

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra základního zpracování dřeva



**Vliv vlhkosti na rychlost šíření ultrazvuku dřevem degradovaným
dřevokaznými houbami**

Bakalářská práce

Autor: Jan Rozkot

Vedoucí práce: doc. Ing. Miloš Pánek, Ph.D.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Rozkot

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

Vliv vlhkosti na rychlost šíření ultrazvuku dřevem degradovaným dřevokaznými houbami

Název anglicky

Influence of moisture content of wood after fungal degradation on ultrasonic velocity

Cíle práce

Cílem práce je určit vliv vlhkosti na změnu rychlosti šíření ultrazvuku u vybraných druhů dřevin degradovaných dřevokaznými houbami.

Metodika

V práci budou řešeny vztahy mezi změnou vybrané vlastnosti, dynamického modulu pružnosti, dřeva degradovaného dřevokaznými houbami vlivem změn vlhkosti. Měření budou nedestruktivní metodou – rychlosti šíření ultrazvuku. Výsledky povedou ke srovnání vlivu velikosti degradace, vlhkosti a použité metody testování pro různé domácí dřeviny, jako i určení možnosti použití nedestruktivního testování pro stanovení velikosti a rozsahu poškození dřeva.

Metodika:

1. Klimatizování vzorků degradovaného dřeva na různé vlhkosti pod BNV i nad BNV.
2. Určení rychlosti šíření ultrazvuku a dynamického modulu pružnosti na takto klimatizovaných vzorkách vybraných druhů dřevin.
3. Statistické vyhodnocení naměřených hodnot a určení závislosti změn rychlosti šíření ultrazvuku na změnách vlhkosti a stupni degradace.

Doporučený rozsah práce

40 s.

Klíčová slova

dřevo, degradace, defektoskopie, ultrazvuk, vlhkost

Doporučené zdroje informací

- Hrivnák, J., Kloiber, M., Reinprecht, L., Tippner, J. (2013): Skúmanie kvality a poškodenia ihličnatého dreva akustickými a mechanicko-odporovými metódami. Monografia. Tuvo Zvolene, 79. s. ISBN 978-80-228-2552-8
- Reinprecht, L., (2008): Ochrana dreva. (Wood Protection), Handbook, Technical University in Zvolen, 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6
- Rohanová, A. (2013): Predikcia parametrov kvality smrekového konštrukčného dreva. Monografia. TU vo Zvolene, 79. s. ISBN 978-80-228-2631-0
- Timell, T.E., Wimmer, R., Bucur, V. (2006): Acoustics of wood. Berlin; Springer-Berlin. 403s. ISBN 978-3-540-26123-0

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Miloš Pánek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Elektronicky schváleno dne 14. 8. 2017

Ing. Kamil Trgala, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 24. 02. 2018

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

"Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Vliv vlhkosti na rychlost šíření ultrazvuku dřevem degradovaným dřevokaznými houbami** vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Miloše Pánka a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské 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..... dne.....

Podpis autora:.....

Jméno:

Jan Rozkot

Název práce:

Vliv vlhkosti na rychlost šíření ultrazvuku dřevem degradovaným dřevokaznými houbami

Abstrakt

Tato práce se zabývá zkoumáním vlivu vlhkosti na rychlosti šíření ultrazvuku ve dřevě napadeném dřevokaznými houbami. Vzorky byly vyhotoveny z pěti domácích listnatých dřevin a ze dvou domácích jehličnatých dřevin. Měření bylo provedené přístrojem Ultrasonic Timer od firmy Fakopp. Výstupem této práce je zjištění vztahu mezi stupněm degradace a vlhkosti dřeva na rychlost šíření ultrazvuku na různých místech vzorku. Taktéž je vypočten dynamický modul pružnosti v podélném směru.

Měřením je potvrzeno, že rychlost ultrazvuku a dynamický modul pružnosti klesá s rostoucí vlhkostí a hmotnostním úbytkem. Závislosti jsou nejsilnější v podélném směru a závislosti rychlosti na vlhkosti jsou silnější než rychlosti na hmotnostním úbytku.

Klíčová slova:

dřevo, degradace, defektoskopie, ultrazvuk, vlhkost

Abstract

This work studies the effect of moisture on ultrasound propagation through a wood infected by wood sponge fungus. Samples were created using five homegrown deciduous trees and two homegrown conifer trees. All measurements were conducted using Ultrasonic Timer made by Fakopp. The result of this work is to find the effect wood degradation and moisture has on ultrasound propagation in different areas of the sample as well as calculating the dynamic modulus of elasticity in a longitudinal direction.

It is confirmed by the measurement that the speed of ultrasound propagation and dynamic modulus of elasticity are decreasing with rising moisture and material degradation. These relations are much more substantial in a longitudinal direction and ultrasound propagation is more dependant on moisture rather than degradation.

Keywords:

Wood, degradation, defectoscopy, ultrasound, moisture

OBSAH

ÚVOD	11
1. CÍLE PRÁCE.....	12
2. ROZBOR PROBLEMATIKY	12
2.1. ZÁKLADNÍ POPIS VLNĚNÍ	13
2.2. ODRAZ A SNELLŮV ZÁKON.....	14
2.3. METODA AKUSTICKÁ EMISE	15
2.1. ULTRAZVUKOVÁ METODA.....	16
2.2. ULTRAZVUKOVÉ VLASTNOSTÍ DŘEVA	22
2.1. MODULY PRUŽNOSTI.....	23
3. METODIKA.....	24
3.1. FAKOPP ULTRASONIC TIMER	24
3.2. DRUHY DŘEVA	26
3.3. ZKUŠEBNÍ VZORKY	27
3.4. TEST PROTI HNILOBĚ PODLE MODIFIKOVANÉ STN EN 252	27
3.5. MĚŘENÍ RYCHLOSTI ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKU PŘI RŮZNÝCH VLHKOSTECH	27
4. VÝSLEDKY	31
4.2. BOROVICE-BĚL.....	33
4.3. BOROVICE-JÁDRO	36
4.4. SMRK.....	38
4.5. DUB	40
4.6. JAVOR.....	42
4.7. BUK	44
4.8. OLŠE	46
4.9. HABR	48
5. DISKUZE	50
ZÁVĚR	51
6. BIBLIOGRAFIE	53
7. SEZNAM PŘÍLOH	54
8. PŘÍLOHY.....	55

Seznam grafů

Graf 1 Závislost napětí na času (Fakopp Bt)	24
Graf 2 Korekce času (Fakopp Bt).....	25
Graf 3 Útlum signálu za použití špičatých sond, růžová- mokrý vzorek, modrý- suchý vzorek (Fakopp Bt)	25
Graf 4 Přesnost měření při zvyšující se vzdálenosti (Fakopp Bt)	26
Graf 5 Závislost E na w; borovice-běl.....	31
Graf 6 Závislost v na Δm ; borovice-běl; podélný směr	34
Graf 7 Závislost v na Δm ; borovice-běl; podélný směr	34
Graf 8 Závislost rychlosti ultrazvuku na vlhkosti, Borovice-běl	35
Graf 9 Závislost v na Δm ; borovice jádro; podélný směr	37
Graf 10 Závislost v na Δm ; borovice jádro; podélný směr	37
Graf 11 Závislost v na Δm ; smrk; podélný směr	39
Graf 12 Závislost v na Δm ; smrk; podélný směr	39
Graf 13 Závislost v na Δm , dub; podélný směr.....	41
Graf 14 Závislost v na Δm , dub; podélný směr.....	41
Graf 15 Závislost v na Δm ; javor; podélný směr	43
Graf 16 Závislost v na Δm ; javor; podélný směr	43
Graf 17 Závislost v na Δm ; buk; podélný směr	45
Graf 18 Závislost v na Δm ; buk; podélný směr	45
Graf 19 Závislost v na Δm ; olše; podélný směr	47
Graf 20 Závislost v na Δm ; olše; podélný směr	47
Graf 21 Závislost v na Δm ; habr; podélný směr	49
Graf 22 Závislost v na Δm ; habr; podélný směr	49

Seznam obrázků

Obrázek 1 Popis parametrů zvukové vlny (Halliday, a další, 2000).....	13
Obrázek 2: Pohyb částic v podélném a příčném vlnění (NDT Resource Center, 2001)	13
Obrázek 3 Snellův zákon (NDT Resource Center, 2001)	14
Obrázek 4 Přístroj na měření akustické emise s jedním měničem (Bucur, 2006).....	16
Obrázek 5 Schéma přístroje pro ultrasonickou metodu (Bucur, 2006).	18
Obrázek 6 Piezoelektrický měnič (NDT Resource Center, 2001)	19
Obrázek 7 Místa měření průchodu ultrazvuku.....	28

Seznam tabulek

Tabulka 1: Rychlost šíření zvuku v různých látkách (Mikulčák, a další, 2007)....	12
Tabulka 2 Technická data Fakopp Ultrasonic Timer (Fakopp Bt)	26
Tabulka 3 Rozměry vzorků, tangenciální x radiální x podélný směr	29
Tabulka 4 Úbytky hmotnosti vzorků	30
Tabulka 5 Koeficienty sesýchání a bobtnání u vybraných druhů dřevin podle Ugoleva, (is.mendelu, 2016)	30
Tabulka 6 Zastoupení velikosti R^2 závislosti E na w.	31
Tabulka 7 Zastoupení velikosti R^2 závislosti E na Δm	32
Tabulka 8 Zastoupení velikosti R^2 v závislosti rychlosti ultrazvuku na úbytku hmotnosti, borovice-běl.....	33
Tabulka 9 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na w, borovice běl	35
Tabulka 10 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na w, borovice-jádro	36
Tabulka 11 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na Δm , borovice-jádro.....	37
Tabulka 12 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na Δm , smrk	38

Tabulka 13 Zastoupení velikosti R^2 v závislosti v na w ; dub.....	40
Tabulka 14 Zastoupení velikosti R^2 v závislosti v na Δm , dub	41
Tabulka 15 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na w , dub.....	42
Tabulka 16 Zastoupení velikosti R^2 v závislosti v na Δm , javor.....	43
Tabulka 17 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na w , javor	44
Tabulka 18 Zastoupení velikosti R^2 v na Δm , buk.....	45
Tabulka 19 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na w , buk.....	46
Tabulka 20 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na Δm , olše	47
Tabulka 21 Zastoupení velikosti R^2 v závislosti v na w , olše.....	48
Tabulka 22 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na Δm , habr	49
Tabulka 23 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na w , habr	50

Seznam zkratek

E	dynamický modul pružnosti
v	rychlost ultrazvuku
w	vlhkost
Δm	hmotnostní úbytek
Tang1	tangenciální směr, 1. místo měření
Tang2	tangenciální směr, 3. místo měření
Tang5	tangenciální směr, 5. místo měření
Rad1	radiální směr, 1. místo měření
Rad3	radiální směr, 3. místo měření
Rad5	radiální směr, 5. místo měření

Úvod

Lidstvo je spojeno se dřevem už od doby kdy první náš předek vzal do ruky klacek, aby se bránil. Každá civilizace byla vybudována za pomoci dřeva bez ohledu, kde se na Zemi nacházela. Díky dřevu se lidé mohli v noci ohřát, lámat žulu, či objevovat svět.

Dřevo je přírodní materiál, který má mnoho kladných, ale i záporných vlastností. O užitečnosti některých jeho vlastnostech se rozhodujeme, až podle okolností. Jednou se radujeme, jak nám krásně dřevo v krbu hoří, a podruhé lamentujeme, když nám dřevostavba lehla popelem. Ne všechno dřevo se hodí na účel, který požadujeme. To už vystihl platónský filosof Lucius Apuleius ve svém výroku, že ne každému dřevu dáno býti fládrem (Ne ex quovis ligno fit Mercurius.) (Novák, a další, 1892).

Dřevo je složitý materiál, jehož vlastnosti výrazně ovlivňují nejen abiotičtí činitelé, ale i biotičtí škůdci. Ačkoliv je žádoucí, aby dřevo bylo volně v přírodě rozkládáno organizmy, v dřevěných konstrukcích se snažíme tomuto vyhnout. Dřevěné konstrukce poškozené houbami, hmyzem a atd. mohou být opraveny výměnou poškozeného prvku nebo výměny pouze jeho části. Druhá možnost se používá ve jménu zachování historických konstrukcí pro budoucí generace nebo snížení nákladů na opravu. Abychom mohli provést opravu tímto způsobem, musíme znát přesně rozsah a lokalizaci poškození. Z tohoto důvodu byly vyvinuty různé nedestruktivní metody a přístroje pro lokalizaci poškození dřeva.

V této práci budeme používat metodu nedestruktivního testování dřeva, která funguje na principu šíření ultrazvukové vlny ve dřevě. Použitým přístrojem byl Fakopp Ultrasonic timer a testovanými subjekty byly vzorky různých domácích dřevin degradované dřevokaznými houbami. Výsledkem této práce je určení vztahu mezi rychlostí šíření ultrazvukové vlny při rozdílných vlhkostech degradovaných vzorků.

1. Cíle práce

Určení vlivu vlhkosti a stupně degradace dřeva na šíření ultrazvukové vlny ve vzorkách různých domácích dřevin.

2. Rozbor problematiky

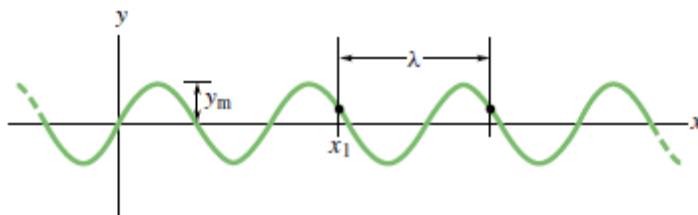
Zvuk je mechanické vlnění šířící se v hmotném prostředí. Pro přenos zvukového vlnění je hmotné prostředí nutné, neboť zvukové vlnění je defacto pouze uspořádaný kmitavý pohyb navzájem působících molekul (Horáček, 1998). Z tohoto důvodu se zvuk v různých prostředí šíří různou rychlostí. Tato vlastnost se může využít a také se využívá pro nedestruktivní defektoskopii různých materiálů, včetně dřeva. Mezi nedestruktivní defektoskopické metody, které využívají zvuk, řadíme metodu akustické emise, napěťově-deformační a ultrazvukovou metodu (Lepil, 2007).

Tabulka 1: Rychlost šíření zvuku v různých látkách (Mikulčák, a další, 2007)

	[m/s]		[m/s]
Mořská voda	1 500	Oxid uhličitý	260
Kaučuk	40	Kyslík	317
Korek	500	Vzduch 0 °C	331
Olovo	1 300	Dusík	336
Ebonit	1 570	Vzduch 20 °C	343
Beton	1 700	Vodní pára	405
Stříbro	2 700	Svítiplýn	453
Platina	2 800	Helium	971
Led	3 200	Vodík	1 270
Mosaz	3 400	Diethylether	1 020
Dřevo bukové, dubové	3 400	Benzín	1 170
Měď	3 500	Methanol	1 240
Cihly	3 600	Rtuť	1 400
Ocel	5 000	Voda 4 °C	1 400
Hliník	5 100	Voda 13 °C	1 410
Sklo	5 200	Voda 25 °C	1 500

2.1. Základní popis vlnění

2.1.1. Popis vlny



Obrázek 1 Popis parametrů zvukové vlny (Halliday, a další, 2000)

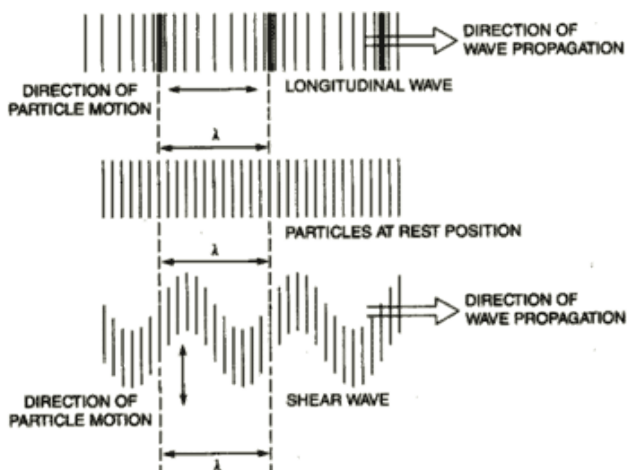
Jednotlivá vlnění se popisují amplitudou, vlnovou délkou a frekvencí, které jsou ve vztahu podle vzorce (Lepil, 2007):

$$\lambda = \frac{v}{f} = v \cdot T$$

λ	vlnová délka [m]
v	rychlost [m/s]
f	frekvence [Hz]
T	perioda [s]

2.1.2. Typy šíření

V pevném prostředí můžeme rozdělit zvukové vlny podle typu oscilace, co způsobují, a to na podélné, příčné, povrchové a deskové, ale pro ultrasonické testování se používají převážně podélné a příčné vlnění (Lepil, 2007).



Obrázek 2: Pohyb částic v podélném a příčném vlnění (NDT Resource Center, 2001)

2.1.3. Vlnoplochy

V izotropním prostředí body, které mají stejnou vzdálenost od zdroje vlnění, kmitají ve stejné fázi. Tím tvoří vlnoplochy (Reichl, a další, 2008).

Podle Huygensova principu můžeme každý bod vlnoplochy, do něhož dospělo vlnění v určitém okamžiku, pokládat za zdroj elementárního vlnění, které se z něho šíří v elementárních vlnoplochách. Vlnoplocha v dalším časovém okamžiku je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch (Lepil, 2007).

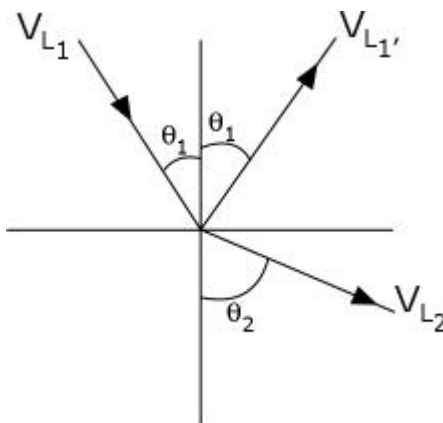
O směru šíření vlnoplochy rozhoduje paprsek, což je normála k vlnoploše. Vlnoplochy jsou válcovité, kulovité a rovinné (Lepil, 2007)

2.2. Odraz a Snellův zákon

Když ultrazvuková vlna prochází rozhraním mezi dvěma materiály pod úhlem menší než 90° a materiály mají rozdílné indexy lomu, vznikají odražené a lámané vlny. Vlna se na rozhraní láme, z důvodu odlišné rychlosti šíření vln v materiálech. Tato rychlost je determinována vlastnostmi materiálu jako je modul pružnosti a hustota (NDT Resource Center, 2001).

Snellův zákon popisuje závislost mezi úhly a rychlostmi vlny a je popsán touto rovnicí (NDT Resource Center, 2001):

$$\frac{\sin\theta_1}{V_{L_1}} = \frac{\sin\theta_2}{V_{L_2}}$$



Obrázek 3 Snellův zákon (NDT Resource Center, 2001)

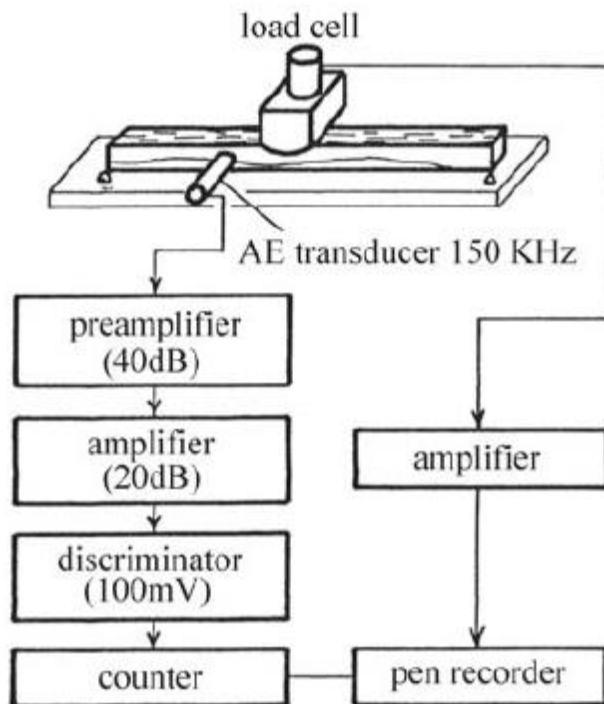
2.3. Metoda akustická emise

2.3.1. Princip

Metoda akustické emise využívá stejně pojmenovaný fyzikální jev. Tento jev se projevuje vznikem ultrazvukových pulzů. Tyto pulzy generují plastické deformace, trhliny, výrazné rozdíly vlhkosti a teploty ve vzorku, anizotropie, nehomogenita struktury dřeva atd. (Bucur, 2006). U této metody se objevuje Kaiserův jev. Kaiserův jev ukazuje nevratnost dějů vytvářející signály akustické emise. To se projevuje tím, že pokud těleso opětovně zatěžíme, akustická emise se projeví až po dosažení maximální amplitudy zatížení předchozího cyklu. Porušení tohoto jevu je jev zvaný Felicity projevující se vytvářením akustické emise bez dosažení maximální amplitudy dosažení předchozího cyklu. Pro dřevo a materiály na bázi dřeva je frekvenční rozsah mezi 0,1 až 2 MHz (Bucur, 2006).

2.3.2. Instrumentace

Přístroj na měření akustické emise obsahuje měniče, předzesilovač, zesilovač, signální procesor, rekordér přechodových jevů, analyzátor spektra, mikroprocesor a uložení dat (Bucur, 2006).



Obrázek 4 Přístroj na měření akustické emise s jedním měničem (Bucur, 2006)

Je důležité brát na vědomí, že pro správné naměření dat se standartně předpokládá, že každý signál akustické emise je zaznamenaný pouze jednou a všechen stres působící na těleso, bude generovat pouze signály akustické emise s měřitelnou amplitudou (Bucur, 2006).

Tyto podmínky nejsou v praxi vždy dosaženy. Bylo zjištěno, že měnič o špatné frekvenci může významně ovlivnit zvukovou vlnu. Operátorovo měření pak nemusí být přesné (Bucur, 2006).

Od přístroje pro měření akustické emise se požaduje, aby byl schopen odlišit signály od významných a irelevantních zdrojů, aby dokázal vyloučit mechanickou a elektrickou interferenci z okolí a aby naměřená data byla vhodná k porovnání k minulým či budoucím záznamům (Bucur, 2006).

2.1. Ultrazvuková metoda

2.1.1. Princip

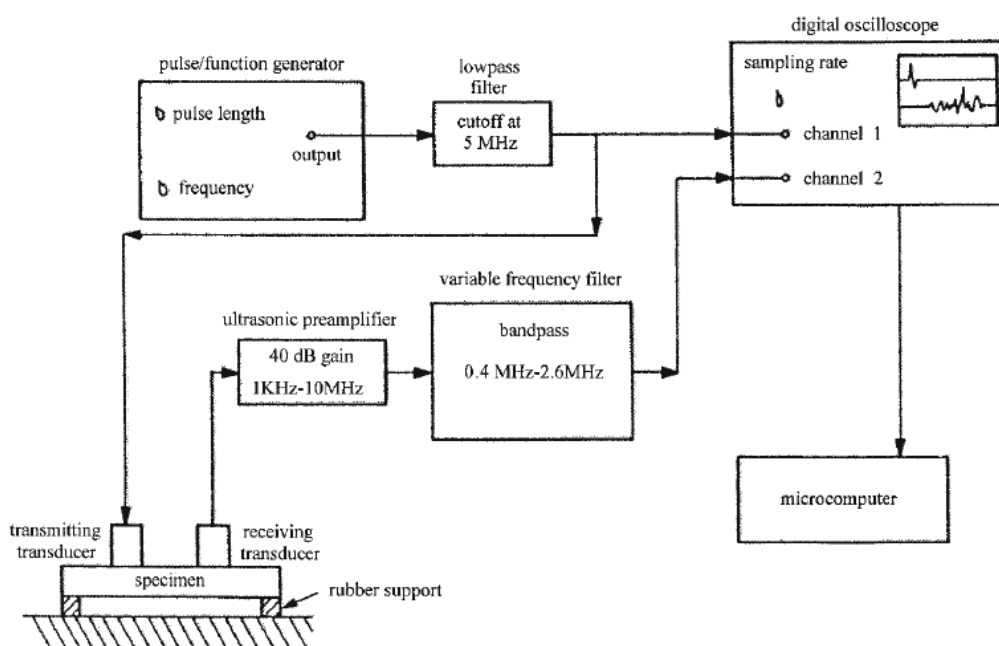
Ultrazvuková metoda byla vyvinuta jako doplněk k metodě Akustické emise. Tato metoda analyzuje signály obdobně jak metoda Akustické emise, nicméně rozdíl mezi těmito metodami se nachází ve způsobu vzniku

ultrazvukového signálu. Jak bylo výše zmíněno, u metody Akustické emise signály samovolně vznikají na poruchách materiálu namáhaného těles, ale u Ultrazvukové metody ultrazvukové signály pravidelně vznikají v externím zdroji. Tato metoda se používá pro popsání vlastnosti materiálu nacházejícího se mezi sondou generující signály a sondou tyto signály přijímající (Beall, 2002).

2.1.2. Instrumentace

Ultrasonická metoda může používat širokopásmové, ale i úzkopásmové signály. Širokopásmový signály jsou získávány z jednoho píku nebo půl periody čtvercového vlnění, zatímco úzkopásmový signály jsou tvořeny dávkou vlnění vysílaných z rezonančních sond, které jsou schopni dodat konstantní frekvenci. Jaký signál se použije při testování záleží na záměrech výzkumu (Bucur, 2006).

Složitost přístrojů pro ultrazvukovou metodou se liší. Mohou být jednoduché, složené z páru měniču o stejné rezonanční frekvenci a generátorem ultrazvukových pulzů, ale také mohou být více komplexní. Složitější přístroje mohou být složeny z programovatelným pulzním generátorem, nízkofrekvenčním filtrem, široko frekvenčním měniču, ultrazvukovým předzesilovačem, frekvenčním filtrem (nízkofrekvenční, vysokofrekvenční, bandpass, bandstop), digitálním osciloskopem a počítačem (Bucur, 2006).



Obrázek 5 Schéma přístroje pro ultrasonickou metodu (Bucur, 2006).

2.1.1. Měníče

Úspěšnost implementace ultrasonické metody pro posouzení dřeva a materiálů na bázi dřeva záleží na schopnosti měničů detekovat interakci mezi ultrazvukovým vlněním a testovaným materiálem (Beall, 2002)

Mezi parametry pro efektivní měnič pro ultrasonické měření patří jeho rozsah proveditelného měření, jak moc slabý signál je stále měřitelný, jeho citlivost pro charakteristiky a poškození dřeva ovlivňující sílu signálu. Měření měničů by mělo být reprodukovatelné a přesné a dostatečně rychlé pro využití ve výrobní lince (Bucur, 2006).

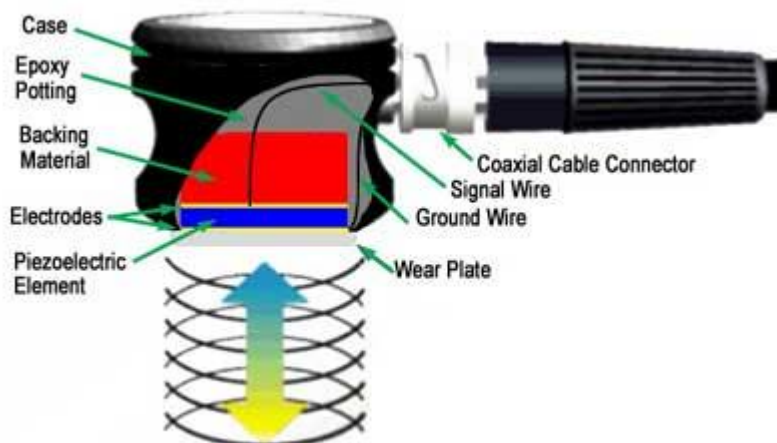
2.1.2. Piezoelektrické měniče

Přeměna elektrických pulzů na mechanické vibrace a následná přeměna mechanických vibrací na elektrickou energii je základ pro ultrasonické testování. Srdcem těchto měničů je element tvořený z polarizovaného materiálu, tedy že některé části jeho molekuly mají kladný náboj, zatímco jiné mají naopak náboj záporný. Tento element se nachází mezi elektrodami. Pokud se vytvoří elektrické pole, polarizované se molekuly se podle něj uspořádají a v krystalické mřížce vzniknou indukované dipóly a o taktéž zapříčiní změnu rozměrů elementu. Tento jev znám pod pojmem

elektrostrikce. Stále polarizované krystaly oxidu křemičitého nebo oxidu barnatitaničitého vytváří pod působením mechanické síly elektrické pole. Toto je popsáno jako piezoelektrický jev (NDT Resource Center, 2001).

2.1.2.1. Charakteristika

Měnič je velmi důležitá část systému pro ultrasonické testování. Jak bylo už řečeno, měnič obsahuje piezoelektrický element, který konvertuje elektrické signály na mechanické vibrace a obráceně. Chování měničů ovlivňuje mnoho faktorů, jako materiál, mechanická a elektrická konstrukce, externí mechanické a elektrické podmínky. Do mechanické konstrukce se zahrnují parametry jako vyzařování povrchové vrstvy, mechanické tlumení, kryt, typ konektoru a další variace konstrukce. Z tohoto vyplývá, že je značně obtížné vyrobit dva měniče s identickými vlastnostmi (NDT Resource Center, 2001).



Obrázek 6 Piezoelektrický měnič (NDT Resource Center, 2001)

Měnič vytváří vlny o vlnové délce, která je dvakrát větší, než tloušťka piezoelektrického elementu. Za účelem maximalizování množství energie je mezi piezoelektrický element a povrch měniče vložen odporová vrstva. Optimální odpor vznikne, pokud vrstva nabývá jedné čtvrtiny požadované vlnové délky. Kontaktní měniče mají odporovou vrstvu z materiálu, jehož akustický odpor leží mezi akustickým odporem piezoelektrického elementu a oceli. Odporová vrstva bezkontaktního měniče má akustický odpor mezi

odporem piezoelektrického elementu a vody. U kontaktních měničů je odporová vrstva a piezoelektrický element chráněn od poškrábání zvláštní ochranou vrstvou (NDT Resource Center, 2001).

Podkladový materiál podporující piezoelektrický krystal má také významný vliv na vlastnosti měniče. Využití podkladového materiálu o podobného odporu jako má piezoelektrický element vytvoří nejefektivnější tlumení. Takový měnič bude mít lepší širokopásmové výsledky při vyšší senzitivě. Při rozdílném odporu mezi podkladovým materiálem a piezoelektrickým elementem se snižuje senzitivita, ale zase se zvyšuje penetrace vln materiálem (NDT Resource Center, 2001).

2.1.2.2. Typy měničů

Měniče můžeme rozdělit mezi podle způsobu aplikace na

Kontaktní měniče jsou používány pro přímý styk se zkoumaným materiálem a jsou zpravidla ručně ovládané. Tyto měniče mají robustní pouzdro, které má vydržet kontakt s různorodým materiálem. Z důvodu ruční manipulace měniče mají ergonomický tvar pro snadný úchop (NDT Resource Center, 2001).

Bezkontaktní měniče, jak už z názvu vyplývá, nemají se zkoumaným materiálem kontakt. Tyto měniče jsou navrhnuté, aby operovali v tekutém prostředí a z tohoto důvodu jsou vodotěsné. Bezkontaktní měniče mají také tlumivou vrstvu (NDT Resource Center, 2001).

Kontaktní měniče jsou dostupné v rozličných konfiguracích pro zlepšení využití pro rozličné aplikace (NDT Resource Center, 2001).

2.1.3. Zpracování signálu

V ultrasonické metodě se posílá pulz, nebo dávka vln do zkoumaného vzorku. Zaznamenaný signál je výsledkem několikanásobnými odrazy, vlnovou interakcí. Rozdílné charakteristiky signálu mohou být popsány různými parametry, které jsou měřeny rychlostí signálu, jeho útlumem, tvarem a obsaženými frekvencemi. Byly naleznuty čtyři parametry, které

obzvláště poskytují maximum informací při minimu dat z výzkumné činnosti (Beall, 2002).

Efektivní hodnota napětí neboli RMS napětí Root mean square, se používá pro měření energie signálu. Inverzní RMS napětí lze být použito pro aproximaci útlumu signálu. RMS napětí může být vypočteno podle téhle rovnice:

$$RMS = \left[\frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} v^2(t) dt \right]^{1/2}$$

kde v představuje hodnotu napětí v bodě i (Beall, 2002).

Rychlost signálu je vypočtena času t , jež představuje dobu, co signál strávil ve zkoušeném vzorku, a vzdálenosti d . Pro vzdálenost d se předpokládá, že signál putuje po přímce mezi sondami.

$$v = \frac{d}{t}$$

Pro správné určení času, kdy signál dorazí do přijímací sondy, musí být práh pro příjem signálu nastaven nad úroveň hluku v okolí. Ve vysoce tlumivém a disperzním prostředí, jako je dřevo, může být počátek postupující vlny těžko detekovatelný a z tohoto důvodu se vypočítává nižší zdánlivá rychlost. Také předpoklad přímočarého pohybu signálu snižuje skutečnou rychlost (Beall, 2002).

Signál taktéž může být zpracován podle determinujících momentů z následujícího výrazu:

$$M^n = \int_{x_2}^{x_1} y(x)x^n dx$$

V tomto výrazu je n řád momentu a x je konkrétní doména signálu (například čas, frekvence atd.). Nultý moment je oblast vlny. Podílem prvního a nultého momentu, obdržíme, centroidu (Beall, 2002).

Když je ultrazvukový signál vpraven do bezchybného média, většina jeho energie většinou nachází blízko počátku vlny. Odrazy a změny vlny způsobené hranicemi a vadami materiálu způsobují změnu signálu

v čase (Beall, 2002).

2.2. Ultrazvukové vlastnosti dřeva

Dřevo je nehomogenní, anizotropní materiál, jehož vlastnosti v různé míře ovlivňují šíření zvukové vlny (Požgaj, a další, 1997).

Ultrazvukové podélné vlny se šíří ve dřevě rychlostí 1000 až 2000 m/s napříč vláken a podél vláken rychlostí 5000 až 6000 m/s. Rychlost v radiálním směru je přibližně o 50 % větší než ve směru tangenciálním. V tenkých materiálech, jako například dýhy, se vyskytují také vlny deskové s rychlostí podél vláken 1 500 m/s a o 50 % nižší rychlostí napříč vláken. Většina kompozitních materiálů má na rozdíl od dřeva rychlosti ve všech směrech podobné ne-li stejné (Beall, 2002).

Dřevo je disperzní materiál, tedy že frekvence vlny se mění během jejího postupu materiálem. Signál ztrácí své vysokofrekvenční části, což se často projevuje zpožděním signálu. Tlumivost dřeva je napříč vláken o řád větší než podél vláken. Tlumivost většiny materiálů na bázi dřeva je podobně jak rychlost šíření zvukové vlny ve všech směrech podobná. Útlum vln je způsoben vlastnostmi a geometrií dřeva (Beall, 2002).

V materiálech na bázi dřeva je tlumivost materiálu o řád větší než v geologických materiálech a až o dva řády větší než v kovových materiálech. Neboť tlumivost materiálu roste exponenciálně s frekvencí vlny, nejvyšší použitelné frekvence pro měniče jsou mezi 100-200 kHz. V tomto frekvenčním rozpětí je tlumivost materiálu podél a napříč vláken 30 dB/m a 200 dB/m (Beall, 2002).

2.2.1. Vlhkost

Studie výzkumníků prokázaly, že rychlost šíření zvukové vlny závisí na vlhkosti materiálu. Rychlost zvukové vlny klesá s narůstající vlhkostí, nicméně po nasycení buněčných stěn je rychlost zvukové vlny v podélném směru konstantní. Do 18% vlhkosti je také konstantní pohlcování zvuk, ale pak se pohlcování zvuku s narůstající vlhkostí roste. Rychlost šíření také ovlivňuje vlhkostní gradient (Beall, 2002).

2.2.2. Hustota

Vliv hustoty na šíření zvukové vlny se liší podle druhu dřeviny, struktury dřeva. Mishiro ve své práci *Effects of grain and ring angles on ultrasonic velocity in wood* nezjistil, žádný pravidelnou závislost mezi vlhkostí a rychlosti šíření v podélném či tangenciálním směru (Beall, 2002). Nicméně někteří výzkumníci našli závislost mezi rychlostí a hustotou (Saadatnia, a další, 2014).

2.2.3. Hniloba

Rychlost zvuku se při zvyšujícím výskytu hnilob klesá. Úbytek rychlosti taktéž ovlivňuje také typ hniloby a druh dřeviny. Hniloba taktéž zvyšuje pohlcování zvuku ve dřevě (Beall, 2002).

2.2.4. Orientace dřevních elementů

Orientace dřevních vláken a úhel odklonu vláken od podélné osy tělesa (growth ring angle, GRA) výrazný vliv na propagaci zvukové vlny. U měkkých dřevin je vliv úhlu letokruhu nelineární s maximálním tlumením zvukové vlny při úhlech mezi 45 a 60 stupni. Vliv GRA na rychlost a pohlcování vlny taktéž závisí na druhu dřevin. U tvrdých dřevin má tento vliv více lineární závislost. Při zvyšování úhlu dřevních vláken se zvyšuje tlumení zvukové vlny a klesá její rychlost šíření (Beall, 2002).

2.2.5. Geometrie

Skladba materiálů na bázi dřeva zvukovou taktéž výrazně ovlivňuje šíření vlny. Ve vrstvených materiálech každá jednotlivá vrstva způsobuje odraz a refrakci. Podobný efekt se objevuje i ve vrstvách lepidla v překližce, LVL, KVH a atd. (Beall, 2002). Pokud vlna dorazí na rozhraní materiál-vzduch, prakticky úplně celá se odrazí dovnitř, pouze v tenkých materiálech (dýhy) se vlna transformuje do povrchového vlnění (Beall, 2002).

2.1. Moduly pružnosti

Vyjadřují vnitřní odpor materiálu k pružné deformaci. Moduly pružnosti se rozlišují podle směru namáhání na moduly pružnosti E (tah, tlak, ohyb) a moduly pružnosti G (kroucení, smyk) (Požgaj, a další, 1997).

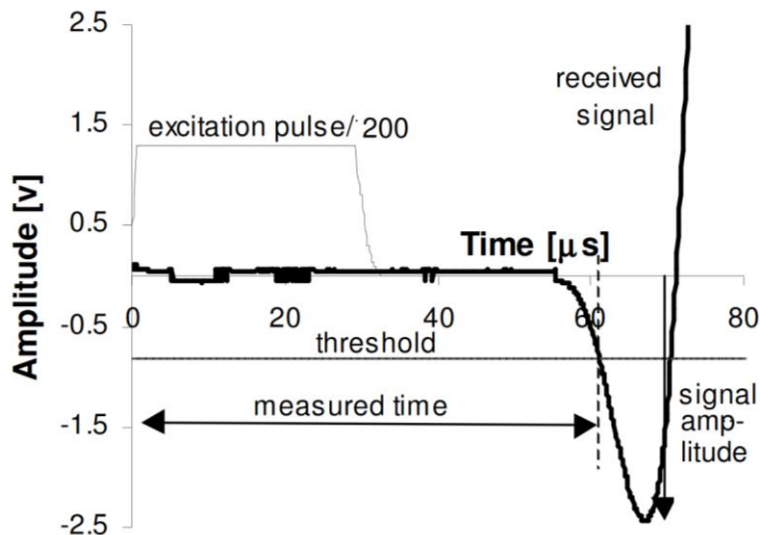
$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Kde v je rychlost, E dynamický modul pružnosti a ρ je hustota.

3. Metodika

3.1. Fakopp ultrasonic timer

Dvě identické piezoelektrické sondy jsou v kontaktu s materiálem. Sonda elektronovou excitací vygeneruje krátký ultrasonický impulz a aktivuje stopky. Druhá sonda, která impulz přijme, stopky deaktivuje po dosažení prahové úrovně 0,12 V. Přístroj ukazuje čas v mikrosekundách.

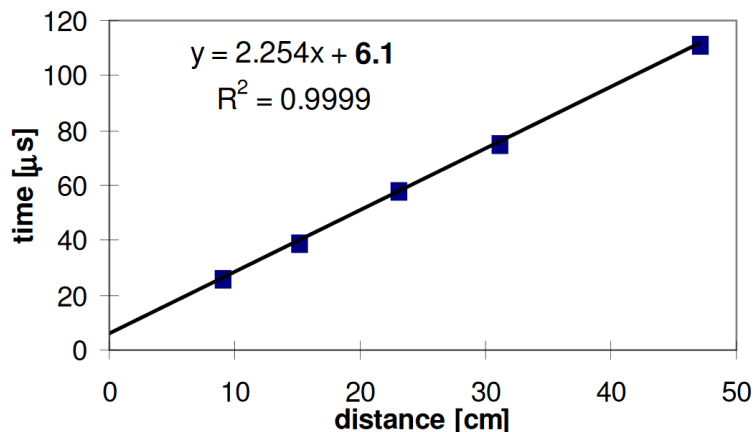


Graf 1 Závislost napětí na času (Fakopp Bt)

3.1.1. Korekce času

Tento čas obsahuje dobu, co ultrazvuk prochází zkoušeným vzorkem, ale také i čas signálu strávený v sondách. Z tohoto důvodu musíme od času odečíst 6,1 μs, abychom obdrželi pouze čas, co stráví signál ve zkoušeném vzorku. Tento čas byl určen následující metodou. Na vzorku ze smrkového dřeva byly odečteny časy, kdy vzdálenosti mezi sondami byly mezi 9 až 47 cm. Po vytvoření grafu, kde osa x popisuje vzdálenost a osa y čas, je jasně patrné, že závislost mezi časem a vzdáleností popisuje rovnice přímky. Z úseku této rovnice lze vyčíst čas, který by byl potřebný pro cestu signálu,

pokud by vzdálenost mezi sondami byla nulová (Fakopp Bt).

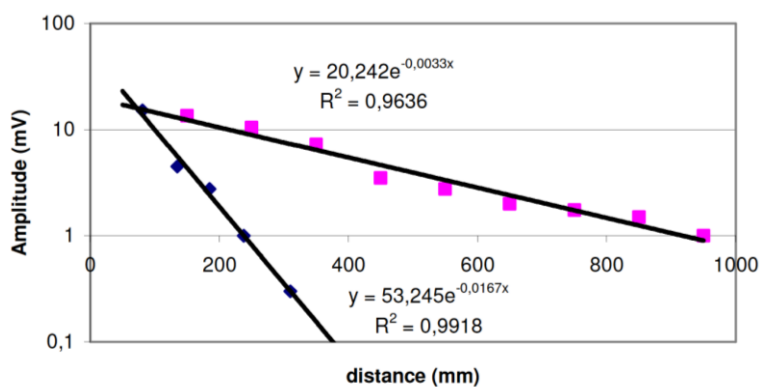


Graf 2 Korekce času (Fakopp Bt)

Korekce lze také vypočítat na základě šíření zvukové vlny o rychlosti 5100 m/s v hliníku o délce 0,03 m. Takto vypočtený čas je 5,9 μ s (Fakopp Bt).

3.1.2. Citlivost přístroje

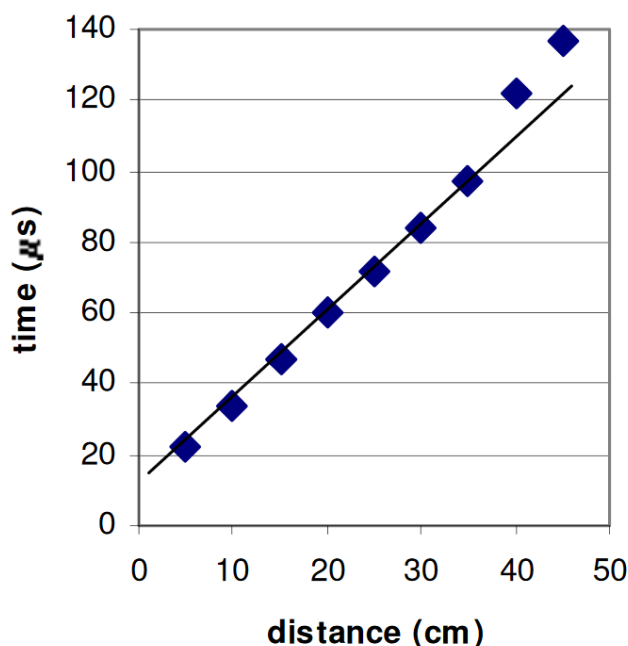
Se zvyšující vzdáleností se zvětšuje útlum signálu. To zapříčiní, že první peak signálu nedosáhne požadované úrovně a proto finální čas je o 11 μ s vyšší. Proto je doporučená vzdálenost mezi sondami 25 až 30 cm (Fakopp Bt).



Graf 3 Útlum signálu za použití špičatých sond, růžová- mokrý vzorek, modrý- suchý vzorek (Fakopp Bt)

Tabulka 2 Technická data Fakopp Ultrasonic Timer (Fakopp Bt)

Technická data	
hmotnost včetně baterií	910 g
rozměry	297 x 106 x 45 mm
Rozsah frekvence	15-300 kHz
Přesnot přístroje	
Zesílení signálu	1000x
Úroveň pro zaznamenání signálu	120 mV
Počet pulzů	1 každých 2 s
Napětí pulzu	200 V
trvání pulzu	60
Frekvence ultrazvuku trojúhelníkové sondy	45kHz
Pracovní teplota	0 - 35 °C



Graf 4 Přesnost měření při zvyšující se vzdálenosti (Fakopp Bt)

3.2. Druhy dřeva

Vzorky dřeva byly získány ze zralého nebo jádrového dřeva z těchto domácích druhů dřevin: borovice lesní (*pinus sylvestris*), smrk ztepilý (*picea abies*), dub letní (*quercus robur*), olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), buk lesní (*Fagus sylvatica*), habr obecný (*Carpinus betulus*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*).

Vzorky borovice lesní byly vyrobeny z jádra i z běle.

3.3. Zkušební vzorky

Zkušební vzorky mají rozměry 25x50x500 mm (RxTxL), které jsou definovány v normě STN EN 252.

Od každého druhu dřevin bylo vyhotoveno 12 vzorků z jednoho zdravého výřezu prostého od suků.

Vzorky byly před experimentem aklimatizovány na 8% vlhkost, zváženy a byl změřen čas potřebný pro průchod ultrazvukové vlny přístrojem Punditem Plus.

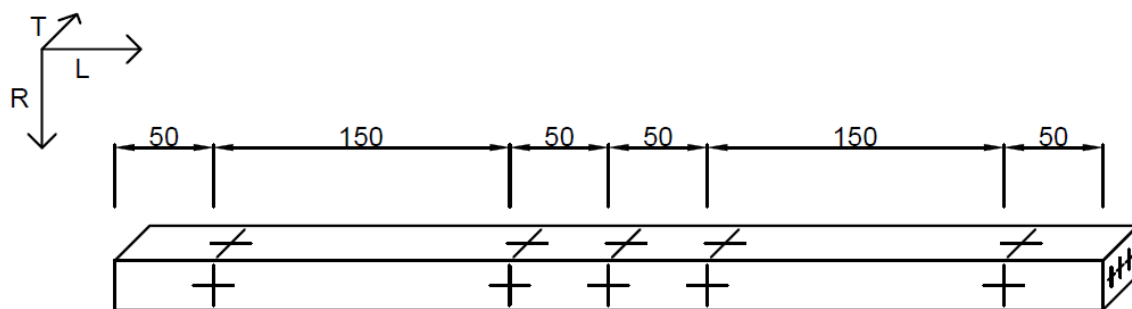
3.4. Test proti hnilobě podle modifikované STN EN 252

Od každé dřeviny bylo do zkušebního pole umístěno 10 ks vzorků, tedy celkově 80 ks vzorků včetně vzorků z běle borovice.

Vzorky se zakopali do poloviny jejich délky do země. Vzdálenost mezi vzorky byla 50 cm. Testovací pole se nachází v areálu Arboreta Borová Hora TU ve Zvoleně v severní části města Zvolen v nadmořské výšce 310 m. Vzorky byly umístěny do zkušebního pole 2. března 2008. V průběhu 5 let, byli vzorky odebírány a s různými stupni degradace a hmotnostními úbytky.

3.5. Měření rychlosti šíření ultrazvuku při různých vlhkostech

Degradované vzorky byly v sušárně nastavené na... stupňů celsia po dobu dnů. Podle nastavení sušárny se vlhkost dřeva se předpokládá 12 % po zvážení vzorků jsme z této vlhkosti jsme spočetli podle vzorce hmotnost dřeva v absolutně suchém stavu. Přístrojem Fakopp Ultrasonic timer byly změřeny rychlosti průchodu ultrazvuku u každého vzorku viz. Obrázek 7.



Obrázek 7 Místa měření průchodu ultrazvuku

Pro měření ultrazvuku jsme použili trojúhelníkové sondy. Pro lepší kontakt sondy se vzorkem jsme použily plastelínu, kterou jsme nanесли na kontaktní plochu sondy. Protože Ultrasonic timer ukazuje čas, který signál stráví nejen ve vzorku, ale i v samotném přístroji, musíme provést korekci. Korekce byla provedena následným způsobem. Sondy se přiloží těsně k sobě. Čas zobrazený na přístroji ukazuje dobu, co stráví signál v přístroji a ve vrstvě z plastelíny. Při měření ultrazvuku musíme dbát na to, abychom sondy ke vzorkům přikládali se stejnou silou. Za změřený čas jsme považovali druhou platnou hodnotu změřenou přístrojem.

Rychlost ultrazvuku se měřila při různých vlhkostech, ale postup byl vždy stejný. Měření probíhalo v sadách o dvaceti vzorcích. Nejdříve se zvažila jejich hmotnost a následně se změřil čas prostupu ultrazvuku materiálem. Po změřen. Nejprve jsme změřili rychlost při 12 % vlhkosti. 8 % vlhkost byla dosáhnuta sedmi denním volným sušením a 5 % vlhkost byla dosáhnuta čtrnáctidenním volným sušením. Vlhkosti 1 % a 0 % byli dosáhnuto sušením v sušárně. 0 % vlhkost jsme určili tím, že jsme vzorky nechali v sušárně do té doby, dokud se hmotnost nepřestala měnit. Tímto určenou hmotnost v absolutním suchém stavu jsme použili pro výpočet skutečných vlhkostí. Také jsme změřili rozměry vzorků posuvným měřítkem.

15 % vlhkost jsme získaly tím, že jsme vzorky udržovali nad vodní hladinou. Vzorky byly uloženy ve dvou maltovnicích, které byly překryty igelitem. Vlhkost vzorků jsme kontrolovaly převažováním a pokud vlhkost byla dostatečná, tak jsme provedli měření ultrazvukem. Vzorky, které

neobdrželi dostatečnou vlhkost jsme dali do sušárny.

30 % vlhkost jsme získaly máčením ve vodní lázni. Vzorky, které této vlhkosti dosáhli byli 24 hodin aklimatizováni nad vodní hladinou v maltovníku. Po aklimatizování byly vzorky opět zváženy a provedlo se měření ultrazvukem.

Tabulka 3 Rozměry vzorků, tangenciální x radiální x podélný směr

	Bob	Boj	SM	DB
ref	50,4 x 26,9 x 500	49,7 x 26,8 x 500	50,8 x 27,1 x 500	49,4 x 26,3 x 500
1			50,6 x 27 x 500	
2			50,5 x 26,4 x 500	49,7 x 26,2 x 500
3	49,3 x 26 x 500	51 x 26,8 x 500		
4		51,3 x 27,1 x 500	50,2 x 27,4 x 500	49,7 x 25,3 x 500
5	49,56 x 25,5 x 500	51,8 x 27 x 500	48,9 x 26,2 x 500	50,7 x 25,9 x 500
6	49,21 x 26,40 x 500	49,9 x 27 x 500		48,8 x 26,4 x 500
7	49 x 27 x 500	51,2 x 27,4 x 500		49,1 x 26,6 x 500
8	48,6 x 26,1 x 500	48,8 x 26,6 x 500	48,6 x 27,9 x 500	49,6 x 26,6 x 500
9	48,8 x 26,7 x 500	52,2 x 27 x 500	48,5 x 26 x 500	50,6 x 26,9 x 500
10	48,9 x 25,4 x 500	51 x 26,2 x 500	48 x 27,2 x 500	48,7 x 26,3 x 500
11	48 x 26,4 x 500		50,2 x 26,6 x 500	48,6 x 26 x 500
12	48,9 x 25,4 x 500	52,3 x 27 x 500		51,3 x 26,2 x 500
	JV	BK	JL	HR
ref	47,8 x 26,3 x 500	48,1 x 25,9 x 500	50,6 x 26,5 x 500	48,9 x 25,1 x 500
1				
2	50 x 26,8 x 500			49,9 x 25,7 x 500
3	48,8 x 27 x 500	48,8 x 26,7 x 500	51,9 x 27 x 500	
4		48,2 x 27 x 500	51,3 x 27,2 x 500	
5	50,6 x 25,8 x 500		50,5 x 26,7 x 500	49 x 25,1 x 500
6		48 x 26,9 x 500	48 x 26,5 x 500	50 x 25 x 500
7	48,5 x 26,7 x 500			49,4 x 25,4 x 500
8	49 x 26,8 x 500	47,6 x 26,5 x 500	50 x 27 x 500	50,3 x 25 x 500
9	48,5 x 26,4 x 500	46,6 x 26,9 x 500		
10		47,5 x 26,4 x 500	48,8 x 26,8 x 500	
11	49,4 x 27,2 x 500	48 x 26 x 500		
12		47 x 26,3 x 500		46,6 x 25,4 x 500

Tabulka 4 Úbytky hmotnosti vzorků

	Bob	Boj	SM	DB	JV	BK	JL	HR
1			2 %					
2			2 %	1 %	12 %			19 %
3	36 %	1 %			22 %	8 %	8 %	
4		2 %	9 %	21 %		12 %	12 %	
5	16 %	14 %	14 %	3 %	27 %		24 %	29 %
6	11 %	3 %		8 %		42 %	29 %	33 %
7	15 %	0 %		3 %	9 %			8 %
8	2 %	1 %	6 %	0 %	6 %	6 %	15 %	21 %
9	4 %	6 %	10 %	1 %	22 %	14 %		
10	6 %	5 %	16 %	5 %		26 %	34 %	
11	18 %		13 %	7 %	20 %	27 %		
12	16 %	5 %		14 %		25 %		43 %
průměr	10 %	3 %	6 %	9 %	17 %	20 %	20 %	25 %

Rozměry vzorků byly vypočteny podle koeficientu bobtnání.

Tabulka 5 Koeficienty sesýchání a bobtnání u vybraných druhů dřevin podle Ugoleva, (is.mendelu, 2016)

Druh dřeva	Koeficient sesýchání a bobtnání					
	objemového		radiálního		tangenciálního	
	K_{β}	K_{α}	K_{β}	K_{α}	K_{β}	K_{α}
modřín	0,52	0,61	0,19	0,2	0,35	0,39
borovice	0,44	0,51	0,17	0,18	0,28	0,31
smrk	0,43	0,5	0,16	0,17	0,28	0,31
bříza	0,54	0,64	0,26	0,28	0,31	0,34
buk	0,47	0,55	0,17	0,18	0,32	0,35
jasan	0,45	0,52	0,18	0,19	0,28	0,31
dub	0,43	0,5	0,18	0,19	0,27	0,29
osika	0,41	0,47	0,14	0,15	0,28	0,3

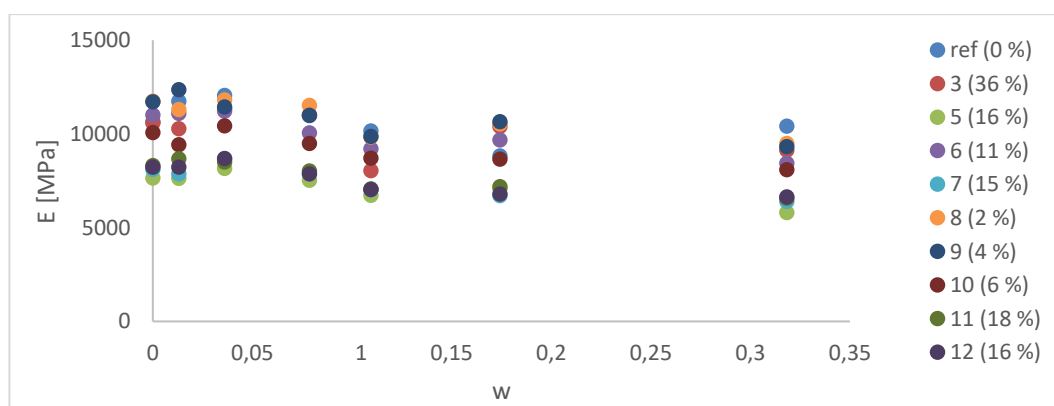
4. Výsledky

4.1.1. Závislost dynamického modulu na vlhkosti při různých hmotnostních úbytcích.

Na popis závislostí mezi dynamickými moduly a vlhkostmi jsme využili lineární regrese. Koeficienty determinací těchto lineárních regresí nabývali nejčastěji velikostí mezi hodnotami 0,7 až 0,9. Z tabulky 6 vyplývá, že vztah dynamického modulu a vlhkosti byl lineární regresí nejlépe popsán u vzorků z bělového dřeva borovice, neboť u 80 % vzorků měly lineární regrese koeficienty determinace mezi 0,7 až 0,9. Lineární regrese nejhůře popisovaly vztahy u vzorků dubu a smrku.

Tabulka 6 Zastoupení velikosti R^2 závislosti E na w .

	BO-B	BO-J	DB	SM	JV	BK	JL	HR
(0 – 0,1>	0 %	10 %	0 %	0 %	0 %	0 %	14 %	0 %
(0,1 – 0,2>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	14 %	0 %
(0,2 – 0,5>	20 %	0 %	27 %	0 %	25 %	0 %	0 %	14 %
(0,5 – 0,7>	0 %	40 %	36 %	78 %	13 %	33 %	43 %	57 %
(0,7 – 0,9>	80 %	50 %	36 %	22 %	63 %	56 %	29 %	29 %
(0,9 – 1>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	11 %	0 %	0 %



Graf 5 Závislost E na w ; borovice-běl

Graf 5 popisuje dynamický modul pružnosti při různých vlhkostech. V grafu vidíme, že do vlhkosti 5 % roste dynamický modul a od vlhkosti 5 % naopak klesá. Na základě grafu můžeme tvrdit, že při zvyšující hmotnostním

úbytku klesá úsek.

Taktéž jsme provedli lineární regrese závislostí hmotnostního úbytku na směrnici a úseku dříve provedených regresí. Zjistili jsme, že u pěti dřevin směrnice rostla a u tří naopak klesala. Také koeficient determinace nebyl vysoký, většinou se pohyboval kolem hodnoty 0,1. Největší koeficient determinace se nacházel u smrku (0,6). Úsek se snižoval u všech dřevin mimo smrku. Čím více úsek klesal, tím byl vyšší koeficient determinace. U smrku, u kterého úsek dokonce stoupal byl koeficient determinace 0,0099. U borovice-běl a dubu, kde se úsek téměř nesnižoval byl koeficient determinace okolo 0,07. Naopak u habru, kde se úsek snižoval nejvíce byl koeficient determinace 0,96.

4.1.2. Závislost dynamického modulu na úbytku hmotnosti vzorků při různých vlhkostech

Pro popsání závislosti dynamického modulu na velikosti úbytku hmotnosti při různých vlhkostech jsme taktéž použili lineární regresi. Tabulka číslo 7 ukazuje, že nejlépe tuto závislost popisovala lineární regrese u habru, buku, javoru a borovice-bel. Naopak nejhůře byl vztah popsán u smrku, kde se všechny koeficienty determinace nacházeli pod hodnotu 0,1. Pouze u tří sedmin vzorků měl koeficient determinace hodnotu v setinách. Zbytek byl v tisícinách, dokonce i v deseti tisícinách.

Tabulka 7 Zastoupení velikosti R^2 závislosti E na Δm .

	BO-B	BO-J	DB	SM	JV	BK	OL	HR
(0 – 0,1>	0 %	0 %	29 %	100 %	0 %	0 %	14 %	0 %
(0,1 – 0,2>	0 %	0 %	57 %	0 %	0 %	0 %	14 %	0 %
(0,2 – 0,5>	0 %	100 %	14 %	0 %	0 %	0 %	43 %	0 %
(0,5 – 0,7>	14 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
(0,7 – 0,9>	57 %	0 %	0 %	0 %	14 %	86 %	29 %	0 %
(0,9 – 1>	29 %	0 %	0 %	0 %	86 %	14 %	0 %	100 %

Směrnice lineárních regresí byly u jednotlivých dřevin při různých vlhkostech podobné a jejich hodnota nabývala nejčastěji 200 až 300. Měnil se hlavně úsek, který se zvyšoval při zvyšující se vlhkosti. Směrnice měla

největší rozptyl u vzorků ze smrku, javoru a jilmu. Smrk, dub a jilm měly směrnice, které nabývaly nejmenších hodnot.

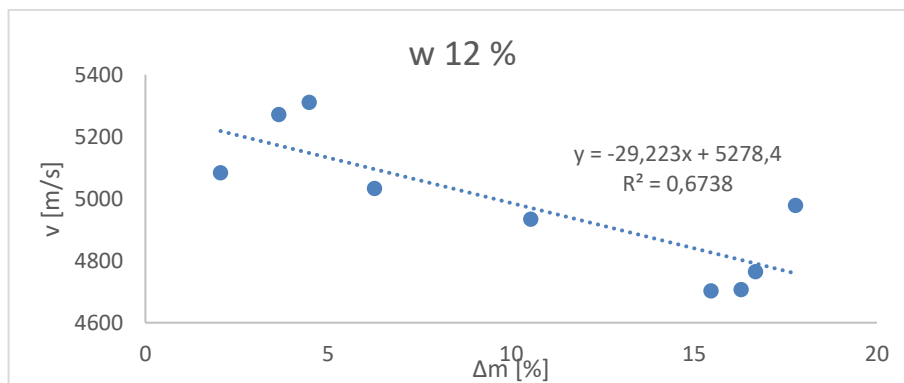
4.2. Borovice-běl

4.2.1. Závislost rychlosti ultrazvuku na úbytku hmotnosti při různých vlhkostech.

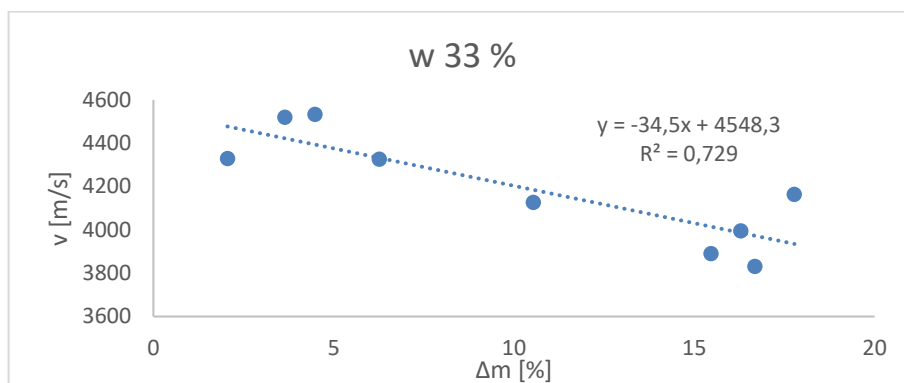
Z tabulky 8 vyplívá, že lineární regrese nejlépe popisovala závislost v podélném směru. V radiálním a tangenciálním bylo výrazné zhoršení. Nejnižší koeficienty determinace vyházeli v poloze 5 jak v radiálním, tak tangenciálním směru.

Tabulka 8 Zastoupení velikosti R^2 v závislosti rychlosti ultrazvuku na úbytku hmotnosti, borovice-běl

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	0 %	29 %	14 %	43 %	43 %	14 %	71 %
(0,1 – 0,2>	14 %	43 %	43 %	29 %	29 %	43 %	29 %
(0,2 – 0,5>	14 %	14 %	14 %	0 %	0 %	43 %	0 %
(0,5 – 0,7>	57 %	14 %	14 %	14 %	14 %	0 %	0 %
(0,7 – 0,9>	14 %	0 %	14 %	14 %	14 %	0 %	0 %
(0,9 – 1>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %



Graf 6 Závislost v na Δm ; borovnice-běl; podélný směr



Graf 7 Závislost v na Δm ; borovnice-běl; podélný směr

V grafech 6 a 7 vidíme závislost rychlosti ultrazvuku a velikosti úbytku hmotnosti. Závislost je v obou případech silná a v obou případech vidíme znatelný pokles rychlosti ultrazvuku s narůstajícím hmotnostním úbytkem. Taktéž vidíme, že při vyšší vlhkosti se snížila směrnice a úsek.

Směrnice a úseky lineární regresí jsme dali do závislosti s vlhkostí. Tuto závislost jsme taktéž popsaly lineární regresí. Zjistili jsme, že závislost směrnice na vlhkosti je nejsilnější v podélném směru, kde koeficient determinace nabývá hodnoty 0,39, a že ze zvyšující se vlhkostí směrnice klesá. V radiálním a v tangenciálním směru je závislost směrnice na vlhkosti diskutabilní, neboť koeficient determinace nabýval hodnot okolo 0,03.

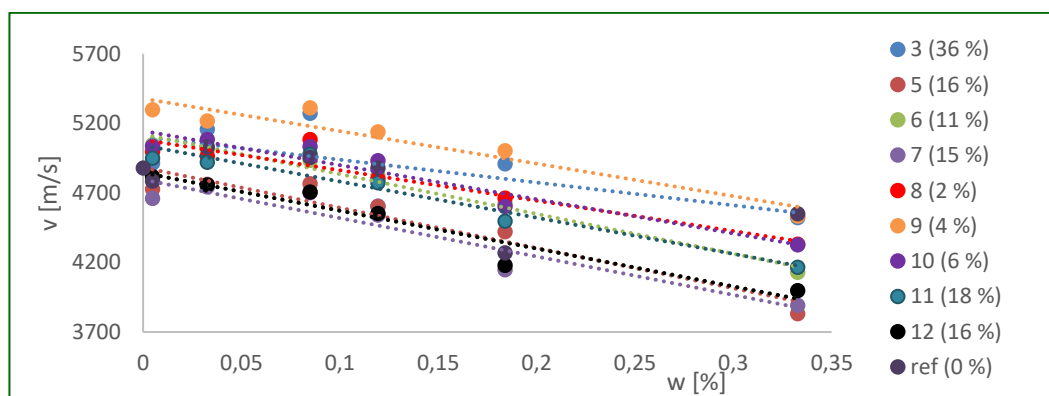
Naopak úsek má silnou závislost na vlhkosti. Ve všech směrech klesal s narůstající vlhkostí a koeficient determinace nabýval v podélném směru hodnoty 0,85 a v ostatních směrech jeho hodnota byla okolo 0,5.

4.2.2. Závislost rychlosti ultrazvuku na vlhkosti při různých hmotnostních úbytcích

Z tabulky 9 vyplívá, že nejsilnější závislost byla opět v podélném směru. Radiálním a tangenciálním směru je závislost slabší, nicméně rozdíl není tak markantní jak v závislosti rychlosti na úbytku hmotnosti.

Tabulka 9 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v naw , borovice běl

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	0 %	33 %	22 %	0 %	22 %	11 %	11 %
(0,1 – 0,2>	0 %	22 %	33 %	33 %	22 %	56 %	11 %
(0,2 – 0,5>	11 %	22 %	11 %	44 %	22 %	0 %	0 %
(0,5 – 0,7>	0 %	0 %	22 %	0 %	33 %	22 %	11 %
(0,7 – 0,9>	0 %	22 %	11 %	11 %	0 %	11 %	56 %
(0,9 – 1>	89 %	0 %	0 %	11 %	0 %	0 %	11 %



Graf 8 Závislost rychlosti ultrazvuku na vlhkosti, Borovice-běl

Graf 8 vyjadřuje závislost rychlosti ultrazvuku na vlhkosti. V tabulce 9 je vidět, že závislost byla silná. V grafu můžeme vidět, že se stoupající vlhkostí klesá rychlost ultrazvuku. Sklon regrese se výrazně nemění, pouze u vzorku číslo 3 je vidět, výrazné snížení sklonu vzorku. Úsek se snižoval, při zvyšující hmotnostním úbytkem.

Směrnice a úseky lineární regresí jsme dali do závislosti s vlhkostí. Tuto závislost jsme taktéž popsaly lineární regresí.

Směrnice a úseky se zvyšujícím hmotnostním úbytkem snižovaly. Pouze v podélném směru se směrnice zvyšovala. Tyto závislosti nebyli silné, koeficienty determinace nabývaly hodnot pouze 0,08 a níže s výjimkou v

rad3, kde koeficient determinace měl hodnotu 0,47, v tang1, kde měl koeficient determinace měl hodnotu 0,31 a v tang3, kde měl koeficient determinace hodnotu 0,18.

4.3. Borovice-jádro

4.3.1. Závislost rychlosti ultrazvuku na vlhkosti při různých hmotnostních úbytcích

Závislost rychlosti na úbytku hmotnosti jsme popsali lineární regresí.

Tabulka 10 opět potvrzuje, že závislost je nejsilnější v podélném směru. Nejslabší závislost v radiálním směru se nacházela v rad3 a nejslabší závislost tangenciálním směru se nacházela v tang1

Tabulka 10 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na w, borovice-jádro

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	0 %	40 %	60 %	30 %	40 %	40 %	30 %
(0,1 – 0,2>	0 %	20 %	30 %	30 %	30 %	30 %	50 %
(0,2 – 0,5>	10 %	20 %	10 %	20 %	30 %	10 %	10 %
(0,5 – 0,7>	0 %	20 %	0 %	10 %	0 %	10 %	10 %
(0,7 – 0,9>	40 %	0 %	0 %	10 %	0 %	10 %	0 %
(0,9 – 1>	50 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Směrnici a úsek jsme proložili lineární regresí v závislosti na vlhkosti. Směrnice se zvyšující vlhkostí klesala ve všech místech měření kromě rad5 a tang3, kde směrnice rostla. Tato závislost nebyla ovšem silná, neboť koeficient determinace byl nízký. Nejvyšší byl v poloze tang1 s hodnotou 0,17. Ve většině případů byl koeficient determinace v řádu setin a níž.

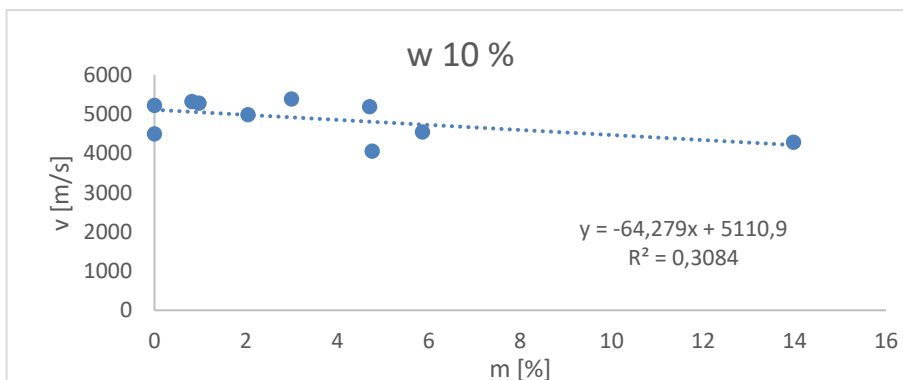
Úsek v závislosti na vlhkosti rostl v tangenciálním i v radiálním směru. Klesal pouze v podélném směru. Tato závislost byla silnější. Koeficienty determinace se nejčastěji nacházeli v intervalu 1,5 až 4,1. Závislost byla nejslabší v tang1, kde koeficient determinace měl hodnotu 0,026.

4.3.2. Závislost rychlosti ultrazvuku na hmotnostním úbytku při různých vlhkostech

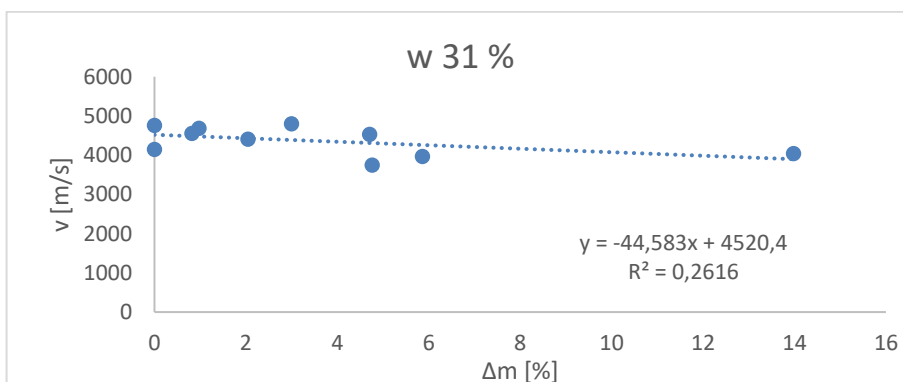
Závislost jsme vyjádřili lineární regresí. Z tabulky 11 vyplývá, že ačkoliv je závislost nejsilnější v podélném směru, přesto její koeficient determinace nabývá nízkých hodnot.

Tabulka 11 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na Δm , borovice-jádro

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	0 %	86 %	43 %	71 %	71 %	57 %	86 %
(0,1 – 0,2>	71 %	14 %	57 %	14 %	14 %	29 %	14 %
(0,2 – 0,5>	29 %	0 %	0 %	14 %	0 %	14 %	0 %
(0,5 – 0,7>	0 %	0 %	0 %	0 %	14 %	0 %	0 %
(0,7 – 0,9>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
(0,9 – 1>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %



Graf 9 Závislost v na Δm ; borovice jádro; podélný směr



Graf 10 Závislost v na Δm ; borovice jádro; podélný směr

V grafu 9 a 10 je vidět, že závislost je poměrně slabá, v obou případech

také byl nízký sklon regresní přílnky. Směrnice se při vyšší vlhkosti zvýšila, ale úsek se snížil.

Provedli jsme lineární regrese závislostí směrnice na vlhkosti a úseku na vlhkosti. Směrnice roste v podélném směru, v rad1, rad5 a v tang3. Závislost není silná, většina koeficientů determinace jsou menší 0,1. Závislost je nejsilnější tang5, kde koeficient determinace nabývá hodnoty 0,33.

Závislost úseku na vlhkosti je silnější než u směrnice. Všechny směrnice se zmenšují se stoupající vlhkostí. V podélném směru má tato závislost koeficient determinace o hodnotě 0,94. Nejnížší závislost je v tangenciálním směru, kde koeficient determinace nabývá hodnot menších než 0,1

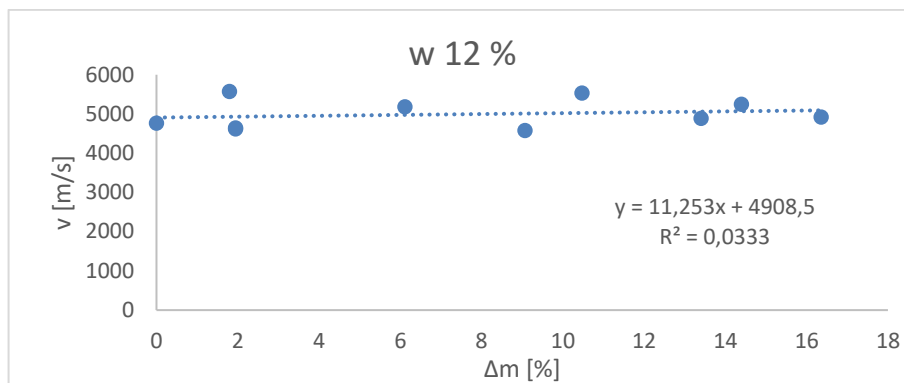
4.4. Smrk

4.4.1. Závislost rychlosti ultrazvuku na úbytku hmotnosti při různých vlhkostech.

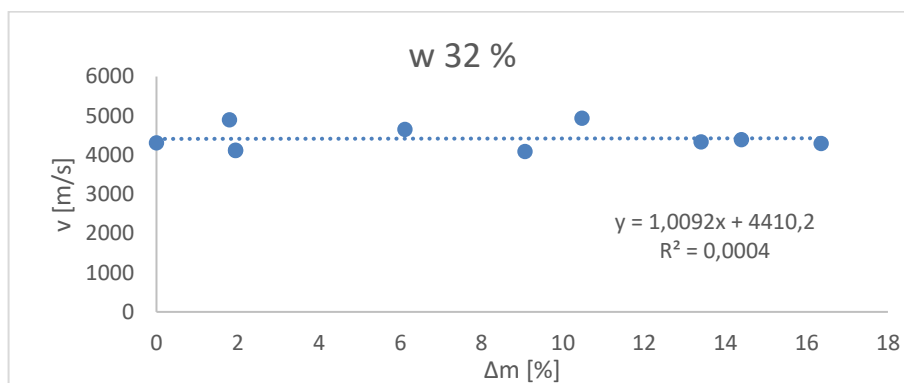
Závislost jsme popsali lineární regresí. Jak z tabulky 12 vyplývá, koeficient determinace se nejčastěji nacházel mezi hodnotami 0,1 až 0,2.

Tabulka 12 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na Δm , smrk

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	57 %	14 %	57 %	29 %	29 %	14 %	57 %
(0,1 – 0,2>	43 %	57 %	29 %	43 %	71 %	86 %	43 %
(0,2 – 0,5>	0 %	14 %	0 %	29 %	0 %	0 %	0 %
(0,5 – 0,7>	0 %	14 %	14 %	0 %	0 %	0 %	0 %
(0,7 – 0,9>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
(0,9 – 1>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %



Graf 11 Závislost v na Δm ; smrk; podélný směr



Graf 12 Závislost v na Δm ; smrk; podélný směr

Na grafech 11 a 12 vidíme, že závislost byla minimální, ne-li žádná. Přesto se hodnoty nacházeli blízko lineární regrese. Směrnice byla v obou případech kladná. Ve 32% vlhkosti směrnice a úsek poklesl oproti 12% vlhkosti. Směrnice se blíží 0, takže lineární regrese je téměř rovnoběžná s osou x .

Provedli jsme lineární regrese závislostí směrnice na vlhkosti a úseku na vlhkosti. Zjistili jsme, že směrnice se snižovala ve všech případech. Nejvyšší koeficient determinace byl v podélném směru a nabýval hodnoty 0,94.

V podélném a radiálním směru směrnice taktéž klesala, ale ve směru tangenciálním naopak rostla. Tato závislost byla slabší oproti závislostí mezi směrnici a vlhkostí. Ačkoliv v podélném směru měl koeficient determinace hodnotu 0,95 v ostatních směrech se jeho hodnota nacházela okolo hodnoty 0,1.

4.4.2. Závislost rychlosti ultrazvuku na vlhkosti při různých hmotnostních úbytcích

Závislost jsme popsali lineární regresí. V podélném směru byla závislost nejsilnější. V ostatních směrech síla významně klesla.

Tabulka 13 Zastoupení velikosti R^2 v závislosti v na w ; dub

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	0 %	44 %	33 %	44 %	0 %	11 %	33 %
(0,1 – 0,2>	0 %	0 %	11 %	33 %	22 %	22 %	22 %
(0,2 – 0,5>	0 %	11 %	22 %	0 %	0 %	11 %	0 %
(0,5 – 0,7>	0 %	0 %	11 %	11 %	11 %	22 %	22 %
(0,7 – 0,9>	22 %	33 %	22 %	11 %	56 %	22 %	11 %
(0,9 – 1>	78 %	11 %	0 %	0 %	11 %	11 %	11 %

Provedli jsme lineární regrese závislostí směrnice a úseku na rozdílných hmotnostních úbytcích. Směrnice klesala ve všech případech s narůstajícím hmotnostním úbytkem. Síla této závislosti byla nejsilnější v podélném směru (0,88). V tangenciálním směru koeficient determinace poklesl na hodnoty okolo 0,5 a v radiálním směru na hodnoty okolo 0,2. Výjimkou byly tang5 a rad5, kde koeficient determinace výrazně poklesl.

Směrnice s narůstající úbytkem hmotnosti rostla s výjimkou rad5 kde klesala. Tato závislost nebyla silná, v podélném směru měl koeficient determinace hodnotu pouze 0,15. V tangenciálním směru koeficienty determinace měly hodnoty okolo 0,3 mimo tang5, kde byl opět výrazný pokles spolehlivosti.

4.5. Dub

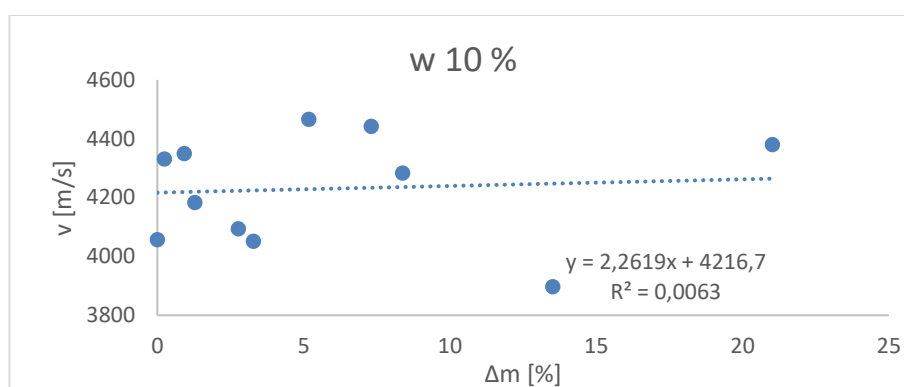
4.5.1. Závislost rychlosti ultrazvuku na úbytku hmotnosti při různých vlhkostech.

Závislost jsme popsali lineární regresí. Jak z tabulky 14 vyplývá, koeficient determinace se nejčastěji nacházel mezi hodnotami 0,1 až 0,2. V podélném směru byly dokonce všechny koeficienty determinace menší

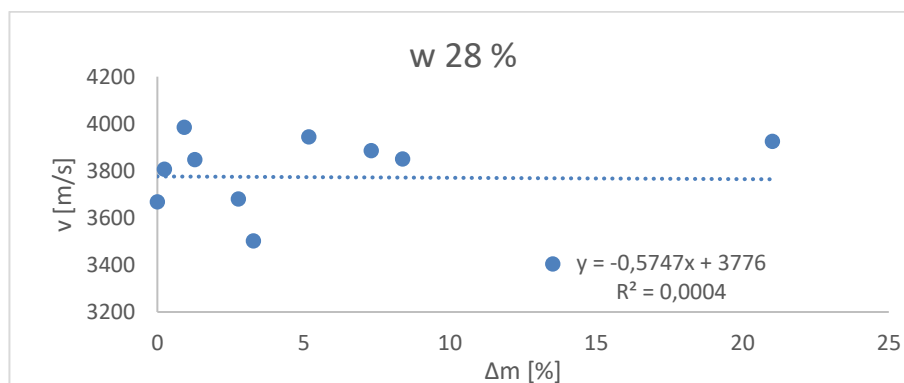
než 0,1.

Tabulka 14 Zastoupení velikosti R^2 v závislosti v na Δm , dub

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	100 %	43 %	86 %	71 %	71 %	29 %	29 %
(0,1 – 0,2>	0 %	29 %	14 %	29 %	29 %	57 %	57 %
(0,2 – 0,5>	0 %	29 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
(0,5 – 0,7>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	14 %	14 %
(0,7 – 0,9>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
(0,9 – 1>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %



Graf 13 Závislost v na Δm , dub; podélný směr



Graf 14 Závislost v na Δm , dub; podélný směr

V grafu 13 a 14 je vidět, že závislost rychlosti ultrazvuku na hmotnostním úbytku je u dubu slabá. Při 10% vlhkosti byla směrnice kladná, ale při 28 % vlhkosti byla směrnice už záporná. V obou případech nicméně byla směrnice blízko 0, takže lineární regrese je téměř rovnoběžná s osou x .

Provedli jsme lineární regrese závislostí směrnice na vlhkosti a úseku na vlhkosti. Směrnice s narůstající vlhkostí klesala. Koeficient determinace se

pohyboval, až na výjimky, okolo hodnoty 0,5,

Úsek s narůstající vlhkostí klesala, kromě rad3 a rad5 kde naopak stoupal. Tato závislost byla slabá, koeficienty determinace měli v tangenciálním a radiálním směru hodnoty menší než 0,1. Nicméně v podélném směru koeficient determinace nabýval hodnoty 0,96.

4.5.2. Závislost rychlosti ultrazvuku na vlhkosti při různých hmotnostních úbytcích

Závislost jsme popsali lineární regresí. Viz. tabulka 15, závislost byla nejsilnější v podélném směru a v radiálním směru naopak nejslabší.

Tabulka 15 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na w, dub

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	0 %	18 %	45 %	45 %	18 %	9 %	36 %
(0,1 – 0,2>	0 %	18 %	27 %	18 %	18 %	55 %	27 %
(0,2 – 0,5>	0 %	18 %	9 %	9 %	9 %	18 %	9 %
(0,5 – 0,7>	18 %	36 %	18 %	27 %	27 %	9 %	27 %
(0,7 – 0,9>	18 %	9 %	0 %	0 %	27 %	9 %	0 %
(0,9 – 1>	64 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Směrnici a úsek jsme dali do závislosti s hmotnostním úbytkem. Závislost jsme popsali lineární regresí. Směrnice klesala ve všech případech. Závislost byla slabá s koeficientem determinace okolo 0,1. Úsek v podélném a v radiálním směru rostl, ovšem tato závislost byla stejně slabá, ne-li slabší.

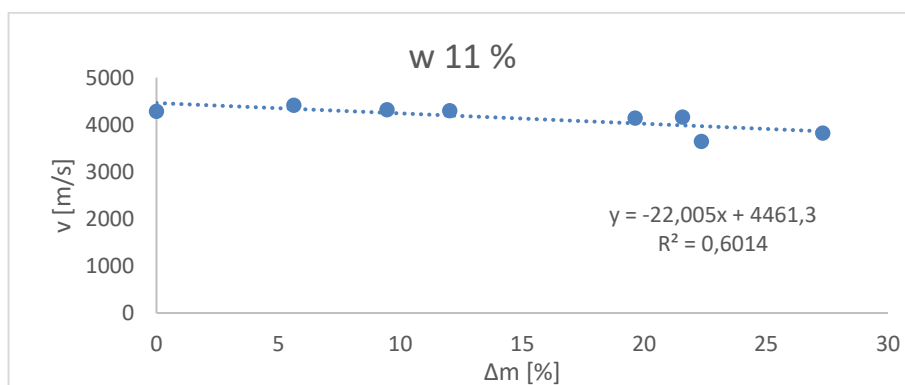
4.6. Javor

4.6.1. Závislost rychlosti ultrazvuku na úbytku hmotnosti při různých vlhkostech.

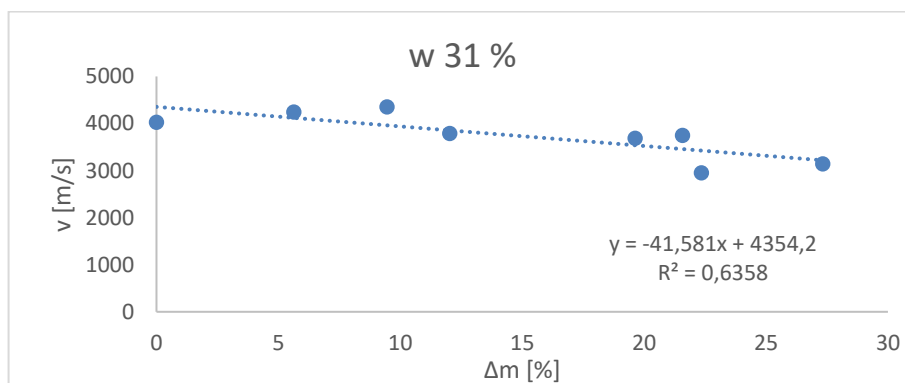
Závislost jsme popsali lineární regresí. Závislost byla silná v podélném směru s koeficienty determinace s hodnotami mezi 0,5 až 0,7. V místě tang1 byla závislost ještě silnější, tam koeficienty determinace nabývaly hodnot minimálně 0,7.

Tabulka 16 Zastoupení velikosti R^2 v závislosti v na Δm , javor

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	0 %	0 %	29 %	43 %	0 %	0 %	0 %
(0,1 – 0,2>	0 %	14 %	14 %	29 %	0 %	14 %	14 %
(0,2 – 0,5>	14 %	43 %	29 %	14 %	0 %	43 %	43 %
(0,5 – 0,7>	71 %	43 %	14 %	14 %	0 %	43 %	43 %
(0,7 – 0,9>	14 %	0 %	14 %	0 %	71 %	0 %	0 %
(0,9 – 1>	0 %	0 %	0 %	0 %	29 %	0 %	0 %



Graf 15 Závislost v na Δm ; javor; podélný směr



Graf 16 Závislost v na Δm ; javor; podélný směr

V grafu 15 a 16 vidíme, že je poměrně silná závislost mezi rychlostí ultrazvuku a hmotnostním úbytkem. Při 31 % vlhkosti vidíme, že se snížila směrnice a úsek. Úsek se ovšem snížil jen cca o 100.

Závislost směrnice a úseku na vlhkosti jsme popsali lineární regresí. Směrnice skoro ve všech případech (mimo rad1 a tang5) klesala. Tato závislost byla slabá, ačkoliv v podélném směru a v rad5 měl koeficient determinace hodnotu 0,6, v ostatních místech nabýval hodnot menších

než 0,1.

Závislost úseku na vlhkosti byla podobná. Pouze v podélném směru a v tang5 nabýval koeficient determinace aspoň hodnot 0,7. V ostatních místech měření se jeho hodnota pohybovala od 0,1 a méně. Úsek klesal se stoupající vlhkostí, mimo rad3, kde rostl.

4.6.2. Závislost rychlosti ultrazvuku na vlhkosti při různých hmotnostních úbytcích

Závislost jsme popsali lineární regresí. Závislost byla nejsilnější v podélném směru a v tang5.

Tabulka 17 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na w, javor

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	0 %	25 %	38 %	38 %	25 %	38 %	13 %
(0,1 – 0,2>	0 %	25 %	50 %	38 %	25 %	38 %	13 %
(0,2 – 0,5>	0 %	25 %	0 %	0 %	13 %	13 %	38 %
(0,5 – 0,7>	13 %	13 %	13 %	13 %	13 %	13 %	0 %
(0,7 – 0,9>	25 %	13 %	0 %	13 %	13 %	0 %	38 %
(0,9 – 1>	63 %	0 %	0 %	0 %	13 %	0 %	0 %

Směrnici a úsek jsme dali do vztahu s hmotnostním úbytkem. Tento vztah jsme popsali lineární regresí. Z této regrese vyplynulo, že směrnice klesala mimo rad1 a tang5 ve všech případech. Závislost byla slabá. Ačkoliv v podélném směru nabýval koeficient determinace hodnoty 0,67 v ostatních případech měl hodnoty menší než 0,1.

Úsek klesal s rostoucím hmotnostním úbytkem. V podélném směru je tato závislost, s koeficientem determinace 0,6, silná. Slabou závislost jsme našli v rad5 a tang5, kde byl koeficient determinace 0,05.

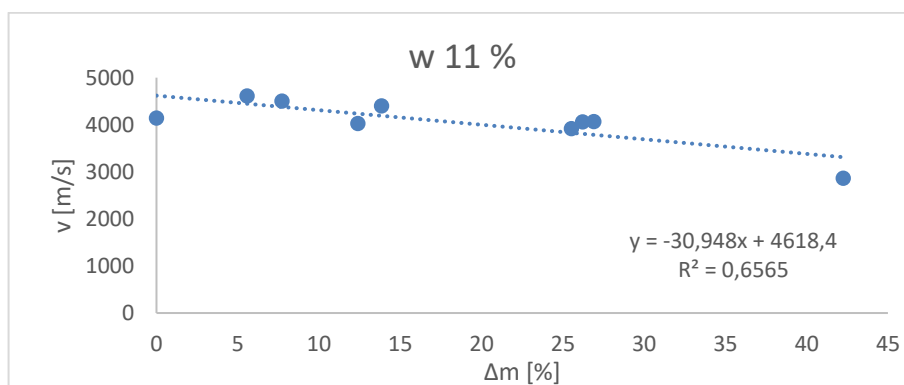
4.7. Buk

4.7.1. Závislost rychlosti ultrazvuku na úbytku hmotnosti při různých vlhkostech.

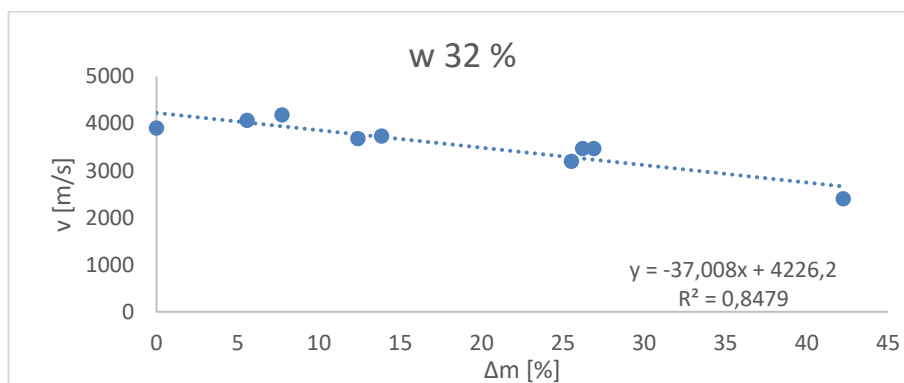
Závislost jsme popsali lineární regresí. Závislost byla nejsilnější v podélném směru a v tang5 a v rad5 naopak nejslabší.

Tabulka 18 Zastoupení velikosti R^2 v na Δm , buk

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	0 %	43 %	0 %	71 %	0 %	0 %	0 %
(0,1 – 0,2>	0 %	57 %	57 %	14 %	0 %	0 %	0 %
(0,2 – 0,5>	0 %	0 %	14 %	14 %	0 %	0 %	14 %
(0,5 – 0,7>	71 %	0 %	29 %	0 %	0 %	0 %	57 %
(0,7 – 0,9>	29 %	0 %	0 %	0 %	71 %	86 %	29 %
(0,9 – 1>	0 %	0 %	0 %	0 %	29 %	14 %	0 %



Graf 17 Závislost v na Δm ; buk; podélný směr



Graf 18 Závislost v na Δm ; buk; podélný směr

Na grafu 17 a 18 je vidět silná závislost. Je vidět že při vyšší vlhkosti klesá směrnice a úsek.

Závislost směrnice a úseku na vlhkosti jsme popsali lineární regresí. Směrnice klesala ve všech případech nicméně závislost nebyla silná. Ačkoliv v podélném směru koeficient nabýval hodnoty 0,77, v ostatních směrech nabýval hodnot 0,1 a méně.

Úsek taktěž klesal s rostoucí vlhkostí a závislost byla výrazně silnější.

Nejvyšší koeficient determinace s hodnotou 0,97 byl v podélném směru a v ostatních směrech nabýval hodnot okolo 0,3. V tang5 výrazně klesl na hodnotu 0,05. Čím více úsek klesal v závislosti na vlhkosti, tím vyšší byl koeficient determinace.

4.7.2. Závislost rychlosti ultrazvuku na vlhkosti při různých hmotnostních úbytcích

Závislost jsme popsali lineární regresí. Závislost byla nejsilnější v podélném směru a nejslabší v rad5.

Tabulka 19 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na w, buk

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	0 %	11 %	22 %	22 %	22 %	0 %	44 %
(0,1 – 0,2>	0 %	22 %	22 %	56 %	0 %	33 %	22 %
(0,2 – 0,5>	0 %	11 %	11 %	0 %	0 %	11 %	22 %
(0,5 – 0,7>	0 %	33 %	33 %	22 %	44 %	11 %	0 %
(0,7 – 0,9>	22 %	22 %	11 %	0 %	33 %	22 %	11 %
(0,9 – 1>	78 %	0 %	0 %	0 %	0 %	22 %	0 %

Směrnici a úsek jsme dali do vztahu s hmotnostním úbytkem. Směrnice klesala ve všech případech. Závislost byla slabá. Koeficient determinace nabýval nejvyšší hodnoty 0,6 v rad1. V ostatních případech nabýval hodnot okolo 0,1.

Úsek se v závislosti na hmotnostním úbytku snižoval, Koeficient determinace opět nabýval vysokých hodnot (0,9) v tangenciálním směru. Nejnižší hodnoty měl ve směru radiálním, kde měl dvakrát hodnotu nižší než 0,1.

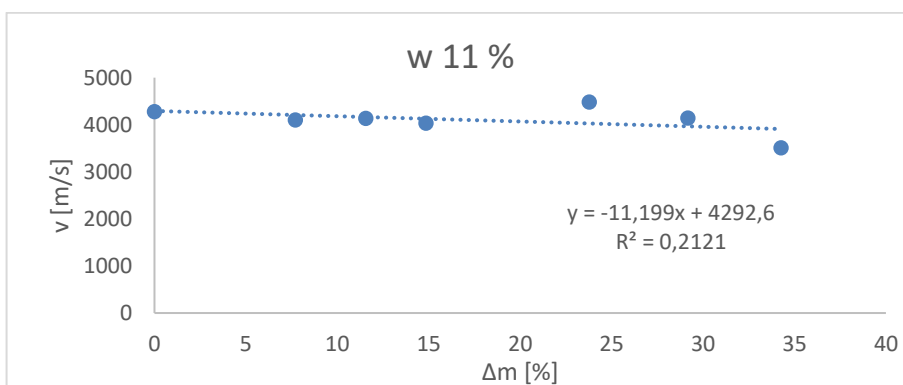
4.8. Olše

4.8.1. Závislost rychlosti ultrazvuku na úbytku hmotnosti při různých vlhkostech.

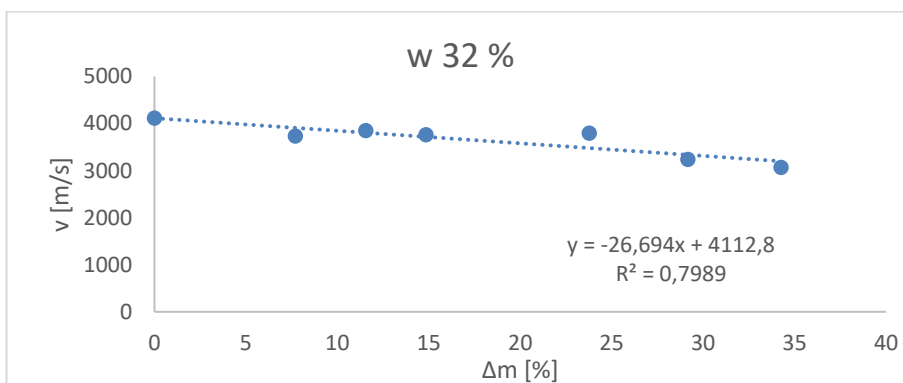
Závislost jsme popsali lineární regresí. V podélném směru v tang1 byla závislost nejsilnější. V poloze rad3 je závislost rozporuplná, 50 % má vysoká koeficient determinace a dalších 50 % za poměrně nízký.

Tabulka 20 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na Δm , olše

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	0 %	29 %	43 %	29 %	14 %	29 %	57 %
(0,1 – 0,2>	29 %	43 %	14 %	57 %	14 %	0 %	29 %
(0,2 – 0,5>	0 %	0 %	0 %	0 %	14 %	14 %	14 %
(0,5 – 0,7>	0 %	14 %	0 %	0 %	14 %	29 %	0 %
(0,7 – 0,9>	14 %	14 %	43 %	14 %	43 %	0 %	0 %
(0,9 – 1>	57 %	0 %	0 %	0 %	0 %	29 %	0 %



Graf 19 Závislost v na Δm ; olše; podélný směr



Graf 20 Závislost v na Δm ; olše; podélný směr

Vidíme, že v grafu 19 je slabá závislost, přesto můžeme vidět, že se hodnoty nachází poměrně blízko lineární regrese. V grafu 20 vidíme, že směrnice a úsek klesl a síla závislosti se výrazně zvýšila.

Závislost směrnice a úseku na vlhkosti jsme popsali lineární regresí. Kromě rad5 a tang5, úsek se zmenšoval. Závislost byla poměrně slabá. V podélném směru koeficient determinace měl hodnotu pouze 0,25. V rad1 a v rad3 byl sice koeficient determinace 0,5, ale v zbylých případech byl

menší než 0,1

Úsek se snižoval kromě rad5 a tang5. Tato závislost byla slabší. Koeficient v podélném směru měl hodnotu 0,2. Ačkoliv rad1 i rad3 mají poměrně silnou závislost (0,6 a 0,35) v ostatních případech je koeficient determinace byl menší než 0,1.

4.8.2. Závislost rychlosti ultrazvuku na vlhkosti při různých hmotnostních úbytcích

Závislost jsme popsali lineární regresí. Nejsilnější závislost byla v tang1 a v tang3.

Tabulka 21 Zastoupení velikosti R^2 v závislosti v na w, olše

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	29 %	14 %	14 %	57 %	0 %	0 %	57 %
(0,1 – 0,2>	43 %	0 %	0 %	14 %	0 %	0 %	29 %
(0,2 – 0,5>	14 %	14 %	43 %	29 %	0 %	14 %	14 %
(0,5 – 0,7>	0 %	14 %	43 %	0 %	0 %	14 %	0 %
(0,7 – 0,9>	14 %	57 %	0 %	0 %	86 %	71 %	0 %
(0,9 – 1>	0 %	0 %	0 %	0 %	14 %	0 %	0 %

Závislost směrnice a úseku na hmotnostním úbytku jsme popsali lineární regresí. Směrnice s narůstajícím úbytkem hmotnosti klesala, výjimkou v rad5 a v tang5 kde naopak rostla. Závislost nebyla silná v rad5 a v tang1, kde koeficient determinace byl menší než 0,1. V ostatních případech nabýval hodnot mezi 0,3 až 0,5.

Úsek s narůstajícím hmotnostním úbytkem rostl v rad1 a rad3. V těchto případech měl také nízký koeficient determinace. V ostatních případech úsek klesal a závislost měla koeficient determinace nejčastěji v hodnotě 0,5.

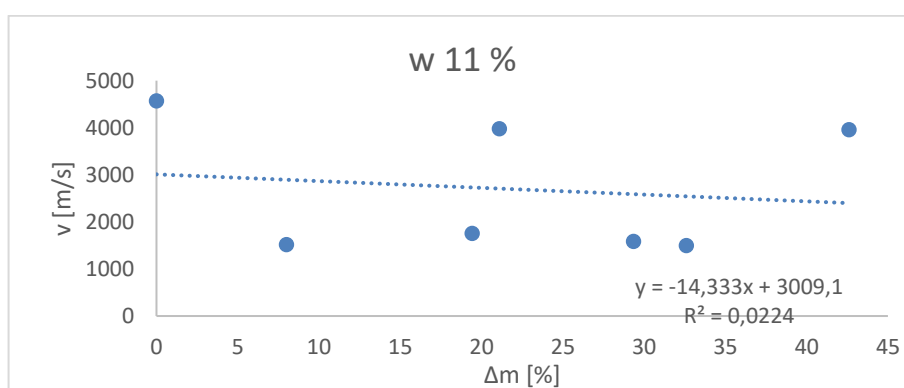
4.9. Habr

4.9.1. Závislost rychlosti ultrazvuku na úbytku hmotnosti při různých vlhkostech.

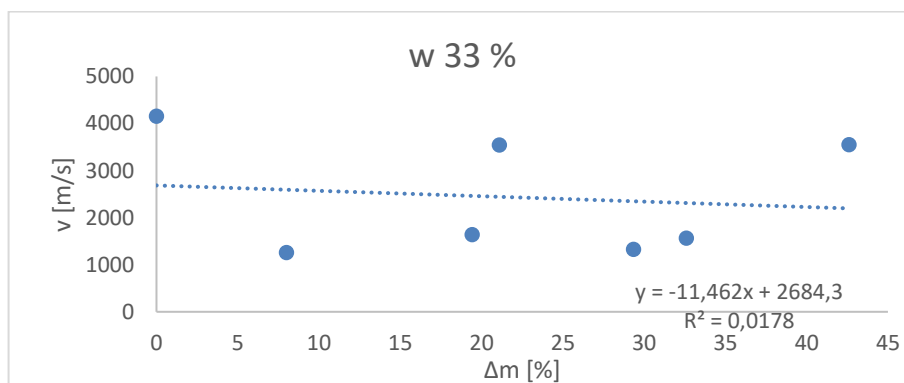
Závislost jsme popsali lineární regresí. Lineární regrese nejhůře popisovala závislost v podélném směru a v tang3, kde všechny koeficienty determinace byli menší ne 0,1.

Tabulka 22 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na Δm , *habr*

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	100 %	29 %	43 %	86 %	0 %	100 %	29 %
(0,1 – 0,2>	0 %	43 %	29 %	14 %	14 %	0 %	57 %
(0,2 – 0,5>	0 %	29 %	29 %	0 %	86 %	0 %	14 %
(0,5 – 0,7>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
(0,7 – 0,9>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
(0,9 – 1>	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %



Graf 21 Závislost v na Δm ; *habr*; podélný směr



Graf 22 Závislost v na Δm ; *habr*; podélný směr

Graf 21 a 22 ukazuje, že závislost je velmi slabá. S vyšší vlhkostí nepatrně směrnic a úsek.

Závislost směrnic a úseku na vlhkosti jsme popsali lineární regresí. Směrnic stoupala v rad5 a v tang5. Závislost byla slába s koeficienty determinace do 0,1. V ostatních případech směrnic klesala. Koeficienty determinace nabývaly hodnot okolo 0,5. V podélném směru ovšem byla pouze hodnota 0,03.

Úsek s rostoucí vlhkostí rostl v rad3, rad5 a v tang1. Koeficient determinace těchto závislostí byl 0,5; 0,05 a 0,3. V ostatních případech úsek klesal.

4.9.2. Závislost rychlosti ultrazvuku na vlhkosti při různých hmotnostních úbytcích

Závislost jsme popsali lineární regresí. V podélném směru byla tato závislost nejlépe popsána lineární regresí. V rad5 a tang5 byla závislost popsána nejhůře.

Tabulka 23 Zastoupení velikosti R^2 závislosti v na w , $habr$

	pod	rad1	rad3	rad5	tang1	tang3	tang5
(0 – 0,1>	0 %	43 %	29 %	71 %	29 %	29 %	57 %
(0,1 – 0,2>	0 %	14 %	29 %	0 %	0 %	0 %	0 %
(0,2 – 0,5>	14 %	0 %	29 %	14 %	14 %	0 %	29 %
(0,5 – 0,7>	0 %	43 %	14 %	0 %	14 %	29 %	14 %
(0,7 – 0,9>	57 %	0 %	0 %	14 %	43 %	29 %	0 %
(0,9 – 1>	29 %	0 %	0 %	0 %	0 %	14 %	0 %

Závislost směrnice a úseku na vlhkosti jsme popsali lineární regresí. Směrnice s narůstajícím hmotnostním úbytkem klesala. Závislost byla poměrně silná koeficient determinace nejčastěji nabýval hodnot 0,5.

Úsek taktéž klesal. Nejvyšší koeficient determinace byl v podélném směru, kde měl hodnotu 0,89. Nejnižší koeficient determinace o hodnotě 0,05 byl v rad1. závislosti

5. Diskuze

V této práci jsme měli dispozici omezené množství vzorků. Ačkoliv na počátku každá dřevina byla zastoupena 12 vzorky, některé vzorky méně odolných dřevin museli být vyřazeny z důvodu značného poškození.

Z tohoto měření vychází, že závislost rychlosti šíření ultrazvuku ve dřevě degradovaném houbami je silnější na vlhkosti než na úbytku hmotnosti. Taktéž si můžeme povšimnout, že v podélném směru je často závislost nejsilnější. Nejslabší závislost je zpravidla v radiálním směru to ovšem bylo pravděpodobně způsobeno vyšší chybou měření, neboť v radiální směru

měl vzorek tloušťku pouze 2,5 cm a ve směru tangenciálním měl vzorek šířku 5 cm. Výrobce ovšem nedoporučuje používat přístroj pro tak nízké vzdálenosti. Také v polohách tang5 a rad5 byl častý pokles spolehlivosti, pravděpodobně kvůli výskytu trhlin. Stejně jako Goncalvovi a dalším vyšlo, že se stoupající vlhkostí klesá rychlost ultrazvuku. Goncalves nicméně k popsání závislosti použil polynomickou funkci druhého stupně.

Také jsme vyzorovali, že více trvanlivé dřeviny měly v podélném směru slabou, až skoro žádnou závislost rychlosti ultrazvuku na hmotnostním úbytku. Mezi netrvanlivými dřevinami pouze habr měl podobně slabou závislost. Také z grafů je patrné, že pokud byla závislost minimální tak lineární regrese byla téměř rovnoběžná s osou x. Rozdíl mezi úseky při vlhkosti 12 % a 30 % je 400 až 600. Pouze u olše a javoru se úsek snížil pouze o 100. Také si můžeme povšimnout, že pokud je závislost silná při 12 % vlhkosti tak při cca 32% vlhkosti je závislost vždy silnější.

Stejně jako Tomczakovi a spol. 2011 nám vyšlo, že dynamický modul pružnosti klesá s narůstající vlhkostí a také nám vyšlo, že se zvyšující hmotnostním úbytkem dynamický modul elasticity také klesá. Yang a spol. 2017 taktéž změřili snížení dynamického modulu při zvýšení hmotnostního úbytku. Oboje závislosti jsou stejně silné. Největší rozdíl je u smrku a dubu, kde závislosti E na w je silné, ale závislosti E na Δm jsou velmi slabé. Taktéž stojí za povšimnutí, že závislost E na w u referenčních vzorků byla slabá. Také je zajímavé, že u habru byla závislost E na Δm velmi silná. R^2 nebylo menší než 0,91. Směrnice v podstatě byla stejná a měnil se pouze úsek, který se snižoval se zvyšující se vlhkostí.

Vzorky před degradací byly změřeny přístrojem Pundit, ale vzorky po degradaci byly měřeny přístrojem Ultrasonic Timer. Jak dokázali Hrivnák a kolektiv 2013, výsledky rozdílných přístrojů se výrazně liší přístroj. To znemožnilo, abychom mohli zjistit úbytek rychlosti způsobený degradací vzorku.

Závěr

V této práci jsme měřili rychlost ultrazvuku ve dřevě napadené hnilobou. Taktéž jsme spočetly dynamický modul pružnosti. Mezi faktory ovlivňující rychlost ultrazvuku jsme vybrali vlhkost a úbytek hmotnosti způsobené dřevokaznými houbami. Data jsme vyhodnotili v programu MS Excel 2016, kde jsme závislosti popsali lineárními regresemi. Taktéž jsme hledali závislosti těchto směrnic a úseků vůči vlhkosti nebo hmotnosti. Síla závislosti byla popsána korelačními determinanty.

Naše výsledky dokazují, že rychlost ultrazvuku klesá při stoupající vlhkosti a hmotnostním úbytku. Závislosti byli nejsilnější v podélném směru. Závislosti v tangenciálním a radiálním směru byli znatelně slabší, z důvodu nepřesnosti měření.

Mimo habr všechny závislosti E na Δm v podélném směru netrvanlivých dřevin byli silné. Směrnice lineární regrese se nijak výrazně nemění v závislosti na vlhkosti ovšem úsek se při zvýšení vlhkosti ze 12 % na 32 % u všech dřevin, mimo olše a javoru, snížil o 400 až 600.

Dynamický modul pružnosti také klesá s narůstajícím hmotnostním úbytkem a vlhkostí se silnou závislostí. Referenční vzorky měli nejslabší závislost E na w . Závislost E na Δm byla nejhůře popsána u smrku a dubu.

6. Bibliografie

- [Online] Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity. [Citace: 14. 3 2018.] <http://www.ped.muni.cz/wphy/projekty/kemis.html>.
- Beall, F. C. 2002.** Overview of the use of ultrasonic technologies in research on wood properties. *Wood Science and Technology*. [Online] 2002. [Citace: 13. 3 2018.] <http://link.springer.com/10.1007/s00226-002-0138-4>. DOI: 10.1007/s00226-002-0138-4. ISSN 0043-7719.
- Bucur, Voichita. 2006.** *Acoustics of Wood*. New York : Springer, 2006. ISBN 9783540261230.
- Dundar, Turker, Wang, Xiping a Ross, Robert J. 2013.** Prediction of transverse shrinkages of young-growth Sitka spruce (*Picea sitchensis*) and western hemlock (*Tsuga heterophylla*) with ultrasonic measurements. *Wood Material Science & Engineering*. 2013, Sv. 8, 4.
- Fakopp Bt.** User's Guide Fakopp ultrasonic timer. *Fakopp*. [Online] [Citace: 17. 3. 2018.] <http://fakopp.com/en/downloads/>.
- Goncalves, Raquel, a další. 2017.** Moisture-related adjustment factor to obtain a reference ultrasonic velocity in structural lumber of plantation hardwood. *Wood Material Science & Engineering*. 2017, Sv. 1, 8.
- Halliday, David, Resnick, Robert a Walker, Jearl. 2000.** *Fyzika Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno : Vutium, 2000. ISBN 80-214-1869-9.
- Horáček, Petr. 1998.** *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. Brno : Mendelova zemědělská univerzita v Brně, 1998. ISBN 80-7157-347-7.
- Hrivnák, Jaroslav, a další. 2013.** *Skúmanie kvality a poškodenia ihličnatého dreva akustickými a mechanicko-odporovými metódami*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2013. ISBN 978-80-228-2552-8.
- is.mendelu. 2016.** www.is.mendelu.cz. www.is.mendelu.cz. [Online] Mendelejova univerzita v Brně, 18. 4 2016. [Citace: 20. 3 2018.] http://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?fit_w=1;cast=9190.
- Jozef Kúdela, Ivan Kubovský. 2016.** ACCELERATED-AGEING-INDUCED PHOTO-DEGRADATION OF BEECH WOOD SURFACE TREATED WITH SELECTED COATING MATERIALS. 2016, stránky 27 - 36.
- Kloiber, Michal a Kotlínová, Mária. 2010.** Nedestruktivní defektoskopické přístroje používané při provádění stavebně technických průzkumů historických dřevěných konstrukcí. *tzbn-info*. [Online] 8. 3. 2010. [Citace: 17. 3 2018.] <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6295-nedestruktivni-defektoskopicke-pristroje-pouzivane-pri-provadeni-stavebne-technicky-pruzkumu-historicky-drevenych-konstrukci>.
- Lepil, Oldřich. 2007.** *Fyzika pro gymnázia : mechanické kmitání a vlnění*. Praha : Prometheus, 2007. ISBN 978-80-7196-387-5.
- Mikulčák, Jiří, a další. 2007.** *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Praha : Prometheus, 2007. ISBN: 9788071963455.
- NDT Resource Center. 2001.** The Collaboration for NDT Education. www.ndt-ed.org. [Online] Iowa State University, 2001. [Citace: 17. 3 2018.] http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/cc_ut_index.htm.
- Novák, Jan Václav a Vorovka, Karel. 1892.** *Kniha moudrosti : sborník aforismů a sentencí pedagogických*. Praha : Bursík a Kohout, 1892.
- Požgaj, Alexander, a další. 1997.** *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava : PŘÍRODA a.s., 1997. ISBN 80-07-00960-4.
- Reichl, Jaroslav a Všeticka, Martin. 2008.** Vlnění v izotropním prostředí. *Encyklopedie fyziky*. [Online] 11. 8 2008. [Citace: 24. 3 2018.]

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/170-vlneni-v-izotropnim-prostredi>.
Ross, Robert J. 2015. *Nondestructive evaluation of wood: second edition*.
Madison : USDA Forest Service, Forest Product Laboratory, 2015. FPL-GTR-238.

Saadatnia, Mohammadali, a další. 2014. Investigation on transversal variation of poplar tension wood quality using ultrasound wave parameters. *Wood Material Science & Engineering*. 21. 9 2014, Sv. 11, 4.

Tomczak, Arkadiusz, Jelonek, Tomasz a Marcin, Jakubowski. 2011. Modulus of elasticity of twin samples (wet and absolute dry) origin from Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees broken by wind. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology*. 2011, Sv. 76.

Yang, Zhong, a další. 2017. Assessing the impact of wood decay fungi on the modulus of elasticity of slash pine (*Pinus elliottii*) by stress wave non-destructive testing. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017.

7. Seznam příloh

Příloha 1 Závislost E na w; $y=ax+b$	55
Příloha 2 Závislosti E na Δm ; $y=ax + b$	56
Příloha 3 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$, borovice-běl.....	57
Příloha 4 Závislost v na w, $y=ax+b$, borovice-běl.....	58
Příloha 5 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$, borovice-jádro.....	59
Příloha 6 Závislost v na w; $y=ax+b$, borovice-jádro.....	60
Příloha 7 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$; smrk.....	61
Příloha 8 Závislost v na w; $y=ax+b$; smrk.....	62
Příloha 9 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$; dub.....	63
Příloha 10 Závislost v na w; $y=ax+b$; dub.....	64
Příloha 11 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$; javor.....	65
Příloha 12 Závislost v na w; $y=ax+b$; javor.....	66
Příloha 13 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$; buk.....	67
Příloha 14 Závislost v na w; $y=ax+b$; buk.....	68
Příloha 15 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$; olše.....	69
Příloha 16 Závislost v na w; $y=ax+b$; olše.....	70
Příloha 17 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$; habr.....	71
Příloha 18 Závislost v na w; $y=ax+b$; habr.....	72

8. Přílohy

Příloha 1 Závislost E na w; $y=ax+b$

		Δm	a	b	r^2			Δm	a	b	r^2		
BO-B	ref	0 %	-5144	11225	0,29	JV	ref	0%	-6984	11390	0,46		
	3	36%	-4909	10619	0,23		2	2%	-8488	9795	0,74		
	5	6%	-6218	7874	0,81		3	22%	-8454	6738	0,87		
	6	11%	-8651	11000	0,82		5	27%	-7668	6413	0,84		
	7	15%	-6364	8183	0,75		7	9%	-30585	10405	0,82		
	8	2%	-7084	11628	0,71		8	6%	-7542	11522	0,37		
	9	4%	-8204	11764	0,75		9	22%	-5857	7828	0,62		
	10	6%	-6364	9927	0,74		11	20%	-7659	8150	0,77		
	11	18%	-6576	8448	0,82		ref	0%	-7721	11659	0,59		
	12	16%	-6226	8288	0,74		3	8%	-11448	13669	0,62		
	BO-J	ref	0%	-1167	12596		0,02	BK	4	12%	-5505	8499	0,56
		3	1%	-8974	14073		0,86		6	42%	-5147	3512	0,92
4		2%	-7275	10645	0,74	8	6%		-15432	15101	0,87		
5		14%	-4619	8116	0,52	9	14%		-17367	12739	0,81		
6		-4%	-7892	13460	0,66	10	26%		-11084	9339	0,87		
7		0%	-5011	11389	0,57	11	27%		-10307	8066	0,84		
8		1%	-9827	14501	0,89	12	25%		-8534	7575	0,86		
9		6%	-6966	8294	0,86	ref	0%		-1148	9814	0,02		
10		5%	-10632	14379	0,86	3	8%		-7507	8631	0,65		
12		5%	-3941	7643	0,54	4	12%		-10565	8014	0,88		
DB		ref	0%	-6334	13701	0,37	OL		5	24%	-8537	9345	0,60
		2	1%	-8816	15727	0,64			6	29%	-4040	6706	0,12
	4	21%	-10165	13417	0,66	8		15%	-5772	7594	0,65		
	5	3%	-8945	12706	0,70	10		34%	-6415	5683	0,84		
	6	8%	-7921	14134	0,37	ref		0%	-8378	16903	0,23		
	7	3%	-11167	14202	0,59	2		19%	-8588	10005	0,66		
	8	0%	-11264	15521	0,71	5		29%	-7651	8441	0,66		
	9	1%	-4332	13472	0,20	6		0,33	-6275	6497	0,65		
	10	5%	-18482	17806	0,74	7		0,08	-9350	13657	0,50		
	11	7%	-19252	17730	0,82	8		21%	-9222	9817	0,72		
	12	14%	-13462	11915	0,79	12		43%	-14241	5279	0,86		
	SM	ref	0%	-5362	11224	0,51							
1		2%	-4575	8182	0,57								
2		2%	-7056	15558	0,51								
4		9%	-5449	8008	0,50								
5		14%	-13353	14069	0,80								
8		6%	-7215	10131	0,66								
9		10%	-11388	14728	0,60								
10		10%	-8173	9199	0,79								
11		13%	-9481	11095	0,67								

Příloha 2 Závislosti E na Δm ; $y=ax + b$.

Borovice běl							
w	0 %	1 %	4 %	8 %	11 %	17 %	32 %
a	-236,48	-218,09	-222,14	-238,98	-170,52	-250,91	-213,82
b	12160,25	11907,71	12324,83	11848,21	9928,87	11230,12	9982,71
R ²	0,83	0,67	0,88	0,91	0,72	0,86	0,91
Borovice jádro							
w	0 %	1 %	4 %	8 %	11 %	17 %	32 %
a	-341,00	-379,92	-343,70	-333,16	-358,47	-339,03	-293,81
b	12562,40	13174,34	12287,35	11449,34	11237,95	11157,89	10342,21
R ²	0,37	0,43	0,38	0,40	0,43	0,44	0,44
Dub							
w	0	1 %	4 %	8 %	11 %	17 %	32 %
a	-92,52	-110,91	-70,38	-101,00	-108,01	-163,38	-114,15
b	14726,63	16355,47	15123,73	14131,27	12787,02	14047,06	12022,00
R ²	0,06	0,14	0,07	0,11	0,25	0,34	0,26
Smrk							
w	0	1 %	4 %	8 %	11 %	17 %	32 %
a	16,26	-11,44	-46,19	-29,77	-65,89	-68,92	-112,69
b	11057,87	12448,65	11535,30	10510,04	10077,09	10778,51	10039,71
R ²	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,06
Javor							
w	0	1 %	4 %	8 %	11 %	17 %	32 %
a	-247,19	-280,45	-216,25	-224,02	-178,46	-265,68	-265,17
b	12836,38	14196,60	11948,88	11576,02	9953,31	11867,91	11238,44
R ²	0,97	0,95	0,93	0,97	0,93	0,97	0,90
Buk							
w	0	1 %	4 %	8 %	11 %	17 %	32 %
a	-278,00	-302,36	-284,98	-250,67	-231,48	-238,22	-230,72
b	15245,07	16493,48	15544,52	13647,89	12455,81	12477,79	11508,76
R ²	0,80	0,85	0,85	0,85	0,89	0,86	0,93
Jilm							
w	0	1%	4%	8%	11%	17%	32%
a	-126,33	-77,90	-76,82	-47,40	-60,08	-31,53	-103,97
b	9714,25	9766,11	9228,50	7918,61	7513,66	7395,16	7792,70
R ²	0,73	0,33	0,31	0,17	0,31	0,07	0,77
Habr							
w	0	1 %	4 %	8 %	11 %	17 %	32 %
a	-203,96	-226,53	-272,59	-228,72	-211,29	-214,72	-214,04
b	14044,79	14974,52	16566,72	14000,19	12668,29	12822,53	12257,17
R ²	0,97	0,91	0,96	0,94	0,95	0,94	0,97

Příloha 3 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$, borovice-běl

w	0 %	0,47 %	3 %	8 %	12 %	18 %	33 %
	pod						
a	-27,78	-19,18	-22,56	-29,22	-17,04	-36,33	-34,50
b	5322,82	5136,06	5189,86	5278,37	4927,78	4935,74	4548,34
R ²	0,58	0,41	0,65	0,67	0,29	0,63	0,73
	rad1						
a	-22,61	-4,92	-25,62	-10,81	-9,92	-6,39	-16,02
b	1774,23	1428,42	1671,57	1731,50	1546,32	1418,57	1345,51
R ²	0,54	0,03	0,17	0,24	0,15	0,09	0,47
	rad3						
a	-22,71	-23,18	-19,75	-11,17	-10,07	-25,80	-24,68
b	1669,99	1587,39	1672,88	1637,05	1494,18	1616,80	1391,99
R ²	0,28	0,54	0,25	0,14	0,09	0,83	0,43
	rad5						
a	3,38	2,36	-9,45	7,66	-4,76	1,59	-4,03
b	1503,92	1392,10	1507,29	1485,09	1468,94	1312,21	1240,92
R ²	0,01	0,00	0,04	0,03	0,02	0,00	0,02
	tang1						
a	-36,27	-8,35	-13,07	-1,04	-13,68	1,44	-19,97
b	1813,75	1453,03	1634,10	1586,65	1597,36	1329,73	1370,40
R ²	0,78	0,07	0,25	0,00	0,15	0,01	0,55
	tang3						
a	-17,37	-3,15	-19,16	-15,51	-6,36	-9,08	-15,70
b	1639,60	1432,46	1642,00	1675,68	1541,69	1437,54	1340,19
R ²	0,35	0,04	0,38	0,19	0,11	0,28	0,47
	tang5						
a	-2,91	-14,42	-15,20	-9,81	-12,70	-6,18	-5,31
b	1181,05	1364,33	1259,72	1301,84	1274,62	1070,91	1025,83
R ²	0,01	0,10	0,14	0,05	0,10	0,04	0,02

Příloha 4 Závislost v na w , $y=ax+b$, borovice-běl

číslo vzorku	ref	3	5	6	7	8	9	10	11	12
Δm	0 %	36 %	16 %	11 %	15 %	2 %	4 %	6 %	18 %	16 %
pod										
a	-1452	-1690	-2750	-2871	-2696	-2219	-2432	-2467	-2585	-2646
b	4921	5114	4851	5124	4781	5089	5399	5148	5039	4828
R^2	0,42	0,50	0,91	0,98	0,91	0,90	0,92	0,94	0,94	0,93
rad1										
a	-258	-1047	-361	-931	-475	-1259	-539	-774	-1732	-409
b	1395	1509	1304	1498	1529	1734	1530	1635	1509	1320
R^2	0,04	0,46	0,01	0,42	0,06	0,78	0,12	0,23	0,73	0,09
rad3										
a	-244	-1485	-1372	-693	-530	-98	-457	-1104	-407	-1206
b	1422	1637	1344	1421	1496	1482	1573	1649	1038	1560
R^2	0,04	0,50	0,55	0,16	0,18	0,01	0,18	0,51	0,05	0,73
rad5										
a	-34	-738	-547	-1232	-1334	-811	-859	-370	-777	-916
b	1350	1499	1391	1602	1892	1686	1575	1055	1589	1231
R^2	0,00	0,23	0,12	0,93	0,73	0,49	0,34	0,29	0,36	0,47
tang1										
a	-108	-1547	-30	-1072	-1262	-900	-4	-969	-774	-740
b	1308	1663	1341	1523	1462	1640	1418	1614	1503	1283
R^2	0,03	0,64	0,00	0,62	0,70	0,19	0,00	0,34	0,33	0,12
tang3										
a	-343	-923	-531	-1284	-755	-756	-462	-564	-656	-1038
b	1399	1557	1432	1454	1363	1641	1458	1603	1361	1506
R^2	0,39	0,68	0,10	0,69	0,27	0,28	0,21	0,12	0,15	0,77
tang5										
a	-328	-770	-404	-395	-859	-756	-685	-972	-650	-392
b	1363	1288	1160	774	1345	1180	1456	1344	1365	739
R^2	0,80	0,23	0,10	0,96	0,83	0,73	0,79	0,79	0,63	0,88

Příloha 5 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$, borovice-jádro

w	0 %	1,21 %	4 %	8 %	10 %	16 %	31 %
pod							
a	-40,17	-56,30	-48,30	-50,33	-64,28	-59,29	-44,58
b	5191,28	5177,11	5058,25	5008,23	5110,87	4826,08	4520,36
R ²	0,16	0,28	0,20	0,24	0,31	0,37	0,26
rad1							
a	8,82	2,96	-9,39	1,18	6,32	18,39	9,24
b	1598,56	1571,38	1409,05	1483,03	1568,01	1405,88	1318,05
R ²	0,02	0,01	0,04	0,00	0,04	0,24	0,10
rad3							
a	21,61	21,44	-16,54	27,06	8,53	17,13	6,60
b	1566,26	1423,54	1477,25	1410,90	1594,10	1476,27	1408,77
R ²	0,12	0,15	0,07	0,30	0,06	0,25	0,02
rad5							
a	27,08	6,21	-13,67	-0,85	8,47	30,43	17,59
b	1436,77	1429,67	1464,60	1441,69	1537,38	1056,54	1222,36
R ²	0,45	0,02	0,08	0,00	0,05	0,05	0,18
tang1							
a	-3,39	-4,98	-2,04	-35,91	-10,45	-8,33	-11,36
b	1290,39	1227,92	1097,40	1291,62	1335,92	1160,08	1162,41
R ²	0,02	0,02	0,00	0,52	0,18	0,05	0,07
tang3							
a	-25,85	2,91	0,09	-17,17	-10,11	-2,31	-3,78
b	1345,48	1219,47	1098,54	1246,39	1323,07	1187,95	1202,74
R ²	0,47	0,01	0,00	0,14	0,15	0,02	0,05
tang5							
a	14,23	1,23	2,69	-1,00	-0,39	11,73	-9,93
b	1161,38	1195,66	1081,40	1152,77	1215,11	1098,05	1162,93
R ²	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	0,13	0,05

Příloha 6 Závislost v na w ; $y=ax+b$, borovice-jádro

číslo vzorku	ref	3	5	6	7	8	9	10	11	12
Δm	0 %	36 %	16 %	11 %	15 %	2 %	4 %	6 %	18 %	16 %
pod										
a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1206	2501	2549	1770	2286	1666	2528	2758	2707	1595
b	5137	5455	5193	4505	5471	4657	5389	4813	5344	4186
R^2	0,33	0,94	0,99	0,85	0,9	0,87	0,85	0,97	0,94	0,85
rad1										
a	-411	-	-279	-26	-86	-862	-928	-	-	-687
		1067						1230	1012	
b	117	1632	1584	1548	1294	1756	1566	1725	1564	1635
R^2	0,31	0,56	0,03	0	0,01	0,48	0,27	0,28	0,6	0,06
rad3										
a	-209	-223	242	-411	-640	-202	-521	-569	-538	-82
b	1218	1400	1568	1584	1502	1616	1550	1736	1530	1807
R^2	0,06	0,02	0,01	0,04	0,08	0,4	0,1	0,27	0,13	0
rad5										
a	-906	83	-734	-445	-	-	-	-125	-	273
					1187	1019	1989		2362	
b	1196	1339	1736	1555	1586	1507	1417	1493	1415	1487
R^2	0,8	0	0,43	0,13	0,68	0,36	0,16	0	0,23	0,05
tang1										
a	-52	-369	-414	-221	-270	185	-361	-958	-534	-235
b	529	1333	1315	1153	1172	1241	1370	976	1367	1188
R^2	0	0,46	0,47	0,03	0,03	0,14	0,17	0,23	0,37	0,08
tang3										
a	217	-690	-479	486	-196	923	-510	-293	12	165
b	120	1379	1340	1039	1351	983	1380	1168	1223	1252
R^2	0,03	0,76	0,58	0,14	0,06	0,22	0,22	0,36	0	0,02
tang5										
a	-55	310	-339	-811	-207	-109	-506	2	409	-334
b	777	1103	1343	1173	1282	830	1365	1004	1172	1311
R^2	0	0,19	0,34	0,53	0,04	0,11	0,2	0	0,14	0,21

Příloha 7 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$; smrk

w	0%	1%	4%	9%	12%	18%	32%
pod							
a	31,66	28,73	25,00	24,17	12,75	14,98	-3,08
b	5136,52	5118,53	4964,24	4962,14	4973,86	4810,55	4548,26
R ²	0,17	0,14	0,10	0,12	0,03	0,05	0,002
rad1							
a	-10,08	-7,94	-16,25	-7,92	-12,35	-18,18	-20,59
b	1404,44	1417,09	1252,77	1314,62	1343,24	1380,74	1280,15
R ²	0,25	0,10	0,16	0,09	0,27	0,69	0,50
rad3							
a	-4,09	21,23	-13,79	8,18	-2,40	-7,91	-14,59
b	1441,79	1217,39	1316,87	1238,31	1258,61	1304,95	1312,10
R ²	0,03	0,55	0,09	0,06	0,01	0,25	0,30
rad5							
a	5,12	-10,55	-18,30	-9,84	-14,60	15,53	-16,00
b	1344,46	1396,65	1202,77	1410,71	1392,83	933,44	1259,02
R ²	0,07	0,11	0,14	0,18	0,35	0,06	0,44
tang1							
a	-3,39	-4,98	-2,04	-35,91	-10,45	-8,33	-11,36
b	1290,39	1227,92	1097,40	1291,62	1335,92	1160,08	1162,41
R ²	0,02	0,02	0,00	0,52	0,18	0,05	0,07
tang3							
a	5,62	18,02	44,91	15,17	12,70	-5,16	-10,27
b	1151,17	1024,07	904,23	963,44	956,56	1108,92	1078,55
R ²	0,08	0,29	0,18	0,29	0,19	0,15	0,25
tang5							
a	-9,02	-2,68	20,18	-7,21	1,65	-15,02	-15,02
b	1153,61	1101,35	930,97	1099,33	973,79	1114,17	1130,64
R ²	0,07	0,01	0,17	0,05	0,00	0,23	0,27

Příloha 8 Závislost v na w ; $y=ax+b$; smrk

	ref	1	2	4	5	8	9	10	11
Δm	0 %	2 %	2 %	9 %	14 %	6 %	10 %	16 %	13 %
pod									
a	-1728	-1874	-1896	-2245	-3533	-2621	-2857	-3175	-3125
b	4878	4784	5789	4747	5870	5545	5922	5431	5337
R^2	0,77	0,94	0,97	0,95	1,00	0,98	0,97	0,90	0,98
rad1									
a	122	-195	-541	-254	-7	-1062	-657	-1136	-914
b	1199	1407	1384	1350	1097	1427	1288	1266	1185
R^2	0,03	0,01	0,33	0,03	0,00	0,74	0,88	0,78	0,91
rad3									
a	183	655	-991	-213	-331	-872	-1101	-1088	-1125
b	1233	1229	1448	1411	1269	1290	1393	1310	1499
R^2	0,02	0,22	0,74	0,02	0,01	0,78	0,38	0,45	0,61
rad5									
a	-18	-1250	-620	-421	218	-636	-678	-1183	-1006
b	1269	1219	1386	1313	923	1428	1360	1293	1403
R^2	0,00	0,10	0,19	0,09	0,01	0,22	0,16	0,61	0,86
tang1									
a	877	-108	-717	-857	-1720	-643	-827	-625	-980
b	835	827	1309	1337	1423	1166	1131	1095	1189
R^2	0,59	0,19	0,76	0,86	0,19	0,86	0,89	0,80	0,95
tang3									
a	780	229	-638	-616	-2327	-1271	-642	-1140	-662
b	836	938	1275	1270	1653	1237	1182	1147	1240
R^2	0,51	0,03	0,81	0,20	0,15	0,85	0,52	0,95	0,44
tang5									
a	1140	164	-821	-320	-402	-886	-403	-991	-122
b	811	961	1202	1209	833	1267	1200	1058	1109
R^2	0,62	0,02	0,95	0,11	0,01	0,80	0,22	0,66	0,02

Příloha 9 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$; dub

w	0	2%	4%	8%	10%	14%	28%
pod							
a	10,74	6,31	11,28	7,49	2,26	-7,61	-0,57
b	4395,98	4455,94	4363,75	4321,76	4216,73	4200,54	3776,01
R ²	0,04	0,03	0,08	0,03	0,01	0,04	0,00
rad1							
a	17,41	-12,76	6,41	-17,62	6,01	-14,79	-0,69
b	1252,37	1510,81	1309,58	1416,95	1324,35	1529,71	1166,74
R ²	0,14	0,22	0,03	0,42	0,10	0,35	0,00
rad3							
a	20,45	-1,45	2,93	0,14	-2,77	-3,25	-3,54
b	1186,27	1456,27	1385,12	1363,86	1445,39	1483,83	1302,15
R ²	0,17	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02
rad5							
a	17,53	-1,48	9,70	6,84	3,04	3,50	-5,32
b	1223,56	1492,03	1294,72	1313,18	1392,70	1489,79	1318,20
R ²	0,20	0,00	0,11	0,06	0,02	0,02	0,05
tang1							
a	0,12	-8,10	-7,14	-8,30	-9,59	-14,57	-17,49
b	1099,05	1164,59	1124,97	1130,08	1132,42	1156,69	1112,78
R ²	0,00	0,04	0,04	0,04	0,07	0,13	0,23
tang3							
a	2,12	-8,36	-6,07	-3,26	-3,02	-10,35	-7,12
b	1266,88	1359,00	1274,49	1253,32	1313,42	1341,93	1236,61
R ²	0,01	0,20	0,17	0,12	0,03	0,52	0,21
tang5							
a	1,61	-11,43	-14,42	-9,55	-15,86	-15,93	-9,98
b	1206,82	1299,31	1267,52	1303,43	1301,34	1332,74	1208,55
R ²	0,00	0,13	0,20	0,16	0,19	0,19	0,14

Příloha 10 Závislost v na w; $y=ax+b$; dub

	ref	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Δm	0%	1%	21%	3%	8%	3%	0%	1%	5%	7%	14%
	pod										
a	- 1576	- 2147	- 2549	- 2306	- 1956	- 2735	- 2572	- 1242	- 3920	- 3975	- 3494
b	4164	4585	4587	4192	4474	4464	4558	4258	5054	5001	4358
R^2	0,76	0,92	0,90	0,93	0,65	0,95	0,97	0,57	0,94	0,92	0,93
	rad1										
a	575	- 1432	- 1528	- 1064	1361	- 1424	- 1091	495	- 1385	- 1038	-784
b	1300	1653	1609	1418	1207	1534	1456	1288	1475	1344	1209
R^2	0,05	0,65	0,22	0,52	0,31	0,76	0,34	0,06	0,58	0,66	0,21
	rad3										
a	1403	610	- 1092	-553	191	- 1617	-396	414	-500	- 1140	227
b	1220	1373	1566	1490	1211	1624	1358	1343	1500	1391	1649
R^2	0,26	0,11	0,64	0,05	0,00	0,51	0,08	0,03	0,12	0,36	0,00
	rad5										
a	1300	-108	- 1648	-453	668	- 1294	-891	704	-853	213	151
b	1004	1458	1620	1669	1295	1508	1463	1342	1463	1210	1687
R^2	0,46	0,01	0,70	0,15	0,09	0,63	0,18	0,07	0,52	0,10	0,00
	tang1										
a	576	658	- 1153	-908	-32	-616	-999	339	-252	-507	-727
b	1284	654	1205	1349	1150	1254	1229	1312	798	1143	819
R^2	0,21	0,36	0,83	0,65	0,00	0,88	0,54	0,13	0,06	0,65	0,87
	tang3										
a	-627	-189	- 1188	-472	232	-482	-334	543	-398	-568	472
b	1376	1319	1387	1306	1133	1316	1404	1257	1273	1276	1126
R^2	0,17	0,16	0,73	0,48	0,10	0,25	0,07	0,24	0,19	0,49	0,60
	tang5										
a	392	267	-562	-418	106	-385	-453	180	-760	-593	17
b	1495	1155	1225	1307	728	1322	1360	1248	1248	1213	1236
R^2	0,05	0,51	0,22	0,23	0,01	0,34	0,21	0,04	0,68	0,67	0,00

Příloha 11 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$; javor

w	0%	1%	4%	8%	11%	18%	32%
pod							
a	-27,39	-27,71	-19,61	-24,15	-22,01	-32,63	-41,58
b	4917,57	4883,85	4556,88	4636,85	4461,25	4471,07	4354,16
R ²	0,71	0,64	0,42	0,58	0,60	0,65	0,64
rad1							
a	-26,27	-32,88	-15,74	-23,46	-21,71	-27,82	-23,70
b	1613,32	1653,78	1287,15	1464,77	1330,88	1444,84	1347,66
R ²	0,46	0,68	0,24	0,35	0,34	0,60	0,53
rad3							
a	-14,53	-7,23	-1,13	-26,42	-15,92	-8,64	-18,21
b	1700,87	1591,62	1151,64	1806,37	1628,59	1411,66	1561,69
R ²	0,31	0,09	0,01	0,75	0,41	0,19	0,65
rad5							
a	2,89	-8,88	0,83	-8,39	-6,73	-17,52	-18,85
b	1478,94	1642,03	1226,88	1472,66	1571,79	1624,51	1529,22
R ²	0,01	0,09	0,00	0,17	0,11	0,67	0,48
tang1							
a	-28,81	-24,36	-21,58	-24,56	-21,20	-22,45	-28,43
b	1363,29	1318,46	1133,51	1209,31	1143,98	1163,63	1235,22
R ²	0,88	0,78	0,87	0,90	0,84	0,78	0,91
tang3							
a	-9,09	-10,16	-8,65	-7,84	-8,88	-6,89	-11,76
b	1353,97	1332,23	1163,98	1260,65	1216,81	1170,54	1251,37
R ²	0,35	0,64	0,30	0,47	0,57	0,43	0,67
tang5							
a	-1,01	-3,97	-3,00	0,85	-2,34	1,42	-1,13
b	1304,96	1297,08	1144,10	1142,56	1161,65	1099,92	1052,14
R ²	0,01	0,09	0,05	0,00	0,06	0,03	0,00

Příloha 12 Závislost v na w; $y=ax+b$; javor

	ref	2	3	5	7	8	9	11
Δm	0 %	12 %	22 %	27 %	9 %	6 %	21 %	20 %
	pod							
a	-1848,81	-2568,69	-3354,04	-3057,40	-2248,05	-2107,73	-2284,71	-2602,00
b	4522,30	4599,63	4041,70	4080,63	4678,92	4851,23	4434,94	4437,46
R ²	0,75	0,94	0,98	0,94	0,69	0,78	0,97	0,93
	rad1							
a	-956,63	-673,04	-1077,50	-219,53	-321,55	-344,46	-389,44	-831,69
b	1346,67	1215,02	1148,55	449,90	1307,21	1407,76	855,12	1464,95
R ²	0,48	0,14	0,55	0,76	0,10	0,05	0,09	0,43
	rad3							
a	-52,18	-873,33	-1161,57	-350,50	-82,30	70,57	-191,74	-545,70
b	1436,86	1535,67	1577,60	1032,45	1579,08	1410,20	1114,10	1497,71
R ²	0,00	0,26	0,57	0,18	0,00	0,00	0,10	0,23
	rad5							
a	-663,34	-129,35	-1660,03	-291,45	-509,06	488,99	-720,02	-2241,86
b	1602,31	1425,91	1637,21	1288,84	1501,61	1373,12	1171,78	1720,02
R ²	0,17	0,01	0,68	0,09	0,08	0,11	0,28	0,80
	tang1							
a	-412,56	-259,09	-395,57	-599,84	-791,61	-167,62	-276,82	-264,59
b	1238,04	888,33	607,63	679,63	1116,85	1137,70	652,52	890,35
R ²	0,28	0,10	0,95	0,53	0,37	0,04	0,88	0,07
	tang3							
a	-373,55	-208,38	-6,33	-628,77	-370,72	-279,62	-558,95	-251,21
b	1243,89	1250,66	881,77	1127,43	1223,23	1227,03	1131,13	1121,27
R ²	0,28	0,10	0,00	0,56	0,24	0,09	0,44	0,15
	tang5							
a	-1041,97	-501,04	-766,14	-202,81	-779,84	-393,35	-994,39	-625,21
b	1242,90	1232,57	1190,81	1324,19	1211,87	1331,16	1198,07	1022,79
R ²	0,77	0,37	0,44	0,08	0,27	0,31	0,79	0,72

Příloha 13 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$; buk

w	0%	1%	4%	8%	11%	17%	32%
pod							
a	-30,71	-31,13	-29,64	-29,21	-30,95	-32,54	-37,01
b	4948,77	4903,99	4828,24	4697,51	4618,35	4414,70	4226,17
R ²	0,56	0,58	0,53	0,60	0,66	0,71	0,85
rad1							
a	-6,63	-4,97	0,04	1,93	-10,07	-7,12	-7,99
b	1590,53	1469,69	1384,70	1383,59	1510,96	1360,87	1351,59
R ²	0,11	0,09	0,00	0,01	0,13	0,15	0,14
rad3							
a	-9,11	-12,26	-11,77	-5,07	-17,03	-10,04	-10,52
b	1587,47	1598,40	1548,65	1465,21	1623,31	1377,85	1372,85
R ²	0,31	0,28	0,52	0,10	0,66	0,29	0,26
rad5							
a	0,42	-3,65	6,41	2,43	-4,12	-6,78	-2,92
b	1515,51	1473,91	1298,65	1380,80	1463,33	1407,70	1327,85
R ²	0,00	0,05	0,21	0,09	0,09	0,33	0,06
tang1							
a	-27,33	-22,29	-21,33	-23,75	-21,69	-24,15	-27,39
b	1411,18	1359,19	1225,27	1303,65	1217,75	1229,67	1244,19
R ²	0,91	0,89	0,88	0,88	0,92	0,84	0,75
tang3							
a	-27,23	-27,85	-23,71	-23,65	-25,12	-22,58	-27,83
b	1469,51	1470,43	1351,34	1353,92	1361,27	1269,21	1365,36
R ²	0,86	0,90	0,89	0,85	0,91	0,86	0,89
tang5							
a	-17,35	-15,49	-12,65	-14,77	-15,49	-14,15	-14,93
b	1487,45	1399,00	1260,69	1348,45	1315,33	1283,87	1379,75
R ²	0,70	0,63	0,43	0,60	0,56	0,64	0,72

Příloha 14 Závislost v na w; $y=ax+b$; buk

	ref	3	4	6	8	9	10	11	12
Δm	0%	8%	12%	42%	6%	14%	26%	27%	26%
pod									
a	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1656,3	2419,5	1624,3	2603,3	2877,2	3895,2	3072,9	3353,1	3018,7
b	4372,4	4902,4	4152,7	3196,2	4946,6	4825,3	4437,3	4457,6	4178,8
R ²	0,87	0,95	0,88	0,98	0,98	0,92	0,99	0,98	0,96
rad1									
a	-363,3	-687,6	-889,8	-	-409,6	-910,4	-	-882,9	-736,6
				1079,4			1079,4		
b	1424,0	1439,0	1546,8	1168,1	1433,7	1383,6	1283,1	2045,0	1142,3
R ²	0,04	0,74	0,61	0,58	0,17	0,36	0,74	0,24	0,59
rad3									
a	-152,0	-688,1	-383,5	-278,1	-	-787,1	-	-490,7	-
					1382,7		1347,5		1322,6
b	1502,0	1476,1	1631,0	1345,8	1703,6	1440,7	1283,7	946,2	1246,4
R ²	0,08	0,23	0,17	0,04	0,89	0,46	0,63	0,58	0,56
rad5									
a	215,1	-583,8	-984,4	-974,2	-698,5	-536,5	-397,5	-393,1	-
									1672,1
b	1340,3	1493,2	1639,3	1483,1	1428,8	1454,3	1393,9	1409,6	1489,5
R ²	0,06	0,21	0,55	0,26	0,11	0,09	0,21	0,13	0,53
tang1									
a	90,1	-677,4	-103,9	-305,2	-634,7	-705,2	-354,9	-633,5	-
									1783,9
b	1396,4	1119,2	1042,7	423,4	1282,1	853,6	692,7	725,3	712,7
R ²	0,01	0,86	0,03	0,75	0,64	0,61	0,58	0,78	0,63
tang3									
a	-218,9	-451,1	-339,0	-296,1	-309,3	-493,9	-338,5	-366,0	-482,4
b	1352,2	1298,6	1199,5	511,4	1287,3	1161,6	559,5	649,6	644,0
R ²	0,17	0,33	0,19	0,56	0,19	0,91	0,82	0,77	0,94
tang5									
a	-3,3	-104,2	-270,0	163,9	-26,4	-245,0	414,6	-460,8	-433,1
b	1354,4	1084,3	1311,9	582,8	1217,7	1244,6	819,3	1318,9	947,0
R ²	0,00	0,01	0,14	0,10	0,00	0,06	0,41	0,78	0,37

Příloha 15 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$; olše

w	0	1%	4%	8%	11%	17%	32%
pod							
a	-15,26	-12,01	-12,92	-6,87	-11,20	-4,93	-26,69
b	4450,72	4540,42	4506,47	4331,97	4292,65	4105,17	4112,83
R ²	0,31	0,27	0,25	0,08	0,21	0,03	0,80
rad1							
a	-6,87	-26,70	-19,83	-22,53	-26,16	-26,34	-28,84
b	1244,31	1714,70	1420,11	1521,98	1583,05	1586,33	1512,48
R ²	0,09	0,79	0,45	0,57	0,70	0,77	0,77
rad3							
a	-8,63	-26,64	-21,45	-29,22	-33,81	-27,88	-35,40
b	1392,49	1730,86	1453,87	1751,35	1796,18	1635,39	1667,53
R ²	0,05	0,43	0,44	0,50	0,61	0,52	0,68
rad5							
a	5,73	3,16	2,16	-1,41	-9,95	5,42	4,67
b	1303,43	1387,51	1379,65	1531,39	1668,86	1348,33	1328,32
R ²	0,03	0,05	0,03	0,01	0,49	0,19	0,40
tang1							
a	-16,39	-18,75	-17,64	-15,09	-13,72	-16,23	-19,05
b	1006,82	1073,60	1040,12	974,79	909,70	971,06	924,10
R ²	0,84	0,89	0,91	0,89	0,80	0,90	0,80
tang3							
a	-17,10	-19,85	-19,64	-16,57	-18,58	-19,67	-20,84
b	1148,43	1238,58	1218,03	1152,88	1159,01	1166,87	1129,04
R ²	0,44	0,76	0,76	0,60	0,79	0,84	0,83
tang5							
a	1,10	1,49	1,60	1,29	-0,10	2,24	4,30
b	1005,57	1023,42	998,82	964,68	977,37	976,23	961,09
R ²	0,01	0,05	0,11	0,04	0,00	0,12	0,44

Příloha 16 Závislost v na w; $y=ax+b$; olše

	ref	3	4	5	6	8	10
Δm	0%	8%	12%	24%	29%	15%	34%
	pod						
a	-800,39	-2310,81	-2652,05	-2574,38	-1802,76	-1972,85	-2468,67
b	4366,57	4406,93	4389,25	4717,72	4226,23	4321,41	3830,77
R ²	0,26	0,93	0,94	0,76	0,21	0,91	0,99
	rad1						
a	968,10	-562,20	-111,74	-921,57	-1321,29	-409,56	-403,21
b	1255,63	1399,24	1565,49	1099,30	780,56	1195,59	861,18
R ²	0,16	0,70	0,02	0,21	0,29	0,06	0,65
	rad3						
a	739,23	-967,55	798,66	-618,87	-1191,04	-35,39	-1631,32
b	1341,88	1720,41	1580,55	650,81	663,81	1332,58	1302,38
R ²	0,08	0,79	0,08	0,75	0,28	0,00	0,83
	rad5						
a	699,49	-691,07	-1013,39	1455,66	-177,38	-263,13	-255,31
b	1225,32	1530,64	1770,88	1102,79	1546,72	1472,76	1493,10
R ²	0,13	0,12	0,20	0,74	0,03	0,08	0,10
	tang1						
a	98,16	-384,23	-1106,39	-462,77	-392,94	-511,65	-315,54
b	1005,42	935,13	906,63	666,49	490,10	685,45	506,24
R ²	0,02	0,23	0,80	0,58	0,47	0,75	0,86
	tang3						
a	161,50	-348,02	-914,57	-321,76	-59,83	-294,52	-631,65
b	1001,65	1143,10	1189,97	619,91	478,25	1039,00	700,35
R ²	0,03	0,50	0,93	0,53	0,03	0,41	0,92
	tang5						
a	284,07	-173,41	-231,09	83,43	638,38	-227,76	-177,37
b	967,68	1081,79	1040,84	1047,45	931,33	932,04	1101,59
R ²	0,21	0,09	0,06	0,03	0,46	0,17	0,09

Příloha 17 Závislost v na Δm ; $y=ax+b$; $habr$

w	0%	1%	4%	8%	11%	17%	32%
pod							
a	-6,10	-14,98	-13,58	-12,44	-14,33	-16,05	-11,46
b	2901,54	2817,78	3127,40	2973,33	3009,14	2840,76	2684,35
R ²	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02
rad1							
a	5,85	-1,87	-5,78	-2,44	-7,19	-2,24	-6,20
b	1066,46	1254,26	1471,30	1158,93	1375,00	1166,09	1141,98
R ²	0,34	0,03	0,26	0,16	0,18	0,03	0,35
rad3							
a	0,56	-2,57	-5,46	-11,68	-14,18	-15,27	-10,64
b	957,88	950,58	1082,63	1282,90	1251,06	1336,09	1260,23
R ²	0,00	0,02	0,06	0,18	0,38	0,42	0,30
rad5							
a	1,99	-7,59	-1,55	-2,60	0,19	-1,36	-0,86
b	905,43	1341,82	1348,90	1285,39	1172,62	1225,83	1277,30
R ²	0,02	0,16	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
tang1							
a	56,52	67,79	65,29	66,65	63,39	56,57	51,91
b	667,86	883,85	957,98	761,93	935,83	925,40	992,18
R ²	0,26	0,43	0,37	0,37	0,42	0,38	0,38
tang3							
a	8,75	5,10	1,98	3,02	5,10	3,79	-0,27
b	1044,21	1184,88	1311,91	1170,25	1019,17	1091,52	1152,90
R ²	0,08	0,02	0,00	0,01	0,04	0,02	0,00
tang5							
a	-5,93	-9,31	-15,01	-9,66	-19,62	-13,25	-1,90
b	945,35	1114,24	1249,44	1090,38	1322,44	1126,80	660,81
R ²	0,08	0,11	0,29	0,15	0,44	0,23	0,00

Příloha 18 Závislost v na w; $y=ax+b$; *habr*

Δm	0%	19%	29%	33%	8%	21%	43%
pod							
a	-15,10	-22,91	-22,34	-19,75	-18,37	-21,94	-74,93
b	4693,25	4242,88	4082,95	3613,32	4551,40	3954,65	3616,62
R ²	0,50	0,85	0,94	0,83	0,79	0,97	0,84
rad1							
a	4,65	-14,58	-7,80	1,66	7,23	-1,03	-27,01
b	1315,06	1525,79	1335,90	1131,10	1299,70	1257,60	1300,33
R ²	0,04	0,57	0,64	0,05	0,12	0,05	0,51
rad3							
a	13,29	-5,95	-9,39	-5,79	1,81	-12,34	-2,92
b	1145,49	1515,63	1220,15	1262,20	1571,24	1525,45	1134,20
R ²	0,32	0,18	0,60	0,28	0,00	0,49	0,08
rad5							
a	7,62	-5,17	-6,60	-5,60	1,07	-13,11	-0,84
b	1307,35	1480,64	1256,25	1344,86	1377,09	1642,73	1328,57
R ²	0,10	0,08	0,35	0,10	0,00	0,82	0,00
tang1							
a	8,11	0,53	-4,54	-3,73	0,93	-5,29	-3,07
b	633,13	1043,78	613,83	677,89	1171,92	835,78	580,21
R ²	0,64	0,00	0,82	0,49	0,02	0,88	0,77
tang3							
a	4,26	0,36	-4,64	5,58	6,49	-3,71	-6,36
b	1250,97	897,83	603,83	670,93	1035,63	1154,10	546,56
R ²	0,10	0,00	0,93	0,61	0,76	0,59	0,83
tang5							
a	0,57	-0,36	-6,52	1,21	0,30	-0,16	-3,09
b	1338,18	600,95	1125,32	503,32	636,01	579,32	507,93
R ²	0,00	0,00	0,61	0,42	0,01	0,00	0,37