtnání u vybraných druhů dřev

Druh dřeva	Koeficient sesychání β a bobtnání α (%/1%w)		
	objemového	radiálního	tangenciálního
	K_{β}	K_{β}	K_{β}
modřín	0,52	0,19	0,35
borovice	0,44	0,17	0,28
smrk	0,43	0,16	0,28
bříza	0,54	0,26	0,31
buk	0,47	0,17	0,32
jasan	0,45	0,18	0,28
dub	0,43	0,18	0,27
osika	0,41	0,14	0,28

Zdroj: Horáček, 1998

Mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny

Mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny dosahovala hodnoty 62 MPa. V porovnání s našimi dřevinami se blížila hodnotám habru, javoru či jasanu, jak je patrné z tabulky 33. Z tabulky v příloze 1 vyplývá že, mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny převyšovala hodnoty uváděné autory pro ořešák černý (*Juglans nigra*). Se stoupající hustotou byl zaznamenán i vzestup meze pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny. Při porovnání vlivu vzdálenosti od dřene na mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny se statisticky lišila pouze poslední sekce (90 – 120 mm), jejíž mez pevnosti vykazovala nižší hodnoty.

Tabulka 33: Hodnoty mez pevnosti v tlaku ve směru vláken pro dřevo některých dřevin (podle Ugoleva, 1975)

Druh dřeva	Mez pevnosti (MPa) při vlhkosti dřeva (12 %)
osika	42,5
smrk	44,4
borovice	48,5
ořešák	55
bříza	55
buk	55,5
dub	57,5
jasan	59
javor	59,5
habr	60
modřín	64,5
akát	75,5

Zdroj: Matovič 1993

Mez pevnosti v tangenciálním ohybu

Mez pevnosti v tangenciálním ohybu vyšla 116 MPa. Tato hodnota se dle Matoviče (1993) podobá javoru, ořešáku nebo modřínu. Mez pevnosti v tangenciálním ohybu se při porovnání nejvíce přibližovala hodnotě intervalu meze pevnosti, kterou uvádí Wagenführ (2000) pro ořešák královský (*Juglans regia*). V porovnání s hodnotami uváděnými v původní lokalitě výskytu ořešáku černého (*Juglans nigra*) vykazujeme vyšší hodnoty meze pevnosti.

Hodnoty vybraných dřevin vyskytujících se v ČR jsou uvedeny v tabulce 34.

Tabulka 34: Mez pevnosti vybraných dřev v ohybu při vlhkosti 12 % a nad mezí hygroskopicity (podle Ugoleva, 1975 a 1986)

Druh dřeva	Mez pevnosti v ohybu (Mpa) při vlhkosti dřeva (12 %)
osika	78
smrk	79,5
borovice	86
dub	107,5
buk	108,5
bříza	109,5
ořešák	110
modřín	111,5
javor	120
jasan	123
habr	137
akát	158

Zdroj: Matovič 1993

Modul pružnosti v ohybu

Průměrná hodnota modulu pružnosti v ohybu vyšla 9643 MPa. Hodnota je nižší než uvádějí zdroje odborné literatury pro ořešák černý (*Juglans nigra*) i ořešák královský (*Juglans regia*), jak je patrné z tabulky v příloze 1. Z našich dřevin se hodnotě nejvíce přibližuje javor mléč (*Acer platanoides*), jak uvádí tabulka 35.

Tabulka 35: Modul pružnosti v ohybu

Latinský název	Český název	Modul pružnosti v ohybu
<i>Picea abies</i>	Smrk ztepilý	8210
<i>Larix decidua</i>	Modřín opadavý	8273
<i>Abies alba</i>	Jedle bělokorá	8948
<i>Acer platanoides</i>	Javor mléč	9582
<i>Pinus sylvestris</i>	Borovice lesní	10620
<i>Juglans regia</i>	Ořešák královský	12742
<i>Fagus sylvatica</i>	Buk lesní	12966
<i>Acer platanoides</i>	Javor mléč	13417
<i>Fraxinus excelsior</i>	Jasan ztepilý	13898

Zdroj: Požgaj et al., 1993

8 Závěr

V této diplomové práci byly zjišťovány fyzikální a mechanické vlastnosti ořešáku černého (*Juglans nigra* L.). Tyto vlastnosti byly měřeny na vzorcích odebraných ze tří kmenů pocházející z oblasti antropogenně ovlivněného stanoviště (hnědouhelná výsypka Úžín).

Z fyzikálních vlastností jsem zjišťoval hustoty při vlhkosti 0 %, 12 % a konvenční hustotu. Z dalších fyzikálních vlastností bylo předmětem výzkumu také objemové sesychání, sesychání v radiálním a v tangenciálním směru. Z mechanických vlastností jsem zjišťoval mez pevnosti v tlaku působícím rovnoběžně s vlákny, mez pevnosti v tangenciálním ohybu a modul pružnosti v tangenciálním ohybu. Veškeré zkoušky byly provedeny podle příslušných norem ČSN. Přehledné porovnání naměřených dat s ořešákem královským (*Juglans regia*) a ořešákem černým (*Juglans nigra*), je uvedeno v příloze 1.

Průměrná hodnota hustoty při vlhkosti 0 % vyšla 650 kg/m^3 a podobala se podle odborných zdrojů spíše hodnotám hustoty ořešáku královského (*Juglans regia*), nebo jilmu horského (*Ulmus glabra*). V porovnání s hodnotami hustoty ořešáku černého (*Juglans nigra*) v původním rozšíření byly naměřeny vyšší hodnoty hustoty při vlhkosti 0 %. Hustota při 0 % vlhkosti vykazovala vyšší hodnoty v blízkosti dřene, dále se pak po poloměru kmene výrazně nezměnila.

Hustota při vlhkosti 12 % vyšla 690 kg/m^3 a podobala se dle srovnání s odbornou literaturou nejvíce hustotě ořešáku královského (*Juglans regia*). Tsoumis (1991) uvádí hodnotu shodnou s naměřenými daty. Z našich dalších dřevin se hustotou blížil hodnotě jilmu horského (*Ulmus glabra*) či javoru (*Acer platanoides*) nebo jasanu (*Fraxinus excelsior*). Pokud porovnáme naměřené hodnoty s hodnotami uváděnými v původním rozšíření ořešáku černého (*Juglans nigra*), dosahujeme vyšší hustoty. Hustota při 12% vlhkosti vykazovala vyšší hodnoty v blízkosti dřene, dále se pak po poloměru kmene výrazně nezměnila.

Konvenční hustota vyšla 550 kg/m^3 . Tato hodnota se nejvíce přibližuje hodnotě konvenční hustoty javoru mléče (*Acer platanoides*) a jilmu horského (*Ulmus glabra*), jak uvádí Matovič (1993). Konvenční hustota vykazovala pokles hodnot směrem od dřene k obvodu kmene.

Sesychání v radiálním směru vyšlo 6,3 %. Tato hodnota je v porovnání s hodnotou sesychání ořešáku královského vyšší a je také vyšší než hodnota radiálního sesychání, která je uváděna v původním rozšíření. Toto je z části způsobeno zmíněnou vyšší naměřenou hustotou vzorků. Hodnota radiálního sesychání nejprve v poloměru kmene poklesla a následně stoupala se vzdáleností od dřevě.

Sesychání v tangenciálním směru bylo 9,3 %. Tato hodnota je vyšší, než hodnota tangenciálního sesychání udávaného u ořešáku černého (*Juglans nigra*), i než hodnota tangenciálního sesychání udávaná v odborné literatuře u ořešáku královského (*Juglans regia*). Hodnota tangenciálního sesychání od poloviny kmene vykazovala nárůst směrem k obvodu.

Objemové sesychání vyšlo 15,1 %. Tato hodnota je vyšší než hodnoty ořešáku černého (*Juglans nigra*) udávané v jeho původním rozšíření, jak uvádí Tsoumis (1991). V porovnání s hodnotami udávanými pro ořešák královský (*Juglans regia*) jsou tyto hodnoty také vyšší. Z našich dřevin se podobají bříze. Hodnota objemového sesychání rostla směrem k obvodu kmene.

Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny byla naměřena 62MPa. Tato hodnota se z našich dřevin nejvíce podobá hodnotám habru, javoru a jasanu, jak uvádí Matovič (1993). V porovnání s hodnotami uváděnými pro původní rozšíření ořešáku černého (*Juglans nigra*) bylo dosaženo vyšších hodnot. Naměřené hodnoty odpovídají více hodnotám udávaným pro ořešák královský (*Juglans regia*). Nepotvrdila se významná změna tlaku pevnosti v průměru kmene. S nárůstem hustoty byl zaznamenán nárůst pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny.

Mez pevnosti dřeva v tangenciálním ohybu vyšla 116 MPa. Tato hodnota odpovídá hodnotě udávané pro ořešák královský (*Juglans regia*), jak udává Wagenführ (2000). Dále se podobá javoru a jasanu. Naměřeny byly vyšší hodnoty, než jsou pro ořešák černý (*Juglans nigra*) v jeho původním rozšíření v odborných zdrojích uváděny. S nárůstem hustoty byl zaznamenán nárůst pevnosti dřeva v tangenciálním ohybu.

Modul pružnosti v ohybu byl naměřen 9650 MPa. Tato hodnota je nižší než hodnota modulu pružnosti v ohybu ořešáku černého (*Juglans nigra*) v původním

rozšíření. Modul pružnosti vykazoval nižší hodnoty, než udávají zdroje v odborné literatuře, ovšem hodnoty modulu pružnosti v ohybu pro kmen C se velmi blížily hodnotám, jak je uvádí Wagenführ (2000). Z našich dřevin se hodnota modulu pružnosti v ohybu nejvíce blížila hodnotě javoru mléče (*Acer platanoides*), jak uvádí Požgaj et al. (1993).

Naměřené fyzikální a mechanické vlastnosti ořešáku černého z antropogenně ovlivněného stanoviště, se více přibližují hodnotám uváděným v odborných zdrojích pro ořešák královský (*Juglans regia*), než pro ořešák černý (*Juglans nigra*) v jeho původní lokalitě výskytu. Mechanické vlastnosti však nedosahují tak dobrých výsledků jak udává Tsoumis (1991) Novák (1970) pro ořešák královský (*Juglans regia*). Naměřená hustota byla značně vyšší, než hustota, kterou udává Tsoumis (1991) v místě původního výskytu ořešáku černého (*Juglans nigra*). Z tohoto důvodu jsou i naměřené mechanické vlastnosti ořešáku černého vyšší, konkrétně mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny a mez pevnosti v tangenciálním ohybu. Potvrdilo se, že se vzrůstající hustotou stoupají i zmíněné mechanické vlastnosti.

Z naměřených hodnot je tedy patrné, že se jedná o dřevo se střední až vyšší hustotou. Dřevo je hodně sesychavé, s nadprůměrnou pevností v tlaku ve směru vláken a pevností tangenciálním ohybu.

9 Použité zdroje

Literatura

BABIAK, M., DUBOVSKÝ, J. *Problémy z mechanických vlastností dřeva*. Vyd. 1. Zvolen: TU, 2001. 69 s. ISBN 80-228-1076-2.

DRÁPELA, K., ZACH, J. *Statistické metody I (pro obory lesního, dřevařského a krajinného inženýrství)*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999, 135 s., [17] s. tabulkových příloh. ISBN 80-7157-416-3.

DUBOVSKÝ, J., BABIAK, M., ČUNDERLÍK, I. *Textúra, struktura a užitkové vlastnosti dřeva: návody na cvičenia*. Vyd. 3. Zvolen: TU, 2001, 106 s. ISBN 80-228-1014-2.

HORÁČEK, P. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998, 124 s. ISBN 80-715-7347-7.

KOLLMANN, F. *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe – Erste Band*. Berlin: Springer-Verlag, 1951. 1050 s.

LEXA, J., NEČESANÝ, V., PACLT, J., TESAŘOVÁ, M., ŠTOFKO, J. *Technologia dřeva I. - Mechanické a fyzikálne vlastnosti dřeva*. Bratislava: Práca, 1952. 436 s.

LOUDA, Z. *Řešené příklady v systému Statistica*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2004, 100 s. ISBN 978-80-213-1239-5.

MACŮREK, V. *Terciární uhlonosné reliky v ústecké části severočeského hnědouhelného revíru*. Sbor. věd. prací VŠB-TUO, 2005. No.2, 43-54.

MATOVIČ, A. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva: určeno pro posl. lesnické fak., obor dřevařský a lesnický*. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1993, 212 s. ISBN 80-715-7086-9.

MIKULKA, L. *Dřevo od A do Z*. 3. vyd. Překlad Lumír Mikulka. Čestlice: Rebo, 2010, 427 s. ISBN 978-80-255-0389-8.

NOVÁK, V. 1953: *Půdoznanství I, II a III*, Učební texty, Praha

PAGAN, J., RANDUŠKA, D. *Atlas dřevín 2: Cudzokrajné dreviny*. Vyd. 1. Bratislava: Obzor, 1988, 405 s.

POKORNÝ, J. *Ořešáky*. Vyd. 1. Praha: Brázda, 1952, 83 s.

POŽGAJ, A. *Metódy zisťovania mechanických vlastností dreva a drevných veľkoplošných kompozitných materiálov*. Vyd. 3. Zvolen: VŠLD, 1987, 170 s.

POŽGAJ, A.; CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Vyd. 1. Bratislava: Príroda, 1993. 486 s. ISBN 80-07-00600-1.

TSOUMIS G. *Science and technology of wood – structure, properties, utilization*. New York: Chapman and Hall, 1991. 497 s.

SCHELS, I. *Excel 2007: vzorce a funkce*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 507 s. Profesionál. ISBN 978-80-247-2074-6.

SVATOŠOVÁ, L., PRÁŠILOVÁ, M. *Statistické metody v příkladech*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007, 212 s. ISBN 978-802-1316-737.

SVATOŠOVÁ, L., KÁBA, B. *Statistické metody I*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007, 134 s. ISBN 978-80-213-1672-0.

ŠKÁRA, I. *Materiály a technologie: dřevo*. Brno: Masarykova univerzita v Brně, 1996, 31 s.

ŠLEZINGEROVÁ, J., HORÁČEK, P., GANDELOVÁ, L. *Nauka o dřevě*. Vyd. 1. Brno: MZLU Brno, 1996, 184 s. ISBN 80-7157-194-6.

WAGENFÜHR, R. *Holzatlas*. Leipzig: Fachbuchverlag, 2000, 707 s.

Internetové zdroje

BAŽANT, V. a V. JANEČEK. *VLIV KLIMATICKÝCH FAKTORŮ NA PŘÍRŮSTY DŘEVIN VÝSYPKOVÝCH STANOVIŠŤ MOSTECKÉ PÁNVE* [online]. 2011 [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/Rostliny2011/prispevky/BazantJanecek.pdf>

BOTANY.CZ. *JUGLANS NIGRA L.: ořešák černý* [online]. 2007-2015 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://botany.cz/cs/juglans-nigra/>

EDENSAW.COM. *Walnut black* [online]. 2015 [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.edensaw.com/MainSite/Store1/Content/SiteContent/1/Home/documents/Walnut_Black_1.pdf

FLD.CZU.CZ. *Mikroskopický atlas dřevin* [online]. 2015 [cit. 2015-03-06]. Dostupné z: http://fld.czu.cz/~zeidler/atlas_drev/index10ca.html?sekce=atlas&drevina=ORES AK

MENDELU.CZ. *Konvenční hustota* [online]. 2015 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9179;lang=cz [online]

Ořešák černý: Allelopathie [online]. 2015 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: www.uochb.cz/web/document/cms_library/1123.ppt

SPIRIT OF ANGMAR & BITHYNIE. *Dřevo: OŘEŠÁK ČERNÝ (Juglans nigra)* [online]. 2015 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://prace-se-drevem.spibi.cz/Drevo-Druhy-Oresak-Cerny.html>

SPOLEČNOST PRO ZAHRADNÍ A KRAJINÁŘSKOU TVORBU. *Zahrada-Park-Krajina: Ořešák černý* [online]. 2015 [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: http://www.zahrada-park-krajina.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=214:men-zname-deviny-juglans-oak-pavel-buli&catid=70:032010&Itemid=144

ZELEN.CZ. *Galerie rostlin: Juglans nigra* [online]. 2015 [cit. 2015-04-19].
Dostupné z:

http://www.zelen.cz/detail_galerie_rostlin/Juglans_nigra_oresak_cerny

WOOD-DATABASE.COM. The wood database [online]. 2014 [cit. 2015-03-08].

Dostupné z: <http://www.wood-database.com/lumber-identification/hardwoods/black-walnut/>

Normy

ČSN 49 0108 Drevo. Zisťovanie hustoty

ČSN 49 0110 Drevo. Medza pevnosti v tlaku v smere vlákien

ČSN 49 0115 Drevo. Zisťovanie medze pevnosti v statickom ohybe

ČSN 49 0116 Drevo. Metóda zisťovania modulu pružnosti pri statickom ohybe

ČSN 49 0128 Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania zosýchavosti

10 Přílohy

Tabulka 36: Porovnání naměřených hodnot s hodnotami ořešáku černého a ořešáku královského udávanými hodnotami z jednotlivých zdrojů

ořešák královský (*Juglans regia* L.)

	hustota w=12% [kg/m ³]	pevnost v tlaku II [N/mm ²]	pevnost v tan. ohybu [N/mm ²]	modul pružnosti v ohybu [N/mm ²]	sesychání		
					β_{rad} [%]	β_{tg} [%]	β_v [%]
Novák 1970	600	72	147	12500	5,4	7,5	13,4
Tsoumis 1991	690	71	144	12250	5,4	7,5	13,9
Wagenführ 2000	570 - 680 (810)	47 - 72 (89)	99 - 147 (178)	12500 - 13000	5,4	7,5	13,4 - 14
Wood-database.com	640	50,2	111,5	10810	5,5	7,5	13

ořešák černý (*Juglans nigra* L.)

	hustota w=12% [kg/m ³]	pevnost v tlaku II [N/mm ²]	pevnost v tan. ohybu [N/mm ²]	modul pružnosti v ohybu [N/mm ²]	sesychání		
					β_{rad} [%]	β_{tg} [%]	β_v [%]
Novák 1970	530	53	103	11800	x	x	x
Tsoumis 1991	550	52	101	11600	5,5	7,5	13,9
Wagenführ 2000	580 - 640 (810)	44 - 53	90 - 103	11000 - 13500	4,8 - 5,5	7,1 - 7,8	12,0 - 13,3
Wood-database.com	610	52,3	100,7	11590	5,5	7,8	12,8

ořešák černý (*Juglans nigra* L.)

	hustota w=12% [kg/m ³]	pevnost v tlaku II [N/mm ²]	pevnost v tan. ohybu [N/mm ²]	modul pružnosti v ohybu [N/mm ²]	sesychání		
					β_{rad} [%]	β_{tg} [%]	β_v [%]
Naměřené hodnoty	689	62	116	9643	6,3	9,3	15,1

Zdroj: Autor práce

