

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

Dielektrické vlastnosti dřevní štěrky v závislosti na její vlhkosti a mezerovitosti

Katedra zemědělských strojů

Disertační práce

Ing. VÁCLAV KŘEPČÍK

2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci na téma „Dielektrické vlastnosti dřevní štěrky v závislosti na její vlhkosti a mezerovitosti“ vypracoval samostatně pod vedením školitele prof. Dr. Ing. Františka Kumhály a s použitím literatury, která je citována a uvedena v příslušné bibliografii. Tištěná a elektronická verze práce se doslovně shodují.

JMÉNO A PŘÍJMENÍ: Ing. Václav Křepčík

PODPIS:

DATUM: 05. 05. 2019

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli prof. Dr. Ing. Františkovi Kumhálovi za odborné vedení a cenné informace při vypracování této disertační práce a všech náležitostech s níž souvisejících. Poděkování za vedení při vypracování této disertační práce patří rovněž Ing. Jakobovi Lvovi, Ph. D., který mi během vypracování poskytl cenné vědecké informace. Dále bych chtěl poděkovat své přítelkyni MVDr. Marcele Kubíčkové, bez jejíž pomoci a podpory by tato disertační práce nemohla vzniknout a neméně cennou podporu mi poskytla celá má rodina, která mi pomohla ve složitých životních situacích, abych mohl tuto práci úspěšně dokončit.

Abstrakt

Dřevní štěpka je obnovitelným zdrojem energie, který má velký potenciál jako palivo v teplárnách pro výrobu tepelné energie. Nejdůležitější vlastností dřevní štěpky při spalování je obsah vlhkosti, která zásadním způsobem ovlivňuje proces hoření. V této disertační práci je řešena problematika určování vlhkostí dřevní štěpky na základě dielektrických vlastností. Měření probíhalo ve frekvenčním pásmu od 10 kHz do 5 MHz a byla určována souvislost dielektrických vlastností dřevní štěpky s vlhkostí a frakčním složením. Měření vzorků štěpky se provádělo při podílech vlhkosti v rozmezí od 55 % do 0 %. Vzorky štěpky byly uměle vysušeny v horkovzdušné peci při teplotě 105 °C. Vlhkost vzorků byla snižována přibližně po deseti gramech odsušené vody. Homogenizované vzorky byly podrobeny měření dielektrických vlastností, hmotnosti a objemu. Objem dřevní štěpky byl měřen pomocí metody dislokace plynu, tato metoda vychází z Boyle-Mariottova zákona. Sítová analýza byla provedena jednou při minimální vlhkosti materiálu. Přesná vlhkost byla určována pomocí gravimetrické metody (EN 14774-1). Ve výzkumu byly proměřeny tři vzorky reálné dřevní štěpky. Měření dielektrických vlastností bylo prováděno pomocí měřícího kondenzátoru a přesného LCR metru 8110G GW Instek. Z výsledků disertační práce bylo zjištěno, že lze na základě dielektrických parametrů (kapacita a ztrátový faktor) dřevní štěpky predikovat její vlhkost i frakční složení s koeficientem determinace $R^2 = 0,98$ resp. $R^2 = 0,99$.

Klíčová slova: dřevní štěpka, obsah vlhkosti, dielektrické vlastnosti, Boyle-Mariottův zákon

Abstract

The wooden chip is renewable resource of energy which has big potential for using like fuel in heating plants for produce of thermal energy. The moisture content is the most important properties of wooden chip during combustion. The moisture content of wooden chip influence process of the combustion in boiler. In this dissertation, there is solved problematics of moisture content of wooden chip by dielectric properties. The measurement was in frequency range from 10 kHz to 5 MHz and there was determined context with the moisture content and fractional composition. The measurement samples of the wooden chip had moisture content between 55% and 0%. The samples were dried in hot air oven and temperature during drying was 105°C. The moisture content was always decreases approximately ten grams of water. The samples were homogenized and there was determined dielectric properties, weight and volume. The volume of the samples was determined by gas displacement method, this method is from Boyle-Mariotte law. The screening analysis will be carried out once per sample, at the moment the moisture content is minimal. The exact moisture content was determined by gravimetric method (EN 14774-1). In this dissertation, there were measured three samples of real wooden chips. Measurement of the dielectric properties were done by using a capacitor and a precise 8110G GW Instek LCR meter. The results of measurement shows that there were interdependence between the dielectric properties (capacity and loss factor) and moisture content and fractional composition with coefficient of determination $R^2 = 0,98$ respectively $R^2 = 0,99$.

Key words: wooden chips, moisture content, dielectric properties, Boyle-Mariotte law

Obsah

Prohlášení	i
Poděkování	ii
Abstrakt	iii
Abstract.....	iv
Obsah	v
Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	xi
Seznam zkratk	xiii
Seznam značek	xiv
Úvod	1
1 Přehled o současném stavu poznání.....	2
1.1 Měření vlhkosti rostlinných materiálů	2
1.2 Měření vlastností rostlinných materiálů kapacitními čidly	6
1.2.1. Dielektrické vlastnosti materiálů	6
1.2.2. Dielektrické vlastnosti dřeva	7
1.2.3. Využití kapacitních čidel pro měření vlastností rostlinných materiálů	8
1.3 Využití kapacitní tomografie	17
1.4 Měření objemu partikulárních částic	21
1.4.1. Metoda dislokace kapaliny	21
1.4.2. Metoda dislokace plynu	22
1.4.3. Metoda dislokace pevných částic	23
1.5 Závěry ze současného stavu vědění.....	25
2 Cíle disertační práce	26
3 Materiály a metody	27
3.1 Aparatura pro měření objemu partikulárních částic	27
3.2 Aparatura pro měření dielektrických vlastností dřevní štěpky.....	30
3.3 Kalibrace aparatury pro měření objemu partikulárních částic pomocí částic se známým objemem	31

3.4	Kalibrace aparatury pro měření objemu partikulárních částic pomocí čisté dřevní štěpky.....	33
3.5	Metodika měření reálné dřevní štěpky	37
4	Výsledky	41
4.1	Výsledky kalibrace prázdné aparatury pro měření objemu partikulárních částic	41
4.2	Výsledky kalibrace aparatury pro měření objemu partikulárních částic pomocí částic známého objemu.....	44
4.3	Výsledky měření dielektrických vlastností a objemu čisté dřevní štěpky.....	47
4.4	Výsledky měření dielektrických vlastností a objemu reálné dřevní štěpky	59
5	Diskuse	71
6	Závěry a doporučení pro využití poznatků v praxi.....	74
7	Seznam použité literatury	76
8	Přílohy	81
8.1	Příloha A: Tabulky hmotností a rozměrů vzorků borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>), při různém podílu vlhkosti.....	81
8.2	Příloha B: Tabulky hmotností a rozměrů vzorků buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>), při různém podílu vlhkosti.....	99
8.3	Příloha C: Tabulky hmotností a rozměrů vzorků dub letní (<i>Quercus robur</i>), při různém podílu vlhkosti.....	117

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Vývoj dielektrické konstanty u jedlového dřeva, při uspořádání vláken vodorovně, při různých frekvencích a různém podílu vlhkosti (RV – Podíl Vlhkosti).....	7
Obr. 1.2: Pásový dopravník vybavený kapacitním senzorem	9
Obr. 1.3: Porovnání vypočtených (a) a naměřených kapacit pro proud jednotlivých částic (PJČ)a souvislou vrstvou (SV).....	10
Obr. 1.5: S-křivka odvozená na základě závislosti výstupního napětí snímače a obsahu vlhkosti materiálu určená na laboratorním kondenzátoru. Kapacitní oscilační obvod běžel na 27 MHz.....	12
Obr. 1.6: Závislost výstupního napětí kapacitního senzoru na vlhkosti vzorků z balsového dřeva	13
Obr. 1.7: Schéma laboratorního kondenzátoru	13
Obr. 1.8: Závislost relativní změny napětí v elektrickém okruhu na naměřeném podílu vlhkosti materiálu: (a) při zaplnění senzoru 91,7 %; (b) při zaplnění senzoru 83,3 %. Při frekvencích 100 kHz, 500 kHz a 1 MHz.....	15
Obr. 1.9 - Závislost relativní změny napětí v elektrickém okruhu na naměřeném podílu vlhkosti materiálu: (c) při zaplnění senzoru 75 %; (d) při zaplnění senzoru 50 %. Při frekvencích 100 kHz, 500 kHz a 1 MHz	16
Obr. 1.10: Závislost relativní změny napětí v elektrickém okruhu na naměřeném podílu vlhkosti materiálu: (e) při zaplnění senzoru 25 %. Při frekvencích 100 kHz, 500 kHz a 1 MHz	17
Obr. 1.11: Kruhový kapacitní tomograf	18
Obr. 1.12: Distribuce elektrického pole u 12-ti elektrodového kapacitního tomografu.....	19
Obr. 1.13: Jednoduchý čtvercový kapacitní tomograf.....	19
Obr. 1.14: Čtvercový kapacitní tomograf s vnitřními elektrodami	20
Obr. 1.15: Pyknometr – specifická gravitační metoda	21
Obr. 3.1: Aparatura pro měření objemu partikulárních částic	27
Obr.3.2: Aparatura pro měření objemu partikulárních částic	28

Obr. 3.3: Schéma propojovacího vedení mezi měřicí a porovnávací komorou u měřicí aparatury pro měření objemu partikulárních částic.....	29
Obr. 3.4: Měřicí aparatura pro měření dielektrických vlastností dřevní štěpky	30
Obr. 3.5: Typy dřeva zvolené pro kalibraci měřicí aparatury k měření objemu partikulárních částic	31
Obr. 3.6: Vibrační síťový analyzátor a síta o velikosti ok 5 mm a 3,15 mm	33
Obr. 3.7: Frakce čisté kalibrační štěpky	35
Obr. 3.8: Frakce reálné dřevní štěpky	37
Obr. 3.9: Frakce reálné dřevní štěpky v měřicí komoře aparatury pro měření objemu partikulárních částic.....	39
Obr. 3.10: Aparatura pro měření dielektrických vlastností zaplněná reálnou štěpkou a elektrody připojené k LCR metru 8110G GW Instek	40
Obr. 4.1: Výsledky kalibrace prázdné měřicí aparatury pro měření objemu partikulárních částic	41
Obr. 4.2: Výsledky kalibrace měřicí aparatury při vložení tělesa o známém objemu V_{Ta}	42
Obr. 4.3: Výsledky kalibrace měřicí aparatury při vložení tělesa o známém objemu V_{Tb}	43
Obr. 4.4: Výsledky měření objemu kostek borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>).....	45
Obr. 4.5: Výsledky měření objemu kostek Buk Lesní (<i>Fagus sylvatica</i>).....	46
Obr. 4.6: Výsledky měření objemu kostek dub letní (<i>Quercus robur</i>)	46
Obr. 4.7: Výsledky naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x < 3,15$ mm	47
Obr. 4.8: Výsledky naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x < 3,15$ mm	48
Obr. 4.9: Procentuální vyjádření naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x < 3,15$ mm	49
Obr. 4.10: Výsledky naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $3,15$ mm $< x < 5$ mm	50

Obr. 4.11: Výsledky naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $3,15 \text{ mm} < x < 5 \text{ mm}$	51
Obr. 4.12: Procentuální vyjádření naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $3,15 \text{ mm} < x < 5 \text{ mm}$	52
Obr. 4.13: Výsledky naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x > 5 \text{ mm}$	53
Obr. 4.14: Výsledky naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x > 5 \text{ mm}$	54
Obr. 4.15: Procentuální vyjádření naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x > 5 \text{ mm}$	55
Obr. 4.16: Graf závislosti skutečně naměřeného a na základě výsledků měření dielektrických vlastností predikovaného podílu vlhkosti vzorku čisté dřevní štěpky	57
Obr. 4.17: Graf závislosti skutečných hodnot pórovitosti a na základě výsledků měření dielektrických vlastností predikované pórovitosti vzorku čisté dřevní štěpky	57
Obr. 4.18: Graf závislosti skutečných hodnot mezerovitosti a na základě výsledků měření dielektrických vlastností predikované mezerovitosti vzorku čisté dřevní štěpky .	58
Obr. 4.19: Výsledky naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x < 10 \text{ mm}$	59
Obr. 4.20: Výsledky naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x < 10 \text{ mm}$	60
Obr. 4.21: Procentuální vyjádření naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x < 10 \text{ mm}$	61
Obr. 4.22: Výsledky naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $10 \text{ mm} < x < 18 \text{ mm}$	62
Obr. 4.23: Výsledky naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $10 \text{ mm} < x < 18 \text{ mm}$	63
Obr. 4.24: Procentuální vyjádření naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $10 \text{ mm} < x < 18 \text{ mm}$	64
Obr. 4.25: Výsledky naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x > 18 \text{ mm}$	65

Obr. 4.26: Výsledky naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x > 18$ mm	66
Obr. 4.27: Procentuální vyjádření naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x > 18$ mm	67
Obr. 4.28: Graf závislosti skutečně naměřeného a na základě výsledků měření dielektrických vlastností predikovaného podílu vlhkosti vzorku reálné dřevní štěpky	69
Obr. 4.29: Graf závislosti skutečných hodnot pórovitosti a na základě výsledků měření dielektrických vlastností predikované pórovitosti vzorku reálné dřevní štěpky ...	69
Obr. 4.30: Graf závislosti skutečných hodnot mezerovitosti a na základě výsledků měření dielektrických vlastností predikované mezerovitosti vzorku reálné dřevní štěpky	70

Seznam tabulek

Tabulka 4.1: Regresní rovnice pro jednotlivé závislosti s hodnotou koeficientu determinace R^2 čistá dřevní štěpka.....	56
Tabulka 4.2: Regresní rovnice pro jednotlivé závislosti s hodnotou koeficientu determinace R^2 reálná dřevní štěpka	68
Tabulka 8.1: Hmotnosti a rozměry vzorků borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>), při podílu vlhkosti 35,58 %	81
Tabulka 8.2: Hmotnosti a rozměry vzorků borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>), při podílu vlhkosti 27,99 %	84
Tabulka 8.3: Hmotnosti a rozměry vzorků borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>), při podílu vlhkosti 26,09 %	87
Tabulka 8.4: Hmotnosti a rozměry vzorků borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>), při podílu vlhkosti 20,64 %	90
Tabulka 8.5: Hmotnosti a rozměry vzorků borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>), při podílu vlhkosti 6,37 %.....	93
Tabulka 8.6: Hmotnosti a rozměry vzorků borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>), sušina.....	96
Tabulka 8.7: Hmotnosti a rozměry vzorků buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>), při podílu vlhkosti 53,93 %	99
Tabulka 8.8: Hmotnosti a rozměry vzorků buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>), při podílu vlhkosti 30,30 %	102
Tabulka 8.9: Hmotnosti a rozměry vzorků buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>), při podílu vlhkosti 22,91 %	105
Tabulka 8.10: Hmotnosti a rozměry vzorků buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>), při podílu vlhkosti 15,57 %	108
Tabulka 8.11: Hmotnosti a rozměry vzorků buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>), při podílu vlhkosti 12,68 %	111
Tabulka 8.12: Hmotnosti a rozměry vzorků buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>), sušina.....	114
Tabulka 8.13: Hmotnosti a rozměry vzorků dub letní (<i>Quercus robur</i>), při podílu vlhkosti 43,65 %	117

Tabulka 8.14: Hmotnosti a rozměry vzorků dub letní (<i>Quercus robur</i>), při podílu vlhkosti 39,06 %.....	120
Tabulka 8.15: Hmotnosti a rozměry vzorků dub letní (<i>Quercus robur</i>), při podílu vlhkosti 35,87 %.....	123
Tabulka 8.16: Hmotnosti a rozměry vzorků dub letní (<i>Quercus robur</i>), při podílu vlhkosti 26,24 %.....	126
Tabulka 8.17: Hmotnosti a rozměry vzorků dub letní (<i>Quercus robur</i>), při podílu vlhkosti 6,13 %.....	129
Tabulka 8.18: Hmotnosti a rozměry vzorků dub letní (<i>Quercus robur</i>), sušina	132

Seznam zkratek

PJČ – proud jednotlivých částic

SV – souvislá vrstva

RV – podíl vlhkost

GDM – metoda dislokace plynu

Seznam značek

m_o – hmotnost osiva (kg)

$m_{Cel.}$ – hmotnost celková, tzn. nádoba s osivem a vzorky (kg)

m_N – hmotnost nádoby (kg)

V_O – objem osiva (m^3)

V_T – objem vzorků (m^3)

V_N – objem nádoby (m^3)

V_1 – objem v první komoře (m^3)

V_T – objem těles (m^3)

V_{Ta}, V_{Tb} – objem kalibračních těles (m^3)

P_1 – tlak v první větvi (Pa)

P_2 – tlak v okruhu po propojení větve jedna a dvě (Pa)

n – molární konstanta plynu (kg.mol)

R – plynová konstanta ($8312,34 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

T_1 – absolutní teplota (K)

m_K – hmotnost měřicí nádoby s kapalinou (kg)

m_L – hmotnost prázdné měřicí nádoby (kg)

m_{K+T} – hmotnost měřicí nádoby zaplněné tělesy a kapalinou (kg)

m_T – hmotnost měřicí nádoby s tělesy bez kapaliny (kg)

ρ – hustota kapaliny (kg.m^{-3})

C.10k – kapacita při frekvenci 10 kHz (pF)

D.10k – ztrátový faktor při frekvenci 10 kHz (-)

C.50k – kapacita při frekvenci 50 kHz (pF)

D.50k – ztrátový faktor při frekvenci 50 kHz (-)

C.100k – kapacity při frekvenci 100 kHz (pF)

D.100k – ztrátový faktor při frekvenci 100 kHz (-)

C.500k – kapacita při frekvenci 500 kHz (pF)

D.500k – ztrátový faktor při frekvenci 500 kHz (-)

C.1M – kapacita při frekvenci 1 MHz (pF)

D.1M – ztrátový faktor při frekvenci 1 MHz (-)

C.5M – kapacita při frekvenci 5 MHz (pF)

D.5M – ztrátový faktor při frekvenci 5 MHz (-)

Úvod

S rostoucími cenami fosilních paliv se společnost obrací na vyšší využití trvale obnovitelných zdrojů, jedním z těchto obnovitelných zdrojů je například dřevní štěpka. Dřevní štěpka je spalována v zařízeních, jako jsou drobné kotle určené pro rodinné domy, ale také ve velmi výkonných a sofistikovaných zařízeních určených pro výrobu elektřiny a vytápění velkého počtu budov. Dle *Díaz-Yáñez, et al. (2013)* lze v řadě zemí využití dřevní štěpky pro energetické účely až zdvojnásobit.

V posledních letech dochází k legislativním úpravám, které nařizují výrobcům zařízení a provozovatelům zařízení určených pro spalování paliv snižovat množství emisí, které jsou výstupem spalovacího procesu. Významný vliv na množství škodlivých látek ve spalinách dřevní štěpky má vlhkost, kterou lze v současnosti stanovit na začátku nebo na konci spalovacího procesu, ale jedná se o zdlouhavé metody, což je nedostačující s ohledem na kontinuitu spalovacího procesu.

V této práci jsou diskutovány metody měření vlhkosti rostlinných materiálů, ať už se jedná o kontaktní nebo bezkontaktní metody. Na základě prostudování stavu současného vědění bylo provedeno experimentální měření vlhkosti dřevní štěpky, které bylo založené na kapacitních metodách.

1 Přehled o současném stavu poznání

1.1 Měření vlhkosti rostlinných materiálů

Velmi důležitý parametr u dřevní štěpky je obsah vlhkosti. Obsah vody významně ovlivňuje výhřevnost paliva, což je u zařízení pro vyhřívání domů a bytů zásadní faktor (*Nyström a Dahlquist, 2004; Swisher, 1976*). Významnost obsahu vlhkosti u dřevní štěpky potvrzují i pracovníci společnosti Žatecká teplárenská, a.s., kde se cena za vykoupenou dřevní štěpku od dodavatelů běžně stanovuje na základě podílu vlhkosti (osobní komunikace s Michalem Schovancem, Žatecká teplárenská, a.s.).

Tento postup je přijatelný, neboť dřevní štěpka pro energetické účely je běžně dodávána s vlhkostí od 30 % do 55 %. Zefektivnění regulace hoření by velmi pomohlo autonomní měření vlhkosti před vstupem do spalovací komory kotlů, což by umožňovalo nastavit parametry kotle již před vstupem dřevní štěpky do spalovací komory kotlů. Základním principem by bylo umístit čidlo na vstupu do spalovací komory kotle a regulovat kotel na základě dat z tohoto čidla (*Nyström a Dahlquist, 2004*).

V současnosti lze stanovit vlhkost biopaliva pomocí gravimetrické metody, která je popsána například normou EN 14774-1. Gravimetrická metoda je ale zdlouhavá, a proto je pro tento případ nevhodná. V současné době probíhá vývoj metod, které by byly schopny určit vlhkost dřevní štěpky výrazně rychleji. *Nyström a Dahlquist (2004)* publikovali souhrn několika metod měření vlhkosti rostlinných materiálů. Autoři uvádějí, že vlhkost dřevní štěpky je možno spočítat z obsahu vlhkosti ve spalinách. Pro určení vlhkosti ve spalinách uvádějí metody založené na principu rentgenového záření, blízké infračervené spektroskopii, radio-frekvenčním měřením, mikrovlnném měření a nukleární magnetické resonanci.

Nordell a Vikterlö (2000) publikovali své dosažené výsledky při měření vlhkosti dřevní štěpky pomocí rentgenového záření. Z výsledků, které autoři dosáhli, uvedli jako velkou výhodu především rychlost měření. Další výhodou této metody měření je vysoká prostupnost záření materiálem. Naopak velkou nevýhodou je vysoká cena zařízení. A také zde nastávají legislativní problémy z důvodů měření s použitím ionizujícího záření. U této metody je náročná kalibrace pro odlišné materiály a k praktickému použití této metody je nutný další výzkum. *Hultnäs a Fernandez-Cano (2012)* prováděli měření na velmi podobném zařízení jako předešlí

autoři, dosáhli velmi slibných výsledků, nicméně jejich měření probíhalo s poměrně homogenním materiálem.

Ayalew a Ward (2000), Lestander et al. (2008) a Hauksson et al. (2001) publikovali své výsledky, kterých dosáhli s využitím blízké infračervené spektroskopie. Touto metodou se snažili určit vlastnosti dřeva a dalších rostlinných materiálů. Jedná se o poměrně vyspělou metodu. Senzory pracující na tomto principu jsou používány například v potravinářském průmyslu. Měření probíhá přibližně v pásmu vlnových délek od 800 nm do 2500 nm. Výsledkem tohoto měření může být závislost absorpce na vlnové délce světla. Vlhkost materiálu je bohužel pouze jen jedním z faktorů, který ovlivňuje absorpci vlnové délky světla. To je zřejmě důvod proč tyto senzory nejsou určeny pro energeticky zaměřenou štěpku. *Nyström a Dahlquist (2004)* uvádějí, jako největší nevýhodu této metody komplikovanou kalibraci v případě měření různorodého materiálu, jakým je právě dřevní štěpka (směs dřeva, kůry, zeminy apod.).

Je známo, že dielektrické vlastnosti materiálu významně závisí na obsahu vody v materiálu. V této oblasti publikoval mnoho významných prací Stuart O. Nelson (např.: *Nelson, 2005*).

James (1975) publikoval své měření od frekvence napětí 20 Hz do 50 MHz pro různé vlhkosti a teploty vzorků dřeva. Výsledky, kterých dosáhl, potvrzují, že permitivita materiálu je zásadně ovlivněna vlhkostí, ovšem také i teplotou vzorků. Dále bylo potvrzeno, že změna permitivity v závislosti na vlhkosti klesá s vyšší frekvencí napětí.

Nyström (2006) ve své práci popisuje měření prováděná ve frekvenčním pásmu 310 MHz až 1,3 GHz určená pro relativně velké vzorky dřevní štěpky (0,1 m³). *Paz et al. (2011)* prováděli měření s podobným měřicím zařízením. V práci ověřovali tři modely, pomocí kterých by mělo jít lépe interpretovat vztah mezi permitivitou a obsahem vlhkosti. Tyto modely jsou teoretické a jsou odvozeny z Maxwellových rovnic. Autoři konstatují, že pro různé testovací vzorky byly nalezeny podobné závislosti mezi vlhkostí a změřenou permitivitou. Pro popis dřevní štěpky doporučují Maxwell-Garnettův model, při kterém bylo dosaženo nejmenší chyby. Tento model byl v minulosti rovněž použit pro popis dielektrických vlastností půdy (*Robinson et al., 2003*). Zde je ovšem nutno poznamenat, že *Paz et al. (2011)* pro interpretaci měření využívají známé hodnoty objemové hmotnosti dřevní štěpky. Rychlé naměření tohoto údaje během autonomního měření však může být komplikované.

Testovány byly také metody založené na mikrovlnném záření (*Rehnberg, 2001*). Dle *Nyström a Dahlquist (2004)* je tato metoda pro dřevní štěpku určenou pro energetické účely méně spolehlivá (z hlediska funkčnosti v těžkých podmínkách) a je zde potřeba další výzkum. *Paz et al. (2011)* uvádějí, že pro vývoj senzoru pro měření dřevní štěpky je nejvýhodnější využít elektromagnetické vlnění. Tento výrok potvrzuje fakt, že na trhu jsou dostupné přístroje založené na tomto principu (*Wile BIO moisture meter; FS_3 Biomass: Wood Chips Moisture Meter*). Tyto přístroje ovšem vyžadují součinnost obsluhy při měření (upřesnění typu dřevní štěpky, která je měřena). Některé přístroje jsou schopny částečně kompenzovat měření pomocí objemové hmotnosti (přístroj Schller GmbH FS_3 Biomass), nicméně ani v tomto případě přístroj nemůže pracovat autonomně.

Nyström a Dahlquist (2004) uvádějí, že dřevní štěpka určená pro energetické účely se vyznačuje velmi rozdílnou velikostí částic, mimo dřeva také obsahuje kůru, kořeny, jehličí, drobné kameny a drobné větve. Obsah vody je relativně vysoký a v některých případech přesahuje i 50 %. Tato praxe je potvrzená i v České republice (osobní komunikace s Michalem Schovancem Žatecká teplárenská, a.s.).

Významným rysem dřeva je vizuálně rozpoznatelná vláknitá textura, matematicky definovatelná jako lokální odchylky jasu mezi jednotlivými oblastmi obrazu (*Haralick et al., 1973*). Této vlastnosti využívají *Wooden et al. (2011)* při rozlišení jednotlivých částíček dřevní štěpky na dřevo, kůru a ostatní materiál při využití diskriminační analýzy s přesností více než 90 %. Je-li tedy možné odlišit texturu jednotlivých částic dřevní štěpky, je také možné segmentovat obraz na základě této vlastnosti (*Malik, et al., 2001*), za využití algoritmických řešení, jakož i technik umělé inteligence (*Ahmed, et al., 2011*). V segmentovaném obraze pak již lze určit procentuální podíl jednotlivých regionů a aproximovat tak složení dřevní štěpky.

Ding et al., (2005) a (2002) také poukazují na možnost přibližného určení dřeviny, z které dřevní štěpky pochází, na základě běžného RGB snímku, resp. jeho jasu. Barvu částic dřevní štěpky však ovlivňuje celá řada faktorů, včetně vlhkosti materiálu, stádia rozkladu či povrchové eroze. U mnoha dřevin se také výrazně liší vlastnosti bělového a jádrového dřeva. Klasifikace na základě barevného spektra v současnosti nachází využití v systémech kontroly kvality vstupních surovin při výrobě buničiny (*Ding, et al., 2002*), kde jsou požadavky na přesné složení dodané dřevní štěpky specifitější než při jejím spalování. Některé druhy dřevní štěpky je také teoreticky možné rozlišit podle tvaru dřevní štěpky, které nabývá

charakteristického tvaru díky specifickým vlastnostem dřeva. Tato vlastnost je však výrazně ovlivněna technologií použitou při výrobě dřevní štěrky, jakož i nastavením a údržbou stroje, (Nati, et al., 2010) a její praktické využití je tedy až na specifické případy diskutabilní.

Frakční složení je potom popsáno poměrným zastoupením dřevní štěrky odlišné velikosti. Ding et al. (2005) zjišťují toto složení z obrazu pomocí kombinace teorie granulometrie a matematické morfologie (Vincent, 2000), kdy je na základě rostoucích strukturálních prvků postupně skládán celý obraz. Je-li možné pomocí strukturálního prvku obsáhnout nejmenší z detekovaných rozměrů částice dřevní štěrky, je tato částice zařazena do odpovídající frakce, v opačném případě částice postupuje do dalších kroků algoritmů, kdy je strukturální prvek postupně zvětšován. Nespornou výhodou této techniky je fakt, že nevyžaduje předchozí segmentaci obrazu (Ding, et al., 2005).

Jako perspektivní se také jeví metody detekce hran založené na gradientní analýze. Pro určení frakčního složení je však nutné oddělit a změřit jednotlivé částičky dřevní štěrky, což může být vzhledem k překrývání jednotlivých částic i celých vrstev obtížné. Tento problém je obvykle řešen potlačením částí obrazu na pozadí, a následnou aplikací korekční funkce (Yen, et al., 1998). Nevýhodou těchto postupů je zjevná absence prostorového popisu studovaného vzorku, výsledky tedy mohou být při porovnání se síťovou analýzou nepřesné. Možným řešením jsou algoritmy, které vytvářejí na základě opakovaného snímání nebo (Ding, et al., 2014; López, et al., 2007), na jehož základě je obvykle snazší odlišit jednotlivé částičky dřevní štěrky, a následně matematicky popsat jejich prostorový tvar, rozměry a také i frakční složení (Ding, et al., 2014).

1.2 Měření vlastností rostlinných materiálů kapacitními čidly

1.2.1. Dielektrické vlastnosti materiálů

Halliday et al. (1997) specifikuje dielektrikum jako látku, která má schopnost polarizace, tedy může být polarizována. Během polarizace se z atomů a molekul dielektrické látky stanou elektrické dipóly, díky Lorenzovým silám (přitažlivé a odpudivé elektrické síly). Polarizaci lze rozdělit na tři druhy:

- **Atomovou** – elektrony se posouvají vůči jádru,
- **Iontovou** – dochází k vychýlení iontů vlivem elektrického pole,
- **Orientační** – tuto polarizaci lze nalézt u látek, které mají elektrické dipóly bez toho aniž, by na ně musely působit síly vnějšího elektrického pole. U tohoto druhu polarizace dojde pouze k usměrnění dipólů do stejného směru.

Dielektrické látky, lze charakterizovat pomocí permitivity. Permitivita je podíl elektrické indukce a intenzity elektrického pole:

$$\varepsilon = \frac{D}{E} \quad (1.1)$$

kde:

ε – permitivita ($\text{F}\cdot\text{m}^{-1}$),

D – elektrická indukce ($\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$),

E – intenzita elektrického pole ($\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$).

Permitivitu, lze vyjádřit dále jako součin permitivity vakua ε_0 a relativní permitivity ε_r :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r \quad (1.2)$$

kde:

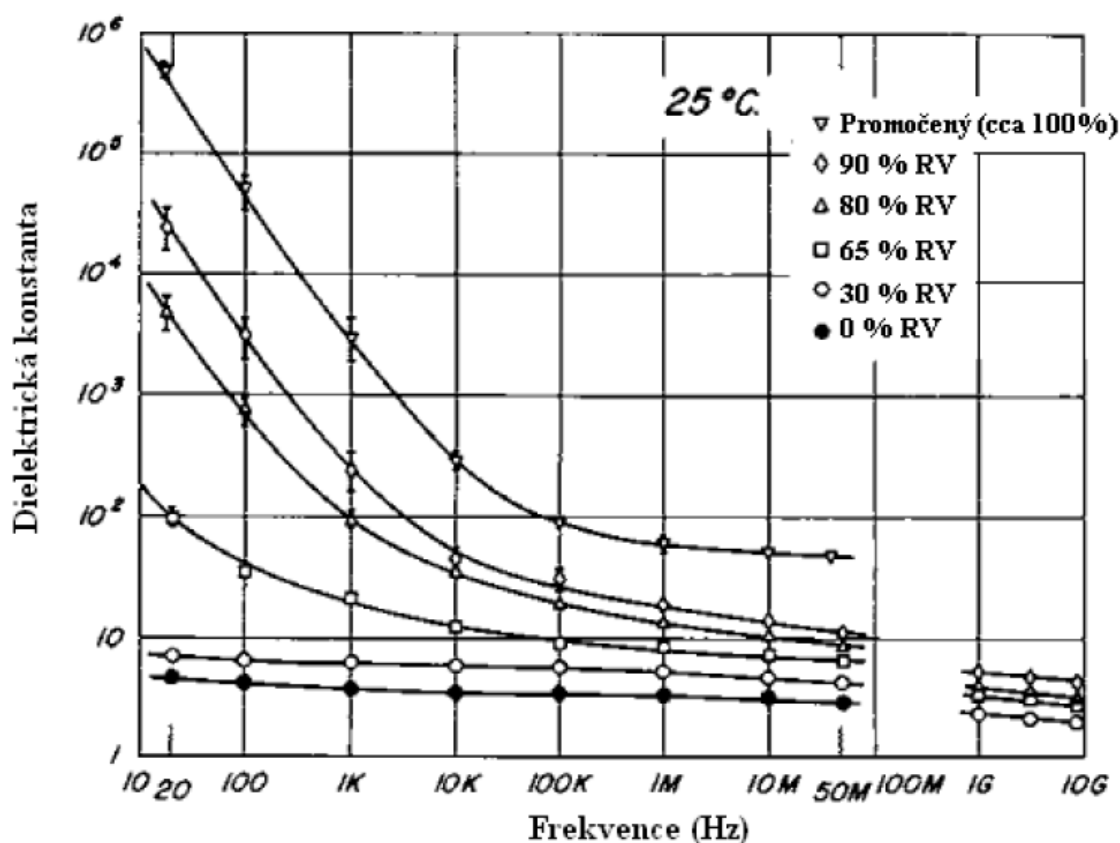
ε_0 – permitivita vakua ($8,854 \times 10^{-12} \text{F}\cdot\text{m}^{-1}$),

ε_r – relativní permitivita (-).

1.2.2. Dielektrické vlastnosti dřeva

Dřevo je nehomogenní materiál s komplexními, nesymetrickými molekulami a, lze tedy předpokládat, že dřevěný materiál bude mít velkou dielektrickou konstantu (Nelson, 2010; James, 1975).

James (1975) ve svém experimentu zkoumal dielektrické vlastnosti dřeva a dřevotřísky. Tento experiment byl proveden při různých teplotách, frekvencích, obsahu vlhkosti a orientaci vláken. Pro experiment si autor vybral vzorky dubového a jedlového dřeva. Stejně druhy dřeva byly zvoleny pro dřevotřísku. Během experimentu byl regulován podíl vlhkosti vzorků na hodnoty 30, 65, 80 a 90 % a jeden ze vzorků byl ponořen do destilované vody. Vlhkost vzorků byla regulována ve vakuové sušárně při teplotě sušení 60 °C.



Obr. 1.1: Vývoj dielektrické konstanty u jedlového dřeva, při uspořádání vláken vodorovně, při různých frekvencích a různém podílu vlhkosti (RV – Podíl Vlhkosti)

Zdroj: James (1975) - upraveno

Z výsledků experimentu bylo zřejmé, že dřevo je materiál, který je extrémně náchylný na elektrickou polarizaci. K této náchylnosti dochází za předpokladu, kdy se externí elektrické pole mění pomalu, to znamená při frekvenci nižší než 10 kHz a za přítomnosti alespoň malého množství vody (vlhkost větší než 10 %).

Pomalá odezva a velký rozsah jsou dány nespojitostí vodivosti materiálu, přičemž k nespojitosti vodivosti dochází z důvodu toho, že krystaly jsou téměř nehydrofobní, což způsobuje jejich nevodivost. Oproti tomu se amorfnní oblast velmi snadno nasákne vodou a tím se zvyšuje vlhkost (*James, 1975*).

Z výsledků experimentu *Jamese (1975)* bylo zřejmé, že polarizovatelnost dřeva se zvyšuje konstantně se zvyšující se teplotou, pouze při některých frekvencích a stavu naprosto nasáklého dřeva tato podmínka neplatí. Autor tyto výjimky vysvětluje na základě přerozdělení celulózy. Nejvýznamnější zjištěním bylo, že aktivační energie polarizace se zvyšuje s rostoucí vlhkostí materiálu, naopak je to u vedení materiálu. Vztah dielektrické konstanty a frekvence jedlového dřeva při teplotě 25 °C a relativních vlhkostech dřeva 0 %, 30 %, 65 %, 80 %, 90 % a zcela nasyceného dřeva vodou (téměř 100 % relativní vlhkost) jsou zobrazeny na obrázku 1.1.

Nelson (2010) ve své studii upozorňuje, že dielektrické vlastnosti se mění se změnou teploty, frekvence a vlhkosti materiálu.

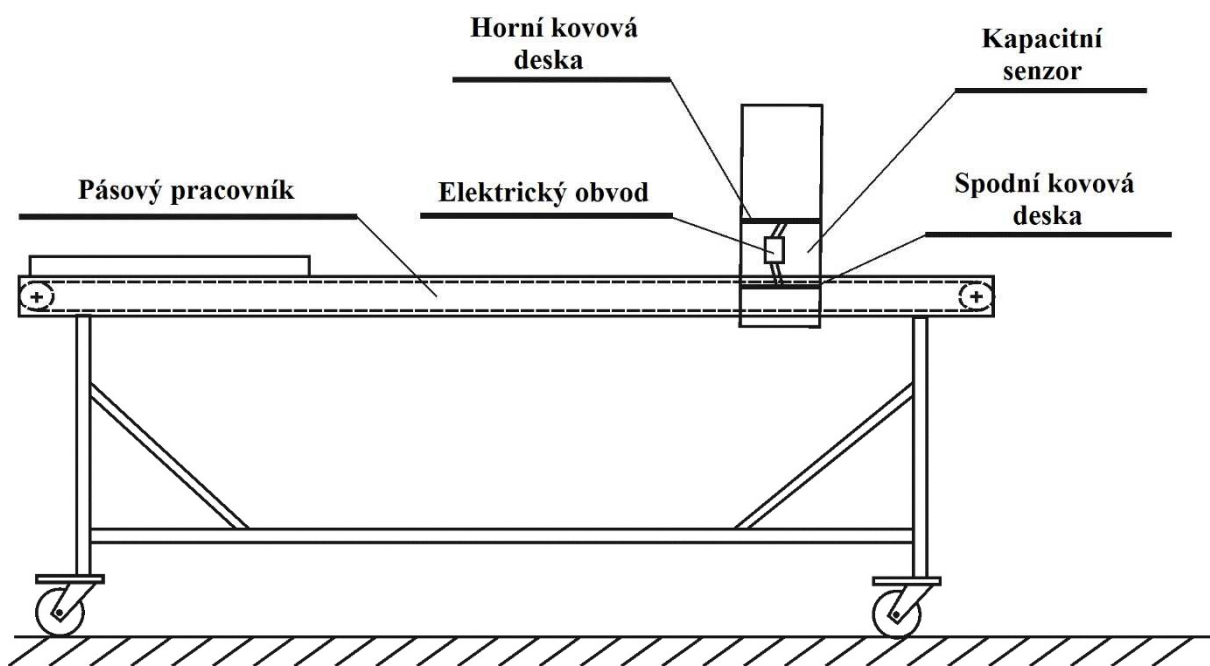
1.2.3. Využití kapacitních čidel pro měření vlastností rostlinných materiálů

Jednoduché kapacitní senzory připomínají jednoduché deskové kondenzátory, které jsou složeny ze dvou desek a využívají se pro měření průchodnosti materiálu.

Kapacitní metodu použili *Stafford et al. (1996)* při sestavování výnosových map u sklízecích mlátiček. Autoři umístili senzor na konec šnekového dopravníku zrna sklízecí mlátičky, jenž plnil zrnový zásobník. Autoři konstatují, že čidlo splňuje dvě jejich kritéria, která si stanovili. Prvním kritériem bylo to, že senzor nekladl odpor při průchodu materiálu a druhým kritériem senzoru byla vysoká odolnost vůči vibracím. Nevýhodou tohoto senzoru mohl být vliv vlhkosti, který se autoři snažili vykompenzovat dvěma rozdílnými frekvencemi napájení. Jedna část pracovala s frekvencí 10 kHz a druhá část pracovala s frekvencí 2 MHz. Data byla ze senzoru odečítána při frekvenci 6 MHz a byla přenášena do počítače v kabině sklízecí mlátičky. Kalibrace senzoru probíhala pomocí zrna o vlhkosti od 14 do 24 %. Vliv vlhkosti byl mnohem menší, než autoři předpokládali.

Kapacitní čidlo pro měření průchodnosti trávy vytvořili autoři *Kumhála et al. (2007)*, které uzpůsobili pro praktické použití na rotačním žacím stroji. Dynamické měření probíhalo v laboratorních prostorech, kde byl použit pásový dopravník pro dopravu píče ke kapacitnímu čidlu. Čidlo bylo tvořeno ze dvou ocelových desek, jejichž vzájemná vzdálenost byla 300 mm. Tloušťka desek byla 1 mm a desky byly izolovány pomocí dvou plastických desek. Z výsledků měření učinili autoři závěr, že kapky rosy, které byly na listech, ulpěly na měřících deskách a ovlivnily přesnost měření.

Kumhála et al. (2009) použili kapacitní metodu pro měření průchodnosti cukrové řepy a brambor. Autoři použili stejný deskový kapacitní senzor jako *Kumhála et al. (2007)* nicméně rozdílem byla vzdálenost mezi deskami, která v tomto měření byla 180 mm. Deskový kapacitní senzor byl ovládán napájecí frekvencí 27 MHz s cílem minimalizovat vlivy okolí, což vycházelo z výsledků výzkumu autorů *Kumhály et al. (2007)*.

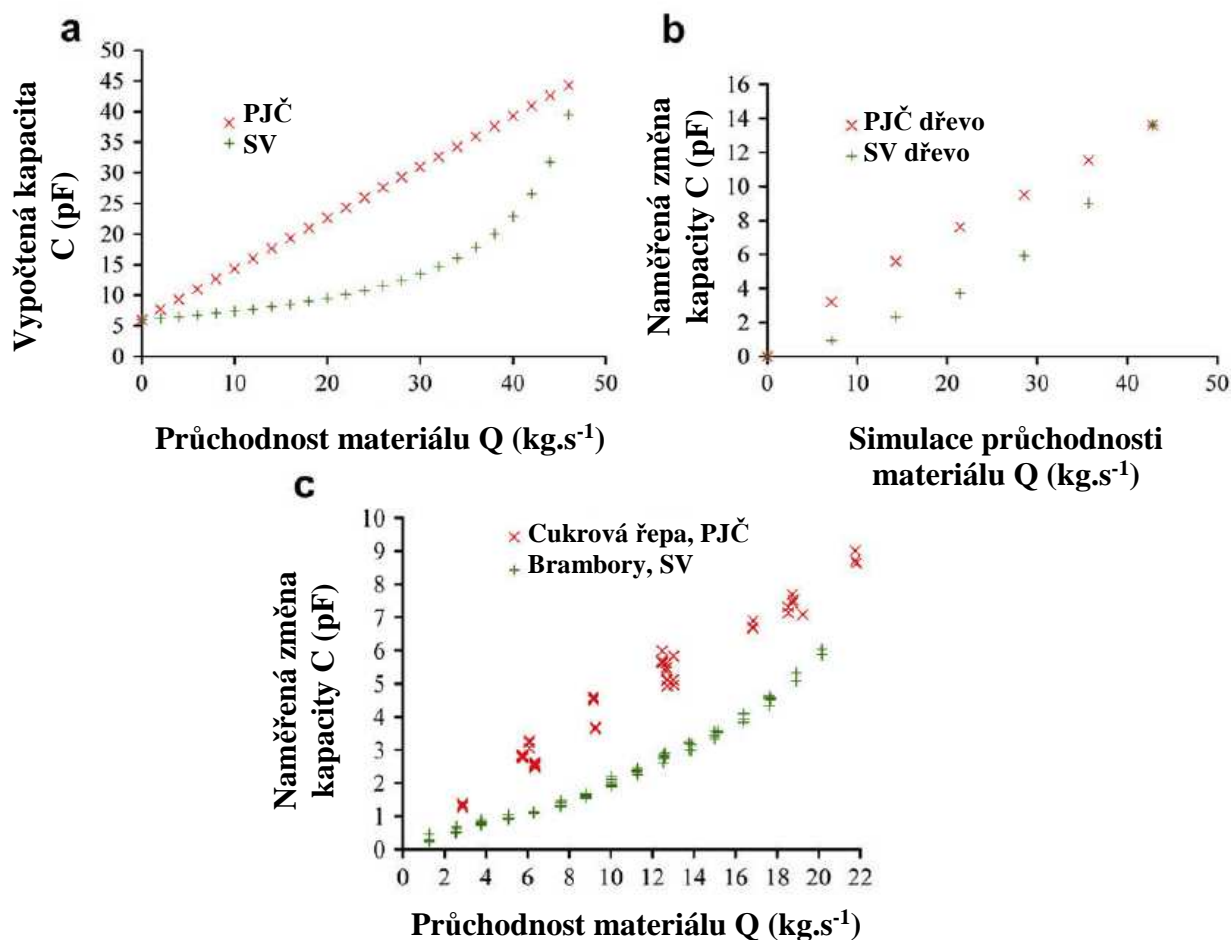


Obr. 1.2: Pásový dopravník vybavený kapacitním senzorem

Zdroj: Kumhála et al. (2007) - upraveno

Kapacitní senzor byl nainstalován na pásový dopravník, a to přesně na jeho konec (Obr. 1.2). U měření brambor byly stanoveny vlhkosti hlíz 81,6 % a 80,8 % a střední průměr hlíz byl 35 mm a množství nečistot bylo do 2 %. Cukrová řepa měla průměr 140 mm a vlhkost cukrové řepy byla 75,2 % a 77 %. Průchodnost brambor začala při $1,3 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ a skončila na

hodnotě $20 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$, průchodnost byla zvyšována vždy o přibližně $1,3 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$. U cukrové řepy byla průchodnost na začátku $1,3 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ a přírůstek byl vždy přibližně o $3 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ a maximální průchodnost byla $26 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$. Ověření vlivu tvaru částic bylo provedeno měření s dřevěnými kostkami z borového dřeva, které měly pravidelný tvar.



Obr. 1.3: Porovnání vypočtených (a) a naměřených kapacit pro proud jednotlivých částic (PJČ) a souvislou vrstvou (SV)

Zdroj: Kumhála et al. (2009) - upraveno

Z výsledků, které jsou znázorněny na obrázku 1.3, je zřejmé, že naměřené výsledky odpovídají teoretickému výpočtu. Z důvodu názornosti a zjednodušení interpretace výsledků byly hodnoty napětí přepočteny na kapacitu. Stejně tak jako *Stafford et al. (1996)* ze svého výsledku pozorovali, že vliv vlhkosti na měření není tak významný, došli ke stejnému závěru také *Kumhála et al. (2009)*.

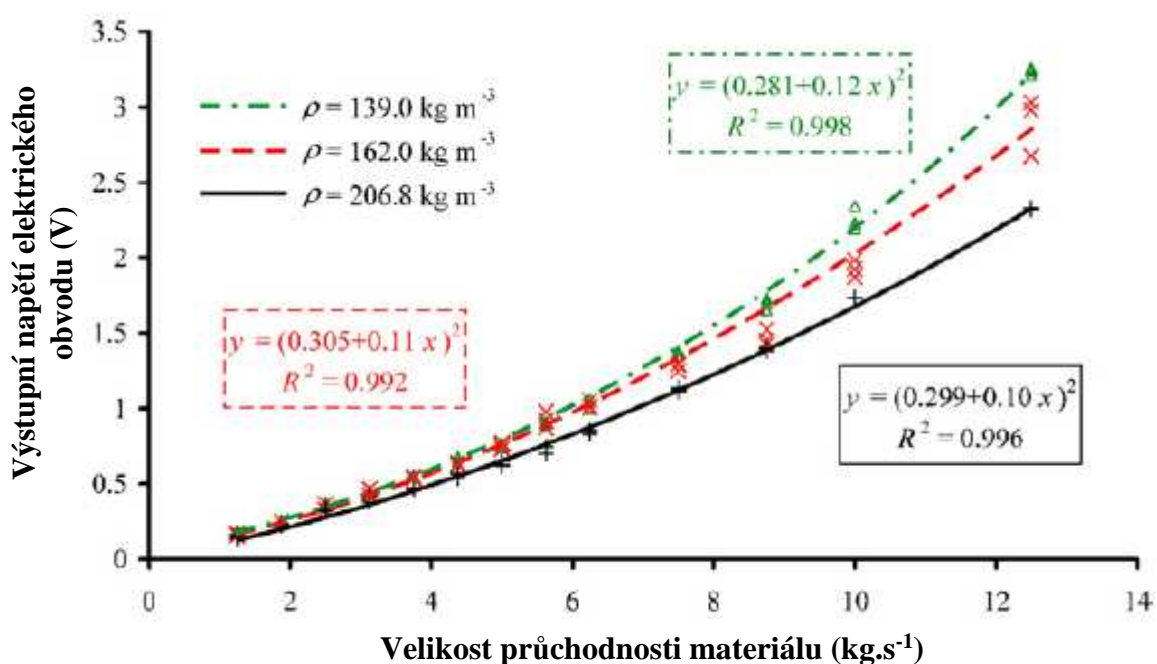
Kapacitní senzor použili i autoři *Martel a Savoie (2000)* a to konkrétně u sklízecí řezačky. Senzor umístili na konec výstupu ze sklízecí řezačky. Z dosažených výsledků bylo

zjištěno, že při průchodu suchého materiálu dochází k lineárnímu poklesu frekvence oscilátoru a při průchodu vlhkého materiálu dochází ke zvýšení poklesu frekvence oscilátoru.

U sklízecí řezačky použili autoři *Savoie et al. (2002)* totožný kapacitně řízený oscilátor a byl umístěn v úplně stejném místě, jako ho umístili autoři *Martel a Savoie (1999)*. Frekvence snímače byla 880 kHz a pokles frekvence byl přímo úměrný průtočnému množství vlhkého materiálu mezi dvěma deskami.

Na základě dřívějších zkušeností, které získali *Lev a Kumhála (2014)* je možné, že homogenita elektrického pole mezi elektrodami není předpokládatelná a elektrické pole může být také ovlivněno přítomností materiálu mezi elektrodami. Výsledky měření mohou být, proto ovlivněny úrovní zaplnění senzoru materiálem.

Měření průchodnosti kukuřičné řezanky na bázi kapacitní metody provedli *Kumhála et al. (2010)*, samotné měření vycházelo z výzkumu *Kumhála et al. (2009)*. Oscilační obvod běžel při frekvenci 27 MHz. Byla zjišťována závislost výstupního napětí elektrického obvodu na průchodnosti materiálu. Tato závislost je znázorněna na obrázku 1.4.

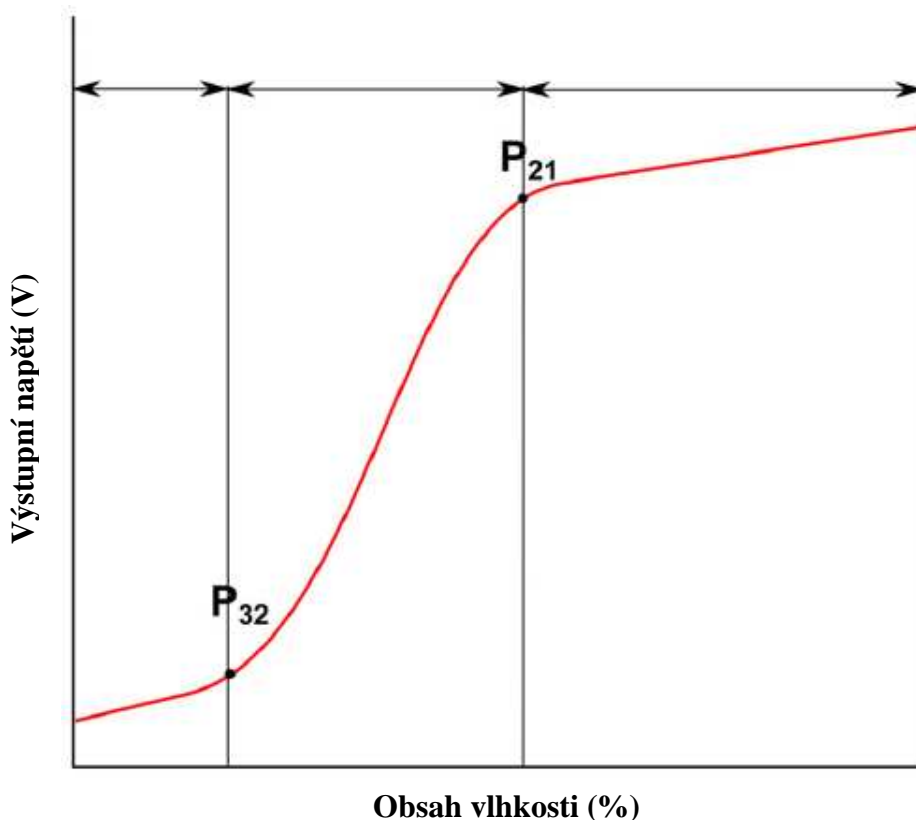


Obr. 1.4: Závislost napětí obvodu na průchodnosti materiálu (kukuřičné řezanky)

Zdroj: *Kumhála et al. (2010)* - upraveno

Z měření je zřejmé, že závislost není lineární. Lineární závislost, lze očekávat pouze při malém plnění kapacitního senzoru, ale při vyšším plnění kapacitního senzoru dochází

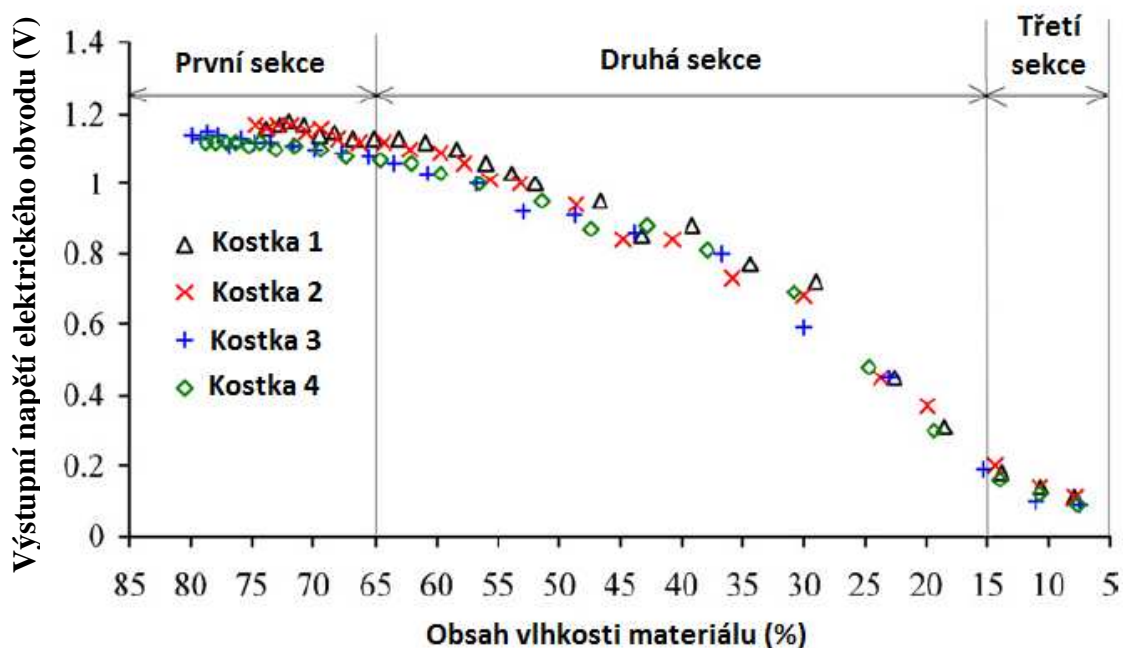
k hyperbolické závislosti. Z výzkumu bylo také zjištěno, že při definované průchodnosti materiálu s nižší objemovou hustotou je vyšší výstupní napětí a naopak. *Kumhála et al. (2010)* zkoumali vliv vlhkosti na získaných výsledcích. Pro ověření této skutečnosti použili vzorky z balsového dřeva.



Obr. 1.5: S-křivka odvozená na základě závislosti výstupního napětí snímače a obsahu vlhkosti materiálu určená na laboratorním kondenzátoru. Kapacitní oscilační obvod běžel na 27 MHz

Zdroj: Kumhála et al. (2010) - upraveno

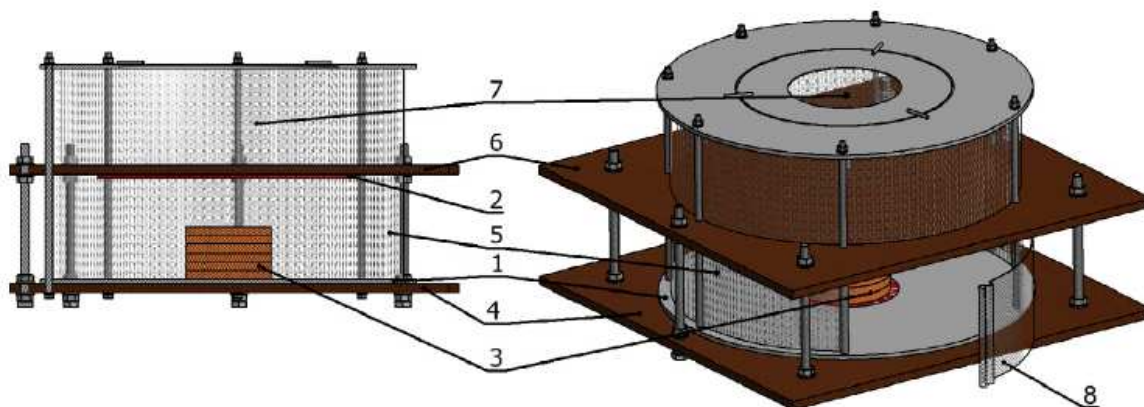
Autoři rozdělili výsledky do třech částí, dle obrázku 1.6. V první sekci je citlivost na obsah vlhkosti velmi malá. Z výsledků je zřejmé, že v druhé sekci dochází k rychlému poklesu napětí, k tomuto poklesu dochází při vlhkosti materiálu v rozmezí od 65 do 15 %. V poslední třetí sekci docházelo ke zpomalení poklesu napětí. Autoři to vysvětlují tím, že se vysoušením měnila vnitřní struktura materiálu, a proto nelze brát výsledky z třetí sekce za důvěryhodné. Na základě těchto výsledků doporučují autoři použití kapacitního senzoru pro měření průchodnosti rostlinného materiálu při vlhkostech materiálu od 65 do 15 %.



Obr. 1.6: Závislost výstupního napětí kapacitního senzoru na vlhkosti vzorků z balsového dřeva

Zdroj: Kumhála et al. (2010) - upraveno

Lev et al. (2017) provedli experiment za účelem vyjasnění vztahu mezi provozní frekvencí kapacitního průtokového senzoru, úrovní plnění senzoru a vlhkostí materiálu. Pro toto měření byla sestavena aparatura (Obr. 1.7), která byla složena z měřicí a zemnicí elektrody a zároveň byl měřící prostor ochráněn od okolních vlivů pomocí stínícího pletiva.

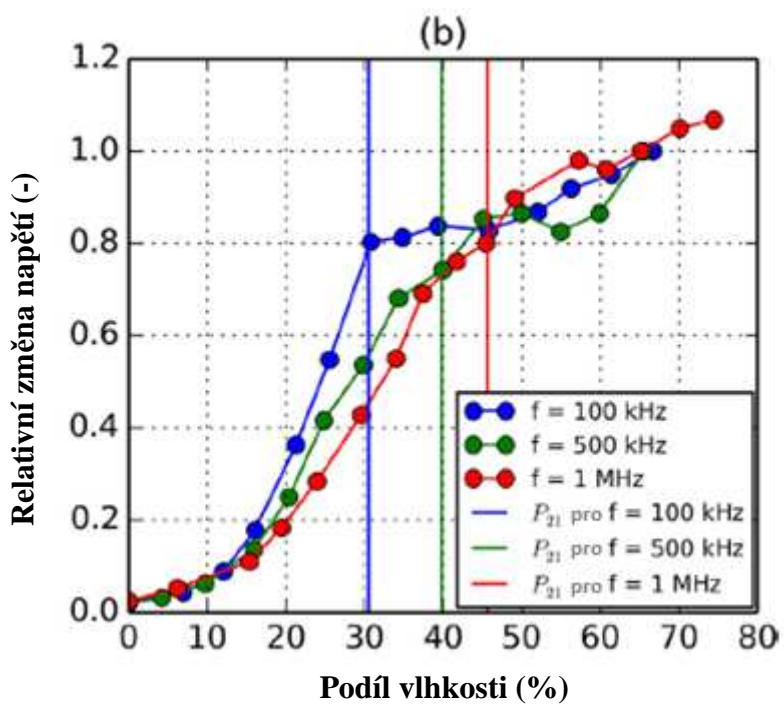
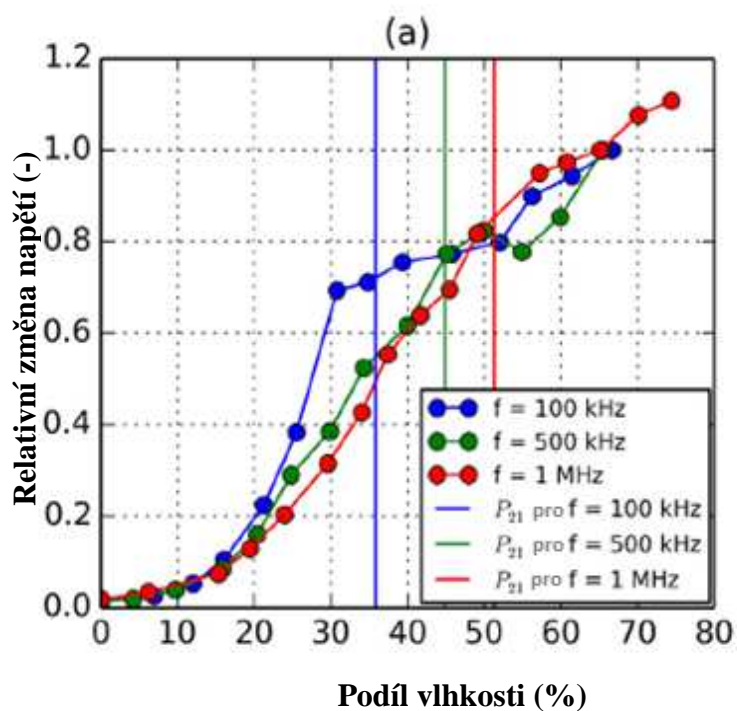


Obr. 1.7: Schéma laboratorního kondenzátoru

1 – zemnicí elektroda, 2 – měřicí elektroda, 3 – měřicí vzorky, 4, 6 – fenolová deska, 5 – stínící síť, 7 – krycí síť pro elektrický obvod, 8 – dvířka pro výměnu měřících vzorků

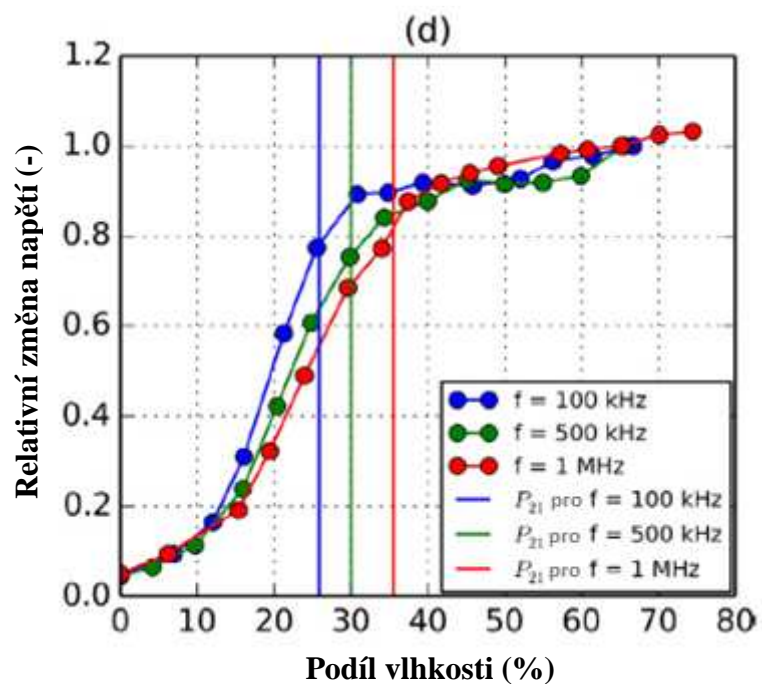
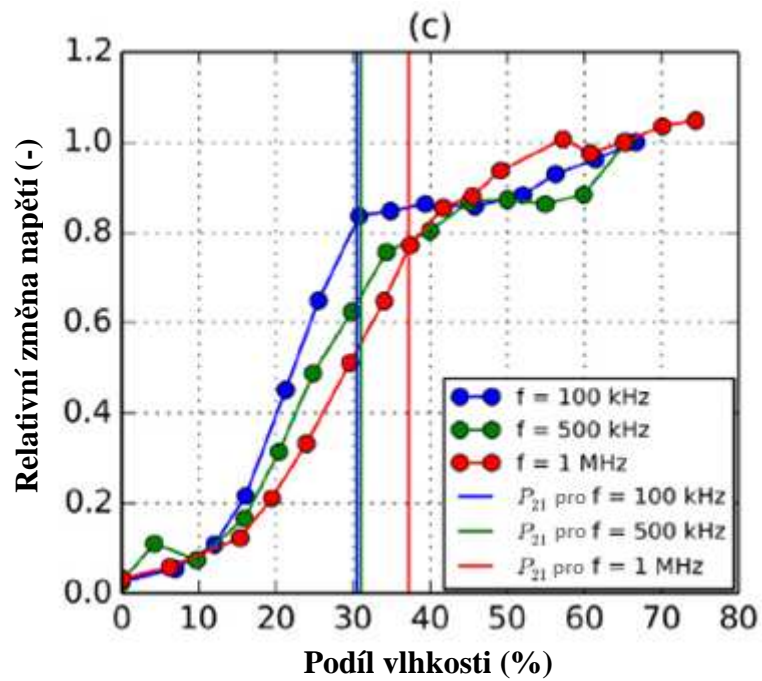
Zdroj: Lev et al. (2017) - upraveno

Z výsledků, které jsou znázorněny na obrázcích 1.8, 1.9 a 1.10, byla potvrzena závislost výstupního napětí senzoru na podílu vlhkosti materiálu, tato závislost může být popsána S-křivkou se dvěma hraničními body mezi třemi sekcemi. Senzor byl méně citlivý na změnu podílu vlhkosti v první části křivky, jenž je reprezentován nižší frekvencí a nižším stupněm plnění senzoru. Nicméně senzor byl citlivější na změnu podílu vlhkosti materiálu v druhé sekci při použití nižší frekvence. Menší frekvence vedla k posunutí bodu zlomu mezi první a druhou sekcí S-křivky při nižším podílu vlhkosti materiálu (nižší citlivost při menším podílu vlhkosti materiálu), což je výhodné pro měření průchodnosti rostlinných materiálů kapacitními senzory. Z výsledků experimentu doporučují *Lev et al. (2017)* použití nižších frekvencí a to do 1 MHz.



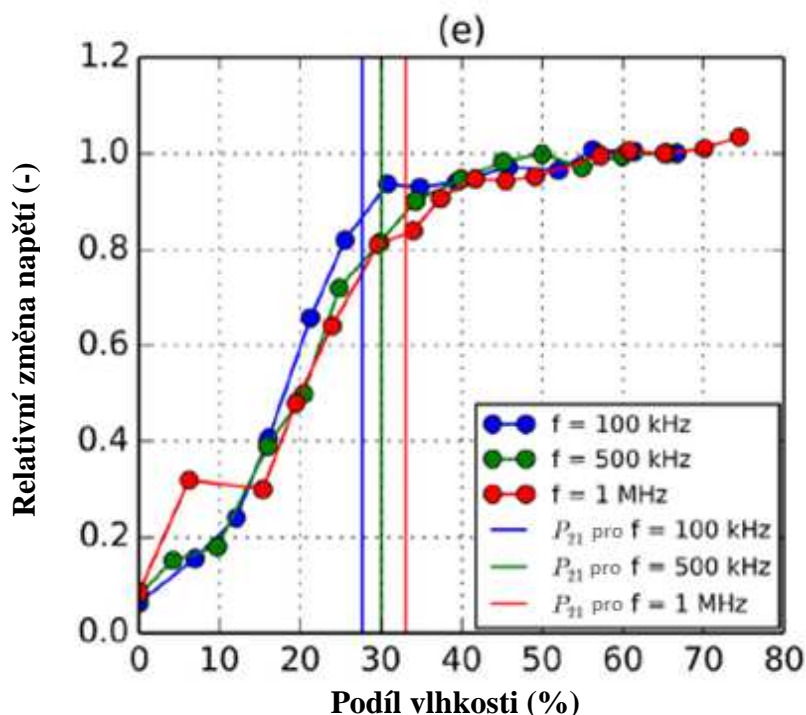
Obr. 1.8: Závislost relativní změny napětí v elektrickém okruhu na naměřeném podílu vlhkosti materiálu: (a) při zaplnění senzoru 91,7 %; (b) při zaplnění senzoru 83,3 %. Při frekvencích 100 kHz, 500 kHz a 1 MHz

Zdroj: Lev et al. (2017) - upraveno



Obr. 1.9 - Závislost relativní změny napětí v elektrickém okruhu na naměřeném podílu vlhkosti materiálu: (c) při zaplnění senzoru 75 %; (d) při zaplnění senzoru 50 %. Při frekvencích 100 kHz, 500 kHz a 1 MHz

Zdroj: Lev et al. (2017) - upraveno



Obr. 1.10: Závislost relativní změny napětí v elektrickém okruhu na naměřeném podílu vlhkosti materiálu: (e) při zaplnění senzoru 25 %. Při frekvencích 100 kHz, 500 kHz a 1 MHz

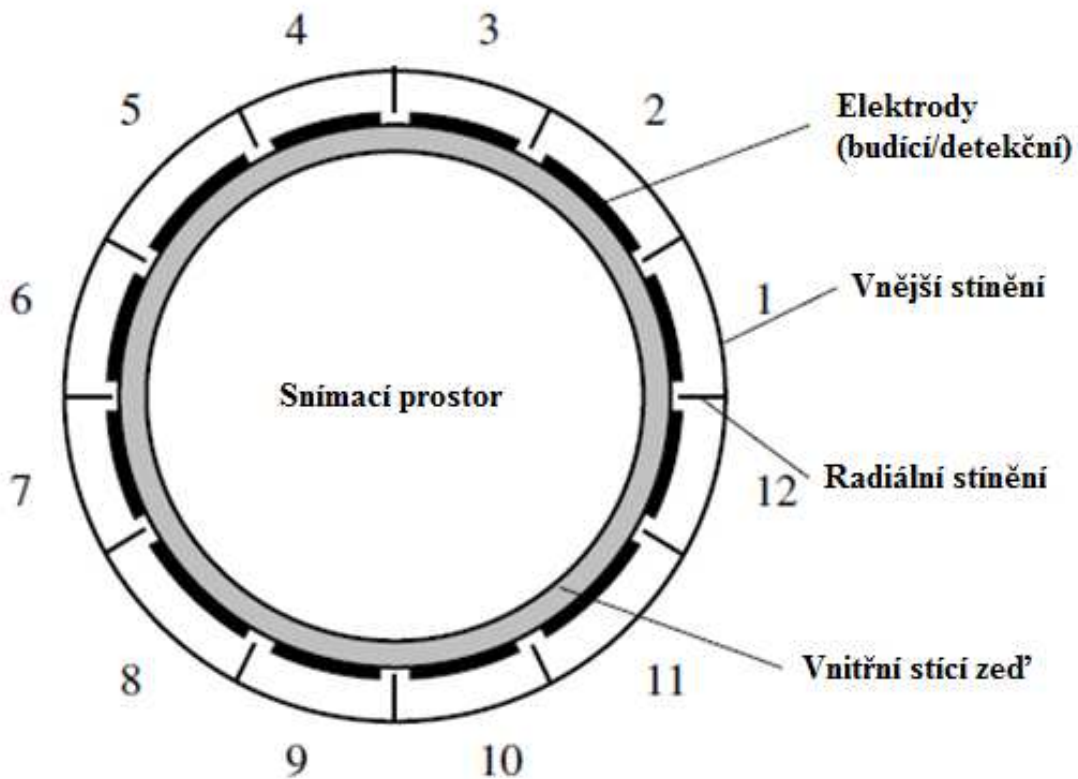
Zdroj: Lev et al. (2017) - upraveno

1.3 Využití kapacitní tomografie

Mezi nejvzrůdejší typ průmyslové tomografie patří, dle autora Yang (2010) kapacitní tomografie. Nesmírná výhoda kapacitní tomografie oproti ostatním modulárním průmyslovým typům tomografie je především v tom, že nevyzařuje záření, má vysokou zobrazovací rychlost, odolává vysokým teplotám a tlakům, není invazivní, a hlavně je finančně dostupná. Od prvního využití kapacitního tomografu v 80. letech došlo k úspěšnému využití v mnoha aplikacích například pro vícefázové měření průtoku v ropovodu (Yang et al., 1995; Ismail et al., 2005; Williams et al., 2000), měření proudu částic u pneumatického dopravníku (Jaworski and Dyakowski, 2001; Yang and Liu, 1999), měření plynu nebo pevných částic v proudu vzduchu (Williams and Xie, 1993). V dalších aplikacích je zahrnuta vizualizace a měření spalování ve spalovacím motoru (Waterfall et al., 1996).

Kapacitní tomografy mohou mít různé provedení, ale typickým tvarem je kruhový. Typický kapacitní tomograf je zobrazen na obrázku 1.11. Tomograf je složen z měřících elektrod, stínícího rámu, vnější axiální a radiální sítě, koaxiálního kabelu a konektorů. Obvykle

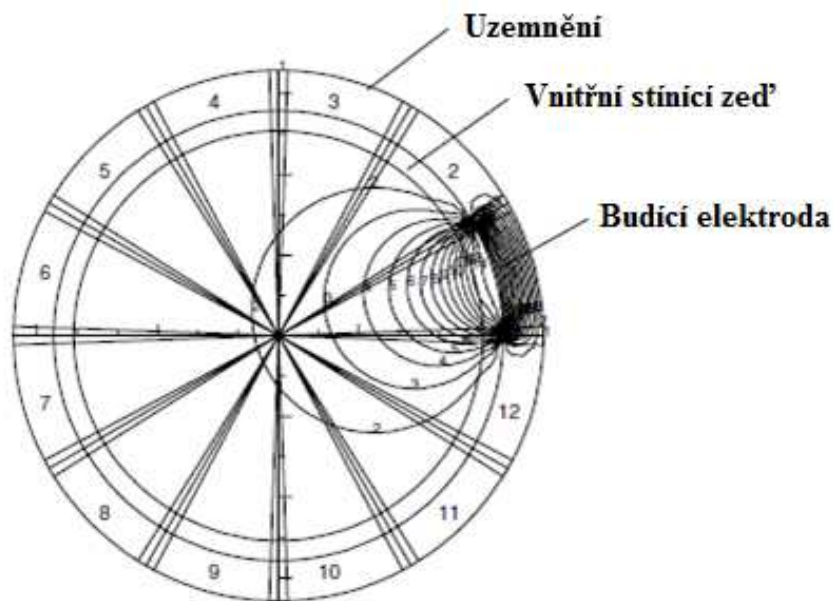
je kapacitní tomograf osazen 8 nebo 12 (v některých případech až 16) elektrodami, a to na vnější straně izolačního rámu.



Obr. 1.11: Kruhový kapacitní tomograf

Zdroj: Yang (2010) - upraveno

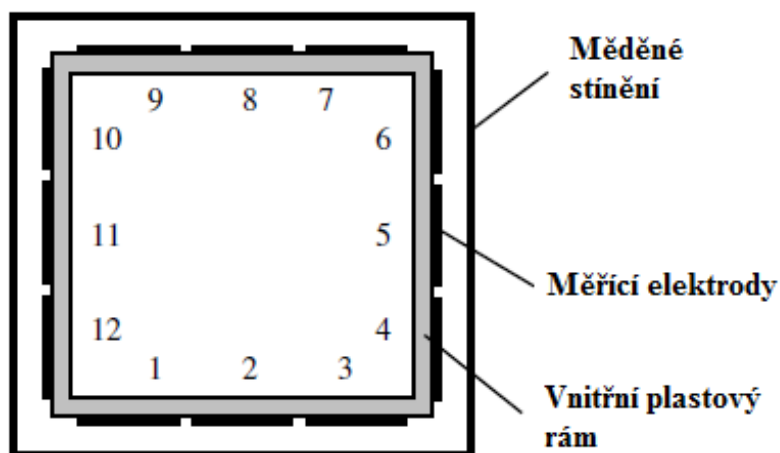
Základní princip fungování kapacitního tomografu spočívá v tom, že elektroda 1 se používá pro buzení a elektrody 2-12 (dle počtu elektrod) slouží pro detekci (Obr. 1.12). Tímto způsobem je získáno 11 kapacitních měření. V dalším kroku se jako budící elektroda využije elektroda 2 a elektrody 3-12 se používají jako detekční, tak se získá deset kapacitních měření. Tímto stylem se pokračuje až do doby, kdy elektroda 11 je budící a pouze elektroda 12 je využívána jako detekční. Z tohoto kapacitního tomografu lze tedy získat 66 nezávislých kapacitních měření (Yang, 2010; Xie et al., 1992).



Obr. 1.12: Distribuce elektrického pole u 12-ti elektrodového kapacitního tomografu

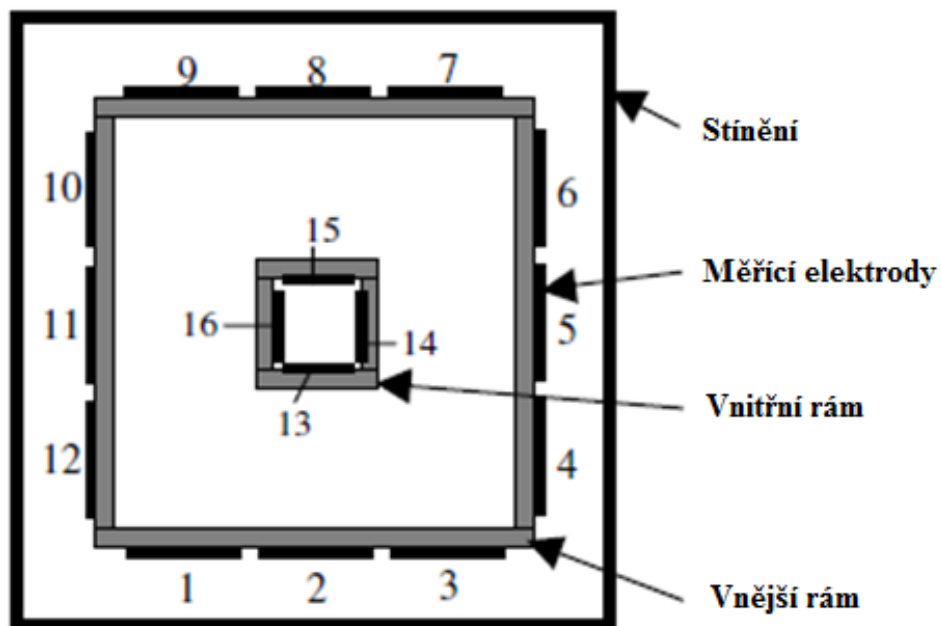
Zdroj: Yang (2010) - upraveno

Pro řadu specifických aplikací mají kapacitní tomografy i jiné tvary než kruhové, například v energetice pro cirkulující fluidní spalování čistého uhlí se používá čtvercový tvar kapacitního tomografu. Na obrázku 1.13 je zobrazen typický čtvercový kapacitní tomograf, který je po obvodu osazen 12-ti vnějšími elektrodami (Yang and Liu, 1999), a na obrázku 1.14 je čtvercový kapacitní tomograf s 12-ti vnějšími elektrodami a čtyřmi vnitřními elektrodami (Liu et al., 2000).



Obr. 1.13: Jednoduchý čtvercový kapacitní tomograf

Zdroj: Yang and Liu (1999) - upraveno



Obr. 1.14: Čtvercový kapacitní tomograf s vnitřními elektrodami

Zdroj: Liu et al. (2001) - upraveno

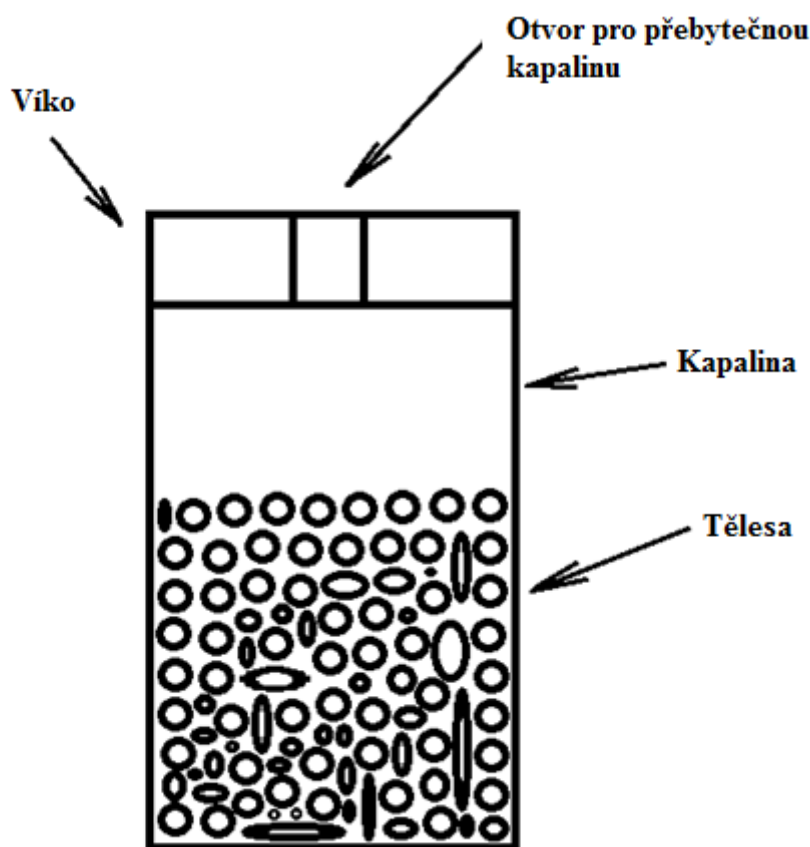
Yang (2010) uvádí, že koncentrace pevných částic blízko vnější stěny je vyšší než ve střední oblasti čtvercového kapacitního senzoru. Z toho důvodu je kapacitní tomograf, který je zobrazen na obrázku 1.14, osazen čtyřmi vnitřními elektrodami.

1.4 Měření objemu partikulárních částic

Surová dřevní štěpka je nehomogenní materiál, který obsahuje řadu cizích částic jako je zemina, listy, jehličí a další příměsi. Objem částic dřevní štěpky má velký vliv na návrh metody měření. Z tohoto důvodu bylo nutné najít vhodnou metodu pro měření objemu dřevní štěpky.

1.4.1. Metoda dislokace kapaliny

Tuto metodu lze používat pro měření objemu pevných částic. Metoda měření je založena na principu měření hmotností a použití kapaliny o známé hustotě. Pro měření se používají specifické gravitační láhve (pyknometry), anebo se používají klasické odměrné válce. V první fázi měření je nutné určit hmotnost prázdného odměrného válce, respektive speciální gravitační nádoby. Měřicí nádoba se zaplní kapalinou a určí se hmotnost. Následně dojde k nasypání pevných částic a dojde k opětovnému zvážení celé nádoby včetně kapaliny a pevných částic.



Obr. 1.15: Pyknometr – specifická gravitační metoda

Zdroj: Serpil a Servel, 2006 - upraveno

Objem těles se pak určí z následujícího vztahu:

$$V_T = \frac{(m_K - m_L) - (m_{K+T} - m_T)}{\rho} \quad (1.3)$$

kde:

V_T – objem těles (m^3),

m_K – hmotnost měřicí nádoby s kapalinou (kg),

m_L – hmotnost prázdné měřicí nádoby (kg),

m_{K+T} – hmotnost měřicí nádoby zaplněné tělesy a kapalinou (kg),

m_T – hmotnost měřicí nádoby s tělesy bez kapaliny (kg),

ρ – hustota kapaliny ($kg \cdot m^{-3}$).

Za předpokladu, že se používá klasický odměrný válec, lze odečítat objem těles přímo ze stupnice odměrného válce. Nevýhodou přímého odečítání objemu těles ze stupnice odměrného válce je přesnost měření.

Nevýhodou měření objemu těles pomocí metody dislokace kapaliny je, že tělesa mohou rychle absorbovat kapalinu, což může výrazně ovlivňovat měření. *Mohsenin (1970)* doporučuje při měření objemu těles tímto způsobem natřít tělesa látkou, která sníží absorpci kapaliny do těles. Nejvhodnější kapalinou pro toto měření je taková, která má nízké povrchové napětí (snižuje absorpci kapaliny do měřených těles), proto se používá nejčastěji voda, alkohol, toluen, tetrachlorethylen nebo rtuť (*Serpil a Servel, 2006*).

1.4.2. Metoda dislokace plynu

Objem partikulárních těles a materiálu s neidentifikovaným tvarem může být určen pomocí metody přemístování plynu (*Karathanos & Saravacos; 1993*). Tato metoda vychází z Boyle-Mariottova zákona. Nejvíce používané plyny jsou helium a dusík. Aparatura pro měření objemu partikulárních látek se skládá ze dvou komor se stejnými objemy V_1 a V_2 , obě komory jsou propojeny velmi úzkým potrubím.

Měřicí materiál je umístěn v komoře číslo dvě, přičemž do první větve je vnesen tlak od 1 000 do 1 500 Pa. Po ustálení tlaku v porovnávací komoře je tlak na tlakoměru zaznamenán.

Následně je tlak z první větve přepuštěn do druhé, kde se nachází komora číslo dvě s partikulární látkou. Po ustálení tlaku na tlakoměru je tento tlak zaznamenán (*Serpil and Servel, 2006*).

Za předpokladu, že se plyn chová jako ideální, platí:

$$P_1V_1 = nRT_1 \quad (1.4)$$

kde:

P_1 – tlak v první větvi (Pa),

V_1 – objem v první komoře (m^3),

n – molární konstanta plynu (kg.mol),

R – plynová konstanta ($8312,34 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$),

T_1 – absolutní teplota (K).

Z výše uvedeného způsobu měření je zřejmé, že celková hmotnost plynu m se rozdělí na hmotnost plynu v první komoře m_1 a hmotnost plynu v druhé komoře m_2 .

$$m = m_1 + m_2 \quad (1.5)$$

Za předpokladu, že je systém izotermický:

$$P_1V_1 = P_2V_1 + P_2V_{a2} \quad (1.6)$$

kde V_{a2} je objem prázdné měřicí aparatury a může být vyjádřen:

$$V_{a2} = V_2 - V_T = V_1 \left(\frac{P_1 - P_2}{P_2} \right) \Rightarrow V_T = V_2 - V_1 \left(\frac{P_1 - P_2}{P_2} \right) \quad (1.7)$$

kde:

V_T - je objem těles v měřicí komoře (m^3),

P_2 – tlak v okruhu po propojení větve jedna a dvě (Pa).

Chyby, které mohou vzniknout u této metody měření objemu těles, vznikají z důvodu objemu, který připadá na propojovací vedení obou komor. Další chyby při měření mohou nastat z důvodu chování plynu, který není dokonalým plynem. Před začátkem měření je nutné udělat kalibraci aparatury pomocí tělesa, které má známý objem (*Serpil a Servel, 2006*).

1.4.3. Metoda dislokace pevných částic

Objem těles s nepravidelným tvarem lze také určit pomocí pevných částic jako je například písek, skleněné kuličky nebo použít metodu dislokace osiva (jedná se o osivo řepky). Běžně se osivo řepky používá pro určování objemu pečárenských výrobků, jako je například chléb (*Jena & Gupta, 2002*).

Při stanovení objemu těles pomocí semen řepky se nejprve stanoví hustota řepkových semen a to tak, že se naplní skleněná nádoba známého objemu semeny řepky, přičemž setřesením semena dojde k vyplnění celého objemu skleněné nádoby. Po setřesení semen se přebytečná semena odstraní pravítkem. Tento postup se opakuje, dokud se po zvážení nedosahuje stejných hmotností. Hustota semen se vypočítá z naměřené hmotnosti semen a objemu skleněné nádoby. Po tomto měření se osivo řepky a tělesa vloží do stejné skleněné nádoby společně a osivo řepky se setřese. Přebytečné osivo se odstraní pravítkem, aby bylo zarovnáno s hranou skleněné nádoby. Tento postup se opakuje, dokud skleněná nádoba se vzorky a semeny řepky nedosáhne konstantní hmotnosti mezi třemi po sobě jdoucími měřeními (*Sahin a Summu, 2006; Serpil a Servel, 2006*).

Objem vzorků se vypočítá z následujícího vzorce:

$$m_O = m_{Cel.} - m_T - m_N \quad (1.8)$$

$$V_O = \frac{m_O}{\rho_O} \quad (1.9)$$

$$V_T = V_N - V_O \quad (1.10)$$

kde:

m_O – hmotnost osiva (kg),

$m_{Cel.}$ – hmotnost celková, tzn. nádoba s osivem a vzorky (kg),

m_N – hmotnost nádoby (kg),

V_O – objem osiva (m^3),

V_T – objem vzorků (m^3),

V_N – objem nádoby (m^3).

1.5 Závěry ze současného stavu vědění

Z výše uvedené literární rešerše, je zřejmé, že problematika měření vlastností dřevní štěpky, a to především jejího podílu vlhkosti byla dříve řešena, ale doposud není uspokojivě vyřešena. Přičemž vlhkost dřevní štěpky ovlivňuje výhřevnost dřevní štěpky, což je nejdůležitější parametr u spalovacích zařízení.

V kapitole 1.1 byly popsány metody, které byly použity pro měření vlhkosti rostlinných materiálů. Nicméně uvedené metody jsou pro těžké pracovní podmínky, které jsou v teplárnách, kde je dřevní štěpka hlavním zdrojem tepla, nevhodné. Další nevýhodou metod pro měření vlhkosti rostlinných materiálů je jejich nepřesnost nebo neuspokojivé výsledky. Metody, které jsou založené na rentgenovém záření, jsou nevhodné z hlediska legislativních a zdravotních důvodů. Použití řady metod, které jsou popsány v kapitole 1.1, znamená vynaložení značných finančních nákladů.

V kapitole 1.2.3 jsou popsány výsledky, kterých dosáhli autoři *Kumhála et al. (2009)* a *Kumhála et al. (2010)*, kteří ve své studii testovali senzory pro průchodnost rostlinných materiálů, jenž byly založené na principu kapacitních čidel. Další způsob, který byl použit pro měření průchodnosti rostlinných materiálů, jsou kapacitní tomografie (*Williams et al., 2000*). Je zřejmé, že kapacitní metody mají velký potenciál i pro určování vlhkosti rostlinných materiálů.

Tato disertační práce má pomoci k vyřešení otázky kontinuálního měření vlhkosti dřevní štěpky před jejím vstupem do spalovací komory tepláren pomocí senzorů založených na kapacitním principu.

2 Cíle disertační práce

Cílem této disertační práce bylo určení vzájemných vztahů mezi dielektrickými parametry, vlhkostí a frakčním složením dřevní štěpky za účelem využít získané informace ke zhodnocení možností vývoje metody pro určení vlhkosti dřevní štěpky v reálném čase.

Předložená disertační práce má ověřit vědeckou hypotézu, že existují vztahy mezi dielektrickými vlastnostmi dřevní štěpky, jejím podílem vlhkosti a frakčním složením, které by byly využitelné k rychlému určování podílu vlhkosti dřevní štěpky jako jednému z nejdůležitějších parametrů její výhřevnosti.

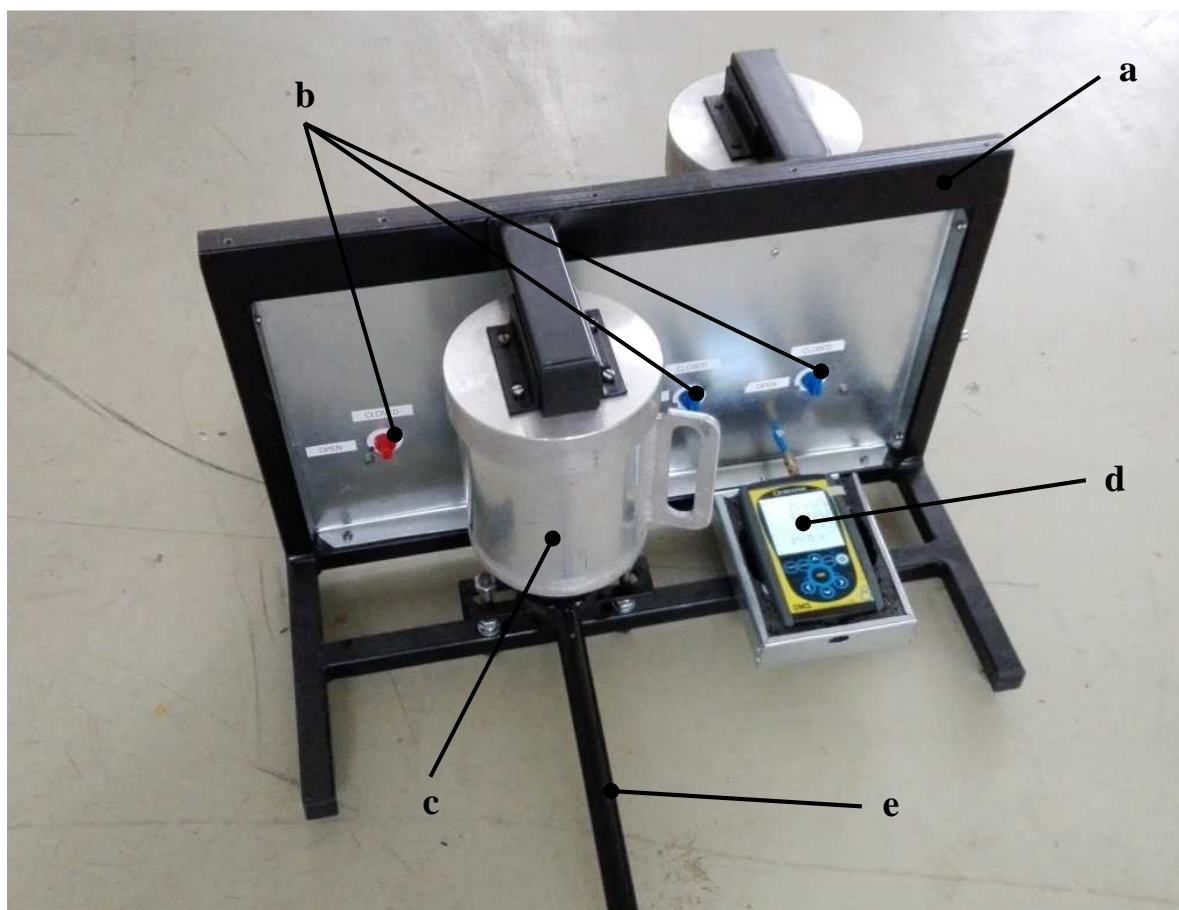
Podíl vlhkosti dřevní štěpky známý v reálném čase před jejím spalováním by vedl k podstatnému zefektivnění spalovacího procesu.

3 Materiály a metody

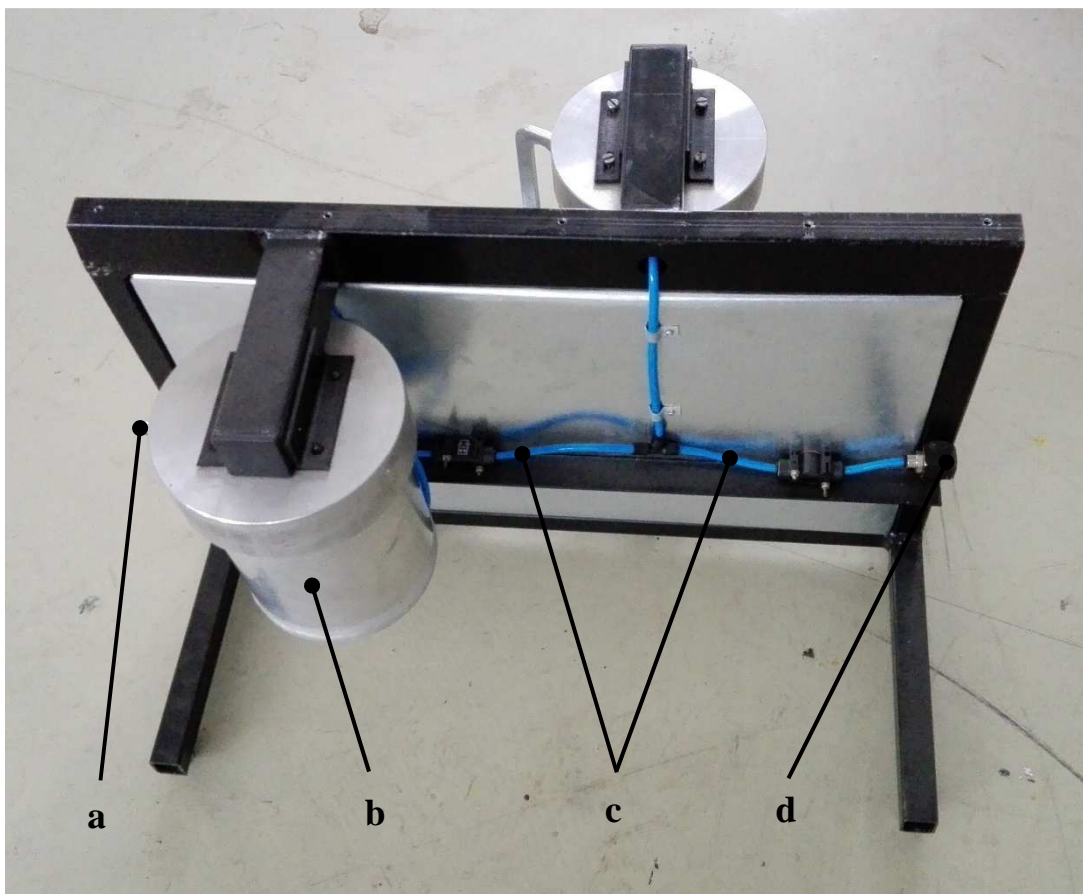
Pro účely měření byly sestaveny dvě aparatury, a to aparatura pro měření objemu partikulárních látek jako je například dřevní štěpka (Obr. 3.1, 3.2) a aparatura pro měření dielektrických vlastností dřevní štěpky (Obr. 3.4). Vzorčky dřevní štěpky byly získávány přímo ze společnosti Žatecká teplárenská, a.s., se kterou probíhala konzultace dosažených výsledků a jejich vhodnosti pro případné komerční použití.

3.1 Aparatura pro měření objemu partikulárních částic

Pro účely měření objemu partikulárních částic, což dřevní štěpka bezesporu je, byla nově vyvinuta a vyrobena měřicí aparatura (Obr. 3.1, 3.2).



*Obr. 3.1: Aparatura pro měření objemu partikulárních částic
a – rám aparatury, b – uzavírací ventily, c – měřící komora, d – tlakoměr,
e – přítlačný mechanismus měřící komory*

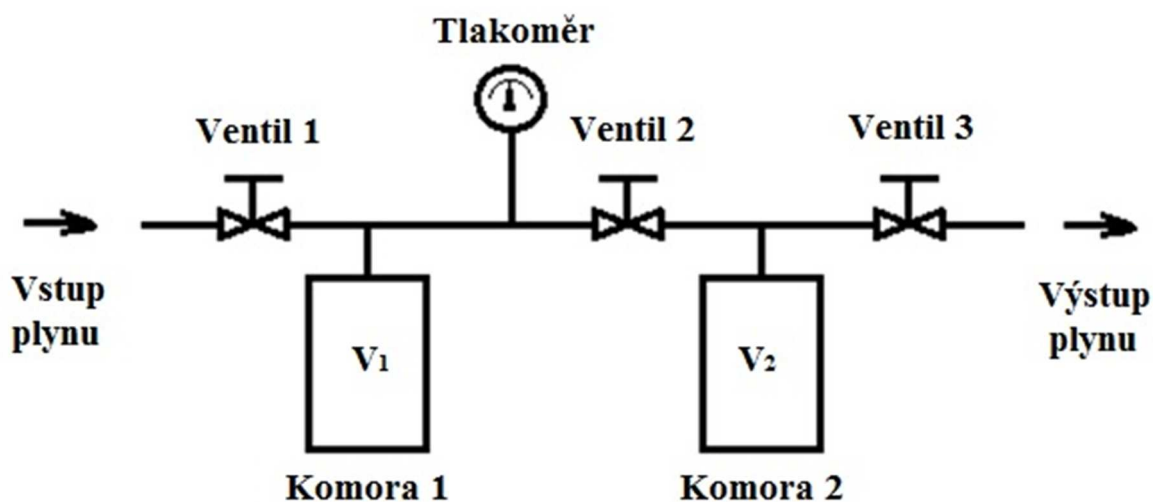


Obr.3.2: Aparatura pro měření objemu partikulárních částic

a – vstup pro přívod tlakového vzduchu, b - porovnávací komora, c – propojovací vedení mezi měřicí a porovnávací komorou, d – výstup pro vypuštění tlakového vzduchu z vedení

Při návrhu aparatury pro měření objemu partikulárních částic se vycházelo z principu dislokace plynu, což vychází z Boyle-Mariottova zákona (Karathanos & Saravacos ;1993). Z literární rešerše je zřejmé, že nejlepším měřicím médiem je dusík nebo helium, nicméně pro účely řešení této disertační práce bylo použito stlačeného vzduchu.

Měřicí aparatura pro měření objemu partikulárních částic je složena z nosného rámu, měřicí a porovnávací komory, propojovacího vedení s uzavíracími ventily, přítlačného mechanismu měřicí komory. Zásadními body při stavbě měřicí aparatury pro měření objemu partikulárních částic byla přesnost výroby měřicí a porovnávací komory a těsnost celého propojovacího vedení (Obr. 3.3) mezi měřicí a porovnávací komorou.



Obr. 3.3: Schéma propojovacího vedení mezi měřící a porovnávací komorou u měřící aparatury pro měření objemu partikulárních částic

Zdroj: Serpil a Servel, 2006 - upraveno

V první fázi měření bylo nutné provést kalibraci měřící aparatury pro měření objemu partikulárních částic. Kalibrace probíhala tak, že po sestavení aparatury a odzkoušení těsnosti tlakového vedení aparatury, byla měřící komora ponechána bez vzorku. Do první větve měřící aparatury byl vpuštěn tlak v rozmezí 1 000 až 1 500 Pa, uzavírací ventily 2 a 3 byly v poloze zavřeno. Po ustálení tlaku v první větvi měřící aparatury byly hodnota tlaku zaznamenána a vzduch byl z první větve měřící aparatury vpuštěn do druhé větve, přičemž uzavírací ventily 3 a 1 byly v poloze zavřeno a ventil 2 byl přepnut do polohy otevřeno. Po ustálení tlaku byla opět hodnota tlaku zaznamenána. Na závěr byl ventil 3 přesunut do polohy otevřeno a přetlak z vedení měřící aparatury byl vypuštěn. Následně byly hodnoty tlaku a objemu komor vloženy do vzorce, který vychází se stavové rovnice:

$$V_T = V_2 - V_1 \left(\frac{P_1 - P_2}{P_2} \right) \quad (3.1)$$

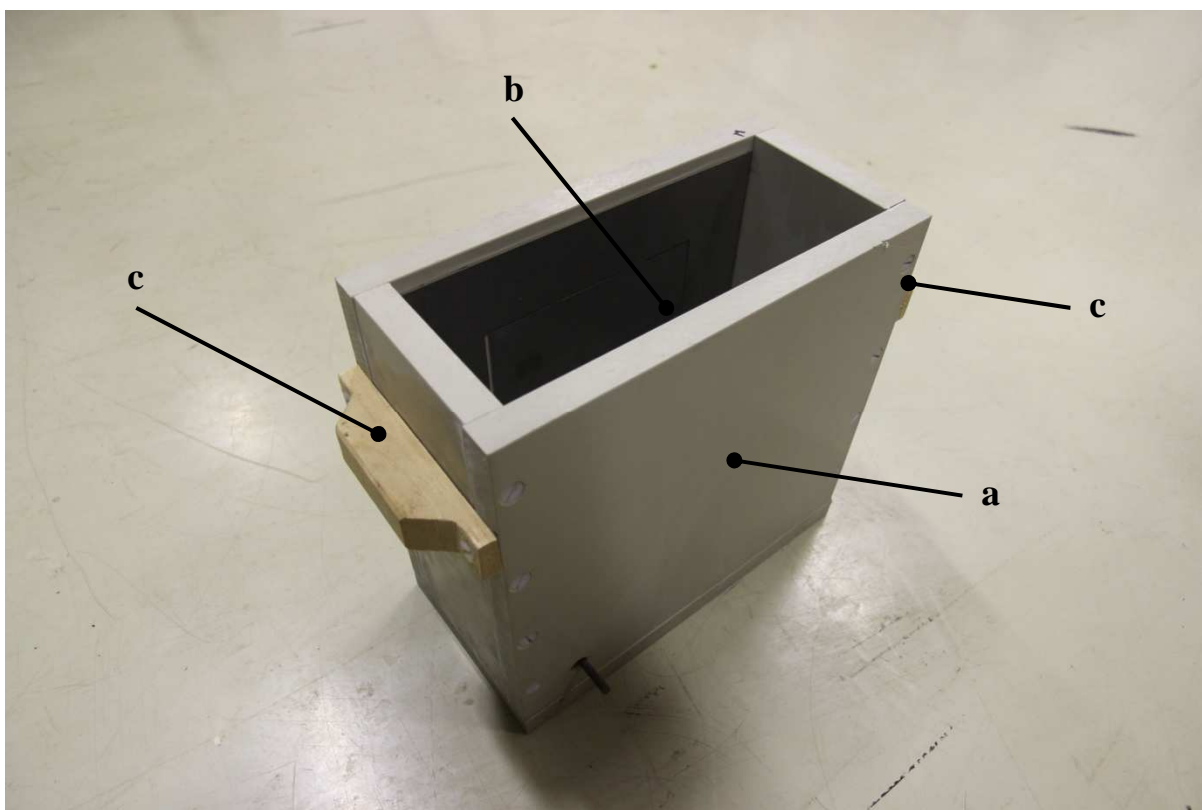
Po vypočtení hodnot byla určena hodnota chyby, se kterou bylo nutné počítat při dalším měření.

V druhé a třetí fázi kalibrace aparatury pro měření objemu partikulárních látek bylo do měřící komory vloženo těleso o známém rozměru. V tomto případě se jednalo o tělesa válcového tvaru a rozměrech $\text{Ø}60 \times 60 \text{ mm}$ a $\text{Ø}100 \times 140 \text{ mm}$. Kalibrační tělesa byla z ocelového materiálu a jejich povrch byl upraven tak, aby tělesa neměla žádné povrchové nerovnosti.

Samotná kalibrace pak probíhala obdobným způsobem jako je uvedeno výše v této kapitole.

3.2 Aparatura pro měření dielektrických vlastností dřevní štěpky

Aparatura pro měření dielektrických vlastností dřevní štěpky (Obr. 3.4) je složena z plastového (izolačního) korpusu o síle 15 mm. Uvnitř plastového korpusu jsou přilepeny měřicí elektrody z nerezového materiálu, které mají vývody pro připojení LCR metru 811G GW Instek.



*Obr. 3.4: Měřicí aparatura pro měření dielektrických vlastností dřevní štěpky
a – plastový (izolační) korpus aparatury, b – měřicí a zemní elektrody aparatury s vývody
pro připojení LCR metru, c – manipulační úchyty aparatury*

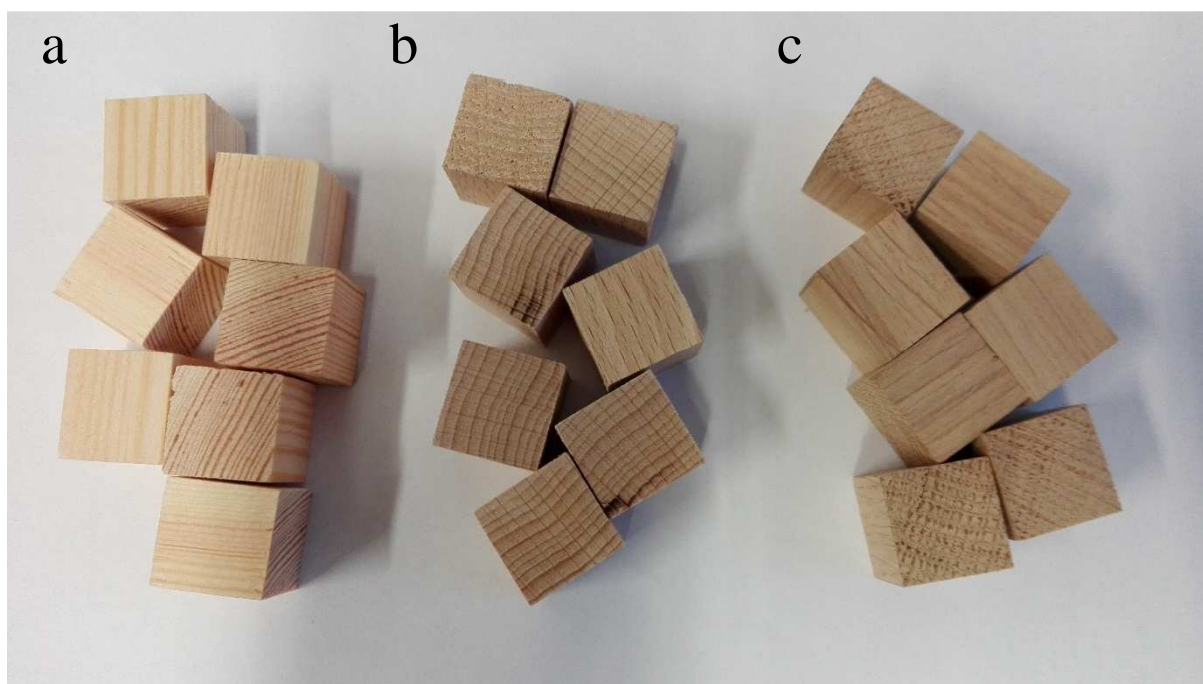
Jednotlivé desky byly spojeny pomocí plastových šroubů, aby nedocházelo k ovlivňování měření. Do čel desek byly vyvrtány díry a byly vytvořeny závity pro pevná spojení. Bylo nutné zajistit těsnost desek mezi sebou, což bylo zajištěno nanesením tmelu před samotným spojením desek pomocí plastových šroubů.

Kalibrace měřicí aparatury byla provedena zaplněním měřicího prostoru destilovanou vodou. Tím byla ověřena i absolutní těsnost aparatury, která byla nezbytná pro měření vzorků dřevní štěpky, u kterých byl uměle regulován podíl vlhkosti.

3.3 Kalibrace aparatury pro měření objemu partikulárních částic pomocí částic se známým objemem

Po kalibraci prázdné měřicí aparatury pro měření objemu partikulárních částic byla provedena kalibrace měřicí aparatury s materiálem, který odpovídá vlastnostem dřevní štěpky. Nebylo možné začít měření, aniž by byla provedena kalibrace měřicí aparatury pro měření objemu partikulárních částic s dřevěným materiálem o známých rozměrech. Důvodem je nehomogenost dřevěného materiálu jako je právě dřevní štěpka.

Pro účely kalibrace byly zvoleny tři druhy dřeva borovice lesní (*Pinus sylvestris*), buk lesní (*Fagus sylvatica*) a dub letní (*Quercus robur*) (Obr. 3.5) tudíž i tři typy vnitřní struktury dřeva.



Obr. 3.5: Typy dřeva zvolené pro kalibraci měřicí aparatury k měření objemu partikulárních částic

*a – borovice lesní (*Pinus sylvestris*); b – buk lesní (*Fagus sylvatica*); c – dub letní (*Quercus robur*)*

Dřevo jako takové mění své rozměry vlivem podílu vlhkosti, což je samozřejmě nutno brát v úvahu při měření objemu dřevní štěpky. Dřevní materiál má také odlišnou strukturu v závislosti na druhu dřeva. Existuje celá řada struktur dřevěných materiálů, které obsahují více či méně mikroskopických pórů. Právě tyto mikroskopické póry můžou zkreslovat výsledky měření objemu dřevní štěpky v aparatuře pro měření objemu partikulárních částic.

Vzorky byly nařezány na krychle o rozměrech 20x20x20 mm v celkovém počtu 90 kusů. Po připravení vzorků byly změřeny a zaznamenány rozměry (všechny tři strany) za účelem určení celkového objemu vzorků. Dalším krokem bylo zvážení všech vzorků a zaznamenání hmotností pro určení podílu vlhkosti vzorků v jednotlivých intervalech sušení vzorků při snižování podílu vlhkosti. Měření rozměrů bylo vždy provedeno pro všech 90 kusů všech typů dřeva.

Dalším krokem bylo vložení všech vzorků do vody za účelem dosažení maximální vlhkosti vzorků. Vzorky byly ponořeny do vody o teplotě 12 °C, na dobu 24 hodin. Po uplynutí této doby, byly vzorky vyjmuty z vody a vloženy do igelitových sáčků, kde na dně igelitových sáčků byl můstek vytvořený z pletiva. Vzorky byly ponechány v igelitových sáčcích na dobu 24 hodin z důvodu odkapání přebytečné vody a homogenizace vzorků. Po homogenizaci vzorků došlo k měření mezerovitosti v aparatuře pro měření objemu partikulárních částic a toto měření bylo opakováno desetkrát. Vzorky byly do měřicí komory vkládány náhodně tzn. gravitačně. Následovalo měření vzorků z pohledu rozměrů a zvážení vzorků, tyto parametry byly zaznamenány. Pro snížení podílu vlhkosti materiálu byly vzorky vloženy do horkovzdušné pece, kde docházelo k sušení po dobu 30 minut a při teplotě 105±0,5 °C. Jednotlivé krychle vzorků byly po deseti minutách otáčeny z důvodu rovnoměrného vysychání vzorků. Po uplynutí doby sušení byly vzorky opět umístěny do igelitového sáčku z důvodu jejich homogenizace, vzorky byly ponechány v sáčku po dobu 24 hodin.

Po homogenizaci vzorků bylo opakováno měření, dle výše uvedeného postupu a sušení bylo opakováno, dokud nedošlo k vysušení vzorků na sušinu.

3.4 Kalibrace aparatury pro měření objemu partikulárních částic pomocí čisté dřevní štěpky

Pro přesnější kalibraci aparatury pro měření objemu partikulárních částic a aparatury pro stanovení dielektrických vlastností dřevní štěpky byla použita čistá dubová štěpka. Čistá dřevní štěpka bez příměsí jako je kůra, jehličí, zemina aj., se dnes dá zakoupit v řeznických potřebách. Pro účely kalibrace byla zakoupena dřevní štěpka s rozsahem velikostí jednotlivých částic od 1 mm do 10 mm. Pro ověření závislostí mezi dielektrickými vlastnostmi (kapacitou a ztrátovým faktorem) a mezerovitostí byly vzorky měřeny a vyhodnocovány po jednotlivých frakcích. Ztrátový faktor vyjadřuje poměr imaginární permitivity a reálné permitivity. Pokud je kondenzátor tvořen bezztrátovým dielektrikem je imaginární složka permitivity rovna nule a nahromaděná energie v kondenzátoru zůstane, dokud se nevybije. Pokud je imaginární permitivita větší, než nula část energie se ztratí (přemění se na teplo).

V prvním kroku byla štěpka roztržena do třech frakcí pomocí vibračního síťového analyzátoru. Čistá štěpka byla roztržena do frakcí:

a – menší než 3,15 mm

b – $3,15 \text{ mm} < x < 5 \text{ mm}$

c – větší než 5 mm



Obr. 3.6: Vibrační síťový analyzátor a síta o velikosti ok 5 mm a 3,15 mm

Všechny frakce byly vloženy do vody o teplotě 12 °C na dobu 24 hodin, tím bylo zajištěno dosažení maximálního podílu vlhkosti vzorků. Po docílení maximálního podílu vlhkosti vzorků byly vzorky vloženy do igelitových sáčků, které byly hermeticky uzavřeny, aby nedocházelo k svévolnému vysoušení vzorků. Po uplynutí této doby byly vzorky vloženy do aparatury pro měření dielektrických vlastností, která byla připojena k LCR metru 8110G GW

Instek. Na LCR metru byly naměřeny hodnoty kapacity a ztrátového faktoru při frekvencích 10 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 500 kHz, 1 MHz a 5 MHz (měření vycházelo z práce autorů *Sacilik a Colak, 2010*).

Důležité bylo nechat vzorky mírně nad dnem igelitových sáčků, aby mohlo dojít k odvodu přebytečné vody, která ulpěla na povrch jednotlivých částic dřevní štěpky. Proto byla dřevní štěpka uložena do sáčků na můstek, který byl vytvořen z pletiva a mezi můstek a dřevní štěpku byl vložen kus textilní látky, která zabránila propadnutí dřevní štěpky skrz můstek z pletiva. Vzorky dřevní štěpky byly ponechány v igelitovém sáčku na dobu 24 hodin z důvodu homogenizace vlhkosti.

Po uplynutí doby homogenizace vzorků byl nejprve odebrán referenční vzorek pro stanovení podílu vlhkosti vzorků. Následně byly vzorky vloženy do aparatury pro měření dielektrických vlastností dřevní štěpky a byla naměřena kapacita při frekvencích 10 kHz; 50 kHz; 100 kHz; 500 kHz; 1 MHz a 5 MHz. Dále byl naměřen ztrátový faktor. Dřevní štěpka byla do měřicí aparatury sypána gravitačně bez jakéhokoliv přitlačování, pouze byla pravítkem zarovnána tak, aby byla rovnoběžně s vrchním čelem aparatury. Měření bylo opakováno třikrát, přičemž aparatura po každém měření byla vyprázdněna a naplněna novým vzorkem ze stejné frakce. Na začátku a na konci každého měření byla zaznamenána teplota vzorku a teplota vzduchu. Přičemž teploty vzorku se nelišily nikdy o více než ± 2 °C.





Obr. 3.7: Frakce čisté kalibrační štěpky

a – frakce menší než 3,15 mm; b – frakce $3,15 \text{ mm} < x < 5 \text{ mm}$; c – frakce větší než 5 mm

Po zaznamenání těchto hodnot byly vzorky podrobeny měření jejich objemu v aparatuře pro měření objemu partikulárních částic. V této aparatuře bylo provedeno měření desetkrát. Stejně tak jako u měření dielektrických vlastností, byla dřevní štěpka sypána do měřicí komory gravitačně bez jakéhokoliv přitlačování. Po zaplnění měřicí komory byla dřevní štěpka zarovnána s vrchním čelem měřicí komory pomocí pravítka, přičemž měřicí komora byla vždy před dalším opakováním vyprázdněna a zaplněna novým vzorkem ze stejné frakce. Na začátku měření a na konci měření byly zaznamenány teploty vzduchu a vzorku. Měření objemu dřevní štěpky dané frakce bylo vždy opakováno desetkrát.

Po naměření hodnot dielektrických vlastností a objemu dřevní štěpky byly vzorky vloženy do horkovzdušné pece, kde byly sušeny při teplotě $105 \pm 0,5$ °C. V průběhu sušení byly vzorky promíchávány každých 15 minut pro zajištění co možná nejrovnoměrnějšího vysychání všech částic dřevní štěpky. Vysoušení vzorků probíhalo do doby, dokud nedošlo k úbytku hmotnosti referenčního vzorku o 10 g. Po snížení podílu vlhkosti byly vzorky včetně referenčního vzorku vloženy do igelitových sáčků, kde byly ponechány za účelem homogenizace vzorků na dobu 24 hodin. Po homogenizaci vzorků bylo provedeno měření dielektrických vlastností a objemu dřevní štěpky, které je popsáno výše v této kapitole.

Snižování vlhkosti dřevní štěpky bylo opakováno do doby, kdy nedošlo k vysušení vzorků na sušinu.

3.5 Metodika měření reálné dřevní štěpky

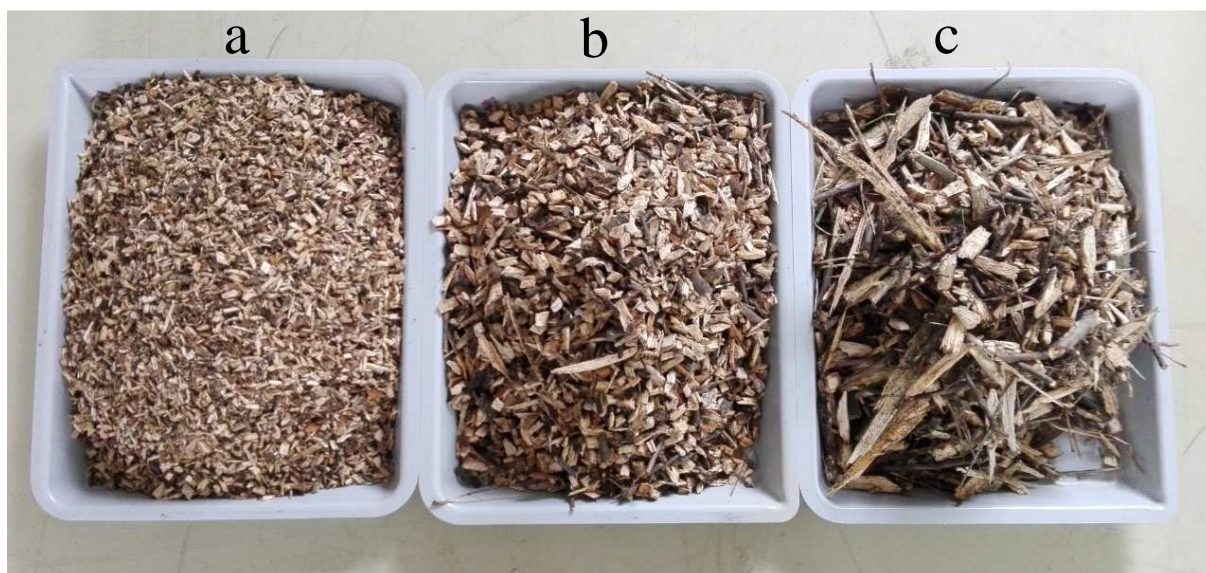
Dřevní štěpka odebraná přímo ze společnosti Žatecká teplárenská, a.s., byla ihned po přivezení do laboratoře roztríděna do třech frakcí pomocí sít. Reálná dřevní štěpka byla roztríděna do těchto frakcí (Obr.3.8):

a – větší než 18 mm

b – $10 \text{ mm} < x < 18 \text{ mm}$

c – menší než 10 mm

Vzhledem k tomu, že se vždy jednalo o štěpku, která byla vyrobena těsně před odebráním vzorků nebylo třeba vlhčit materiál, neboť vzorky měly přirozenou vlhkost. Vzorky byly vloženy do igelitových sáčků za účelem homogenizace vlhkosti ve všech částicích dřevní štěpky, a byly v igelitových sáčcích ponechány po dobu 24 hodin. Před samotným měřením byl z každé frakce odebrán referenční vzorek pro určení vlhkosti. Následně byly vzorky podle frakcí vloženy do aparatury pro měření dielektrických vlastností, kam byly nasypány gravitačně bez jakéhokoliv přitlačování. U vzorků byla naměřena kapacita při frekvenci 10 kHz; 50 kHz; 100 kHz; 500 kHz; 1 MHz a 5 MHz. Toto měření bylo opakováno třikrát, přičemž aparatura byla před každý další měření vyprázdněna a naplněna novou dřevní štěpkou ze stejné frakce.



Obr. 3.8: Frakce reálné dřevní štěpky

a – frakce menší než 10 mm; b – frakce $10 < x < 18 \text{ mm}$; c – frakce větší než 18 mm

Před začátkem měření a na konci měření byla naměřena a zaznamenána teplota vzorku a teplota vzduchu. Odchylka teploty mezi začátkem a koncem měření nesměla být více jak ± 2 °C, aby nedocházelo k chybám měření.

Po zaznamenání těchto hodnot byly vzorky podrobeny měření jejich objemu v aparatuře pro měření objemu partikulárních částic. Stejně tak jako u měření dielektrických vlastností, byla dřevní štěpka sypána do měřicí komory gravitačně bez jakéhokoliv přitlačování. Po zaplnění měřicí komory byla dřevní štěpka zarovnána s vrchním čelem měřicí komory pomocí pravítka, přičemž měřicí komora byla vždy před dalším opakováním vyprázdněna a zaplněna novým vzorkem ze stejné frakce. Na začátku měření a na konci měření byly zaznamenány teploty vzduchu a vzorku. Měření objemu dřevní štěpky dané frakce bylo vždy opakováno desetkrát.



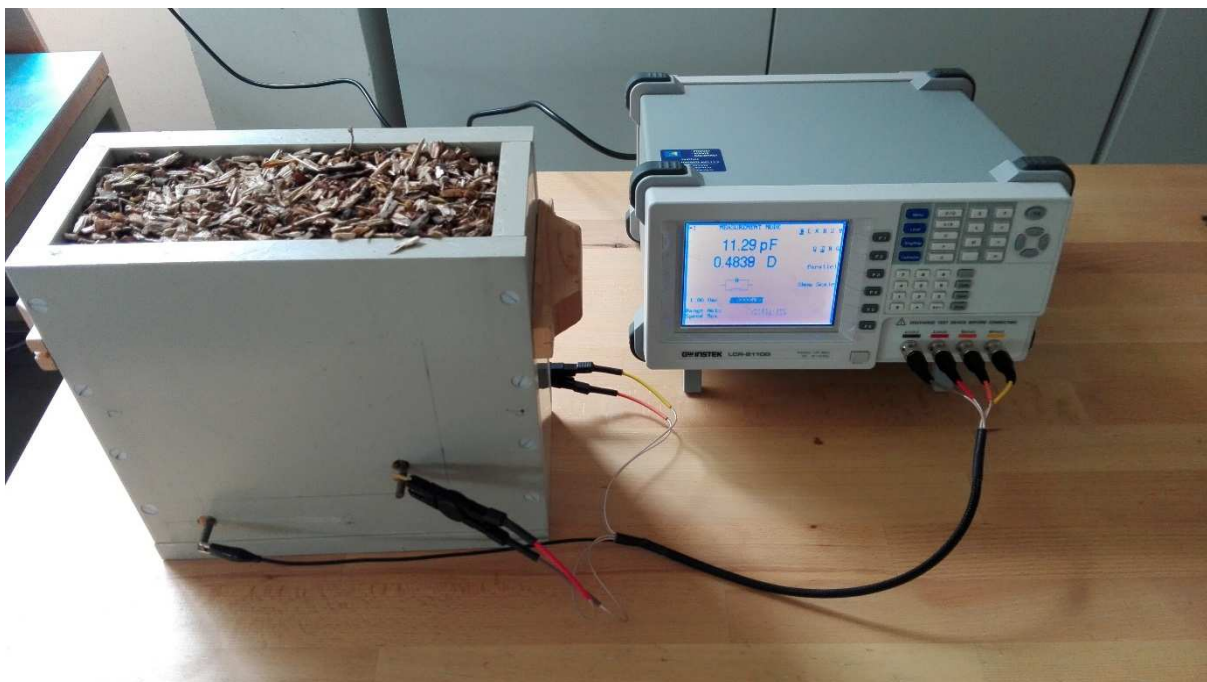


Obr. 3.9: Frakce reálné dřevní štěpky v měřící komoře aparatury pro měření objemu partikulárních částic

a – Frakce $x > 18$ mm, b – Frakce 10 mm $< x < 18$ mm, c – Frakce $x < 10$ mm

Po naměření hodnot dielektrických vlastností a objemu dřevní štěpky byly vzorky vloženy do horkovzdušné pece, kde byly sušeny při teplotě $105 \pm 0,5$ °C. V průběhu sušení byly vzorky promíchávány každých 15 minut pro zajištění co možná nejrovnoměrnějšího vysychání všech částic dřevní štěpky. Vysoušení vzorků probíhalo do doby, dokud nedošlo k úbytku hmotnosti referenčního vzorku o 10 g. Po snížení vlhkosti byly vzorky včetně referenčního vzorku vloženy do igelitových sáčků, kde byly ponechány za účelem homogenizace vzorků na dobu 24 hodin. Po homogenizaci vzorků bylo provedeno měření dielektrických vlastností a objemu dřevní štěpky, které je popsáno výše v této kapitole.

Tento postup sušení se opakoval, dokud nebylo dosaženo úplného vysušení vzorků na sušinu.

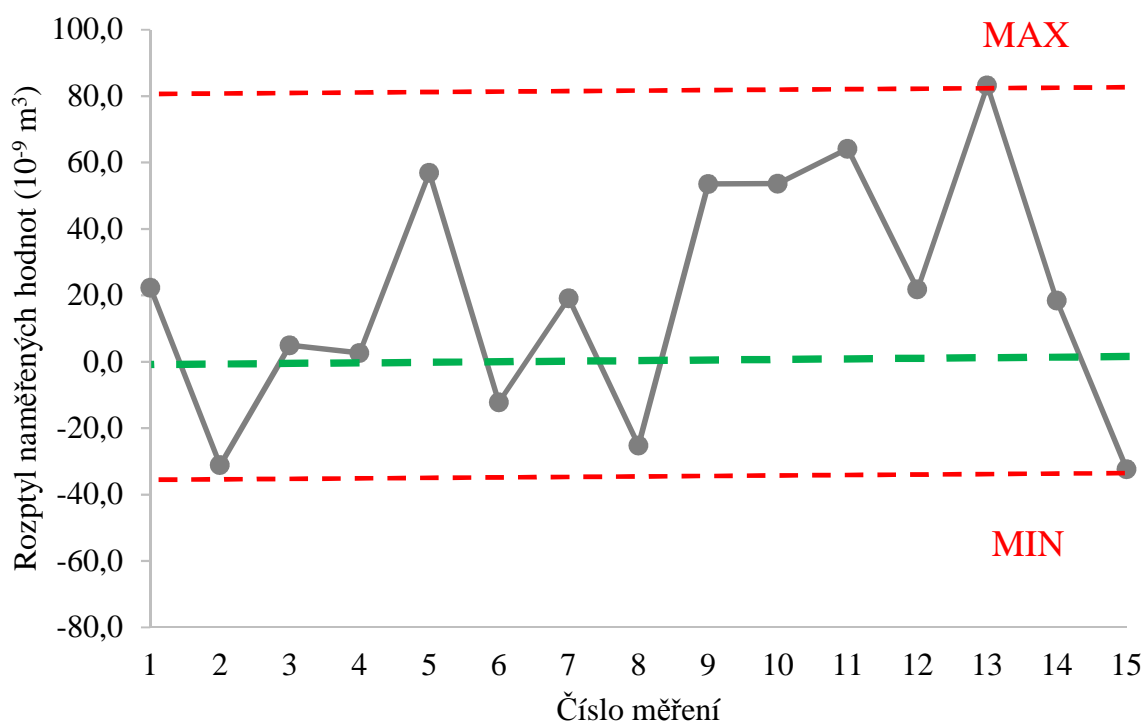


Obr. 3.10: Aparatura pro měření dielektrických vlastností zaplněná reálnou štěpkou a elektrody připojené k LCR metru 8110G GW Instek

4 Výsledky

4.1 Výsledky kalibrace prázdné aparatury pro měření objemu partikulárních částic

Před samotným měřením objemu dřevní štěpky bylo třeba udělat sérii kalibračních měření pro určení přesnosti měření aparatury pro měření objemu partikulárních částic. Jak již bylo napsáno v kapitole 3.1, 3.3 a 3.4, principiálně vychází toto měření z Boyle-Mariottova zákona.

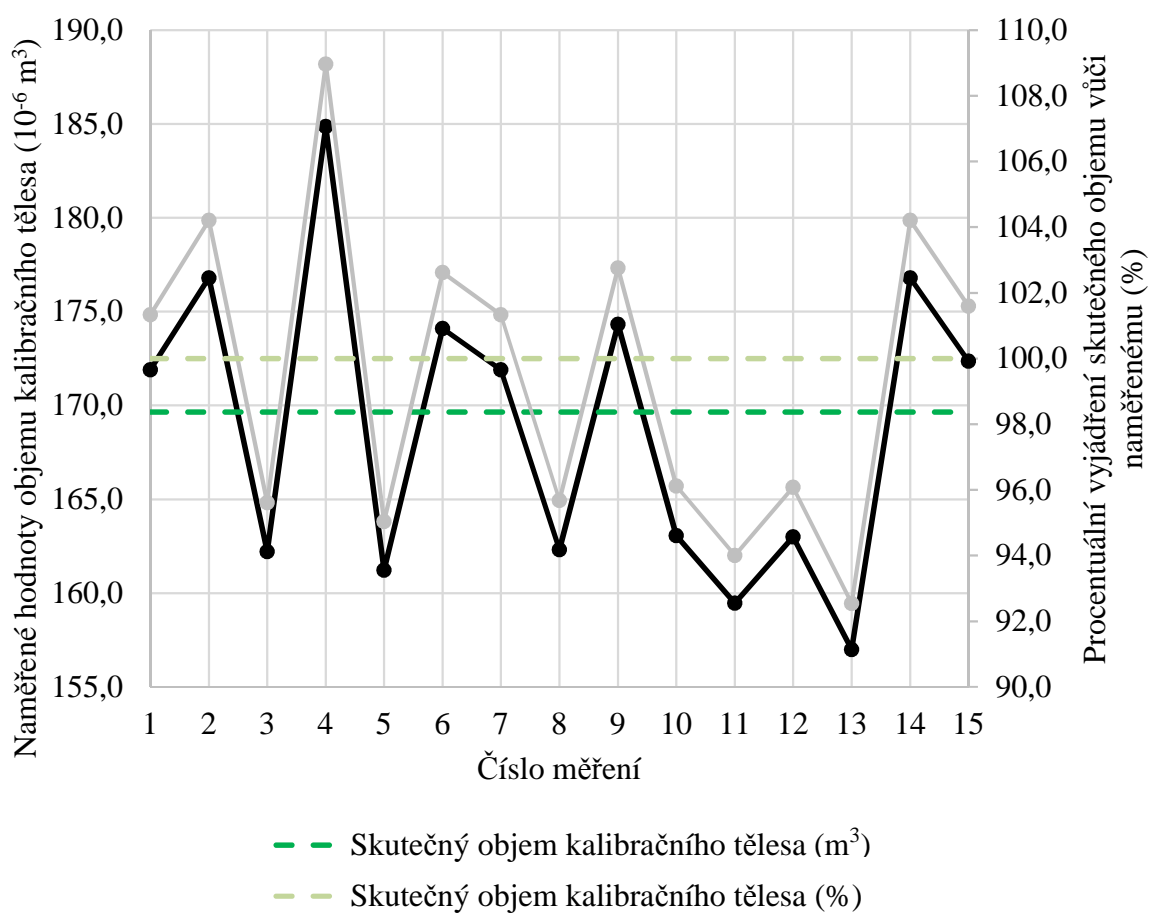


Obr. 4.1: Výsledky kalibrace prázdné měřící aparatury pro měření objemu partikulárních částic

V prvním kroku bylo měření prováděno pouze s prázdnou měřící komorou. Z výsledků, které jsou uvedeny na obrázku 4.1 je zřejmé, že dochází k odchylce měření objemu od $2,33 \times 10^{-9} \text{ m}^3$ do $83,16 \times 10^{-9} \text{ m}^3$, a to od skutečného objemu prázdné měřící aparatury. Rozdíl mezi skutečným objemem prázdné měřící komory a vypočteným z naměřených hodnot tlaků je dán kombinací nepřesností výroby, ztráty v kulových uzavíracích ventilech či samotném vedení. I přesto, že při návrhu měřící aparatury pro měření objemu partikulárních částic bylo počítáno s objemem, který připadá na spojovací vedení mezi porovnávací a měřící aparaturou, nelze úplně přesně stanovit objem, který připadá na prostor kulového uzavíracího

ventilu. Dalším důvodem k nepřesnostem při měření objemu partikulárních částic může být použité médium, kterým byl v tomto případě stlačený vzduch a vzduch není ideálním plynem.

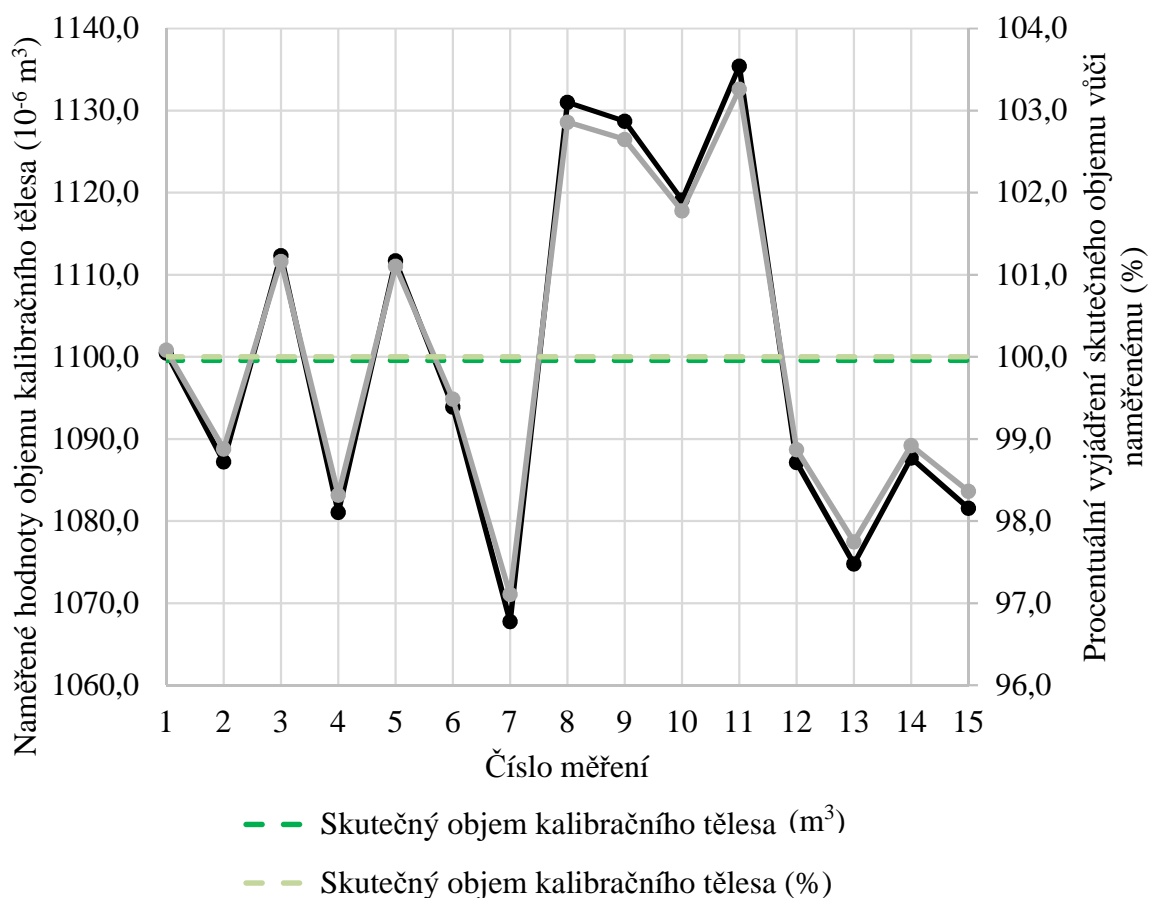
V druhém kroku kalibrace aparatury pro měření objemu partikulárních částic bylo do měřicí komory vloženo těleso o známém objemu V_{Ta} . V případě tělesa se jednalo o válcový tvar s průměrem 60 mm a výšce 60 mm. Pomocí 15-ti měření byly naměřeny hodnoty, které jsou zobrazeny na obrázku 4.2. Z výsledků je patrné, že při měření bylo dosaženo chyby od 1,33 % do 8,97 %. V průměrné hodnotě chyby se jedná tedy o hodnotu chyby 4,13 %.



Obr. 4.2: Výsledky kalibrace měřicí aparatury při vložení tělesa o známém objemu V_{Ta}

V poslední třetí fázi kalibrace aparatury pro měření objemu partikulárních částic bylo do měřicí komory vloženo těleso o známém rozměru V_{Tb} . Jednalo se o těleso válcového tvaru s průměrem 100 mm a výšce 140 mm. Bylo provedeno 15 měření jejich výsledky jsou zobrazeny na obrázku 4.3. Z výsledků je patrné, že chyba měření se zmenšila se zvětšením zaplnění prostoru měřicí komory aparatury pro měření objemu partikulárních částic. Z výsledků

měření je vidět, že velikost chyby měření se pohybovala v rozsahu od 0,08 % do 3,26 %. Průměrná chyba je tedy v tomto případě 1,68 %.



Obr. 4.3: Výsledky kalibrace měřicí aparatury při vložení tělesa o známém objemu V_{Tb}

Z výsledků, které jsou uvedeny na obrázku 4.3 je zřejmé, že u měření 8 až 11 došlo k výrazné výchylce naměřených hodnot do kladného směru. Tento jev může být odůvodněn mnoha způsoby jako je změna teploty, změna okolního tlaku aj. Je nutné si uvědomit, že měřicí aparatura pro měření objemu partikulárních částic pracuje při velmi nízkých tlacích (1 000 až 1 500 Pa) a změna o jeden bar může znamenat významné ovlivnění výsledku měření. S největší pravděpodobností došlo právě z tohoto důvodu k chybě měření, jaká je znázorněna v bodech 8 - 11.

4.2 Výsledky kalibrace aparatury pro měření objemu partikulárních částic pomocí částic známého objemu

Dřevní štěpka a obecně dřevěný materiál se vyznačuje pórovitostí, což hraje významný vliv při měření objemu dřevní metody metodou dislokace plynu. Část plynu, v tomto případě vzduchu může vniknout právě do těchto pórů. V kapitole 3.2 je popsán způsob, jakým bylo provedeno kalibrační měření aparatury pro měření objemu partikulárních částic.

Výsledky měření jsou zobrazeny na obrázcích 4.4, 4.5 a 4.6, každý z obrázků obsahuje tři křivky. Přičemž první křivka znázorňuje objem dřevěných kostek naměřených metodou dislokace plynu, druhá křivka znázorňuje skutečný objem dřevěných kostek, který byl naměřen posuvným měřítkem viz Příloha A, B a C, což je samozřejmě myšleno jako objem bez započítání pórů v materiálu. A poslední třetí křivka znázorňuje pórovitost vzorků, tedy podíl vzduchu, který vnikne do vnitřních pórů vzorků. Tento fakt zásadně ovlivňuje přesnost měření objemu vzorků dřevní štěpky pomocí metody dislokace plynu. Z dosažených výsledků, které jsou zobrazeny na obrázcích 4.4, 4.5 a 4.6 je zřejmé, že při zvyšování vlhkosti materiálu dochází také ke zvyšování naměřených hodnot objemu dřevěných kostek. Tento jev nastává jak u metody měření objemu metodou dislokace plynu, tak při měření jednotlivých vzorků pomocí posuvného měřítka. Zatímco zvětšování objemu vlivem zvyšování vlhkosti, které bylo naměřeno posuvným měřítkem, je způsobeno přirozeným chováním dřeva, tzv. bobtnání. U metody určování objemu partikulárních částic pomocí dislokace plynu dochází k zaplnění pórů vodou, a tím je způsobena variace obou naměřených hodnot. Na obrázcích 4.4, 4.5 a 4.6 jsou tyto zjištěné hodnoty vyjádřeny v procentuálním podílu skutečného objemu.

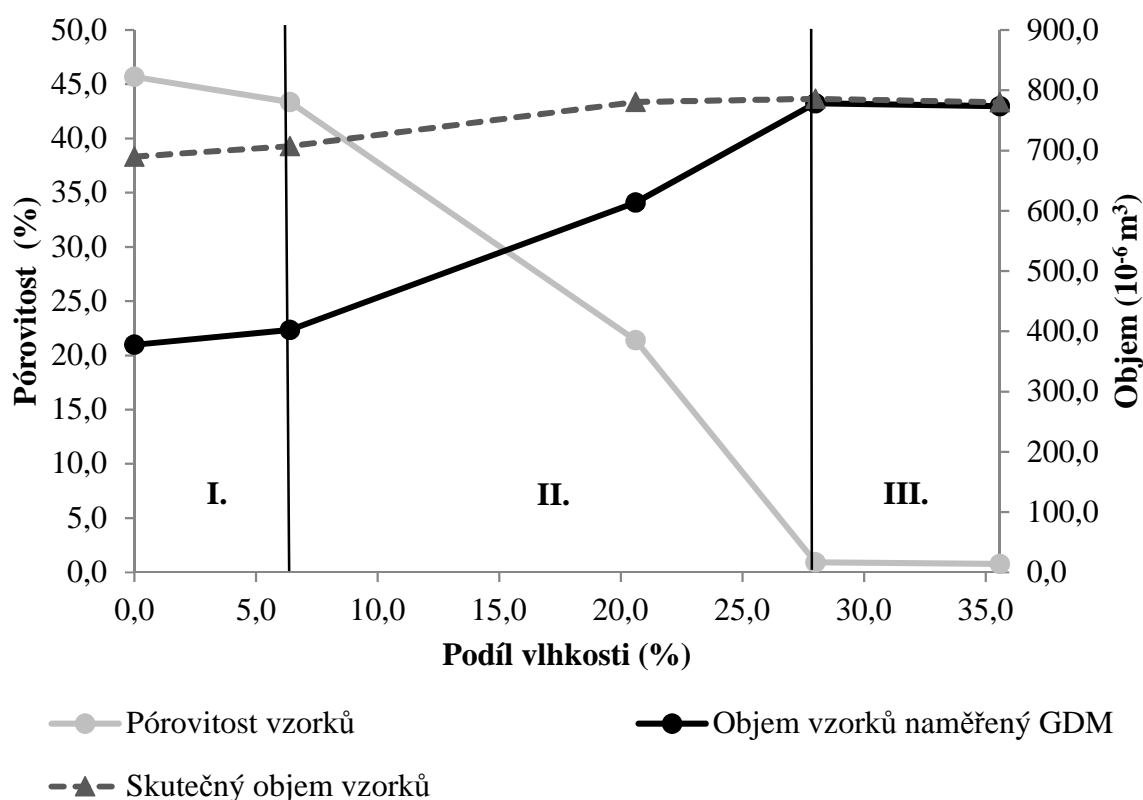
Na obrázcích 4.4, 4.5 a 4.6 lze křivky rozdělit do tří různých oblastí. V první oblasti je vidět typická mírná změna objemu pórů způsobená vlhčením materiálu. Tato oblast je u borového a bukového dřeva poměrně krátká, naproti tomu u dubového dřeva dosahuje tato oblast až k vlhkosti přes 30 %. V této první oblasti sice pronikla voda do vnitřních pórů materiálu, nicméně velké množství pórů je stále plných vzduchu. V druhé oblasti dochází k velkému procentuálnímu poklesu objemu pórů, což naznačuje rychlé zaplnění pórů vodou a zároveň dochází ke zpřesnění naměřených hodnot objemů vzorků, které byly naměřeny pomocí metody dislokace plynu. Třetí oblast se vyznačuje téměř plným zaplněním všech pórů materiálu vodou, a tím dochází jak k naměření téměř totožných objemů vzorků metodou dislokace plynu, tak měření objemu pomocí posuvného měřítka. V této oblasti by mohlo stále

docházet ke zvyšování vlhkosti, nicméně vlhkost v materiálu je usměrňována difuzními pohyby, které jsou značně pomalé.

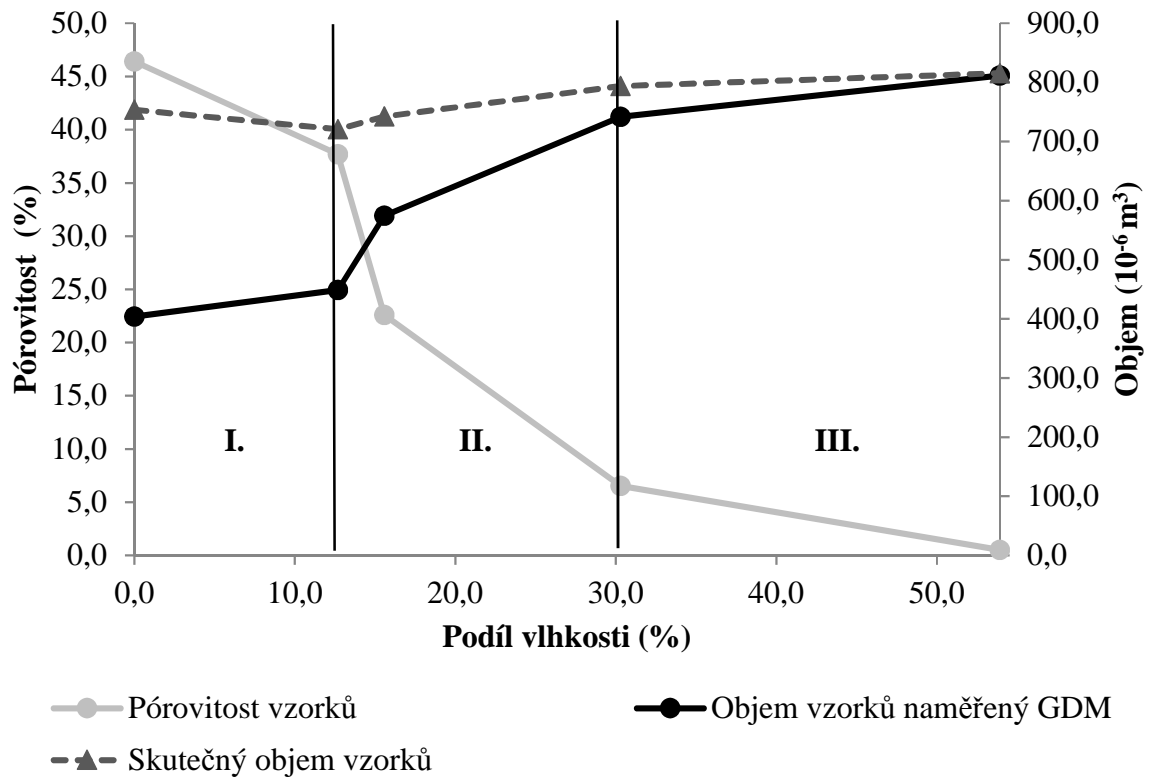
Z uvedených výsledků vyplývá, že množství pórů výrazně ovlivňuje výsledky měření objemu dřevěných materiálů metodou dislokace plynu. Výsledek měření objemu ovlivňují póry především v případě, kdy je dosaženo téměř sušiny dřevěného materiálu. V případě suchého materiálu byly naměřeny hodnoty pórovitosti mezi 40 až 45 %.

Při použití aparatury pro měření objemu partikulárních částic, která byla sestavena a pracuje na principu dislokace plynu (*Serpil a Servel, 2006*), nedochází pouze k naměření objemu dřevěného materiálu, ale část plynu se vtlačí do vnitřních pórů dřevěného materiálu. Tento výsledek může být brán jako pozitivní, neboť právě i tyto vnitřní póry mohou ovlivňovat měření dielektrických vlastností tak jak to popisuje ve své publikaci *Nelson (1991)*.

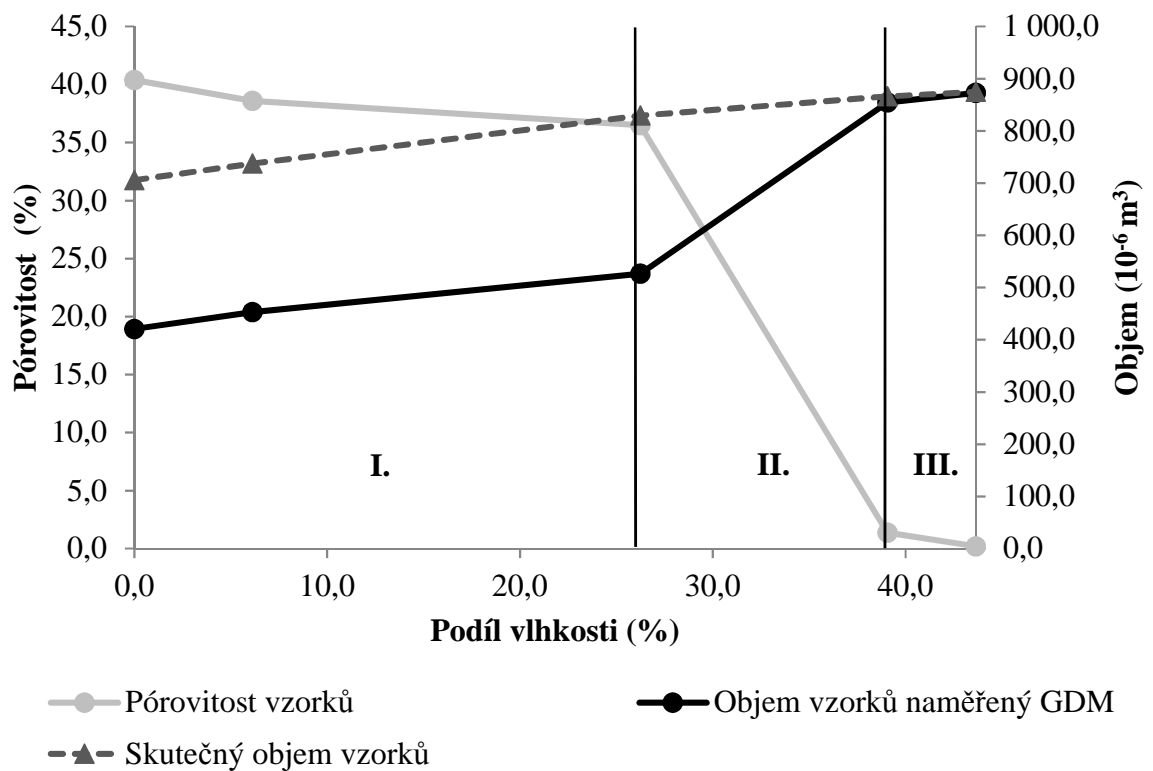
Prezentované výsledky také ukazují, že znalost druhu materiálu není podstatná pouze pro určování dielektrických vlastností různých materiálů, ale důležité je také rozdílné chování vody pro různé materiály.



Obr. 4.4: Výsledky měření objemu kostek borovice lesní (*Pinus sylvestris*)



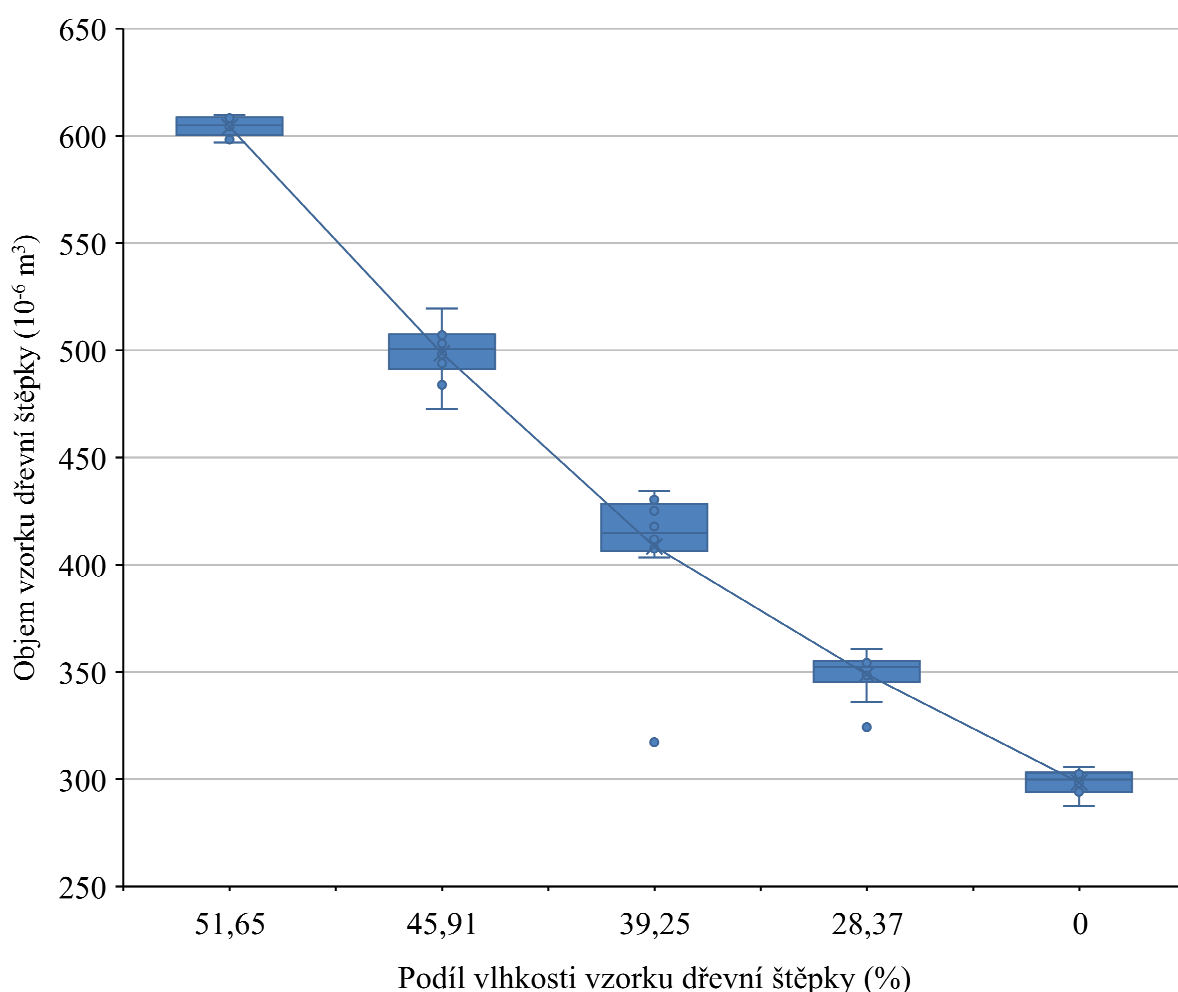
Obr. 4.5: Výsledky měření objemu kostek Buk Lesní (*Fagus sylvatica*)



Obr. 4.6: Výsledky měření objemu kostek dub letní (*Quercus robur*)

4.3 Výsledky měření dielektrických vlastností a objemu čisté dřevní štěpky

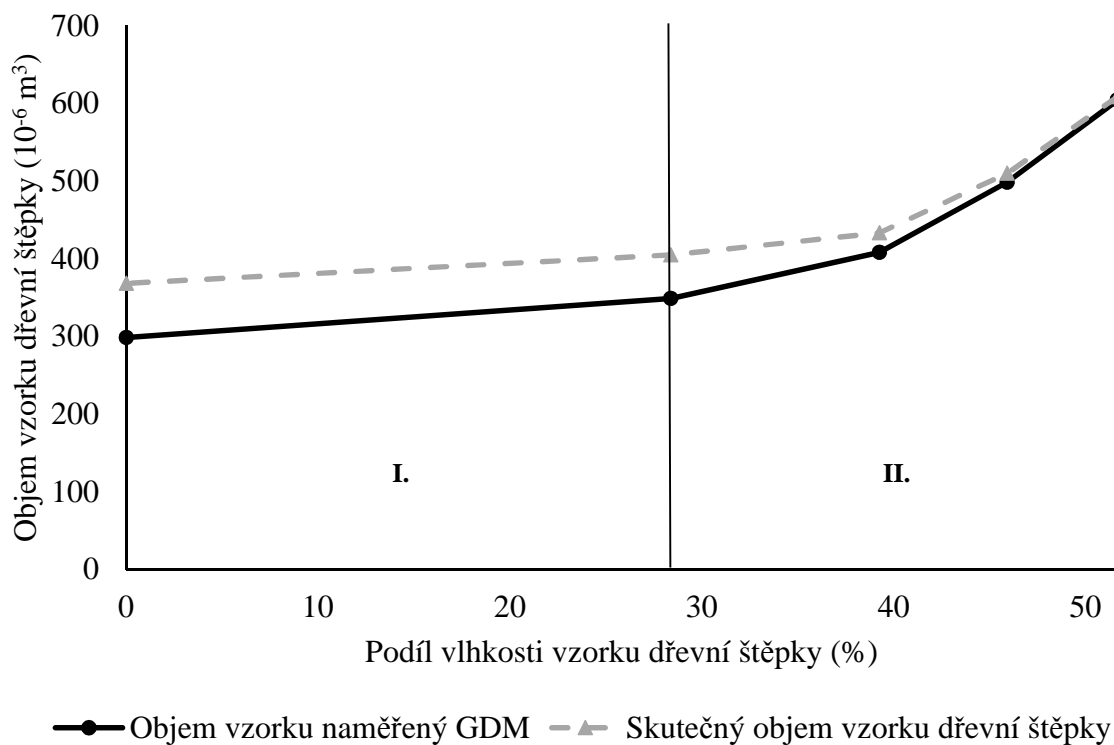
Dřevní štěpka je heterogenní materiál a nelze předpokládat, že při zaplnění stejného objemu měřicí komory aparatury pro měření objemu partikulárních částic dvěma vzorky ze stejné frakce bude docházet ke shodně naměřených hodnot objemů. Tato teorie byla potvrzena na obrázcích 4.7, 4.10, a 4.13, kde je zřejmé, že se vyskytují odlehle hodnoty, které se liší od 25% nebo 75% percentilu o více jako 1,5 násobek rozdílu těchto hodnot a nejsou proto zahrnuty do výpočtu ukazatelů. Tyto hodnoty jsou zobrazeny na obrázcích 4.7, 4.10, a 4.13 jako odlehle body.



Obr. 4.7: Výsledky naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x < 3,15 \text{ mm}$

Z výsledků, které jsou uvedeny na obr. 4.8 je zřejmé, že při měření objemu metodou dislokace plynu, která vychází z Boyle-Mariottova zákona, dochází k chybě měření oproti

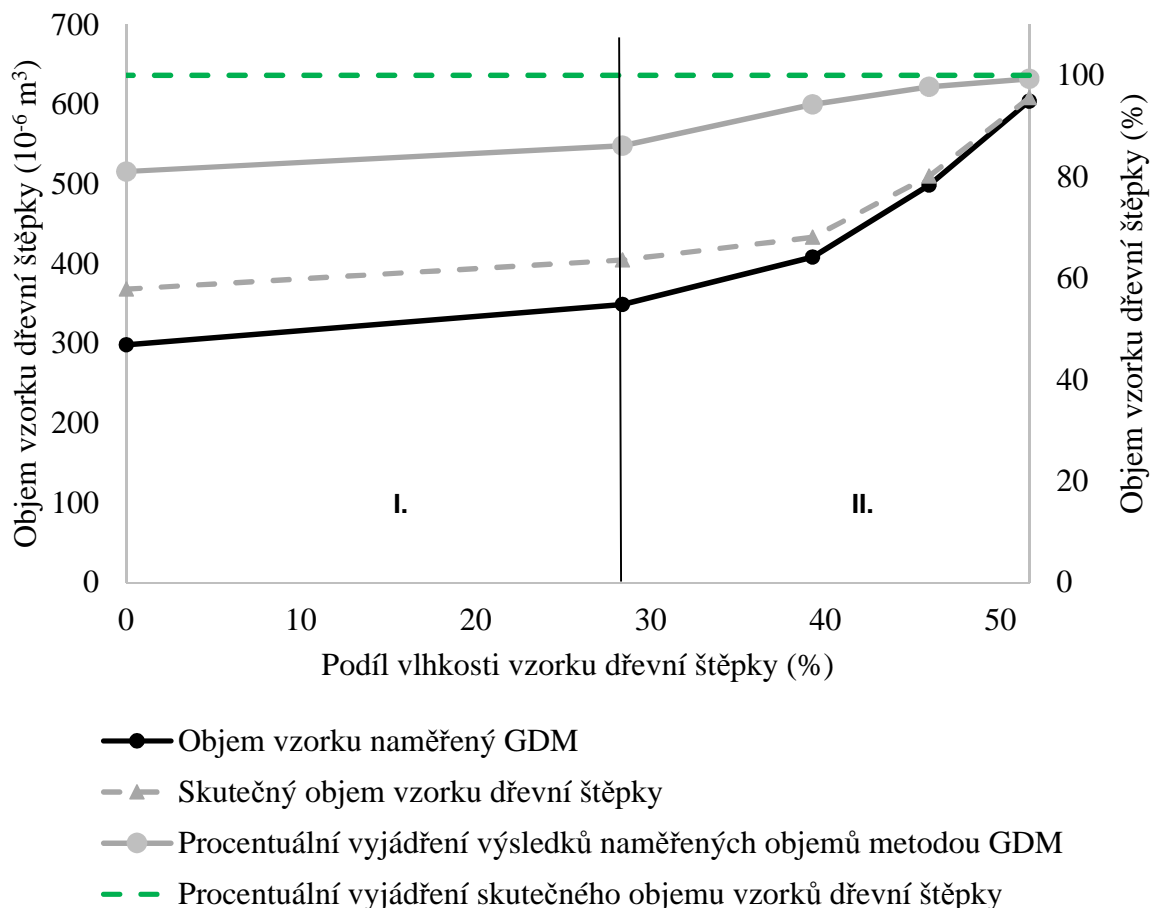
skutečnému objemu vzorku dřevní štěrky. Chyba měření se zvětšuje se snižujícím se podílem vlhkosti dřevní štěrky.



Obr. 4.8: Výsledky naměřených hodnot objemu dřevní štěrky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x < 3,15$ mm

Při podílech vlhkosti vzorků dřevní štěrky přibližně od 30 % výše a frakci $x < 3,15$ mm, je dosahováno chyby měření od 0,7 % do 10 %. Z obrázků 4.8 a 4.9 je zřejmé, že při snižování podílu vlhkosti materiálu pod úroveň 30 %, dochází u frakce $x < 3,15$ mm ke zvyšování chyby měření. V případě uvažování sušiny by to v konečném součtu znamenalo chybu měření objemu vzorku dřevní štěrky až 19 %. Nicméně z procentuálního vyjádření chyby měření objemu vzorku dřevní štěrky při frakci $x < 3,15$ mm by se dalo říci, že se jedná o téměř lineární průběh nárůstu chyby při snižování podílu vlhkosti vzorků čisté dřevní štěrky. V případě lineárního průběhu by se v konečném výsledku jednalo o koeficient determinace $R^2 = 0,92$. Je ovšem zřejmé, že v praktickém využití dřevní štěrky nedojde k úplnému vysušení dřevní štěrky na sušinu. Je to dáno také způsobem skladování dřevní štěrky, kdy se samotná dřevní štěrka skladuje běžně v otevřených prostorech vystavená vnějším povětrnostním podmínkám. Dřevní štěrka je samozřejmě skladována na hromádách, kde se podíl vlhkosti

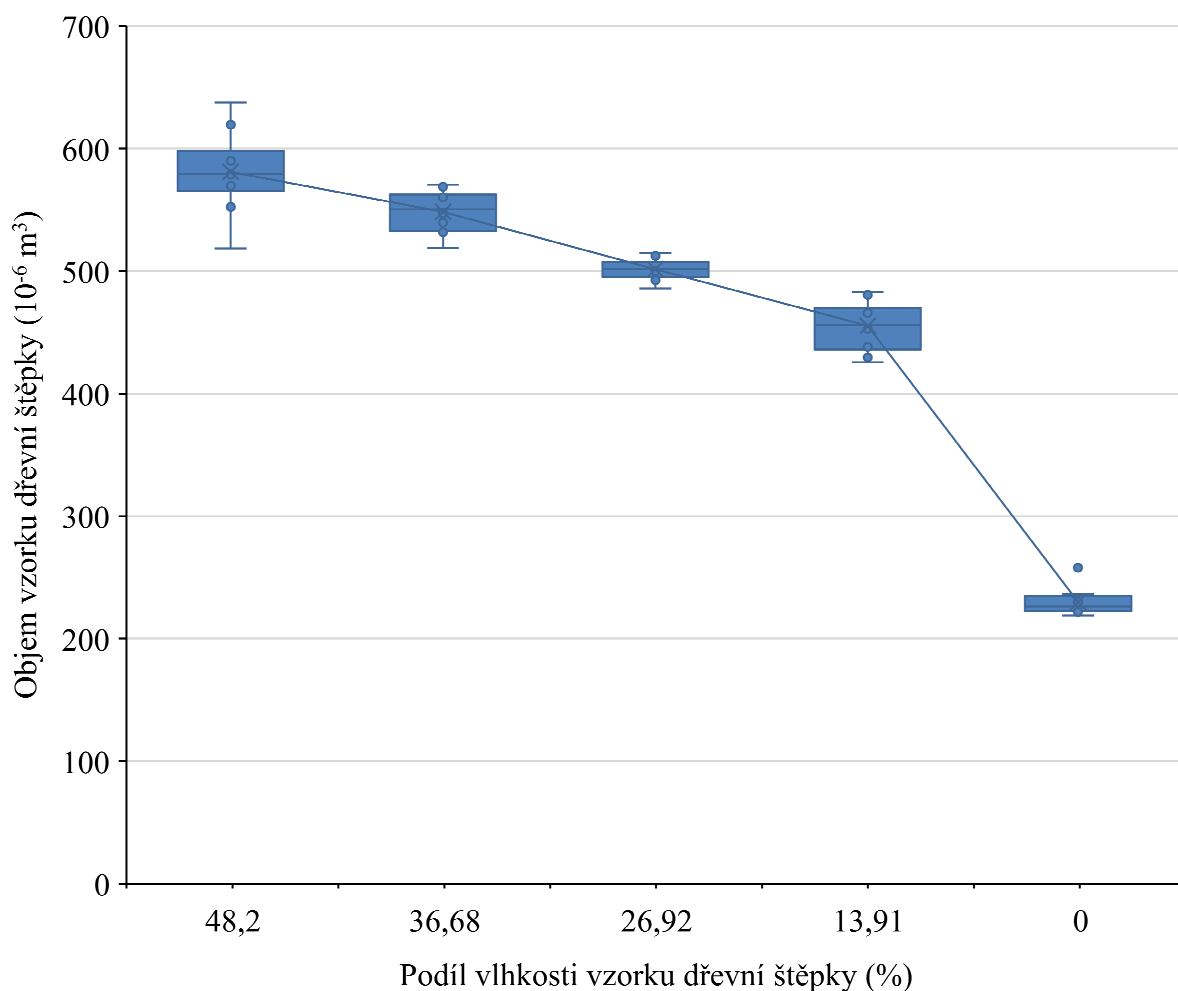
materiálu liší v celém průřezu hromady. Může tedy docházet k tomu, že povrchové částice dřevní štěpky mají poměrně malý podíl vlhkosti a částice v hlubším profilu mají podíl vlhkosti odpovídající i 65 %.



Obr. 4.9: Procentuální vyjádření naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x < 3,15$ mm

Z obrázků 4.11 a 4.12 je zřejmé, že u vzorků dřevní štěpky s velikostí frakce $3,15 \text{ mm} < x < 5 \text{ mm}$ dochází k lineárnímu zvětšování chyby měření objemu vzorku metodou dislokace plynu až do podílu vlhkosti přibližně 14 %. S podílem vlhkosti vzorků pod 14 % dochází k prudkému nárůstu chyby měření objemu vzorku dřevní štěpky. Skutečností ovšem je, že tento skokový nárůst chyby měření souvisí s vnikáním vzduchu do prostor vnitřních pórů dřevní štěpky. Tato skutečnost je potvrzena již v kapitole 4.2, kdy během snižování podílu vlhkosti kalibračních kostek ze dřeva docházelo ke zvětšování chyby měření objemu vlivem vnikání vzduchu do vnitřních pórů kalibračních kostek. Jak již bylo řečeno, tak dřevěný materiál se vyznačuje více či méně velkou pórovitostí. Na pórovitost může mít vliv hned několik faktorů. Jedním z nich může být i velikost částic, což odpovídá skutečnosti, že u frakce

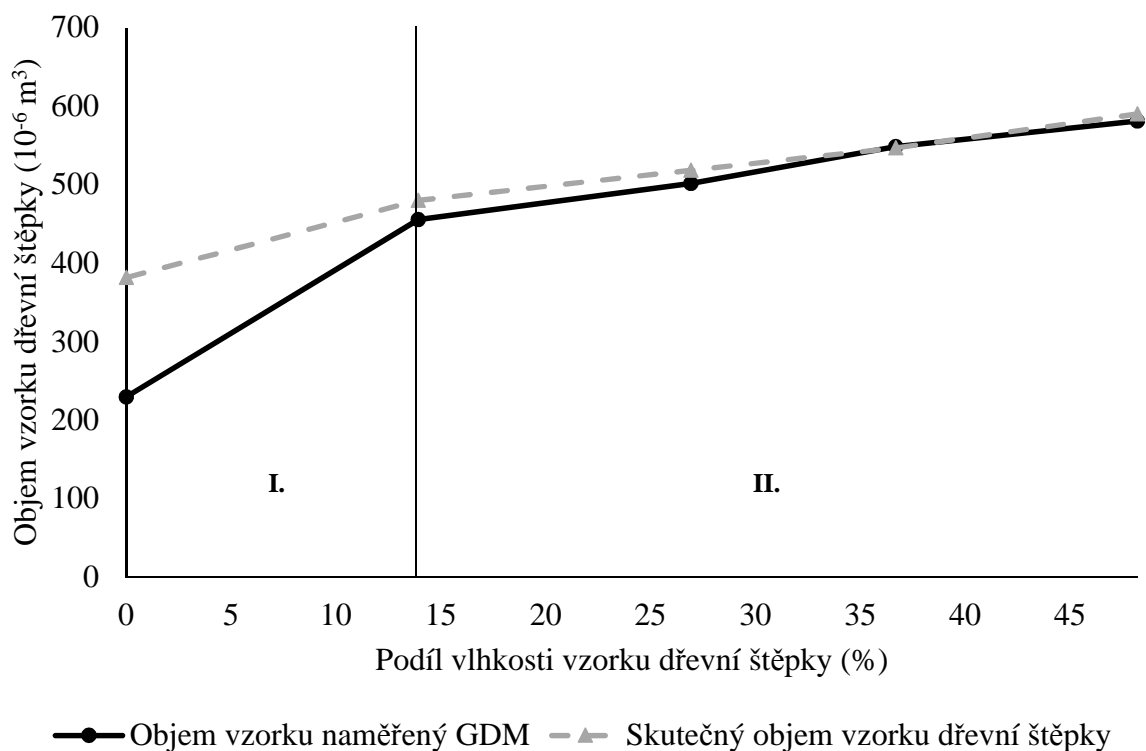
$x < 3,15$ mm docházelo k pozvolnému nárůstu chyby měření a u frakce $3,15 \text{ mm} < x < 5$ mm, docházelo k pozvolnému nárůstu chyby měření objemu vzorku pouze v oblasti II. (Obr. 4.11 a 4.12).



Obr. 4.10: Výsledky naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $3,15 \text{ mm} < x < 5 \text{ mm}$

Určitým úskalím při řešení této disertační práce bylo nerovnoměrné vysoušení materiálu. Velmi špatně se odhaduje, zda materiál bude vysoušen mezi jednotlivými frakcemi přibližně totožně nebo budou velké rozdíly mezi jednotlivými frakcemi. I samotné vlhčení jednotlivých frakcí kalibrační štěpky naznačilo, že při dodržení stejných podmínek není zajištěn stejný maximální podíl vlhkosti jednotlivých frakcí. Z uvedených hodnot podílů vlhkosti lze konstatovat skutečnost, že u frakce s velikostí částic $x < 3,15$ mm je o něco jednodušší dosáhnout většího podílu vlhkosti než u frakcí s větší velikostí částic.

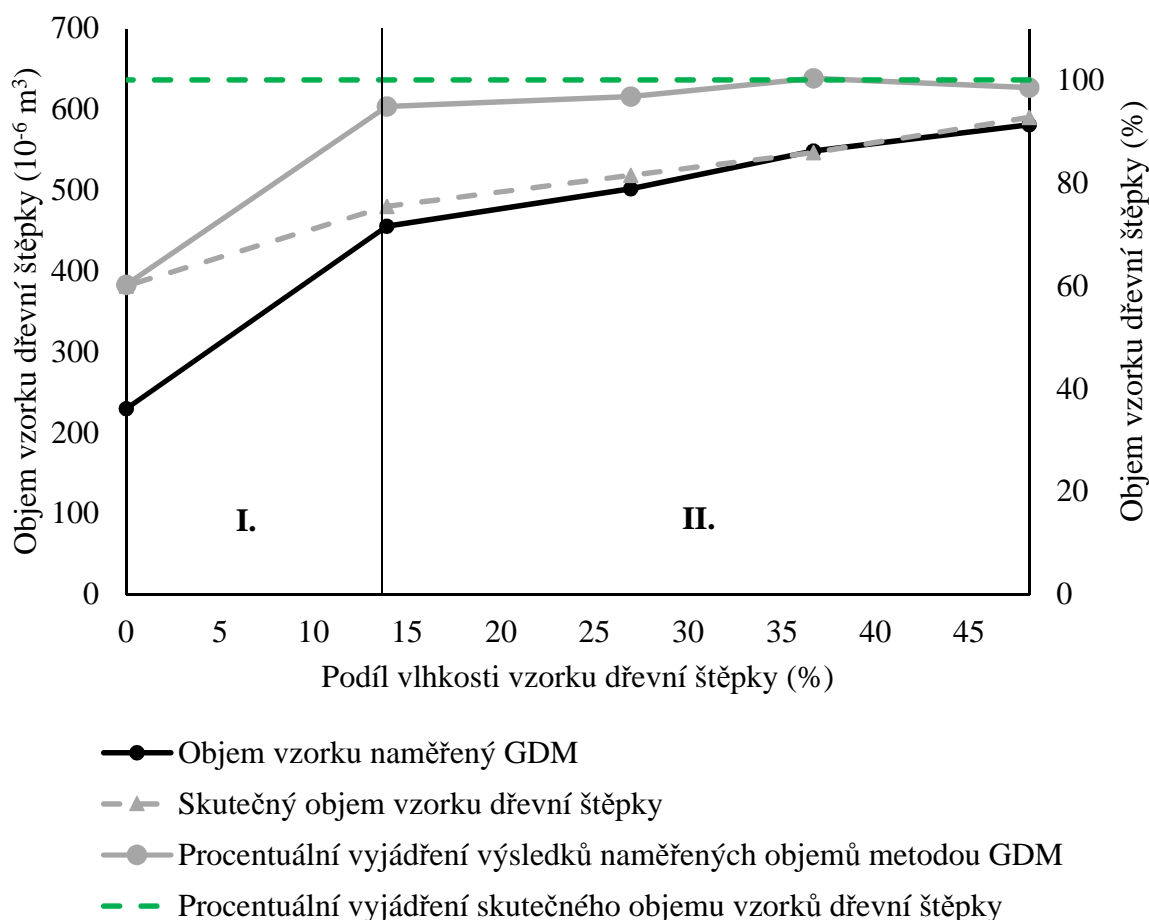
S jednoznačností, lze konstatovat, že neexistuje přímá úměra mezi podílem vlhkosti vzorku a objemem dřevní štěrpy, který představuje zaplnění měřicí komory. Z křivek uvedených na obrázcích 4.8, 4.9, 4.11, 4.12, 4.14 a 4.15 je zřejmé, že zvětšení objemu částic jednotlivých frakcí je přirozenou vlastností dřevěného materiálu (tzv. bobtnání), dochází ke zvětšení zaplnění objemu měřicí komory aparatury pro měření objemu partikulárních částic. Naopak při snižování podílu vlhkosti vzorků dřevní štěrpy dochází k poklesu zaplnění prostoru měřicí komory aparatury pro měření objemu partikulárních částic. Tento jev je zapříčiněn s největší pravděpodobností zvolenou metodikou měření, která je pro tuto práci vhodně sepsána po konzultaci se zástupci společnosti Žatecká teplárenská, a.s. Materiál není totiž nijak vtlačován do měřicí komory aparatury pro měření objemu partikulárních částic. Tuto rozdílnost a do jisté míry nelogickou skutečnost lze odůvodnit jednoznačně hmotností, které má tendenci materiál samovolně stlačovat za pomoci gravitačního pole Země.



Obr. 4.11: Výsledky naměřených hodnot objemu dřevní štěrpy při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $3,15 \text{ mm} < x < 5 \text{ mm}$

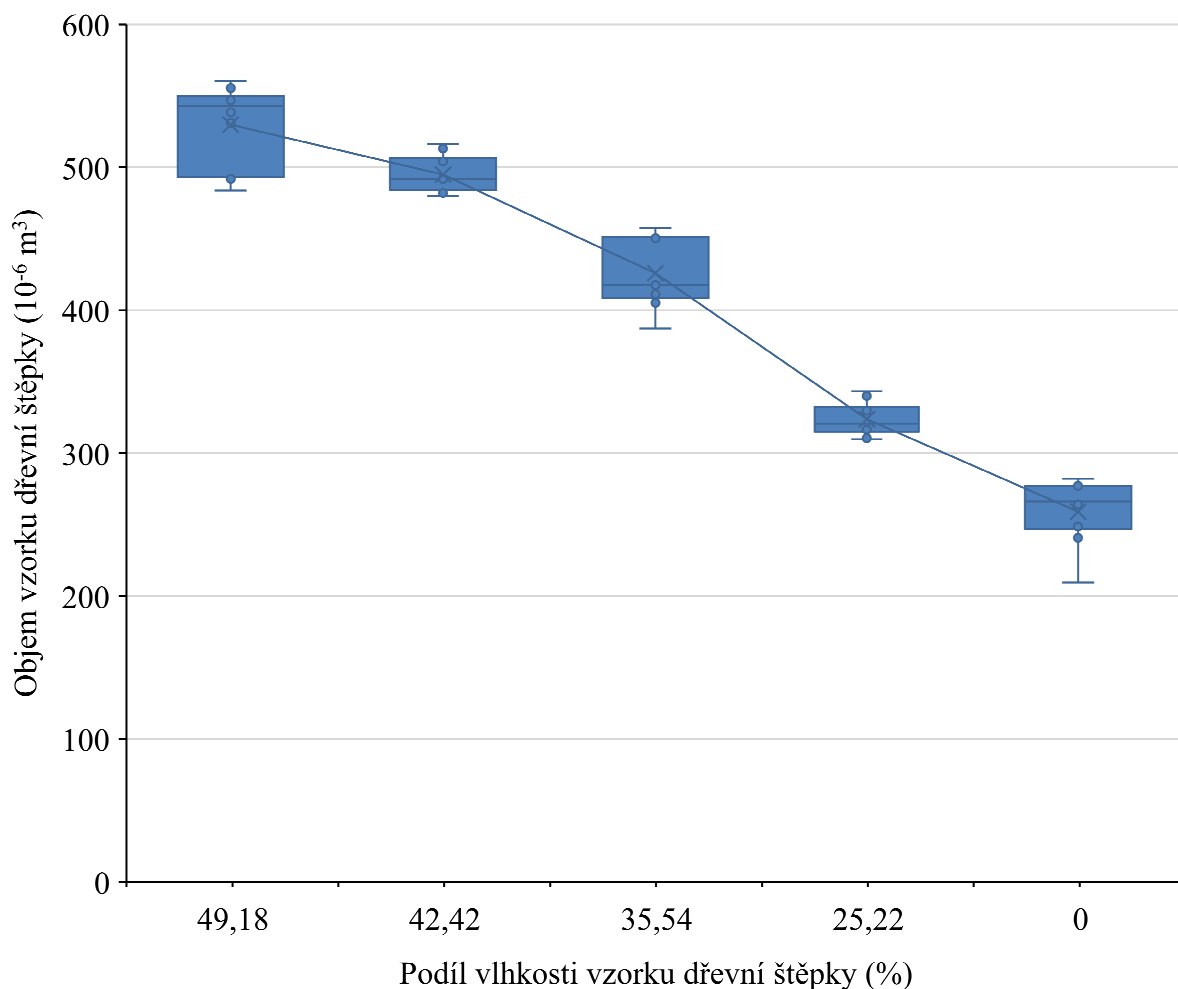
V konečném výsledku to znamená, že materiál s vyšším podílem vlhkosti má větší vliv na stlačení spodních vrstev materiálu než materiál s nižším podílem vlhkosti. Použitá metodika měření jednoznačně směřuje k vysvětlení, že materiál se nijak nevtačuje a plnění měřicí

komory u aparatury pro měření objemu partikulárních částic dochází pouze gravitačním způsobem.



Obr. 4.12: Procentuální vyjádření naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $3,15 \text{ mm} < x < 5 \text{ mm}$

Z výsledků měření objemu vzorků čisté dřevní štěpky o frakci s velikostí částic $x > 5 \text{ mm}$, je patrné, že s velikostí částic roste i chyba měření objemu vzorků pomocí aparatury pro měření objemu partikulárních částic. Při maximálním dosaženém podílu vlhkosti vzorků se chyba pohybovala do 1 %. V druhé části křivky zobrazené na obrázcích 4.14 a 4.15 dochází k pozvolnému nárůstu chyby až na hodnotu 10 %. Tento jev je zřejmý již z kapitoly 4.2, kde docházelo k nárůstu chyby vlivem vnikání vzduchu do vnitřních pórů dřevěného materiálu. V tomto případě se původní hypotéza potvrdila a dal se očekávat nárůst velikosti chyby měření v části I. (Obr. 4.14 a 4.15).



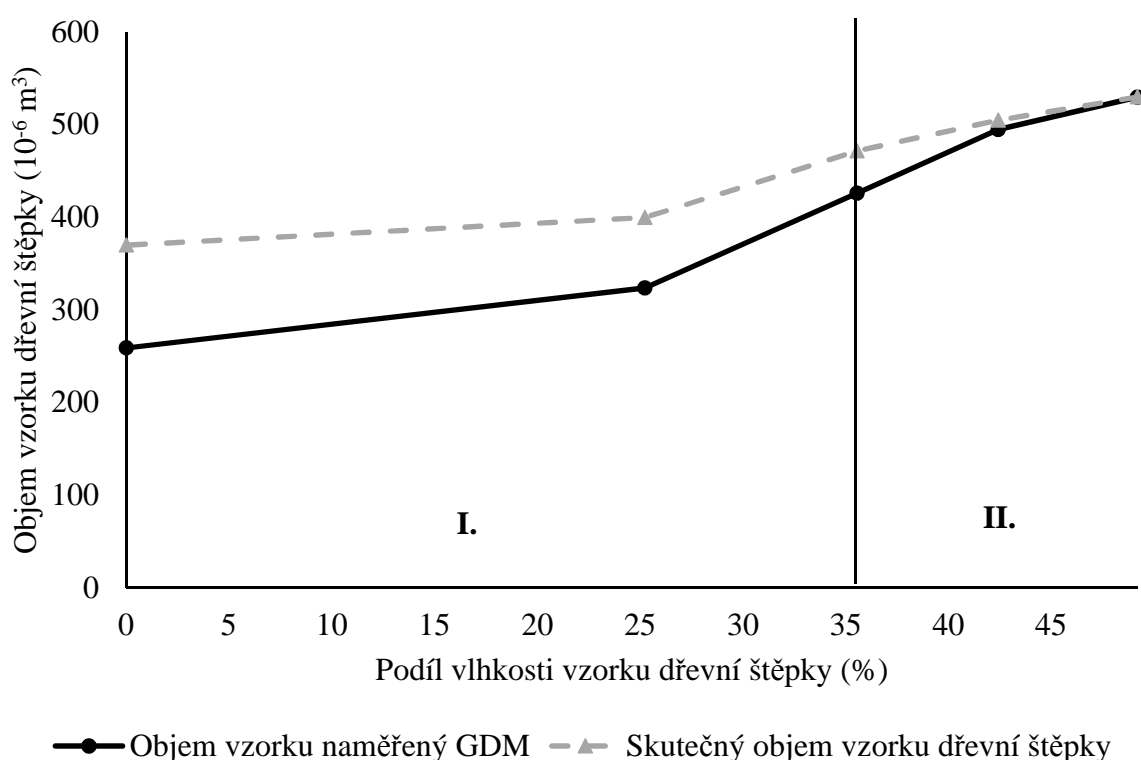
Obr. 4.13: Výsledky naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x > 5 \text{ mm}$

Z výsledků zobrazených na obrázcích 4.14 a 4.15 je zřejmé, že postupným vysoušením vzorků frakce s velikostí částic $x > 5 \text{ mm}$ dochází k nárůstu chyby měření objemu. Hodnota chyby měření objemu oproti skutečnému objemu se u sušiny pohybuje až 30 %.

Velikost chyby je dána vniknutím určité části vzduchu do vnitřních pórů měřeného materiálu, čímž je samotné měření zkresleno. V porovnání s dvěma předchozími frakcemi lze říci, že velikost chyby není tak velká, jak se dala očekávat. Z výsledků měření lze konstatovat skutečnost, že velikost částic frakcí má vliv na průběh velikosti chyby. V případě frakce s nejmenšími částicemi byl nárůst chyby pozvolný téměř v celém spektru podílu vlhkosti vzorků dřevní štěpky. Dalo by se říci, že u nejmenší frakce docházelo k téměř lineárnímu nárůstu velikosti chyby měření objemu. Naopak u největší frakce docházelo k velkému nárůstu chyby měření již v raném stádiu sušení. Nicméně u frakcí s větší velikostí částic mohou být

některé vnitřní póry v objemu částic bez možnosti přístupu vzduchu. I z toho důvodu je možné, že velikost chyby měření není tak velká u frakce s velikostí částic $x > 5$ mm jak se dalo očekávat.

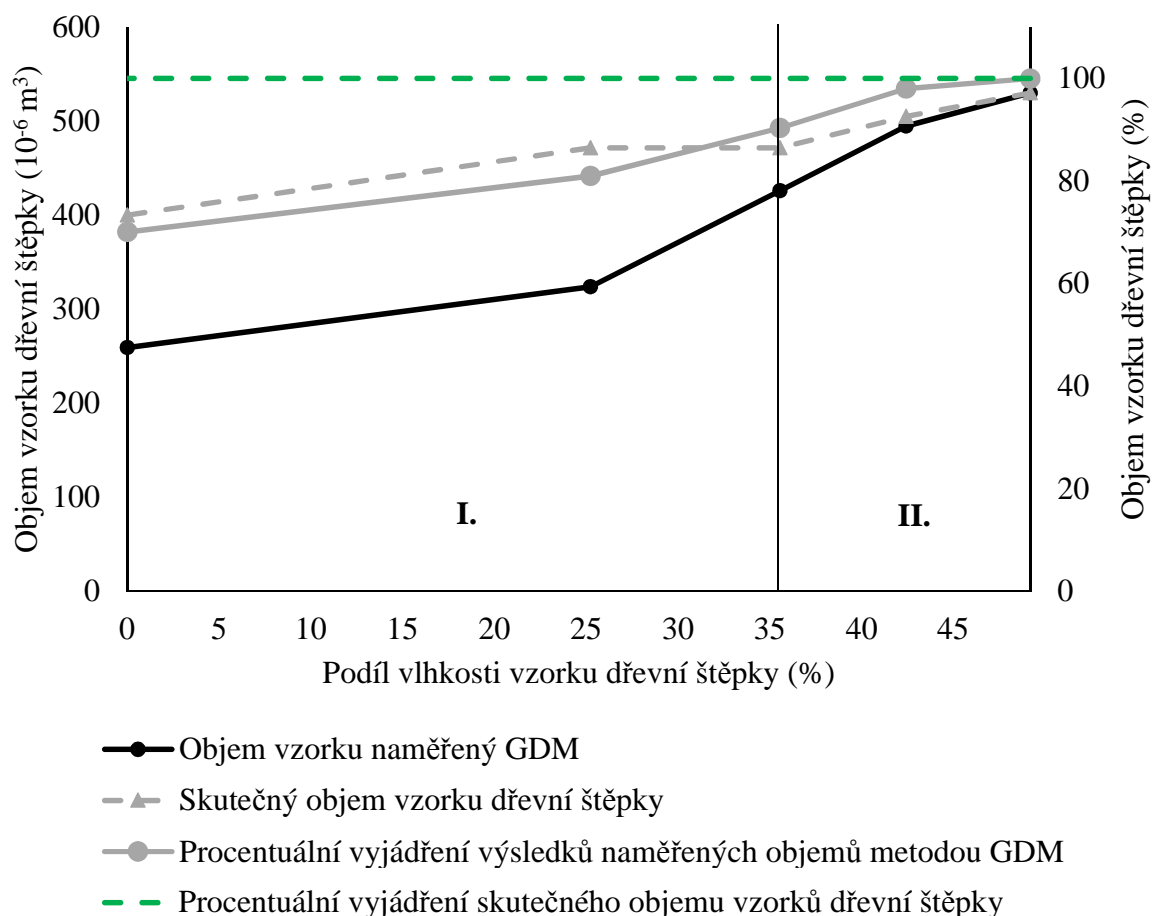
U frakce s velikostí částic $x > 5$ mm dochází k mírnému nárůstu zaplnění měřicí komory aparatury pro měření objemu partikulárních částic i při nižších vlhkostech vzorků. Je to dáno s největší pravděpodobností samotnou hmotností dřevní štěpky, kdy vrchní vrstvy více stlačují níže položené vrstvy dřevní štěpky díky gravitační síle Země.



Obr. 4.14: Výsledky naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x > 5$ mm

Pro další měření je stále otázkou, jak se bude chovat měřicí aparatura pro měření objemu partikulárních částic v případě, kdy bude zaplněna ještě většími kusy reálné dřevní štěpky. Z teoretického hlediska by mělo dojít ke zvýšení chyby měření objemu při nižších podílech vlhkosti dřevní štěpky. Tento jev se již vyskytl v případě kalibrace měřicí aparatury pro měření objemu partikulárních částic, pomocí kalibračních kostek z dubu, buku a borovice. V průběhu sušení docházelo k nárůstu velikosti chyby měření a zároveň docházelo ke zvýšení objemu vzduchu, který vnikl do pórů vzorků. To vše bylo závislé na druhu dřeva.

Samotný pokles skutečného objemu dřevní štěpky v průběhu snižování podílu vlhkosti vzorků může být dán také degradací dřevěného materiálu. Dřevo jako takové se vyznačuje vlastností měnit svůj objem vlivem změny podílu vlhkosti. Tento jev bohužel způsobuje nenávratné změny ve struktuře materiálu a může tak dojít k jeho nenávratnému poškození a zároveň k zavádějícím výsledkům měření objemu metodou dislokace plynu.



Obr. 4.15: Procentuální vyjádření naměřených hodnot objemu dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x > 5$ mm

Na obrázku 4.16 je stanovena závislost predikované hodnoty podílu vlhkosti vzorku na základě skutečného podílu vlhkosti vzorku dřevní štěpky. Model byl sestaven pomocí zpětné krokové (stepwise) regrese, kdy na začátku jsou zahrnuty do modelu všechny proměnné a postupným vyřazením statisticky nevýznamných proměnných, které neměly vliv na model.

Jako proměnné hodnoty jsou v tomto případě brány hodnoty kapacit a ztrátového faktoru pro jednotlivé frekvence měření. Odhady modelu s největším dosaženým koeficientem determinace v rámci všech parametrů jsou pro všechny závislosti uvedeny v tabulce 4.1.

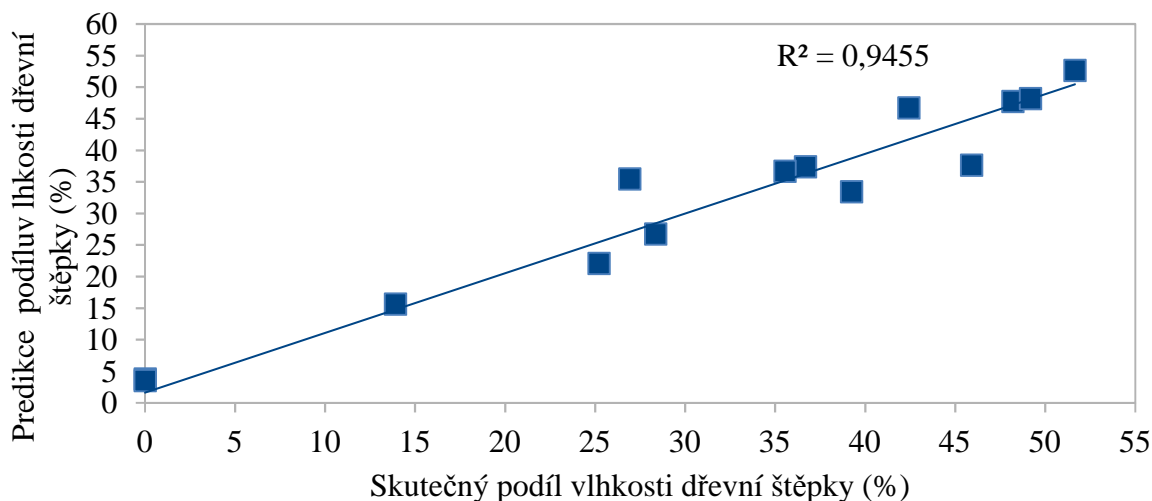
Všechny parametry, které neměly na model statisticky významný vliv (p -hodnota $> 0,05$) byly z modelu vyloučeny.

Tabulka 4.1: Regresní rovnice pro jednotlivé závislosti s hodnotou koeficientu determinace R^2 čistá dřevní štěrka

Regresní rovnice	R^2	p -hodnota
$Predikce\ vlhkosti = 0,10027 + 0,17892 \times C.10k + 0,59199 \times D.10k - 5,33270 \times D.50k - 0,51028 \times C.100k + 5,65944 \times D.100k + 0,30589 \times C.500k$	0,9455	0,00012
$Predikce\ pórovitosti = 0,62156 + 0,01384 \times C.10k + 0,19648 \times D.50k - 2,90668 \times D.500k + 3,03270 \times D.1M - 0,11308 \times C.5M$	0,9510	$1,24 \times 10^{-5}$
$Predikce\ mezerovitosti = 0,949749 + 0,008120 \times C.10k - 0,099453 \times C.50k + 0,117982 \times C.100k - 0,730795 \times D.500k + 1,335862 \times D.1.M - 0,057753 \times C.5M - 0,562576 \times D.5M$	0,9936	$3,96 \times 10^{-7}$

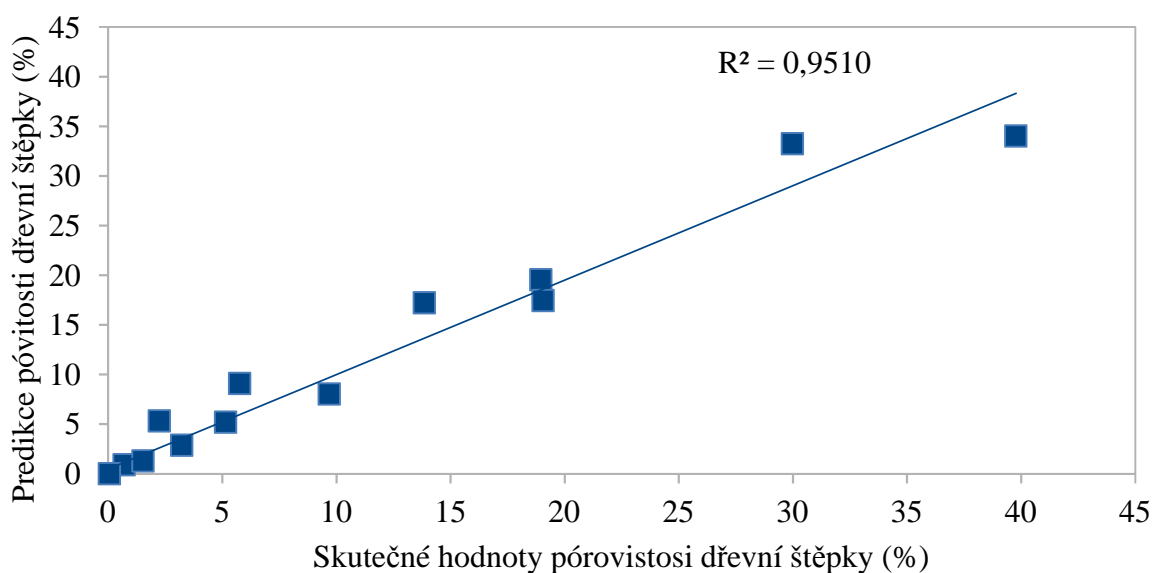
kde:

- C.10k – kapacita při frekvenci 10 kHz (pF),
- D.10k – ztrátový faktor při frekvenci 10 kHz (-),
- C.50k – kapacita při frekvenci 50 kHz (pF),
- D.50k – ztrátový faktor při frekvenci 50 kHz (-),
- C.100k – kapacity při frekvenci 100 kHz (pF),
- D.100k – ztrátový faktor při frekvenci 100 kHz (-),
- C.500k – kapacita při frekvenci 500 kHz (pF),
- D.500k – ztrátový faktor při frekvenci 500 kHz (-),
- C.1M – kapacita při frekvenci 1 MHz (pF),
- D.1M – ztrátový faktor při frekvenci 1 MHz (-),
- C.5M – kapacita při frekvenci 5 MHz (pF),
- D.5M – ztrátový faktor při frekvenci 5 MHz (-).



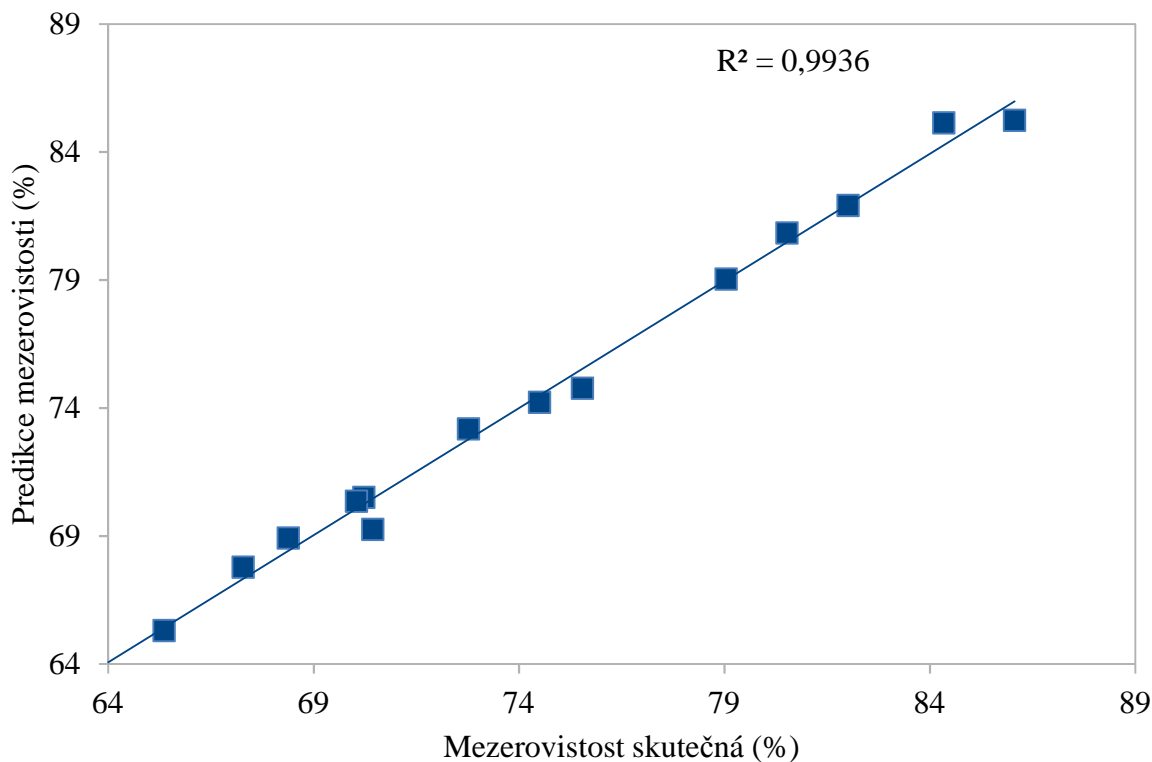
Obr. 4.16: Graf závislosti skutečně naměřeného a na základě výsledků měření dielektrických vlastností predikovaného podílu vlhkosti vzorku čisté dřevní štěpky

Z grafu na obrázku 4.17 je zřejmá lineární závislost mezi podílem vlhkosti vzorku čisté dřevní štěpky a hodnotou pórovitosti. Jedná se v tomto případě pouze o vnitřní póry v jednotlivých částicích vzorků. Z výše popsaných výsledků měření je zřejmé, že by mohlo docházet k lineární závislosti mezi podílem vlhkosti vzorku čisté dřevní štěpky a pórovitostí, tato hypotéza je potvrzena právě v grafu na obrázku 4.17. Otázkou zůstává, zda se tato hypotéza potvrdí i pro reálnou dřevní štěpku, kde může dojít k určitým výchyilkám vlivem nejrůznějších příměsí.



Obr. 4.17: Graf závislosti skutečných hodnot pórovitosti a na základě výsledků měření dielektrických vlastností predikované pórovitosti vzorku čisté dřevní štěpky

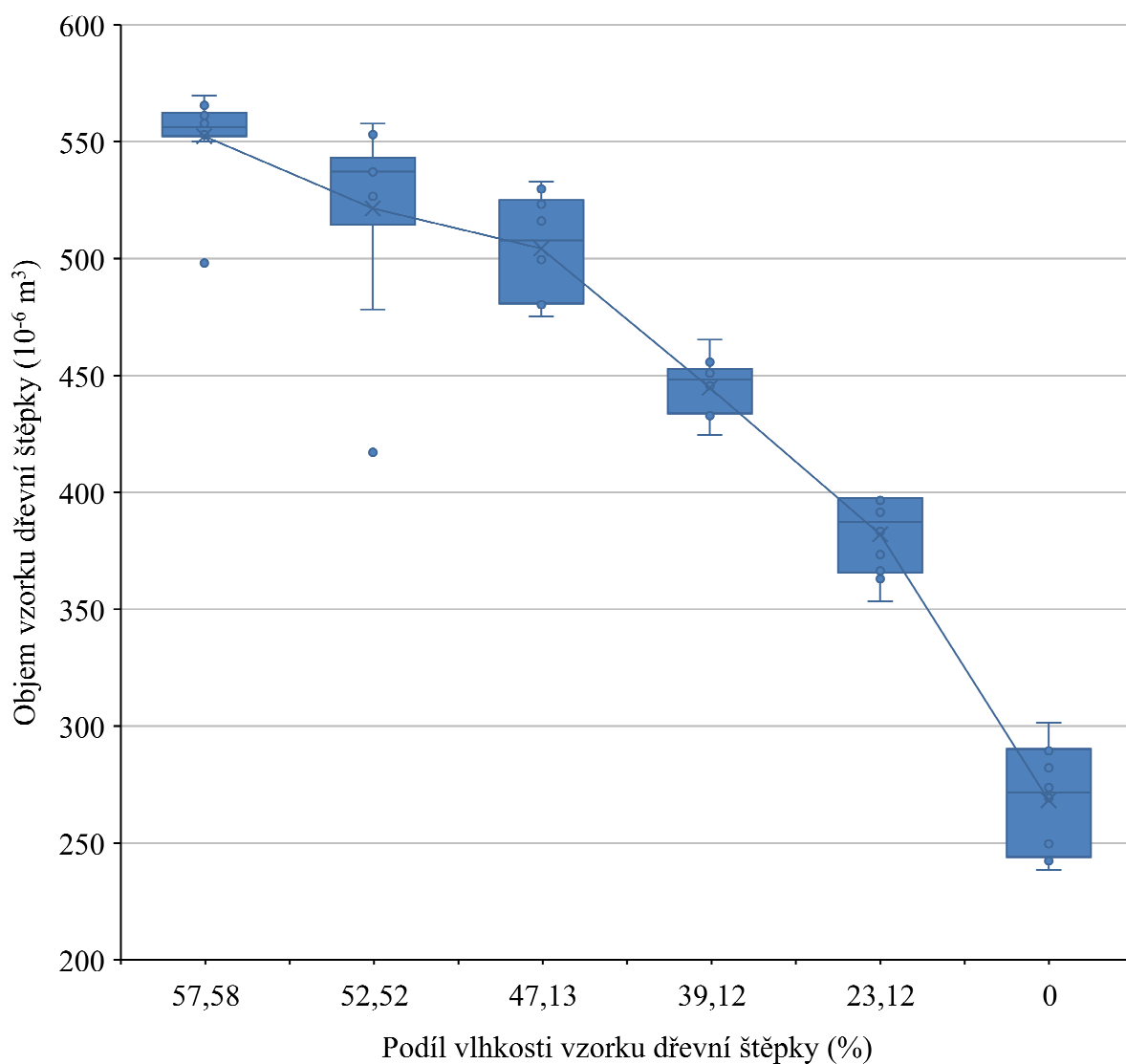
Z grafu na obrázku 4.18 je zřejmá lineární závislost nárůstu predikované mezerovitosti čisté dřevní štěpky v závislosti na mezerovitosti skutečné. Je zapotřebí si uvědomit, že mezerovitost v tomto případě zahrnuje i vnitřní póry materiálu. Z výsledků uvedených na obrázcích 4.7 až 4.15 lze dedukovat nárůst chyby měření mezerovitosti dřevní štěpky vlivem vniknutí měřicího média do vnitřních pórů vzorku.



Obr. 4.18: Graf závislosti skutečných hodnot mezerovitosti a na základě výsledků měření dielektrických vlastností predikované mezerovitosti vzorku čisté dřevní štěpky

4.4 Výsledky měření dielektrických vlastností a objemu reálné dřevní štěpky

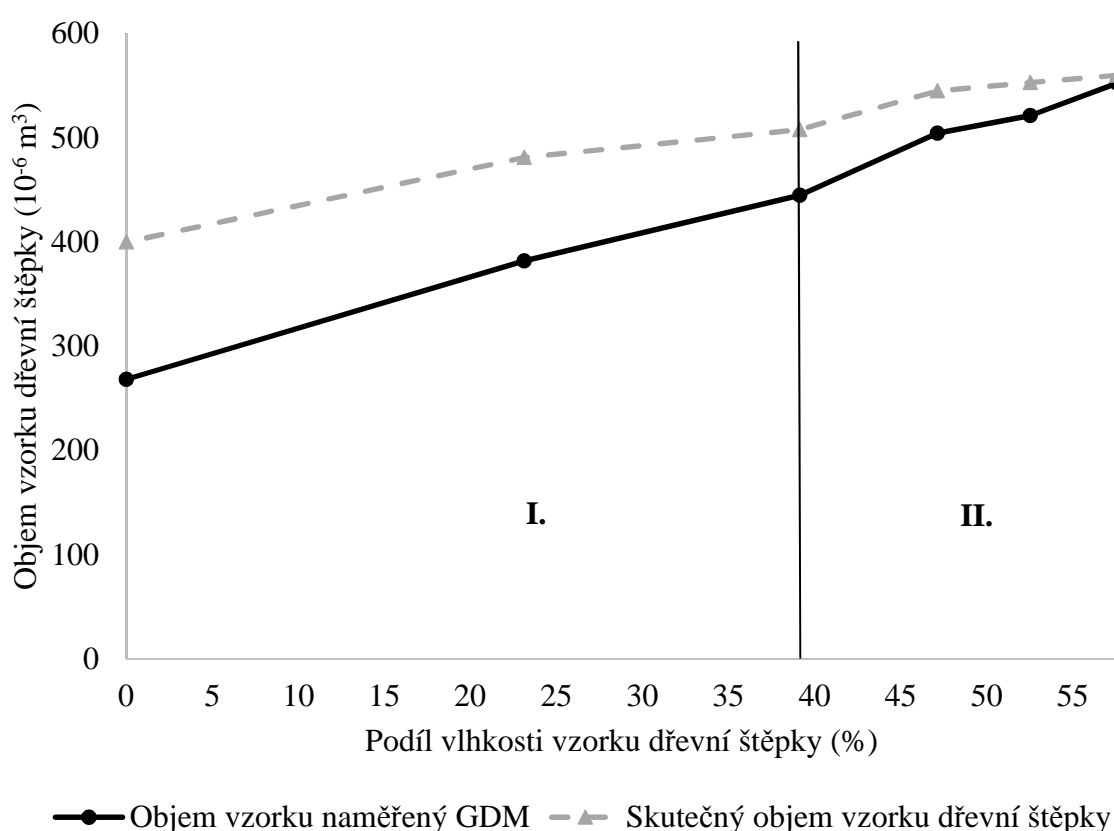
Reálná dřevní štěpka obsahuje řadu příměsí, které u čisté dřevní štěpky nebyly, jedná se především o kůru, jehličí, listí, zeminu a jiné. Všechny tyto příměsi by mohly způsobit značné problémy při měření objemu dřevní štěpky aparaturou pro měření objemu partikulárních částic. Problémy by mohly nastat především v rozdílné pórovitosti jednotlivých příměsí či samotné dřevní štěpky, protože se v praxi nebude nikdy jednat pouze o jeden konkrétní druh dřeviny, ale o směs nejrůznějších dřevin, keřů aj.



Obr. 4.19: Výsledky naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x < 10 \text{ mm}$

Problémem kontinuálního určování vlastností dřevní štěpky určené pro energetické účely v praxi může být také velký rozsah frakčního složení částic. Při měření v laboratorních podmínkách byla vytvořena aparatura pro měření objemu partikulárních částic, ale po konzultaci se zaměstnanci společnosti Žatecká teplotárenská, a.s., bylo zjištěno, že jednotlivé částice reálné dřevní štěpky mohou mnohonásobně přesahovat původní očekávání.

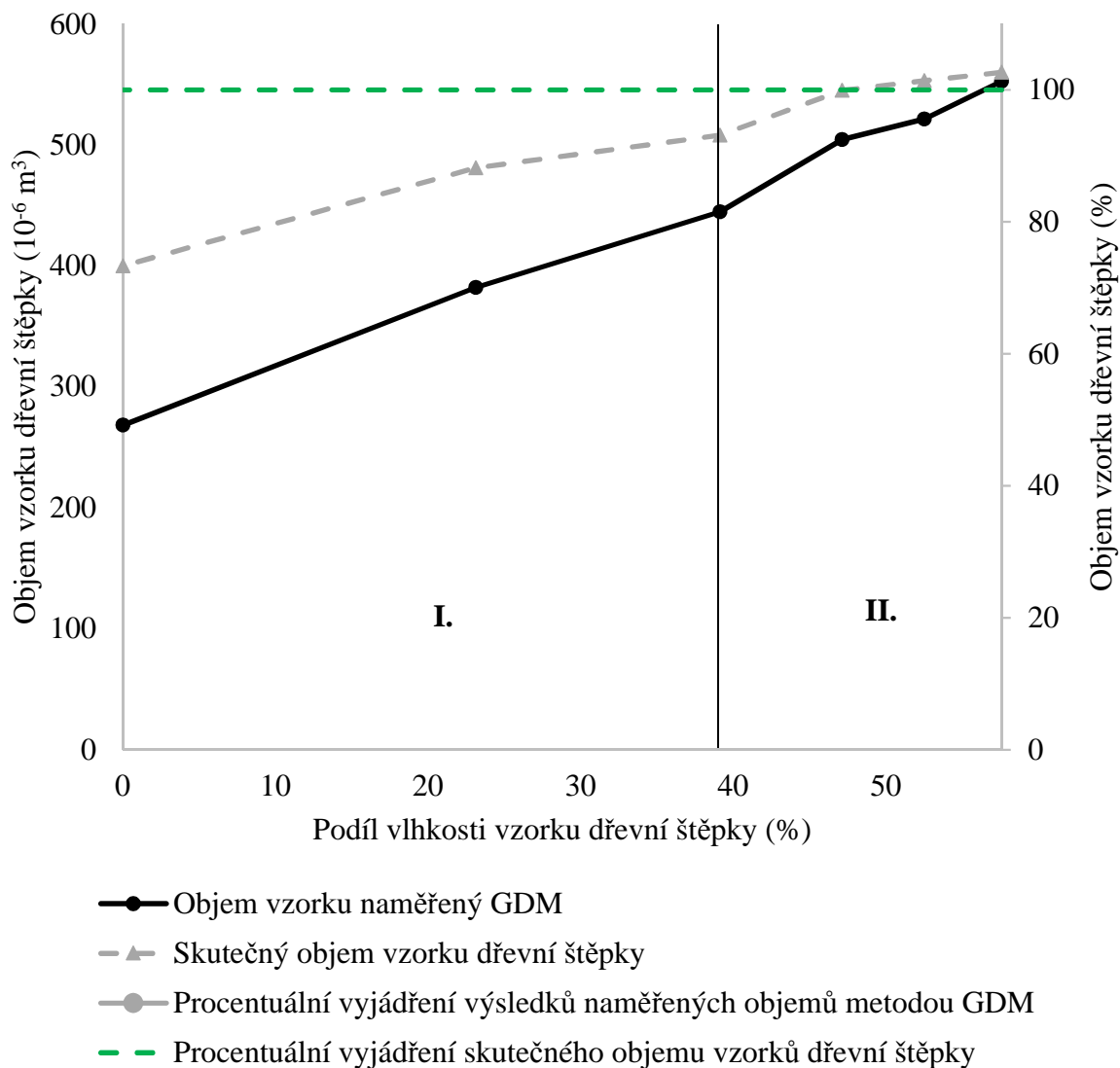
Z výsledků, které jsou zobrazeny na obrázcích 4.20 a 4.21 se potvrzuje hypotéza z kalibračního měření aparatury pro měření objemu partikulárních částic, kdy u frakce s velikostí částic $x < 3,15$ mm docházelo k téměř lineárnímu nárůstu velikosti chyby měření objemu čisté dřevní štěpky.



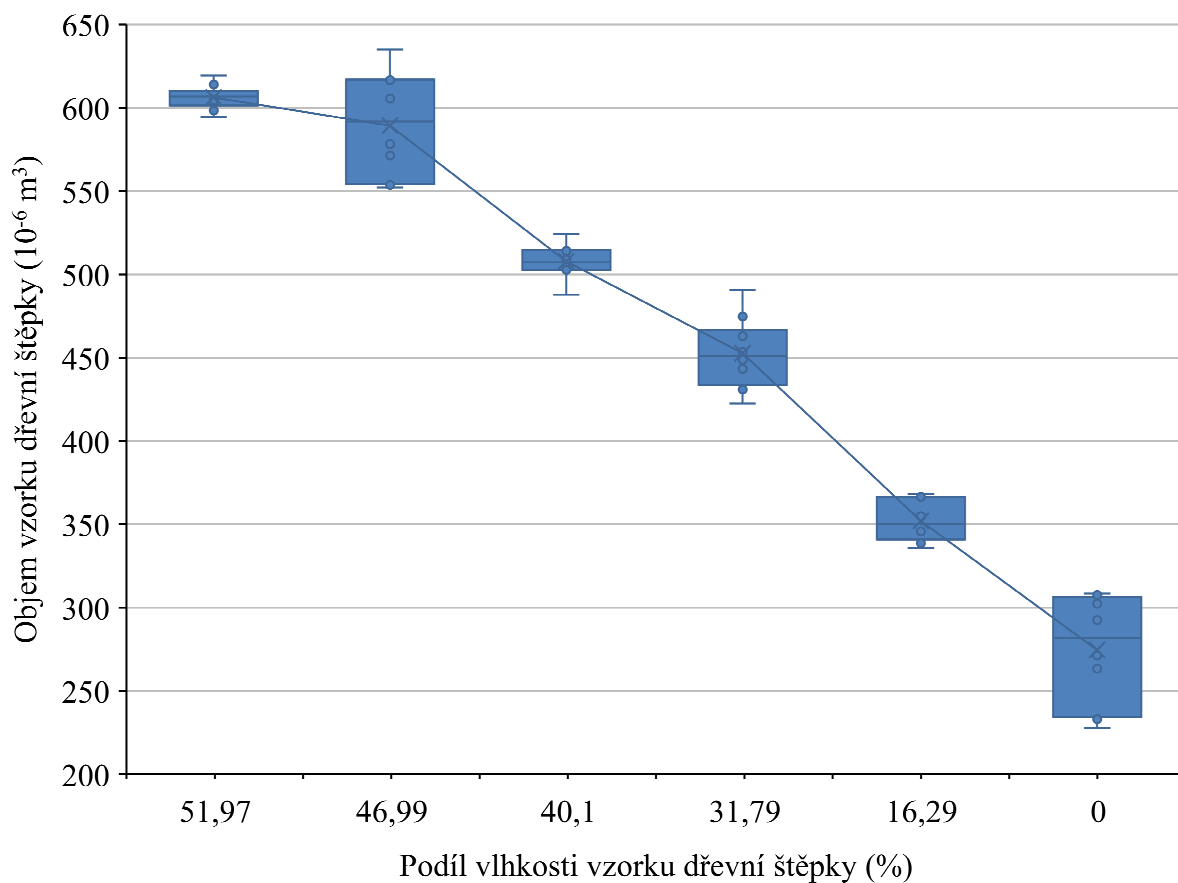
Obr. 4.20: Výsledky naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x < 10$ mm

Hodnota chyby měření objemu narůstala úměrně s poklesem podílu vlhkosti vzorku dřevní štěpky, a to až na hodnotu téměř 25 %. Chyba měření objemu této frakce dřevní štěpky v rozmezí podílu vlhkosti materiálu od 57,58 % do 40,00 % se pohybovala od 1 % do 13 %. Po snížení podílu vlhkosti vzorku této frakce dřevní štěpky pod hodnotu 40 % došlo ke zvýšení chyby měření objemu pomocí metody dislokace plynu.

Z výsledků, které byly dosaženy při kalibraci aparatury pro měření objemu partikulárních částic pomocí čisté dřevní štěpky se dalo předpokládat, že u větších částic dřevní štěpky dojde k většímu nárůstu chyby měření objemu vzorků reálné dřevní štěpky.

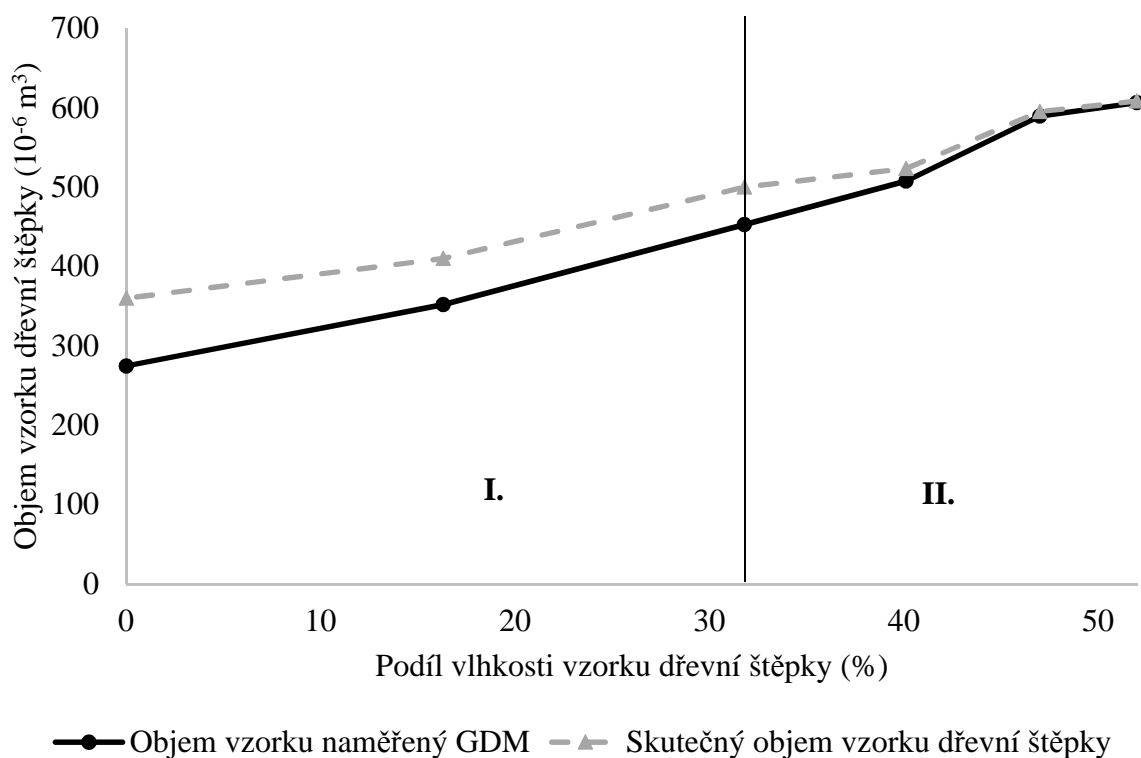


Obr. 4.21: Procentuální vyjádření naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x < 10$ mm



Obr. 4.22: Výsledky naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěrpy při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $10 \text{ mm} < x < 18 \text{ mm}$

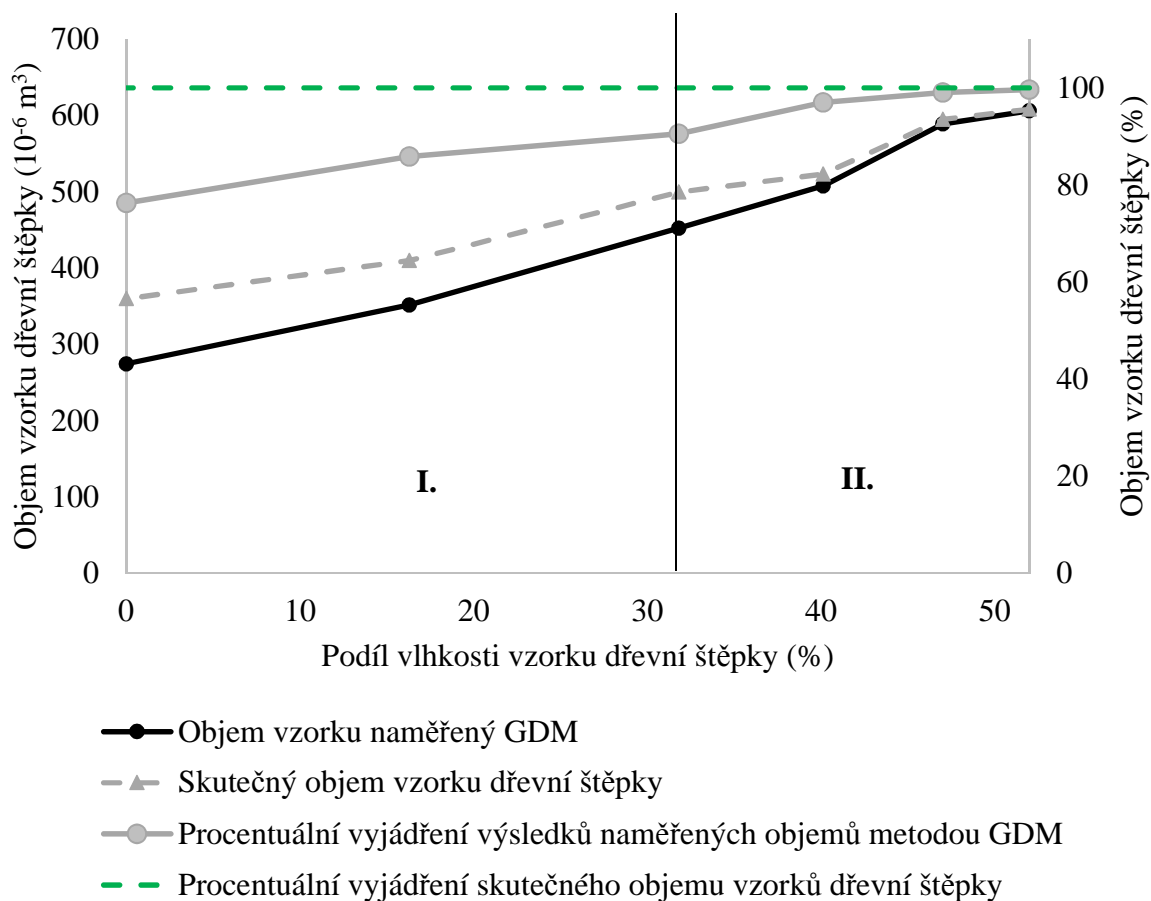
Z výsledků měření objemu reálné dřevní štěrpy, které jsou znázorněny na obrázku 4.23 a 4.24 je patrné, že reálná dřevní štěrpa má u frakce s velikostí částic $10 \text{ mm} < x < 18 \text{ mm}$ velmi podobný průběh jako tomu bylo při měření vzorků čisté dřevní štěrpy.



Obr. 4.23: Výsledky naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $10 \text{ mm} < x < 18 \text{ mm}$

Naměřené hodnoty objemu dřevní štěpky byly při maximálním podílu vlhkosti materiálu téměř totožné se skutečnou hodnotou objemu vzorku dřevní štěpky. Chyba měření byla při maximální vlhkosti vzorku do jednoho procenta. S postupným snižováním podílu vlhkosti vzorků docházelo k nárůstu velikosti chyby. V kvadrantu II. (Obr. 4.23 a 4.24) docházelo k chybě měření od 1 do 10 %. Hraničním bodem pro zvyšování chyby měření přes 10 % byl podíl vlhkosti dřevní štěpky pod 32 %.

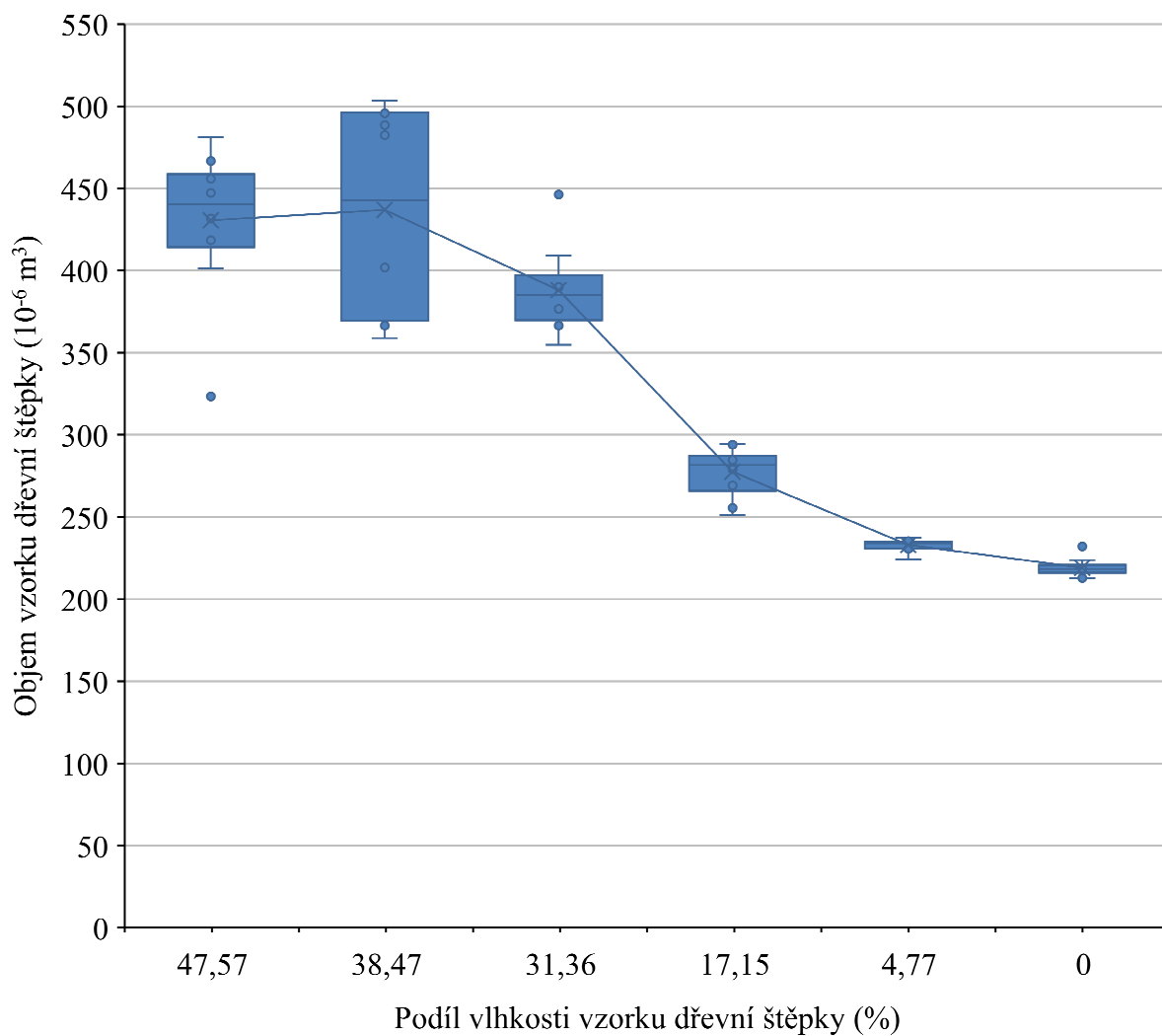
Za touto hranicí docházelo k zaplňování pórů jednotlivých částic dřevní štěpky vzduchem. Při snižování podílu vlhkosti dřevní štěpky pod tuto hranici docházelo k odstranění vody z pórů dřevní štěpky, ale také kůry a jiných příměsí a tím se při samotném měření objemu vzorku pomocí dislokace plynu mohl vzduch dostávat více do vnitřních pórů vzorku. Z toho důvodu docházelo k nárůstu chyby až na hodnotu 24 %. Vzhledem k tomu, že podíl vlhkosti vykupované dřevní štěpky se pohybuje v rozsahu 30 % až 55 %, což potvrzují i zaměstnanci společnosti Žatecká teplárenská, a.s., jsou podíly vlhkosti spadající pod hranici 30 % víceméně pro praktické využití nevýznamné.



Obr. 4.24: Procentuální vyjádření naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $10 \text{ mm} < x < 18 \text{ mm}$

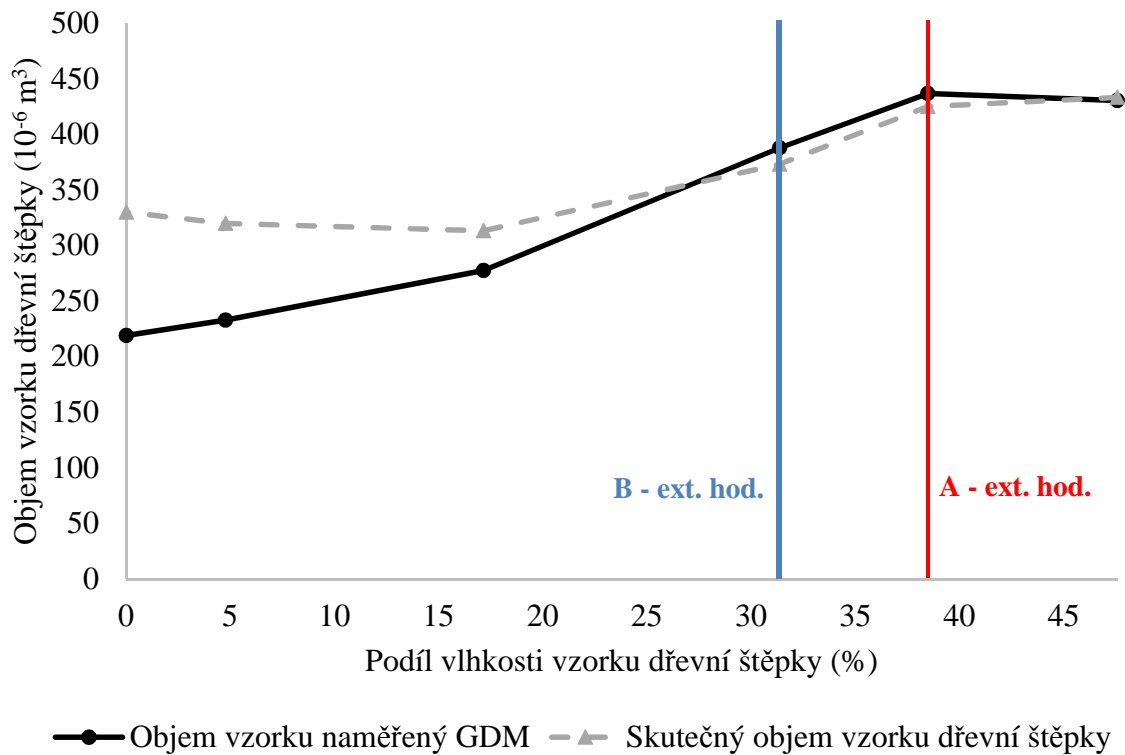
Velikost frakce má samozřejmě velký podíl na zaplnění měřicí komory aparatury pro měření objemu partikulárních částic. Je zřejmé, že menší částice dokáží dokonaleji vyplnit prostor měřicí aparatury než částice, které svými rozměry jsou nevhodné pro vložení do měřicí aparatury. Problém je zjevný z křivek na obrázcích 4.25, 4.26 a 4.27, kde byl sice objem vzorků reálné dřevní štěpky naměřený metodou dislokace plynu při maximálním podílu vlhkosti vzorku frakce s velikostí částic $x > 18 \text{ mm}$ téměř totožný se skutečnou hodnotou objemu vzorku a chyba měření se pohybovala do jednoho procenta.

Nicméně při měření objemu vzorku frakce s velikostí částic $x > 18 \text{ mm}$ a podílem vlhkosti 38,47 % došlo k naměření vyšší hodnoty objemu vzorku než je skutečná hodnota objemu vzorku a to o téměř tři procenta. Tento bod je označen na obrázcích 4.26 a 4.27 jako bod A.



Obr. 4.25: Výsledky naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x > 18 \text{ mm}$

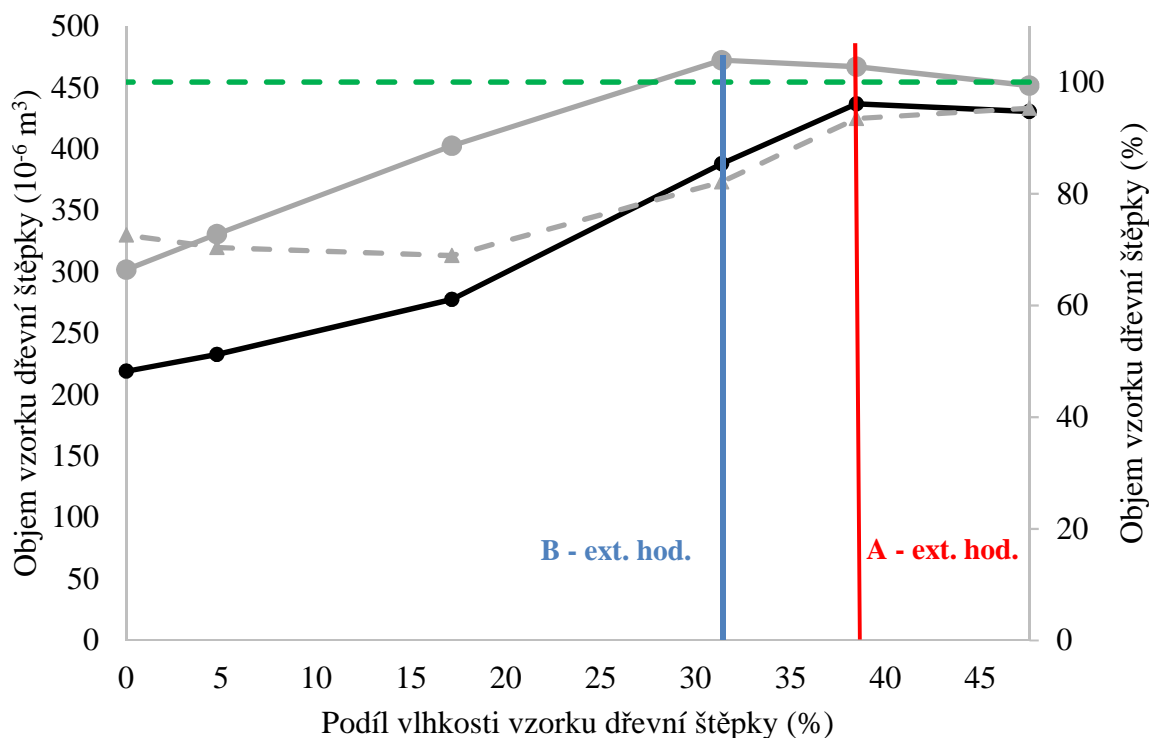
Tento jev je zřetelný i pro měření objemu při vlhkosti 31,47 %, kdy naměřená hodnota objemu vzorku metodou dislokace plynu byla o téměř čtyři procenta vyšší než skutečná hodnota objemu vzorku. Tento bod je označen na obrázcích 4.26 a 4.27 jako bod B. Je to dáno tím, že velikost částic v této frakci je poměrně velká a je velmi těžké ovlivnit poskládání částic v měřicí komoře při zvoleném způsobu plnění měřicí komory. Při plnění komory pro měření objemu byly vzorky brány ze stejného souboru. Nicméně v tomto případě docházelo k velkému rozsahu zaplnění měřicí komory, což mělo za příčinu právě toto nezvyklé chování.



A, B – naměřené hodnoty objemu vzorku dřevní štěpky přesahují skutečný objem vzorku

Obr. 4.26: Výsledky naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěpky při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x > 18$ mm

Při poklesu podílu vlhkosti vzorku pod hranici přibližně 30 % se průběh naměřených hodnot naopak přiblížil podobnému průběhu jako u předešlých frakcí ať už čisté dřevní štěpky nebo reálné dřevní štěpky.



- Objem vzorku naměřený GDM
- -▲- Skutečný objem vzorku dřevní štěrpy
- Procentuální vyjádření výsledků naměřených objemů metodou GDM
- - - Procentuální vyjádření skutečného objemu vzorků dřevní štěrpy

A, B – naměřené hodnoty objemu vzorku dřevní štěrpy přesahují skutečný objem vzorku

Obr. 4.27: Procentuální vyjádření naměřených hodnot objemu reálné dřevní štěrpy při jednotlivých podílech vlhkosti, frakce $x > 18$ mm

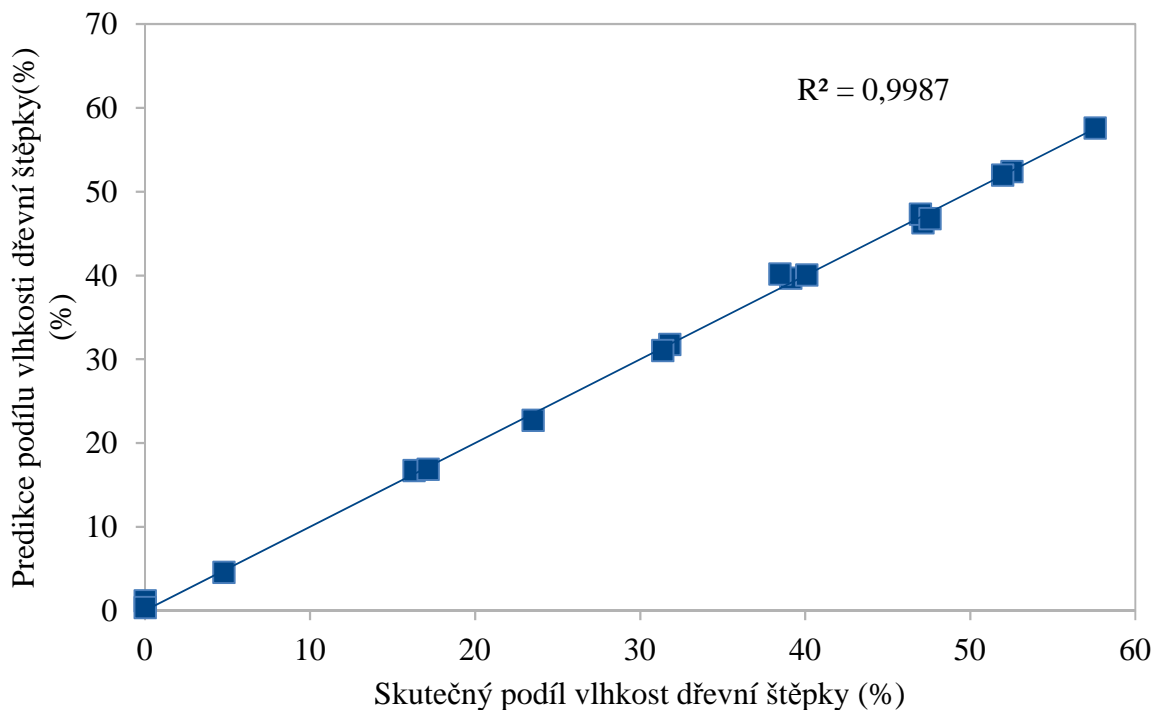
Na obrázku 4.28 je stanovena závislost predikované hodnoty podílu vlhkosti vzorku na základě skutečného podílu vlhkosti vzorku dřevní štěrpy. Model byl znovu sestaven pomocí zpětné krokové (stepwise) regrese, kdy jsou na začátku zahrnuty do modelu všechny proměnné a postupně jsou vyřazeny statisticky nevýznamné proměnné, které neměly vliv na model. Jako proměnné hodnoty jsou v tomto případě brány hodnoty kapacit a ztrátového faktoru pro jednotlivé frekvence měření. Odhady modelů s největším dosaženým koeficientem determinace v rámci všech parametrů jsou pro všechny závislosti uvedeny v Tabulce 4.2. Všechny parametry, které neměly na model statisticky významný vliv (p -hodnota $> 0,05$) byly z modelu vyloučeny.

Tabulka 4.2: Regresní rovnice pro jednotlivé závislosti s hodnotou koeficientu determinace R^2 reálná dřevní štěpka

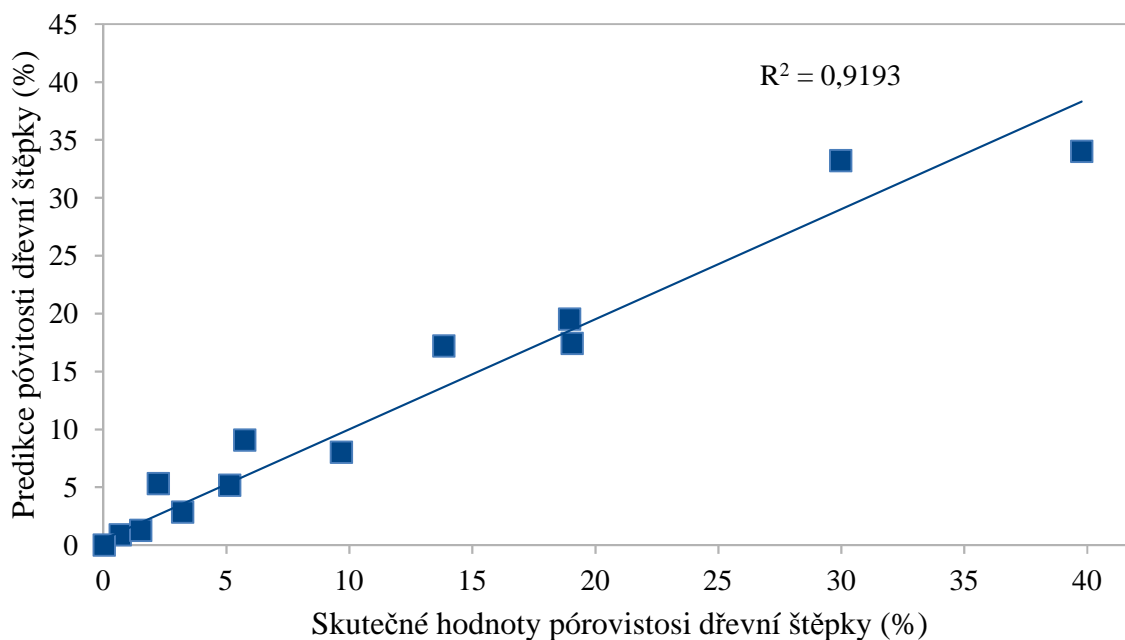
Regresní rovnice	R^2	p -hodnota
<i>Predikce vlhkosti</i> = $-0,137252 + 0,017804 \times C.10k - 0,022069 \times D.10k - 0,312055 \times C.50k + 0,223180 \times D.50k + 0,640466 \times C.100k - 0,396664 \times D.100k - 1,464312 \times C.500k + 1,320578 \times C.1M - 0,161557 \times C.5M + 1,478168 \times D.5M$	0,9987	$4,23 \times 10^{-9}$
<i>Predikce pórovitosti</i> = $0,39540 + 0,03084 \times C.10k - 0,11805 \times D.10k - 0,34094 \times C.50k + 1,76533 \times D.50k + 0,46894 \times C.100k - 3,89624 \times D.100k + 11,76499 \times D.500k$	0,9193	0,0058
<i>Predikce mezerovitosti</i> = $1,00643 - 0,11664 \times C.10k - 0,04194 \times C.50k + 1,53805 \times D.50k + 0,06398 \times C.100k - 3,10705 \times D.100k + 8,32103 \times D.500k + 0,16589 \times C.1M - 9,06471 \times D.1M - 0,24247 \times C.5M - 2,07651 \times D.5M$	0,9759	0,0001

kde:

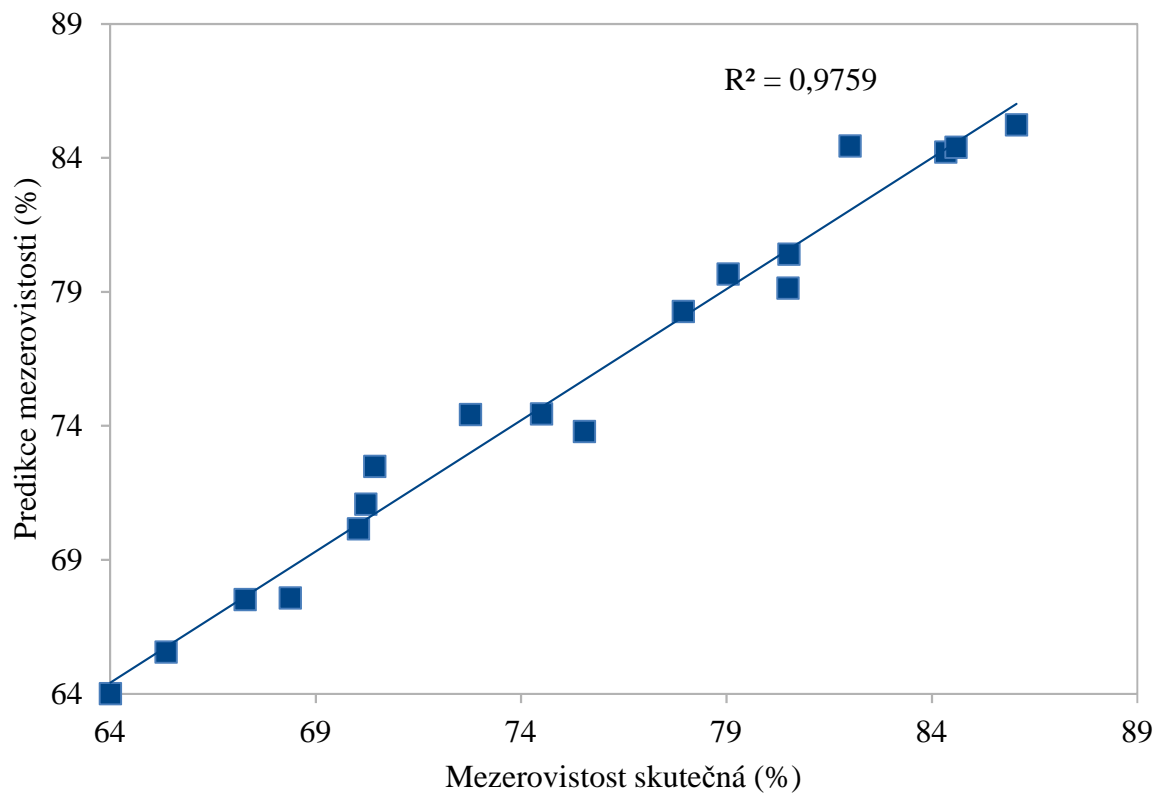
- C.10k – kapacita při frekvenci 10 kHz (pF),
- D.10k – ztrátový faktor při frekvenci 10 kHz (-),
- C.50k – kapacita při frekvenci 50 kHz (pF),
- D.50k – ztrátový faktor při frekvenci 50 kHz (-),
- C.100k – kapacity při frekvenci 100 kHz (pF),
- D.100k – ztrátový faktor při frekvenci 100 kHz (-),
- C.500k – kapacita při frekvenci 500 kHz (pF),
- D.500k – ztrátový faktor při frekvenci 500 kHz (-),
- C.1M – kapacita při frekvenci 1 MHz (pF),
- D.1M – ztrátový faktor při frekvenci 1 MHz (-),
- C.5M – kapacita při frekvenci 5 MHz (pF),
- D.5M – ztrátový faktor při frekvenci 5 MHz (-).



Obr. 4.28: Graf závislosti skutečně naměřeného a na základě výsledků měření dielektrických vlastností predikovaného podílu vlhkosti vzorku reálné dřevní štěpky



Obr. 4.29: Graf závislosti skutečných hodnot pórovitosti a na základě výsledků měření dielektrických vlastností predikované pórovitosti vzorku reálné dřevní štěpky



Obr. 4.30: Graf závislosti skutečných hodnot mezerovistosti a na základě výsledků měření dielektrických vlastností predikované mezerovistosti vzorku reálné dřevní štěpky

5 Diskuse

Naměřené hodnoty objemů kalibračních těles pomocí aparatury na měření objemu partikulárních látek ukázaly, že tento systém, který se používá pro analýzu především pórovitosti menších vzorků dosahuje uspokojivé výsledky s přijatelnou chybou měření. Systém měření objemu těles pomocí dislokace plynu odpovídá teoretickým a praktickým zkušenostem, kterých dosáhly autoři *Serpil a Servel (2006)* nebo *Ding et al. (2005)*. Při kalibraci aparatury pro měření objemu partikulárních látek bylo dosaženo průměrné chyby měření do 4,13 %.

Výraznému nárůstu chyby měření objemu bylo dosaženo při zaplnění měřicí komory kalibračními vzorky z dřevěného materiálu. Jak již bylo zmíněno výše, využívá se tento systém k měření pórovitosti materiálu. Dřevěný materiál se samozřejmě vyznačuje značnou pórovitostí, která zvyšuje procento naměřené chyby a tím tak zkresluje samotnou mezerovitost vzorků dřevní štěpky. Tuto vlastnost nejen dřevěného materiálu potvrzují i jiní autoři, např. *Jena et al. (2002)*. Z výsledku kalibrace měřicí aparatury pro měření objemu partikulárních látek pomocí dřevěných kostek známého rozměru bylo zřejmé, že vnikání měřicího média do vnitřních pórů materiálu může ve výsledku znamenat vysoké procento zaznamenané chyby. Z naměřených hodnot je zřejmé, že jednotlivé druhy dřeva mají jiný stupeň pórovitosti. Dalším zásadním zjištěním byla změna velikosti chyby při měření objemu kalibračních kostek z dřevěného materiálu v závislosti na podílu vlhkosti vzorku. Byla zde nepřímá úměra mezi podílem vlhkosti materiálu a množstvím vzduchu pronikajícího do vnitřních pór materiálu.

Tato skutečnost je dána postupným zaplňováním vnitřních pórů dřevěného materiálu vodou, čímž dochází k zabránění vniknutí měřicího média (v tomto případě vzduchu). Vnikání měřicího média do vnitřních pórů dřevěného materiálu samozřejmě ovlivňuje i výslednou hodnotu naměřené mezerovitosti. Lze tedy konstatovat, že naměřené hodnoty mezerovitosti jsou do značné míry ovlivňovány právě i pórovitostí materiálu, stejně jako je to u měření objemu samotných vzorků. Je ovšem pravdou, že metoda dislokace plynu přináší určité nevýhody při měření objemu partikulárních částic, nicméně oproti metodě dislokace kapaliny (*Mohsenin, 1970*) nebo metodě dislokace pevných látek se jedná o metodu uživatelsky velmi přívětivou a velmi rychlou.

V další části experimentu se potvrdila hypotéza ovlivňování výsledku měření objemu dřevěného materiálu, potažmo mezerovitosti (objemu připadajícího na prostor mezi

jednotlivými částicemi dřevní štěpky), vlivem vnikání měřicího média do vnitřních pórů dřevěného materiálu a zároveň se potvrdily i závěry, které byly spojeny s ovlivněním měření objemu vzorků se změnou podílu vlhkosti vzorku. Tyto závěry jsou stejné jak pro čistou štěpku bez příměsí kůry, jehličí aj., tak pro reálnou štěpku, která se používá k energetickým účelům.

U měření objemů, resp. mezerovitosti největší frakce reálné dřevní štěpky, určené pro energetické účely nastal problém s rozměry samotné měřicí komory aparatury pro měření objemu partikulárních částic. Některé částice této frakce dosahovaly značných rozměrů a naměřené hodnoty neměly zcela přesnou hodnotu oproti skutečnosti. Zvolená metodika měření neumožňovala vtlačovat vzorky do měřicí komory pod tlakem, ale naopak docházelo ke gravitačnímu plnění. Z toho důvodu docházelo k určitým nepřesnostem a anomáliím v průběhu měření objemu (mezerovitosti) frakce s největšími částicemi reálné dřevní štěpky.

Z výsledných hodnot naměřené kapacity a ztrátového faktoru vyplývá, že při nižších frekvencích (10 kHz a 50 kHz) nedochází k lineárnímu průběhu hodnot. Tento jev může být způsoben polarizací dřeva. Velmi podobného výsledku dosáhl i *James (1975)*, který při zkoumání dielektrických vlastností dřeva a dřevotřísky došel k závěru, že dřevěný materiál je extrémně náchylný na elektrickou polarizaci.

Z naměřených hodnot vyplývá, že k elektrické polarizaci dochází hlavně při nízkých frekvencích. Tuto hypotézu potvrzuje také *James (1975)*, který předkládá ve svých experimentech důkazy o větší náchylnosti polarizace dřevěného materiálu při nižších frekvencích než 10 kHz a alespoň malého množství vody (podíl vlhkosti větší než 10 %). Z výsledků naměřených hodnot lze tuto hypotézu potvrdit. Nicméně pro ověření, zda k tomuto jevu dochází i při vyšších frekvencích (v tomto případě především u frekvence 50 kHz) by bylo nutné více měření. Z výsledků našich měření lze potvrdit, že při zachování teploty v rozpětí ± 2 °C nedochází k výrazné změně dielektrických vlastností dřeva, na které upozorňuje *Nelson (2010)*. Výsledky měření dielektrických vlastností potvrzují jiné konstatování autora *Nelson (2005, 2010)*, kdy dochází k výrazné změně dielektrických vlastností na základě změny podílu vlhkosti materiálu a samozřejmě frekvence.

Z výsledků měření dielektrických vlastností je zřejmé, že bylo dosaženo lineární závislosti mezi nárůstem predikovaného podílu vlhkosti materiálu a skutečným podílem vlhkosti materiálu s koeficientem determinace $R^2 = 0,95$. Stejně tak tomu bylo i u závislosti mezi predikovanou pórovitostí a skutečnou pórovitostí vzorků dřevní štěpky. Stejná závislost byla pozorována i u nárůstu predikované mezerovitosti vzorků a skutečnou mezerovitostí. Zde

je nutné upozornit na skutečnost, že u nižších frekvencí 10 kHz a 50 kHz není lineární průběh naměřených hodnot kapacit, popř. ztrátového faktoru. Nicméně při vyhodnocování dat byla vyzkoušena regresní analýza, při které byly hned na začátku odstraněny proměnné pro frekvence 10 kHz a 50 kHz. Z vyhodnocení lineárního modelu bez zahnutých hodnot pro frekvence 10 kHz a 50 kHz došlo naopak ke zhoršení koeficientu determinace na hodnotu $R^2 = 0,82$.

Statistický model vyhodnocování dat byl poměrně složitý a obsahoval velké množství proměnných hodnot. Z tohoto důvodu by bylo vhodné zaměřit se na vyhodnocení jednotlivých proměnných zvlášť nebo alespoň eliminovat množství proměnných na začátku vyhodnocování.

6 Závěry a doporučení pro využití poznatků v praxi

Z výsledků, které byly dosaženy při měření byla potvrzena hypotéza lineární závislosti dielektrických parametrů (ztrátového faktoru a kapacity) na podílu vlhkosti či mezerovitosti a lze predikovat průběh mezerovitosti, podílu vlhkosti na základě průběhu ztrátového faktoru a kapacity. Oproti senzorům založených na bázi kapacitního měření průchodnosti, které popisuje například *Kumhála et al. (2013)*, dochází u aparatury, která byla sestavena pro měření dielektrických vlastností materiálu, ke změně dielektrických vlastností materiálu vlivem změny podílu vlhkosti. Je to především z důvodu úplného zaplnění měřící aparatury v celém jejím průřezu. Náchylnost aparatury ke změně dielektrických vlastností materiálu klesla až pod hranici podílu vlhkosti materiálu pod 5 %. Tato skutečnost platí především pro napájecí frekvenci pod 1 MHz. Pro frekvence nad 1 MHz dochází ke snížení vlivu již při poklesu podílu vlhkosti materiálu pod 10 %.

Výsledky měření sice ukazují silné lineární závislosti mezi naměřenými dielektrickými vlastnostmi, podílem vlhkosti a frakčním složením, nicméně je třeba podotknout, že u především nižších frekvencí pod 50 kHz se o lineární závislost zcela jistě nejedná. Potvrzují to i autoři, kteří se zabývali vlastnostmi dřevěných materiálu v minulosti (*James, 1975*). U nižších napájecích frekvencí dochází k nižší přesnosti měření. A naopak u napájecích frekvencí nad 1 MHz dochází k vyšší přesnosti měření a naměřené hodnoty dielektrických vlastností mají téměř lineární průběh.

Z pohledu měření mezerovitosti lze konstatovat, že vytvořená aparatura pracuje s dostatečnou přesností měření pro účely této disertační práce. Je ovšem skutečností, že dosažené hodnoty mezerovitostí jsou ovlivňovány do značné míry také pórovitostí materiálu, která se z výsledků naměřených dat snižuje při současném zvětšování podílu vlhkosti vzorku dřevní štěpky. Tento jev je způsoben vnikáním měřícího média do vnitřních pórů dřevní štěpky.

Byla potvrzena hypotéza, že existují vztahy mezi dielektrickými vlastnostmi dřevní štěpky, jejím podílem vlhkosti a frakčním složením. Tyto závislosti lze na základě výsledků této práce považovat převážně za lineární s dobrými koeficienty determinace mezi predikovanými a naměřenými hodnotami. Tyto závislosti jsou využitelné pro konstrukci měřícího zařízení určeného pro měření podílu vlhkosti dřevní štěpky v reálném čase.

Doporučení pro další výzkum jsou:

- Provést měření více vzorků reálné dřevní štěrky, která bude obsahovat mnohem více příměsí a měření provádět s více opakováním.
- Pokusit se vystavit stejnému měření i vzorky zeminy, neboť získané vzorky dřevní štěrky mohou obsahovat i značné množství částic zeminy.
- Navrhnout aparaturu, která bude mít tvar mezikruží s vnější a vnitřní měřicí elektrodou. Tuto aparaturu vystavit měření v praktickém provozu.
- Pokusit se navrhnout logický obvod/funkci pro regulaci procesu spalování na základě vyhodnocení podílu vlhkosti dřevní štěrky z kapacitního senzoru.

7 Seznam použité literatury

- AHMED, S. A. – DEY, S. – SARMA, K. K. 2011. Image texture classification using Artificial Neural Network (ANN). *Emerging Trends and Applications in Computer Science (NCETACS)*, Shillong, IEEE, pp. 1 - 4.
- AYALEW, G. – WARD, S. M. 2000. Development of a prototype infrared reflectance moisture meter for milled peat. *Comput Electron Agric.*, Vol. 28, pp. 1–14.
- DÍAZ-YÁÑEZ, O. – MOLA-YUDEGO, B. – ANTTILA, P. – RÖSER, D. – ASIKAINEN, A. 2013. Forest chips for energy in Europe: Current procurement methods and potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 21, p. 562-571.
- DING, F. – BÉDARD, P. – BENAOUZIA, M. 2002. Economizing the Bleaching Agent Consumption by Controlling Wood Chip Brightness. In *Control System 2002, Proceedings*. Stockholm, pp. 205-209.
- DING, F. – BENAOUZIA, M. – BÉRARD, P. – LANOUILLE, R. – LEJEUNE, C. – Gagné, P. 2005. Wood chip physical quality definition and measurement. *Pulp & Paper Canada*, no. 2, vol. 2, pp. 25-30.
- DING, F. – GAGNON, R. – LEJEUNE, C. 2014. Apparatus and method for measuring size distribution of granular matter, Patent no. US 8655048 B2.
- FS_3 Biomass: Wood Chips Moisture Meter. [online] [29.10.2014]. Dostupné z: http://www.schaller-gmbh.at/en/fs_3bio.php.
- HALLIDAY, D., - RESNICK, R., - WALKER, J. 1997. *Fundamentals of Physics*, New York: Wiley, s. 578-692. ISBN 0471156620.
- HARALICK, R. – SHANMUGAM, K. – DINSTEN, I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics*, vol. SMC-3, no. 6, p. 610–621.
- HAUKSSON, J. B. – BERGQVIST, G. – BERGSTEN, U. – SJÖSTRÖM, M. – EDLUND, U. 2001. Prediction of basic wood properties for Norway spruce. Interpretation of Near Infrared Spectroscopy data using partial least squares regression. *Wood Science and Technology*, Vol 35, pp. 475–485.
- HULTNÄS, M. – FERNANDEZ-CANO, V. 2012. Determination of the moisture content in wood chips of Scots pine and Norway spruce using Mantex Desktop Scanner based on dual energy X-ray absorptiometry. *J. Wood Sci.*, Vol. 58, pp. 309–314.
- ISMAIL, I. – GAMIO, J. C. – BUKHARI, S. F. A. – YANG, W. Q. 2005. Tomography system for multi-phase flow measurement in separation vessels, *Meas. Instrum.* 16 145-55.
- JAMES, W. L. 1974. Dielectric properties of wood and hardboard: variation with temperature, frequency moisture content, and grain orientation. Madison, WI: US Department of Agriculture, Res. Pap FPL 245.

- JENA, A., - GUPTA, K. 2002. Characterization of pore structure of filtration media. *Fluid Particle Separation Journal*, 4, 227–241.
- JAWORSKI, A. J. – DYAKOWSKI, T. 2001. Application of electrical capacitance tomography for measurement of gas-solids flow characteristic in a pneumatic conveying system, *Meas. Sci. Technol.* 12 1109-19.
- KARATHANOS, V.T. & SARAVACOS, G. D. 1993. Porosity and pore size distribution of starch materials. *Journal of Food Engineering*, 18, 259–280.
- KARATHANOS, V. T., - KANELLOPOULOS, N. K., - BELESSIOTIS, V. G. 1996. Development of porous structure during air drying of agricultural plant products. *Journal of Food Engineering*, 29, 167–183.
- KASSAMA, L. S., - NGADI, M. O. 2005. Pore development and moisture transfer in chicken meat during deep-fat frying. *Drying Technology*, 23, 907–923.
- KROKIDA, M. K., - MAROULIS, Z. B. 1997. Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology*, 15, 2441–2458.
- KUMHÁLA, F. – KAVKA, M. – PROŠEK, V. 2013. Capacitive throughput unit applied to stationary hoppicking machine. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 95, no 5, p. 92-94.
- KUMHÁLA, F. – KVÍZ, Z. – KMOCH, J. – PROŠEK, V. 2007. Dynamic laboratoř measurement with dielectric sensor for forage mass flow determinativ. *Res. Agr. Eng.*, vol. 53, no 4, pp. 149-154.
- KUMHÁLA, F. – PROŠEK, V. – KROULÍK, M. 2010. Capacitive sensor for chopped maize hroughput measurement. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 70, no 1, s. 234-238.
- KUMHÁLA, F. – PROŠEK, V. – BLAHOVEC, J. 2009. Capacitive throughput sensor for sugar beets and potatoes. *Biosystems Engineering*, vol. 102, pp. 36-43.
- KUMHÁLA, F. – PROSEK, V. – KROULIK, M. 2010. Capacitive sensor for chopped maize throughput measurement. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 70, pp. 234-238.
- LESTANDER, A. T. – LINDEBERG, J. – ERIKSSON, D. – BERGSTEN, U. 2008. Prediction of *Pinus sylvestris* clear-wood properties using NIR spectroscopy and biorthogonal partial least squares regression. *Can. J. For. Res.* Vol. 38, pp. 2052–2062.
- LEV, J. – MAYER, P. – WOHLMUTHOVÁ, M. – PROŠEK, V. 2013. The mathematical model of experimental sensor for material distribution detecting on the conveyor. *Computing*, vol. 95, no suppl. 1, pp. 521-536.

- LEV, J. - KŘEPEČÍK, V. - PROŠEK, V. - KUMHÁLA, F. 2017. Capacitive throughput sensor for plant materials -- Effects of frequency and moisture content. *Computers and Electronics in Agriculture*. Volume 133, Pages 22-29.
- LIU, S. – YANG, W. Q. – WANG, H. G. 2001. Electrical capacitance tomography sensor with internal-external electrodes. In. *Process Imaging for Automatic Control*. November 05, Boston, doi: 10.1117/12.417178.
- LÓPEZ, M. – MATÍAS, J. M. – VILÁN, J. A. – TABOADA, J. 2007. Functional Pattern Recognition of 3D Laser Scanned Images of Wood-Pulp Chips. *Pattern Recognition and Image Analysis*, Springer Berlin Heidelberg pp. 298-305.
- MALIK, J. – BELONGIE, S. – LEUNG, T. – SHI, J. 2001. Contour and Texture Analysis for Image Segmentation. *International Journal of Computer Vision*, vol. 1, pp. 7–27.
- MARTEL, H. – SAVOIE, P. 2000. Sensors to measure forage mass flow and moisture continuously. *Canadian agricultural engineering*, vol. 42, no. 3.
- MOHSENIN, N. N. 1970. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. New York: Gordon and Breach.
- NATI, C. – SPINELLI, R. – FABBRI, P. 2010. Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use. *Biomass and Bioenergy*, vol. 5, no.5, pp. 583-587.
- NELSON, O. S. 2010. Fundamentals of dielectric properties measurements and agricultural applications. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, vol. 44, no. 2, pp. 123-129.
- NELSON, S. O. 2005. Dielectric Properties Measurement for Agricultural Applications. ASAE Paper No: 053134.
- NORDELL, A. – VIKTERLÖF, K. J. 2000. Measurements of moisture content in wood fuels with dual energy X-ray. *Värmeforsk*, ISSN 0282-3772.
- NYSTRÖM, J. – DAHLQUIST, E. 2004. Methods for determination of moisture content in woodchips for power plants – a review. *Fuel*, Vol. 83, pp. 773–779.
- NYSTRÖM, J. 2006. Rapid measurements of the moisture content in biofuel. PhD thesis, Mälardalen University.
- PAZ, A. – Thorin, E. – Topp C. 2011. Dielectric mixing models for water content determination in woody biomass. *Wood Sci Technol.*, Vol. 45, no 2, pp. 249–259.
- REHNBERG, H. 2001. Moisture measurement on woodchips and other solid biofuels. *Värmeforsk*, ISSN 0282-3772.
- ROBINSON, D. – JONES, S. – WRAITH, J. Or. D. – FRIEDMAN, S. 2003. A review of advances in dielectric and electrical conductivity measurement in soils using time domain reflectometry. *Vadose Zone J.*, Vol 2, No. 4, pp. 444–475.

- SACILIK, K. – COLAK, A. 2010. Determination of dielectric properties of corn seeds from 1 to 100 MHz. *Powder Technology*, Vol. 203, pp. 365–370.
- SAHIN, S. & SUMNU, S. G. 2006. *Physical Properties of Foods*. Springer New York, 257.
- SAVOIE, P. – LEMIRE, P. – THÉRIAULT, R. 2002. Evaluation of five sensors to estimate mass-flow rate and moisture of grass in a forage harvester. *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 18, no 3, pp. 389-397.
- SERPIL, S. – SERVET G. S. 2006. Physical properties of foods. Middle East Technical University Ankara, Turkey, p. 257, ISBN 0-387-30808-3.
- STAFFORD, J. V. – AMBLER, B. – LARK, R. M. – CATT, J. 1996. Mapping and interpreting the field variation in cereal crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 14, pp. 101-119.
- SWISHER B. E. 1976. Alternate uses of wood chips. Columbus and Southern Electric Company Columbus, Ohio, USA, *Journal of Arboriculture*. January. 1976.
- VINCENT, L. 2000. Granulometries and Opening Trees. *Fundamenta Informaticae*, vol. 41, issue 1-2, IOS Press Amsterdam, pp. 57-90.
- WATERFALL, R. C. – HE, R. – WHITE, N. B. – BECK, C. M. 1996 Combustion imaging from electrical impedance measurements, *Meas. Sci. Technol.* 7 369-74.
- Wile BIO moisture meter. [online] [29.10.2014]. Dostupné z: <http://www.farmcomp.fi/en/wile/products/wile-for-wood/wile-bio-moisture-meter>.
- WILLIAM, L. J. 1975. Dielectric properties of wood and hardboard: Variation with temperature, frequency, moisture content and grain orientation. U. S. Department of Agriculture, FPL 245, Madison, Wisconsin.
- WILLIAMS, R. A. – LUKE, S. P. – OSTROWSKI, K. L. – BENNETT, M. A. 2000. Measurement of bulk particulates on belt conveyor using dielectric tomography. *Chemical Engineering Journal*, vol. 77, no 1-2, pp. 57-63.
- WILLIAMS, R. A. – XIE, C. G. 1993. Tomographic techniques for characterizing particulate process. *Part. Syst. Charact.*, vol. 10, no 5, pp 252-261.
- WOOTEN, J. R. – FILIP TO, S. D. – IGATHINATHANE, C. – PORDESIMO, L. O. 2011. Discrimination of bark from wood chips through texture analysis by image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, no. 1, pp. 13-19.
- XIE, C. G. – HUANG, S. M. – HOYLE, B. S. – THORN, R. – LENN, C. – SNOWDEN, D. – BECK, M. S. 1992. Electrical capacitance tomography for flow imaging system model for development of image reconstruction algorithms and design of primary sensors. **In.** *IEE Proceedings-g*, vol. 139, no 1, February 1992.
- YANG, W. Q. 2010. Design of electrical capacitance tomography sensors. *Meas. Sci. Technol.*, vol. 21. no 4. pp. 1-13.

- YANG, W. Q. – LIU, S. 1999. Electrical Capacitance Tomography with a Square Sensor. In: *1st World Congress on Industrial Process Tomography*, Buxton, Greater Manchester, April 14-17.
- YANG, W. Q. - STOTT, A. L. - BECK, M. S. – XIE, C. G. 1995. Development of capacitance tomographic imaging systems for oil pipeline measurements, *Rev. Sci. Instrum.* 66 4326-32.
- YEN, Y. K. – LIN, C. L. – MILLER, J. D. 1998. Particle overlap and segregation problems in on-line coarse particle size measurement. *Powder Technology*, vol. 1., pp. 1–12.

8 Přílohy

8.1 Příloha A: Tabulky hmotností a rozměrů vzorků borovice lesní (*Pinus sylvestris*), při různém podílu vlhkosti

Tabulka 8.1: Hmotnosti a rozměry vzorků borovice lesní (*Pinus sylvestris*), při podílu vlhkosti 35,58 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Borovice 1	20,64	20,89	20,63	6,68	8895,03	8,90	36,38
Borovice 2	20,83	20,57	20,04	6,55	8586,60	8,59	36,18
Borovice 3	20,52	20,91	20,58	6,65	8830,33	8,83	35,19
Borovice 4	20,59	20,87	20,09	6,61	8632,94	8,63	36,91
Borovice 5	20,88	20,43	20,32	6,59	8668,07	8,67	35,36
Borovice 6	20,88	20,52	20,23	6,28	8667,70	8,67	34,39
Borovice 7	20,96	20,57	20,54	6,63	8855,76	8,86	33,63
Borovice 8	20,81	20,47	20,43	6,28	8702,79	8,70	34,24
Borovice 9	20,72	21,10	20,28	6,68	8866,25	8,87	36,08
Borovice 10	20,37	20,96	19,68	6,41	8402,48	8,40	34,63
Borovice 11	21,02	20,61	19,80	6,48	8577,80	8,58	36,11
Borovice 12	20,51	20,91	20,35	6,69	8727,38	8,73	35,28
Borovice 13	20,52	20,91	20,05	6,43	8602,92	8,60	34,53
Borovice 14	20,53	20,89	20,44	6,71	8766,14	8,77	35,92
Borovice 15	20,83	20,54	20,30	6,46	8685,32	8,69	35,14
Borovice 16	21,02	20,79	20,41	6,65	8919,29	8,92	37,89
Borovice 17	20,52	20,88	20,13	6,37	8624,85	8,62	34,69
Borovice 18	20,95	20,58	20,48	6,63	8829,97	8,83	35,44
Borovice 19	20,51	20,91	19,90	6,38	8534,40	8,53	35,42
Borovice 20	20,95	20,55	20,35	6,57	8761,13	8,76	36,83
Borovice 21	21,10	20,80	20,07	6,54	8808,32	8,81	37,92
Borovice 22	21,04	20,55	20,01	6,40	8651,76	8,65	35,94
Borovice 23	20,68	20,87	20,14	6,42	8692,25	8,69	36,29
Borovice 24	20,94	20,50	20,19	6,65	8666,96	8,67	36,54
Borovice 25	20,81	20,53	20,17	6,28	8617,21	8,62	34,08
Borovice 26	20,86	20,47	20,19	6,26	8621,21	8,62	35,30
Borovice 27	21,10	20,91	20,19	6,70	8907,85	8,91	39,25
Borovice 28	20,82	20,52	20,03	6,30	8557,34	8,56	34,13

Tabulka 8.1: (Pokračování)

Borovice 29	20,99	20,42	19,91	6,65	8533,74	8,53	35,79
Borovice 30	20,81	20,47	20,24	6,35	8621,85	8,62	34,49
Borovice 31	20,57	20,81	19,89	6,71	8514,15	8,51	37,41
Borovice 32	20,58	20,99	19,89	6,56	8591,97	8,59	37,04
Borovice 33	20,94	20,54	20,41	6,66	8778,50	8,78	35,29
Borovice 34	20,64	20,92	20,31	6,69	8769,63	8,77	37,82
Borovice 35	20,77	20,71	20,06	6,32	8628,74	8,63	33,70
Borovice 36	20,83	20,48	20,48	6,77	8736,74	8,74	36,34
Borovice 37	20,81	20,48	20,72	6,26	8830,63	8,83	34,35
Borovice 38	20,53	20,83	20,18	6,46	8629,77	8,63	35,60
Borovice 39	20,86	20,49	20,31	6,63	8680,93	8,68	35,60
Borovice 40	21,01	20,62	20,03	6,55	8677,52	8,68	37,25
Borovice 41	20,58	20,78	20,17	6,40	8625,75	8,63	34,84
Borovice 42	20,94	20,57	20,58	6,78	8864,54	8,86	36,87
Borovice 43	20,45	20,79	20,14	6,36	8562,63	8,56	35,06
Borovice 44	20,54	20,83	20,09	6,56	8595,47	8,60	34,60
Borovice 45	20,52	20,86	20,18	6,51	8637,99	8,64	35,79
Borovice 46	20,49	20,96	19,49	6,45	8370,38	8,37	33,18
Borovice 47	20,47	20,78	19,96	6,17	8490,32	8,49	34,20
Borovice 48	20,64	21,11	19,87	6,60	8657,57	8,66	37,58
Borovice 49	20,86	20,45	20,32	6,32	8668,25	8,67	34,34
Borovice 50	20,66	21,08	19,82	6,68	8631,86	8,63	38,02
Borovice 51	20,71	20,96	19,52	6,45	8473,27	8,47	38,60
Borovice 52	20,46	20,83	20,00	6,26	8523,64	8,52	33,39
Borovice 53	20,85	20,53	20,18	6,39	8638,06	8,64	34,74
Borovice 54	20,88	20,62	20,00	6,60	8610,91	8,61	35,91
Borovice 55	20,95	20,49	20,30	6,42	8714,09	8,71	33,64
Borovice 56	20,79	20,53	20,08	6,66	8570,52	8,57	37,24
Borovice 57	20,47	20,84	19,82	6,36	8455,11	8,46	35,69
Borovice 58	20,49	20,87	20,02	6,31	8561,08	8,56	34,71
Borovice 59	20,43	20,85	20,21	6,64	8608,76	8,61	34,49
Borovice 60	20,85	20,54	20,19	6,39	8646,55	8,65	34,12
Borovice 61	20,87	20,51	20,36	6,43	8714,97	8,71	35,30
Borovice 62	20,79	20,42	20,25	6,31	8596,77	8,60	35,18
Borovice 63	19,53	20,37	19,53	6,32	7769,54	7,77	34,18
Borovice 64	20,94	20,55	20,36	7,01	8761,25	8,76	38,66
Borovice 65	20,76	20,43	20,05	6,28	8503,74	8,50	35,03

Tabulka 8.1: (Pokračování)

Borovice 66	20,50	20,99	20,41	6,72	8782,32	8,78	35,86
Borovice 67	20,51	20,84	20,46	6,60	8745,19	8,75	34,55
Borovice 68	20,43	20,80	19,84	6,21	8430,89	8,43	33,49
Borovice 69	20,75	20,53	20,21	6,40	8609,41	8,61	34,06
Borovice 70	20,53	20,78	20,02	6,49	8540,80	8,54	35,44
Borovice 71	20,80	20,59	20,35	6,53	8715,34	8,72	36,29
Borovice 72	20,94	20,70	19,65	6,50	8517,45	8,52	37,38
Borovice 73	20,47	20,81	20,37	6,42	8677,23	8,68	33,33
Borovice 74	20,84	20,59	20,11	6,69	8629,11	8,63	38,27
Borovice 75	20,53	20,81	20,12	6,46	8595,85	8,60	35,60
Borovice 76	20,85	20,52	20,32	6,85	8693,75	8,69	37,08
Borovice 77	21,02	20,07	20,18	6,66	8513,36	8,51	37,69
Borovice 78	21,02	20,61	20,32	6,76	8803,08	8,80	38,17
Borovice 79	20,58	21,07	22,72	7,46	9851,86	9,85	32,57
Borovice 80	20,82	20,51	20,16	6,38	8608,69	8,61	34,17
Borovice 81	20,84	20,55	20,35	6,58	8715,13	8,72	36,32
Borovice 82	20,46	20,96	20,21	6,46	8666,89	8,67	35,14
Borovice 83	20,88	20,47	20,49	6,84	8757,70	8,76	35,09
Borovice 84	20,82	20,63	20,54	6,95	8822,27	8,82	37,27
Borovice 85	20,51	21,00	20,06	6,66	8640,04	8,64	32,88
Borovice 86	20,58	20,95	20,36	6,75	8778,23	8,78	36,00
Borovice 87	20,51	20,86	20,26	6,48	8668,01	8,67	35,19
Borovice 88	20,54	20,85	20,13	6,58	8620,85	8,62	34,80
Borovice 89	20,64	21,01	20,41	6,72	8850,72	8,85	35,42
Borovice 90	20,89	20,54	20,09	6,32	8620,23	8,62	34,81
Celkem:					779761,67	779,76	-
Průměr:							35,58
MIN:							32,57
MAX:							39,25

Tabulka 8.2: Hmotnosti a rozměry vzorků borovice lesní (*Pinus sylvestris*), při podílu vlhkosti 27,99 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Borovice 1	20,69	21,04	20,30	6,07	8836,95	8,84	29,98
Borovice 2	20,96	20,60	20,08	5,93	8670,06	8,67	29,51
Borovice 3	20,55	20,95	20,59	6,04	8864,46	8,86	28,64
Borovice 4	20,61	21,06	20,10	5,90	8724,34	8,72	29,32
Borovice 5	20,90	20,58	20,38	5,90	8765,89	8,77	27,80
Borovice 6	20,87	20,60	20,23	5,77	8697,32	8,70	28,60
Borovice 7	20,94	20,57	20,55	6,12	8851,62	8,85	28,10
Borovice 8	20,78	20,53	20,28	5,68	8651,72	8,65	27,29
Borovice 9	21,01	20,61	20,31	6,01	8794,56	8,79	28,95
Borovice 10	20,94	20,45	19,80	5,81	8478,82	8,48	27,88
Borovice 11	21,02	20,67	19,82	5,86	8611,46	8,61	29,35
Borovice 12	20,57	20,93	20,41	5,99	8787,12	8,79	27,71
Borovice 13	20,92	20,56	20,12	5,83	8653,92	8,65	27,79
Borovice 14	20,95	20,61	20,48	6,05	8842,84	8,84	28,93
Borovice 15	20,55	20,87	20,44	5,81	8766,28	8,77	27,88
Borovice 16	20,86	21,11	20,37	5,86	8970,02	8,97	29,52
Borovice 17	20,56	20,81	20,19	5,74	8638,36	8,64	27,53
Borovice 18	20,94	20,62	20,53	6,07	8864,50	8,86	29,49
Borovice 19	20,55	20,80	19,99	5,61	8544,53	8,54	26,56
Borovice 20	21,05	20,60	20,07	5,94	8702,95	8,70	30,13
Borovice 21	21,10	20,76	20,13	5,87	8817,66	8,82	30,83
Borovice 22	21,05	20,60	20,12	5,79	8724,64	8,72	29,19
Borovice 23	21,08	20,66	20,14	5,85	8771,23	8,77	30,09
Borovice 24	20,61	20,97	20,20	5,94	8730,27	8,73	28,96
Borovice 25	20,82	20,53	20,14	5,65	8608,53	8,61	26,73
Borovice 26	20,81	20,52	20,16	5,58	8608,75	8,61	27,42
Borovice 27	20,95	21,12	20,27	5,87	8968,75	8,97	30,66
Borovice 28	20,82	20,57	20,04	5,69	8582,48	8,58	27,07
Borovice 29	20,90	20,46	20,01	5,83	8556,56	8,56	26,76
Borovice 30	20,49	20,79	20,32	5,68	8656,06	8,66	26,76
Borovice 31	20,62	20,98	19,99	5,88	8647,83	8,65	28,57
Borovice 32	20,69	21,04	20,01	5,84	8710,71	8,71	29,28
Borovice 33	20,55	20,94	20,40	5,95	8778,47	8,78	27,56
Borovice 34	20,65	21,06	20,34	5,93	8845,64	8,85	29,85
Borovice 35	20,80	20,55	20,14	5,78	8608,64	8,61	27,51

Tabulka 8.2: (Pokračování)

Borovice 36	21,02	20,60	20,60	6,07	8920,05	8,92	29,00
Borovice 37	20,48	20,79	20,35	5,60	8664,61	8,66	26,61
Borovice 38	20,95	20,60	20,33	5,80	8773,82	8,77	28,28
Borovice 39	21,01	20,58	20,20	5,97	8734,19	8,73	28,48
Borovice 40	21,08	20,70	20,17	5,95	8801,30	8,80	30,92
Borovice 41	20,53	20,83	20,14	5,74	8612,67	8,61	27,35
Borovice 42	20,95	20,61	20,52	6,00	8860,12	8,86	28,67
Borovice 43	20,52	20,85	20,26	5,72	8668,08	8,67	27,80
Borovice 44	20,95	20,55	20,25	5,88	8718,08	8,72	27,04
Borovice 45	20,58	20,98	20,22	5,79	8730,36	8,73	27,81
Borovice 46	20,96	20,51	19,67	5,85	8455,93	8,46	26,32
Borovice 47	20,48	20,81	20,07	5,60	8553,61	8,55	27,50
Borovice 48	21,11	20,73	19,96	5,85	8734,70	8,73	29,57
Borovice 49	20,53	20,84	20,39	5,67	8723,76	8,72	26,81
Borovice 50	20,79	21,06	19,87	5,86	8699,83	8,70	29,35
Borovice 51	20,80	21,11	19,64	5,56	8623,69	8,62	28,78
Borovice 52	20,53	20,85	20,14	5,65	8620,94	8,62	26,19
Borovice 53	20,57	20,89	20,29	5,76	8718,76	8,72	27,60
Borovice 54	20,61	20,99	20,09	5,92	8691,01	8,69	28,55
Borovice 55	20,86	20,54	20,39	5,78	8736,39	8,74	26,30
Borovice 56	20,66	21,10	20,22	5,88	8814,42	8,81	28,91
Borovice 57	20,59	20,89	19,97	5,72	8589,60	8,59	28,50
Borovice 58	20,54	20,91	20,10	5,66	8632,78	8,63	27,21
Borovice 59	20,87	20,49	20,28	5,84	8672,26	8,67	25,51
Borovice 60	20,56	20,79	20,17	5,69	8621,51	8,62	26,01
Borovice 61	20,88	20,53	20,39	5,68	8740,51	8,74	26,76
Borovice 62	20,85	20,51	20,33	5,56	8693,79	8,69	26,44
Borovice 63	20,99	20,48	19,72	5,77	8477,14	8,48	27,90
Borovice 64	20,97	20,60	20,47	5,96	8842,67	8,84	27,85
Borovice 65	20,50	20,82	20,17	5,58	8608,76	8,61	26,88
Borovice 66	21,00	20,60	20,47	6,10	8855,32	8,86	29,34
Borovice 67	20,88	20,59	20,56	5,94	8839,14	8,84	27,27
Borovice 68	20,51	20,82	20,02	5,59	8548,90	8,55	26,12
Borovice 69	20,60	20,86	20,26	5,85	8706,05	8,71	27,86
Borovice 70	20,82	20,50	20,16	5,71	8604,49	8,60	26,62
Borovice 71	20,59	21,03	20,26	5,81	8772,74	8,77	28,40
Borovice 72	21,06	20,71	19,59	5,86	8544,23	8,54	30,55
Borovice 73	20,50	20,83	20,31	5,80	8672,67	8,67	26,21

Tabulka 8.2: (Pokračování)

Borovice 74	20,67	21,03	20,17	5,83	8767,70	8,77	29,16
Borovice 75	20,81	20,55	20,29	5,62	8676,93	8,68	25,98
Borovice 76	21,00	20,60	20,37	6,05	8812,06	8,81	28,76
Borovice 77	20,63	21,02	20,20	5,80	8759,58	8,76	28,45
Borovice 78	20,65	21,04	20,35	5,95	8841,59	8,84	29,75
Borovice 79	20,60	21,02	22,76	6,84	9855,35	9,86	26,46
Borovice 80	20,48	20,83	20,29	5,71	8655,68	8,66	26,44
Borovice 81	20,64	21,04	20,32	5,86	8824,28	8,82	28,50
Borovice 82	20,55	20,97	20,33	5,79	8760,88	8,76	27,63
Borovice 83	20,92	20,55	20,54	6,09	8830,27	8,83	27,09
Borovice 84	20,93	20,62	20,63	6,05	8903,43	8,90	27,93
Borovice 85	20,96	20,53	20,33	6,01	8748,18	8,75	25,62
Borovice 86	20,99	20,59	20,41	6,00	8820,88	8,82	28,00
Borovice 87	20,55	20,85	20,37	5,79	8727,88	8,73	27,46
Borovice 88	20,55	20,94	20,30	5,90	8735,44	8,74	27,29
Borovice 89	20,63	20,97	20,46	6,02	8851,22	8,85	27,91
Borovice 90	20,82	20,51	20,10	5,54	8583,07	8,58	25,63
Celkem:					785767,18	785,77	-
Průměr:							27,99
MIN:							25,51
MAX:							30,92

Tabulka 8.3: Hmotnosti a rozměry vzorků borovice lesní (*Pinus sylvestris*), při podílu vlhkosti 26,09 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Borovice 1	20,66	21,01	20,24	5,84	8785,51	8,79	27,23
Borovice 2	20,96	20,56	20,04	5,67	8635,99	8,64	26,28
Borovice 3	20,91	20,51	20,58	5,75	8826,02	8,83	25,04
Borovice 4	20,72	21,01	20,11	5,63	8754,43	8,75	25,93
Borovice 5	20,50	20,86	20,35	5,74	8702,27	8,70	25,78
Borovice 6	20,85	20,70	20,20	5,55	8718,22	8,72	25,77
Borovice 7	20,89	20,54	20,54	5,93	8813,32	8,81	25,80
Borovice 8	20,50	20,75	20,23	5,44	8605,34	8,61	24,08
Borovice 9	20,60	20,99	20,26	5,83	8760,30	8,76	26,76
Borovice 10	20,90	20,42	19,78	5,53	8441,67	8,44	24,23
Borovice 11	20,66	21,00	19,83	5,61	8603,44	8,60	26,20
Borovice 12	20,48	20,85	20,51	5,71	8757,93	8,76	24,17
Borovice 13	20,95	20,51	20,10	5,58	8636,66	8,64	24,55
Borovice 14	20,92	20,58	20,47	5,81	8813,02	8,81	25,99
Borovice 15	20,52	20,83	20,42	5,59	8728,15	8,73	25,04
Borovice 16	20,76	21,01	20,29	5,56	8849,84	8,85	25,72
Borovice 17	20,70	20,47	20,20	5,55	8559,33	8,56	25,05
Borovice 18	20,59	20,91	20,53	5,83	8838,92	8,84	26,59
Borovice 19	20,74	20,47	19,97	5,47	8478,22	8,48	24,68
Borovice 20	20,75	21,01	20,06	5,76	8745,31	8,75	27,95
Borovice 21	20,75	21,10	20,11	5,66	8804,66	8,80	28,27
Borovice 22	21,01	20,64	20,12	5,61	8724,97	8,72	26,92
Borovice 23	21,20	20,63	20,11	5,58	8795,23	8,80	26,70
Borovice 24	20,92	20,55	20,13	5,72	8654,01	8,65	26,22
Borovice 25	20,72	20,45	20,14	5,45	8533,80	8,53	24,04
Borovice 26	20,71	20,44	20,16	5,39	8533,98	8,53	24,86
Borovice 27	20,90	21,08	20,24	5,63	8917,18	8,92	27,71
Borovice 28	20,75	20,52	20,02	5,48	8524,32	8,52	24,27
Borovice 29	20,84	20,44	20,00	5,61	8519,39	8,52	23,89
Borovice 30	20,71	20,42	20,34	5,51	8601,75	8,60	24,50
Borovice 31	20,58	20,95	19,97	5,66	8610,09	8,61	25,80
Borovice 32	21,02	20,66	20,00	5,60	8685,46	8,69	26,25
Borovice 33	20,47	20,81	20,40	5,72	8690,01	8,69	24,65
Borovice 34	20,66	21,05	20,35	5,72	8850,07	8,85	27,27
Borovice 35	20,70	20,50	20,14	5,49	8546,41	8,55	23,68

Tabulka 8.3: (Pokračování)

Borovice 36	20,56	20,97	20,52	5,87	8847,06	8,85	26,58
Borovice 37	20,65	20,38	20,39	5,38	8581,07	8,58	23,61
Borovice 38	20,92	20,54	20,30	5,63	8722,85	8,72	26,11
Borovice 39	20,59	21,02	20,16	5,81	8725,28	8,73	26,51
Borovice 40	21,07	20,63	20,14	5,73	8754,34	8,75	28,27
Borovice 41	20,76	20,50	20,14	5,54	8571,18	8,57	24,73
Borovice 42	20,55	20,93	20,53	5,76	8830,19	8,83	25,69
Borovice 43	20,85	20,49	20,24	5,51	8646,86	8,65	25,05
Borovice 44	20,88	20,53	20,24	5,74	8676,21	8,68	25,26
Borovice 45	20,97	20,53	20,32	5,64	8748,05	8,75	25,89
Borovice 46	20,46	20,89	19,65	5,65	8398,59	8,40	23,72
Borovice 47	20,46	20,74	20,08	5,41	8520,76	8,52	24,95
Borovice 48	20,72	21,13	19,97	5,68	8743,14	8,74	27,46
Borovice 49	20,48	20,83	20,39	5,46	8698,34	8,70	23,99
Borovice 50	20,70	21,03	19,86	5,72	8645,48	8,65	27,62
Borovice 51	20,75	21,03	19,59	5,40	8548,54	8,55	26,67
Borovice 52	20,52	20,73	20,11	5,49	8554,38	8,55	24,04
Borovice 53	20,87	20,55	20,26	5,65	8689,08	8,69	26,19
Borovice 54	20,65	20,93	20,07	5,73	8674,34	8,67	26,18
Borovice 55	20,49	20,73	20,36	5,56	8648,07	8,65	23,38
Borovice 56	20,64	21,05	20,20	5,72	8776,33	8,78	26,92
Borovice 57	20,87	20,56	19,95	5,64	8560,29	8,56	27,48
Borovice 58	20,54	20,87	20,11	5,54	8620,55	8,62	25,63
Borovice 59	20,77	20,41	20,23	5,67	8575,81	8,58	23,28
Borovice 60	20,47	20,68	20,18	5,58	8542,59	8,54	24,55
Borovice 61	20,85	20,52	20,41	5,61	8732,26	8,73	25,85
Borovice 62	20,52	20,79	20,25	5,48	8638,87	8,64	25,36
Borovice 63	20,96	20,47	19,68	5,57	8443,73	8,44	25,31
Borovice 64	20,98	20,58	20,49	5,78	8846,93	8,85	25,61
Borovice 65	20,44	20,77	20,24	5,54	8592,67	8,59	26,35
Borovice 66	21,01	20,60	20,44	5,83	8846,55	8,85	26,07
Borovice 67	20,82	20,52	20,52	5,79	8766,69	8,77	25,39
Borovice 68	20,74	20,42	20,03	5,40	8482,92	8,48	23,52
Borovice 69	20,57	20,80	20,29	5,66	8681,20	8,68	25,44
Borovice 70	20,71	20,44	20,13	5,50	8521,28	8,52	23,82
Borovice 71	20,97	20,55	20,25	5,59	8726,40	8,73	25,58
Borovice 72	21,05	20,69	19,58	21,65	8527,57	8,53	81,20
Borovice 73	20,70	20,43	20,29	5,59	8580,66	8,58	23,43

Tabulka 8.3: (Pokračování)

Borovice 74	21,03	20,63	20,25	5,61	8785,44	8,79	26,38
Borovice 75	20,53	20,78	20,25	5,53	8638,92	8,64	24,77
Borovice 76	20,70	21,00	20,42	5,84	8876,57	8,88	26,20
Borovice 77	21,05	20,59	20,20	5,68	8755,07	8,76	26,94
Borovice 78	20,66	20,99	20,33	5,72	8816,17	8,82	26,92
Borovice 79	20,72	20,94	22,79	6,55	9888,05	9,89	23,21
Borovice 80	20,43	20,73	20,26	5,46	8580,39	8,58	23,08
Borovice 81	21,02	20,59	20,41	5,65	8833,48	8,83	25,84
Borovice 82	20,51	20,93	20,31	5,62	8718,56	8,72	25,44
Borovice 83	20,55	20,88	20,51	5,93	8800,51	8,80	25,13
Borovice 84	20,61	20,90	20,62	5,86	8882,04	8,88	25,60
Borovice 85	20,90	20,44	20,30	5,83	8672,08	8,67	23,33
Borovice 86	20,57	20,96	20,42	5,83	8804,03	8,80	25,90
Borovice 87	20,47	20,74	20,37	5,55	8648,04	8,65	24,32
Borovice 88	20,86	20,50	20,27	5,67	8668,06	8,67	24,34
Borovice 89	21,00	20,60	20,47	5,93	8855,32	8,86	26,81
Borovice 90	20,44	20,74	20,06	5,39	8503,95	8,50	23,56
Celkem:					782459,01	782,46	-
Průměr:							26,09
MIN:							23,08
MAX:							81,20

Tabulka 8.4: Hmotnosti a rozměry vzorků borovice lesní (*Pinus sylvestris*), při podílu vlhkosti 20,64 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Borovice 1	21,03	20,67	20,33	5,56	8837,25	8,84	23,56
Borovice 2	20,55	20,89	20,07	5,26	8615,84	8,62	20,53
Borovice 3	20,50	20,84	20,59	5,33	8796,46	8,80	19,14
Borovice 4	20,58	21,00	20,11	5,30	8691,14	8,69	21,32
Borovice 5	20,86	20,50	20,39	5,43	8719,38	8,72	21,55
Borovice 6	20,84	20,56	20,21	5,31	8659,39	8,66	22,41
Borovice 7	20,85	20,53	20,55	5,55	8796,44	8,80	20,72
Borovice 8	20,41	20,59	20,24	5,04	8505,70	8,51	18,06
Borovice 9	20,98	20,57	20,32	5,43	8769,27	8,77	21,36
Borovice 10	20,41	20,86	19,77	5,23	8417,13	8,42	19,89
Borovice 11	20,71	20,95	19,80	5,21	8590,72	8,59	20,54
Borovice 12	20,42	20,65	20,45	5,23	8623,21	8,62	17,21
Borovice 13	20,83	20,49	20,14	5,22	8595,89	8,60	19,35
Borovice 14	20,93	20,58	20,49	5,51	8825,85	8,83	21,96
Borovice 15	20,78	20,49	20,45	5,26	8707,25	8,71	20,34
Borovice 16	21,00	20,73	20,19	5,15	8789,31	8,79	19,81
Borovice 17	20,66	20,47	20,21	5,13	8547,02	8,55	18,91
Borovice 18	20,60	20,88	20,53	5,48	8830,53	8,83	21,90
Borovice 19	20,68	20,45	19,99	5,11	8453,89	8,45	19,37
Borovice 20	21,03	20,62	20,09	5,53	8711,80	8,71	24,95
Borovice 21	21,14	20,71	20,11	5,43	8804,35	8,80	25,23
Borovice 22	20,63	21,01	20,09	5,31	8707,74	8,71	22,79
Borovice 23	20,63	21,00	20,11	5,15	8712,26	8,71	20,58
Borovice 24	20,54	20,89	20,17	5,32	8654,56	8,65	20,68
Borovice 25	20,39	20,75	20,20	5,22	8546,47	8,55	20,69
Borovice 26	20,45	20,66	20,13	5,10	8504,86	8,50	20,59
Borovice 27	21,05	20,87	20,19	5,23	8869,74	8,87	22,18
Borovice 28	20,52	20,74	20,05	5,15	8532,98	8,53	19,42
Borovice 29	20,40	20,78	20,02	5,29	8486,72	8,49	19,28
Borovice 30	20,60	20,43	20,33	5,09	8556,04	8,56	18,27
Borovice 31	20,92	20,57	20,01	5,23	8610,79	8,61	19,69
Borovice 32	20,75	21,04	20,04	5,32	8749,06	8,75	22,37
Borovice 33	20,69	20,42	20,40	5,22	8618,79	8,62	17,43
Borovice 34	21,03	20,63	20,36	5,49	8833,16	8,83	24,23
Borovice 35	20,46	20,59	20,16	5,13	8492,83	8,49	18,32

Tabulka 8.4: (Pokračování)

Borovice 36	21,05	20,57	20,56	5,60	8902,45	8,90	23,04
Borovice 37	20,63	20,37	20,37	5,03	8560,15	8,56	18,29
Borovice 38	20,91	20,56	20,29	5,34	8722,87	8,72	22,10
Borovice 39	20,97	20,56	20,17	5,52	8696,16	8,70	22,64
Borovice 40	20,63	21,05	20,18	5,50	8763,40	8,76	25,27
Borovice 41	20,75	20,46	20,14	5,19	8550,34	8,55	19,65
Borovice 42	20,54	20,88	20,52	5,34	8800,52	8,80	19,85
Borovice 43	20,82	20,50	20,26	5,23	8647,17	8,65	21,03
Borovice 44	20,49	20,81	20,27	5,34	8643,07	8,64	19,66
Borovice 45	20,94	20,63	20,25	5,39	8747,84	8,75	22,45
Borovice 46	20,77	20,41	19,67	5,29	8338,42	8,34	18,53
Borovice 47	20,45	20,69	20,05	5,08	8483,37	8,48	20,08
Borovice 48	20,71	21,10	19,96	5,46	8722,14	8,72	24,54
Borovice 49	20,45	20,71	20,39	5,13	8635,56	8,64	19,10
Borovice 50	21,09	20,73	19,88	5,56	8691,45	8,69	25,54
Borovice 51	21,03	20,73	19,70	5,04	8588,25	8,59	21,43
Borovice 52	20,68	20,44	20,16	5,12	8521,62	8,52	18,55
Borovice 53	20,57	20,84	20,24	5,47	8676,46	8,68	23,77
Borovice 54	20,96	20,58	20,10	5,35	8670,27	8,67	20,93
Borovice 55	20,65	20,45	20,42	5,19	8623,21	8,62	17,92
Borovice 56	21,03	20,64	20,27	5,43	8798,38	8,80	23,02
Borovice 57	20,86	20,58	19,94	5,43	8560,22	8,56	24,68
Borovice 58	20,86	20,59	20,11	5,29	8637,39	8,64	22,12
Borovice 59	20,40	20,67	20,29	5,32	8555,64	8,56	18,23
Borovice 60	20,62	20,41	20,21	5,11	8505,46	8,51	17,61
Borovice 61	20,82	20,84	20,36	5,28	8833,98	8,83	21,21
Borovice 62	20,49	20,79	20,33	5,16	8660,32	8,66	20,74
Borovice 63	20,95	20,46	19,74	5,36	8461,29	8,46	22,39
Borovice 64	20,55	20,93	20,49	5,37	8812,98	8,81	19,93
Borovice 65	20,45	20,72	20,19	5,04	8554,99	8,55	19,05
Borovice 66	20,96	20,56	20,45	5,47	8812,67	8,81	21,21
Borovice 67	20,51	20,76	20,55	5,31	8749,94	8,75	18,64
Borovice 68	20,39	20,60	20,07	5,02	8430,08	8,43	17,73
Borovice 69	20,57	20,81	20,36	5,32	8715,34	8,72	20,68
Borovice 70	20,69	20,40	20,11	5,13	8487,95	8,49	18,32
Borovice 71	20,54	20,92	20,15	5,16	8658,39	8,66	19,38
Borovice 72	21,04	20,69	19,57	5,44	8519,17	8,52	25,18
Borovice 73	20,63	20,40	20,29	5,20	8539,09	8,54	17,69

Tabulka 8.4: (Pokračování)

Borovice 74	20,65	21,02	20,26	5,26	8794,12	8,79	21,48
Borovice 75	20,78	20,48	20,33	5,22	8651,93	8,65	20,31
Borovice 76	20,59	20,95	20,42	5,52	8808,38	8,81	21,92
Borovice 77	21,03	20,59	20,26	5,27	8772,74	8,77	21,25
Borovice 78	20,62	20,98	20,37	5,25	8812,22	8,81	20,38
Borovice 79	20,56	20,91	22,77	6,27	9789,04	9,79	19,78
Borovice 80	20,39	20,65	20,29	5,14	8543,18	8,54	18,29
Borovice 81	20,96	20,55	20,34	5,23	8761,01	8,76	19,89
Borovice 82	20,90	20,49	20,31	5,20	8697,57	8,70	19,42
Borovice 83	20,89	20,54	20,52	5,64	8804,73	8,80	21,28
Borovice 84	20,56	20,86	20,64	5,40	8852,12	8,85	19,26
Borovice 85	20,74	20,43	20,36	5,46	8626,90	8,63	18,13
Borovice 86	20,91	20,54	20,42	5,39	8770,21	8,77	19,85
Borovice 87	20,69	20,46	20,37	5,17	8622,98	8,62	18,76
Borovice 88	20,85	20,47	20,27	5,30	8651,23	8,65	19,06
Borovice 89	20,99	20,60	20,43	5,66	8833,81	8,83	23,32
Borovice 90	20,41	20,64	20,08	5,03	8458,95	8,46	18,09
Celkem:					780692,87	780,69	-
Průměr:							20,64
MIN:							17,21
MAX:							25,54

Tabulka 8.5: Hmotnosti a rozměry vzorků borovice lesní (*Pinus sylvestris*), při podílu vlhkosti 6,37 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Borovice 1	19,75	20,25	19,69	4,53	7874,77	7,87	6,18
Borovice 2	19,77	19,96	19,60	4,46	7734,34	7,73	6,28
Borovice 3	19,68	19,76	20,45	4,59	7952,53	7,95	6,10
Borovice 4	19,69	19,82	19,99	4,44	7801,21	7,80	6,08
Borovice 5	19,69	19,64	20,23	4,53	7823,18	7,82	5,96
Borovice 6	19,67	19,66	20,10	4,38	7772,92	7,77	5,94
Borovice 7	19,69	19,67	20,40	4,69	7900,97	7,90	6,18
Borovice 8	19,68	19,67	20,17	4,40	7807,92	7,81	6,14
Borovice 9	19,70	19,76	20,17	4,56	7851,62	7,85	6,36
Borovice 10	19,69	19,64	19,64	4,48	7595,02	7,60	6,47
Borovice 11	19,83	19,78	19,68	4,41	7719,23	7,72	6,12
Borovice 12	19,79	19,74	20,32	4,62	7938,10	7,94	6,28
Borovice 13	19,74	19,79	20,00	4,47	7813,09	7,81	5,82
Borovice 14	19,74	19,79	20,35	4,59	7949,82	7,95	6,32
Borovice 15	19,78	19,70	20,35	4,48	7929,70	7,93	6,47
Borovice 16	19,90	19,88	20,26	4,41	8015,10	8,02	6,35
Borovice 17	19,69	19,71	20,08	4,43	7792,85	7,79	6,09
Borovice 18	19,75	19,71	20,41	4,57	7945,05	7,95	6,35
Borovice 19	19,67	19,72	19,85	4,41	7699,66	7,70	6,58
Borovice 20	19,83	19,72	19,96	4,44	7805,31	7,81	6,53
Borovice 21	19,85	19,82	20,01	4,32	7872,47	7,87	6,02
Borovice 22	19,76	19,87	20,01	4,39	7856,55	7,86	6,61
Borovice 23	19,75	19,92	19,98	4,36	7860,53	7,86	6,19
Borovice 24	19,71	19,78	20,08	4,50	7828,47	7,83	6,22
Borovice 25	19,73	19,75	20,06	4,41	7816,73	7,82	6,12
Borovice 26	19,67	19,69	20,07	4,34	7773,16	7,77	6,68
Borovice 27	20,00	19,85	20,13	4,33	7991,61	7,99	6,00
Borovice 28	19,72	19,70	19,94	4,42	7746,37	7,75	6,11
Borovice 29	19,73	19,65	19,91	4,55	7719,00	7,72	6,15
Borovice 30	19,67	19,64	20,23	4,44	7815,23	7,82	6,31
Borovice 31	19,75	19,83	19,88	4,48	7785,85	7,79	6,25
Borovice 32	19,86	19,80	20,01	4,40	7868,49	7,87	6,14
Borovice 33	19,79	19,70	20,31	4,60	7918,12	7,92	6,30
Borovice 34	19,73	19,88	20,24	4,43	7938,78	7,94	6,09
Borovice 35	19,74	19,68	20,03	4,49	7781,32	7,78	6,68

Tabulka 8.5: (Pokračování)

Borovice 36	19,72	19,84	20,46	4,60	8004,87	8,00	6,30
Borovice 37	19,69	19,65	20,29	4,39	7850,37	7,85	6,38
Borovice 38	19,69	19,81	20,20	4,43	7879,19	7,88	6,09
Borovice 39	19,83	19,78	20,11	4,57	7887,89	7,89	6,56
Borovice 40	19,75	19,91	20,05	4,38	7884,11	7,88	6,16
Borovice 41	19,73	19,77	20,05	4,47	7820,75	7,82	6,71
Borovice 42	19,71	19,83	20,39	4,58	7969,42	7,97	6,55
Borovice 43	19,68	19,68	20,13	4,41	7796,40	7,80	6,35
Borovice 44	19,71	19,80	20,13	4,57	7855,89	7,86	6,13
Borovice 45	19,71	19,84	20,12	4,47	7867,85	7,87	6,49
Borovice 46	19,73	19,75	19,46	4,59	7582,93	7,58	6,10
Borovice 47	19,68	19,66	19,94	4,34	7714,96	7,71	6,45
Borovice 48	19,86	19,83	19,82	4,42	7805,59	7,81	6,79
Borovice 49	19,72	19,76	20,26	4,44	7894,66	7,89	6,53
Borovice 50	19,86	19,81	19,74	4,42	7766,24	7,77	6,33
Borovice 51	19,84	19,90	19,51	4,30	7702,86	7,70	7,91
Borovice 52	19,74	19,73	20,05	4,46	7808,88	7,81	6,50
Borovice 53	19,70	19,74	20,19	4,47	7851,45	7,85	6,71
Borovice 54	19,74	19,83	20,28	4,52	7938,49	7,94	6,42
Borovice 55	19,72	19,80	20,28	4,55	7918,45	7,92	6,37
Borovice 56	19,76	19,90	20,08	4,48	7895,94	7,90	6,70
Borovice 57	19,72	19,74	19,87	4,38	7734,85	7,73	6,62
Borovice 58	19,73	19,80	19,99	4,40	7809,17	7,81	6,36
Borovice 59	19,75	19,69	20,16	4,65	7839,77	7,84	6,45
Borovice 60	19,74	19,70	20,07	4,51	7804,78	7,80	6,65
Borovice 61	19,79	19,72	20,32	4,46	7930,06	7,93	6,73
Borovice 62	19,69	19,71	20,14	4,37	7816,13	7,82	6,41
Borovice 63	19,74	19,68	19,58	4,46	7606,50	7,61	6,73
Borovice 64	19,83	19,71	20,32	4,60	7942,06	7,94	6,52
Borovice 65	19,77	19,73	20,05	4,37	7820,75	7,82	6,64
Borovice 66	19,82	19,70	20,36	4,61	7949,64	7,95	6,51
Borovice 67	19,73	19,80	20,45	4,62	7988,87	7,99	6,49
Borovice 68	19,69	19,73	19,89	4,40	7726,94	7,73	6,14
Borovice 69	19,72	19,68	20,16	4,50	7823,89	7,82	6,22
Borovice 70	19,70	19,80	20,04	4,48	7816,80	7,82	6,47
Borovice 71	19,76	19,87	20,05	4,45	7872,26	7,87	6,52
Borovice 72	19,83	19,88	19,42	4,35	7655,76	7,66	6,44
Borovice 73	19,75	19,69	20,16	4,58	7839,77	7,84	6,55

Tabulka 8.5: (Pokračování)

Borovice 74	19,91	19,78	20,09	4,42	7911,84	7,91	6,56
Borovice 75	19,70	19,72	20,18	4,46	7839,61	7,84	6,73
Borovice 76	19,84	19,75	20,29	4,60	7950,43	7,95	6,30
Borovice 77	19,90	19,74	20,11	4,45	7899,73	7,90	6,74
Borovice 78	19,80	19,90	20,34	4,48	8014,37	8,01	6,70
Borovice 79	19,81	19,78	22,41	5,40	8781,17	8,78	6,85
Borovice 80	19,73	19,79	20,20	4,49	7887,23	7,89	6,46
Borovice 81	19,90	19,74	20,21	4,48	7939,01	7,94	6,47
Borovice 82	19,71	19,84	20,21	4,49	7903,05	7,90	6,68
Borovice 83	19,77	19,68	20,50	4,76	7976,01	7,98	6,72
Borovice 84	19,73	19,81	20,50	4,66	8012,45	8,01	6,44
Borovice 85	19,79	19,74	20,16	4,80	7875,60	7,88	6,88
Borovice 86	19,77	19,73	20,30	4,64	7918,26	7,92	6,90
Borovice 87	19,70	19,77	20,26	4,50	7890,64	7,89	6,67
Borovice 88	19,85	19,69	20,17	4,60	7883,37	7,88	6,74
Borovice 89	19,83	19,74	20,40	4,65	7985,46	7,99	6,67
Borovice 90	19,71	19,79	19,98	4,41	7793,42	7,79	6,58
Celkem:					707431,90	707,43	-
Průměr:							6,43
MIN:							5,82
MAX:							7,91

Tabulka 8.6: Hmotnosti a rozměry vzorků borovice lesní (*Pinus sylvestris*), sušina

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Borovice 1	19,59	19,61	20,39	4,25	7833,02	7,83	-
Borovice 2	19,39	19,58	20,12	4,18	7638,68	7,64	-
Borovice 3	19,44	19,56	20,65	4,31	7852,09	7,85	-
Borovice 4	19,53	19,53	20,22	4,17	7712,33	7,71	-
Borovice 5	19,45	19,48	20,47	4,26	7755,80	7,76	-
Borovice 6	19,36	19,53	20,26	4,12	7660,32	7,66	-
Borovice 7	19,38	19,55	20,55	4,40	7785,96	7,79	-
Borovice 8	19,47	19,52	20,32	4,13	7722,71	7,72	-
Borovice 9	19,51	19,38	20,33	4,27	7686,85	7,69	-
Borovice 10	19,41	19,50	19,83	4,19	7505,56	7,51	-
Borovice 11	19,46	19,67	19,85	4,14	7598,15	7,60	-
Borovice 12	19,49	19,43	20,46	4,33	7748,01	7,75	-
Borovice 13	19,61	19,45	20,16	4,21	7689,32	7,69	-
Borovice 14	19,55	19,43	20,53	4,30	7798,45	7,80	-
Borovice 15	19,38	19,54	20,47	4,19	7751,69	7,75	-
Borovice 16	19,50	19,79	20,30	4,13	7833,87	7,83	-
Borovice 17	19,39	19,51	20,23	4,16	7652,99	7,65	-
Borovice 18	19,36	19,53	20,60	4,28	7788,88	7,79	-
Borovice 19	19,38	19,50	20,05	4,12	7577,10	7,58	-
Borovice 20	19,59	19,40	20,09	4,15	7635,12	7,64	-
Borovice 21	19,49	19,73	20,14	4,06	7744,59	7,74	-
Borovice 22	19,52	19,49	20,14	4,10	7662,16	7,66	-
Borovice 23	19,46	19,55	20,18	4,09	7677,34	7,68	-
Borovice 24	19,35	19,57	20,22	4,22	7656,90	7,66	-
Borovice 25	19,40	19,53	20,19	4,14	7649,63	7,65	-
Borovice 26	19,49	10,37	20,17	4,05	4076,58	4,08	-
Borovice 27	19,86	19,51	20,33	4,07	7877,24	7,88	-
Borovice 28	19,50	19,36	20,11	4,15	7591,93	7,59	-
Borovice 29	19,44	19,46	20,06	4,27	7588,75	7,59	-
Borovice 30	19,39	19,43	20,39	4,16	7681,89	7,68	-
Borovice 31	19,53	19,43	20,02	4,20	7596,95	7,60	-
Borovice 32	19,59	19,54	20,05	4,13	7674,91	7,67	-
Borovice 33	19,49	19,46	20,47	4,31	7763,77	7,76	-
Borovice 34	19,58	19,45	20,38	4,16	7761,34	7,76	-
Borovice 35	19,51	19,38	20,21	4,19	7641,48	7,64	-

Tabulka 8.6: (Pokračování)

Borovice 36	19,60	19,37	20,57	4,31	7809,44	7,81	-
Borovice 37	19,49	19,37	20,40	4,11	7701,43	7,70	-
Borovice 38	19,42	19,46	20,35	4,16	7690,53	7,69	-
Borovice 39	19,47	19,40	20,25	4,27	7648,79	7,65	-
Borovice 40	19,43	19,59	20,21	4,11	7692,61	7,69	-
Borovice 41	19,52	19,52	20,24	4,17	7712,06	7,71	-
Borovice 42	19,33	19,55	20,54	4,28	7762,10	7,76	-
Borovice 43	19,49	19,38	20,31	4,13	7671,42	7,67	-
Borovice 44	19,43	19,48	20,34	4,29	7698,62	7,70	-
Borovice 45	19,48	19,37	20,26	4,18	7644,66	7,64	-
Borovice 46	19,51	19,44	19,71	4,31	7475,50	7,48	-
Borovice 47	19,48	19,40	20,10	4,06	7596,03	7,60	-
Borovice 48	19,56	19,60	20,03	4,12	7679,02	7,68	-
Borovice 49	19,39	19,50	20,44	4,15	7728,47	7,73	-
Borovice 50	19,60	19,54	19,90	4,14	7621,38	7,62	-
Borovice 51	19,65	19,58	19,65	3,96	7560,28	7,56	-
Borovice 52	19,45	19,48	20,16	4,17	7638,34	7,64	-
Borovice 53	19,50	19,42	20,33	4,17	7698,77	7,70	-
Borovice 54	19,39	19,62	20,11	4,23	7650,48	7,65	-
Borovice 55	19,35	19,52	20,42	4,26	7712,88	7,71	-
Borovice 56	19,45	19,56	20,29	4,18	7719,17	7,72	-
Borovice 57	19,50	19,40	19,97	4,09	7554,65	7,55	-
Borovice 58	19,52	19,45	20,14	4,12	7646,43	7,65	-
Borovice 59	19,43	19,43	20,29	4,35	7659,98	7,66	-
Borovice 60	19,36	19,49	20,28	4,21	7652,18	7,65	-
Borovice 61	19,43	19,54	20,41	4,16	7748,91	7,75	-
Borovice 62	19,36	19,55	20,38	4,09	7713,59	7,71	-
Borovice 63	19,47	19,47	19,72	4,16	7475,48	7,48	-
Borovice 64	19,51	19,38	20,53	4,30	7762,47	7,76	-
Borovice 65	19,56	19,55	20,25	4,08	7743,56	7,74	-
Borovice 66	19,52	19,46	20,49	4,31	7783,32	7,78	-
Borovice 67	19,32	19,51	20,58	4,32	7757,29	7,76	-
Borovice 68	19,42	19,45	20,07	4,13	7580,82	7,58	-
Borovice 69	19,38	19,55	20,37	4,22	7717,77	7,72	-
Borovice 70	19,49	19,37	20,20	4,19	7625,93	7,63	-
Borovice 71	19,48	19,58	20,32	4,16	7750,42	7,75	-
Borovice 72	19,59	19,57	19,63	4,07	7525,68	7,53	-
Borovice 73	19,49	19,44	20,35	4,28	7710,32	7,71	-

Tabulka 8.6: (Pokračování)

Borovice 74	19,47	19,63	20,26	4,13	7743,29	7,74	-
Borovice 75	19,44	19,49	20,39	4,16	7725,48	7,73	-
Borovice 76	19,56	19,44	20,44	4,31	7772,24	7,77	-
Borovice 77	19,48	19,58	20,28	4,15	7735,17	7,74	-
Borovice 78	19,53	19,58	20,47	4,18	7827,67	7,83	-
Borovice 79	19,50	19,51	22,52	5,03	8567,62	8,57	-
Borovice 80	19,41	19,49	20,37	4,20	7705,99	7,71	-
Borovice 81	19,50	19,52	20,39	4,19	7761,25	7,76	-
Borovice 82	19,47	19,40	20,36	4,19	7690,34	7,69	-
Borovice 83	19,40	19,52	20,59	4,44	7797,19	7,80	-
Borovice 84	19,35	19,55	20,67	4,36	7819,31	7,82	-
Borovice 85	19,48	19,49	20,17	4,47	7657,85	7,66	-
Borovice 86	19,47	19,43	20,44	4,32	7732,49	7,73	-
Borovice 87	19,50	19,44	20,42	4,20	7740,81	7,74	-
Borovice 88	19,44	19,41	20,33	4,29	7671,13	7,67	-
Borovice 89	19,36	19,56	20,57	4,34	7789,48	7,79	-
Borovice 90	19,50	19,50	20,14	4,12	7658,24	7,66	-
Celkem:					689788,60	689,79	-

8.2 Příloha B: Tabulky hmotností a rozměrů vzorků buk lesní (*Fagus sylvatica*), při různém podílu vlhkosti

Tabulka 8.7: Hmotnosti a rozměry vzorků buk lesní (*Fagus sylvatica*), při podílu vlhkosti 53,93 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Buk 1	21,90	21,17	20,24	8,81	9383,73	9,38	58,49
Buk 2	21,00	20,58	20,78	7,71	8980,70	8,98	51,60
Buk 3	21,13	21,47	21,33	9,07	9676,59	9,68	68,93
Buk 4	19,80	21,11	20,83	7,29	8706,48	8,71	47,04
Buk 5	22,09	21,17	20,75	9,15	9703,64	9,70	61,36
Buk 6	20,63	20,97	20,50	7,56	8868,53	8,87	50,18
Buk 7	21,18	21,10	20,32	8,32	9080,97	9,08	56,43
Buk 8	20,84	21,02	20,79	7,94	9107,20	9,11	53,09
Buk 9	21,10	21,30	20,50	8,71	9213,32	9,21	55,56
Buk 10	21,06	21,05	20,22	8,36	8963,79	8,96	55,57
Buk 11	21,15	21,18	20,51	8,47	9187,60	9,19	56,01
Buk 12	20,85	21,09	20,64	8,05	9075,95	9,08	54,04
Buk 13	21,55	21,15	20,01	8,16	9120,21	9,12	51,26
Buk 14	21,40	21,23	21,08	8,24	9577,11	9,58	55,98
Buk 15	20,99	20,61	20,66	7,95	8937,60	8,94	51,82
Buk 16	19,84	21,05	20,55	7,19	8582,34	8,58	50,18
Buk 17	21,01	20,48	21,25	7,57	9143,55	9,14	49,49
Buk 18	21,26	23,09	20,00	9,33	9817,87	9,82	63,81
Buk 19	20,29	21,05	20,60	7,30	8798,35	8,80	46,74
Buk 20	20,71	21,00	21,06	8,44	9159,20	9,16	54,66
Buk 21	21,02	20,21	20,05	7,05	8517,52	8,52	46,57
Buk 22	21,59	21,11	20,29	8,82	9247,47	9,25	58,70
Buk 23	21,24	20,99	20,87	8,48	9304,42	9,30	55,23
Buk 24	21,49	21,13	20,89	9,00	9485,81	9,49	59,49
Buk 25	20,95	21,29	20,33	8,10	9067,70	9,07	57,32
Buk 26	20,57	21,07	20,07	7,63	8698,54	8,70	48,98
Buk 27	20,72	21,19	20,19	8,03	8864,56	8,86	51,88
Buk 28	21,53	21,91	20,15	8,89	9505,20	9,51	58,64
Buk 29	20,48	21,07	20,07	7,15	8660,48	8,66	46,89
Buk 30	20,42	21,10	19,34	6,92	8332,87	8,33	45,04
Buk 31	21,06	20,54	20,60	7,92	8910,99	8,91	52,29
Buk 32	21,04	21,02	20,68	8,08	9145,95	9,15	52,72

Tabulka 8.7: (Pokračování)

Buk 33	20,55	21,19	20,22	7,67	8804,89	8,80	49,23
Buk 34	21,07	19,71	20,19	7,03	8384,70	8,38	43,97
Buk 35	21,26	21,48	20,81	8,94	9503,19	9,50	56,78
Buk 36	20,64	21,05	21,32	7,68	9262,94	9,26	51,52
Buk 37	21,60	21,23	19,59	8,57	8983,35	8,98	58,74
Buk 38	20,87	21,07	20,30	7,90	8926,54	8,93	51,40
Buk 39	21,00	20,72	20,35	7,49	8854,69	8,85	50,98
Buk 40	21,26	21,00	20,35	7,77	9085,46	9,09	51,77
Buk 41	20,94	20,93	20,66	7,97	9054,74	9,05	50,77
Buk 42	21,24	20,94	21,30	8,48	9473,51	9,47	55,16
Buk 43	21,43	21,24	21,40	8,11	9740,71	9,74	50,00
Buk 44	21,00	21,23	20,55	7,99	9161,81	9,16	54,75
Buk 45	22,45	21,13	19,79	8,96	9387,75	9,39	63,82
Buk 46	21,46	21,17	20,09	8,64	9127,05	9,13	59,20
Buk 47	21,24	21,56	20,20	8,72	9250,27	9,25	60,36
Buk 48	21,48	21,11	20,46	8,29	9277,44	9,28	55,30
Buk 49	21,27	20,47	20,37	7,30	8869,03	8,87	44,95
Buk 50	19,68	21,08	20,29	7,04	8417,40	8,42	50,65
Buk 51	21,49	21,48	20,15	8,75	9301,34	9,30	61,46
Buk 52	20,80	21,07	20,54	8,26	9001,78	9,00	56,99
Buk 53	21,13	21,46	20,13	8,71	9127,94	9,13	59,21
Buk 54	21,32	21,13	21,11	8,99	9509,88	9,51	59,27
Buk 55	21,21	20,99	21,30	8,04	9482,72	9,48	54,23
Buk 56	20,75	21,07	20,17	7,51	8818,37	8,82	47,62
Buk 57	21,00	20,86	19,83	7,77	8686,73	8,69	53,52
Buk 58	20,97	19,80	19,92	6,95	8270,90	8,27	45,38
Buk 59	21,05	21,22	20,11	8,32	8982,75	8,98	57,57
Buk 60	20,99	20,95	19,72	7,40	8671,68	8,67	49,91
Buk 61	21,24	21,40	20,95	8,69	9522,53	9,52	62,08
Buk 62	20,82	21,04	19,59	7,64	8581,45	8,58	50,79
Buk 63	21,03	21,46	19,21	8,25	8669,55	8,67	50,65
Buk 64	20,79	21,00	20,69	7,58	9033,05	9,03	53,03
Buk 65	21,11	21,02	20,64	8,14	9158,63	9,16	54,26
Buk 66	20,61	21,04	20,37	7,25	8833,13	8,83	49,73
Buk 67	21,15	21,21	20,38	8,43	9142,29	9,14	55,65
Buk 68	21,18	21,28	20,23	8,43	9117,87	9,12	57,22
Buk 69	20,92	20,41	20,87	7,55	8911,01	8,91	49,56
Buk 70	21,11	20,79	20,53	8,19	9010,14	9,01	52,03

Tabulka 8.7: (Pokračování)

Buk 71	20,42	21,04	20,40	7,13	8764,59	8,76	45,64
Buk 72	21,14	20,59	20,93	7,73	9110,26	9,11	49,31
Buk 73	21,40	21,22	19,98	8,18	9073,08	9,07	57,70
Buk 74	21,20	20,10	20,83	7,47	8876,08	8,88	49,73
Buk 75	22,68	21,15	19,76	8,96	9478,52	9,48	58,91
Buk 76	20,98	20,67	20,38	7,88	8837,92	8,84	51,56
Buk 77	20,94	21,04	20,30	7,96	8943,73	8,94	51,12
Buk 78	21,27	21,41	20,35	8,34	9267,20	9,27	54,59
Buk 79	21,10	20,95	21,00	8,15	9282,95	9,28	50,66
Buk 80	21,20	21,55	20,82	9,08	9511,83	9,51	58,69
Buk 81	21,33	21,28	20,79	8,64	9436,63	9,44	67,18
Buk 82	20,90	21,03	20,34	7,98	8939,98	8,94	54,06
Buk 83	21,01	21,24	19,62	8,06	8755,47	8,76	55,09
Buk 84	21,23	20,63	20,50	7,92	8978,49	8,98	57,49
Buk 85	21,10	20,41	20,31	8,00	8746,52	8,75	56,83
Buk 86	20,74	21,20	19,53	7,63	8587,11	8,59	52,40
Buk 87	21,06	21,46	20,15	8,79	9106,74	9,11	61,68
Buk 88	21,23	22,97	20,43	8,87	9962,75	9,96	56,88
Buk 89	20,30	21,04	20,56	7,17	8781,42	8,78	46,06
Buk 90	20,62	21,03	20,74	7,56	8993,66	8,99	52,63
Celkem:					815660,41	815,66	-
Průměr:							53,93
MIN:							43,97
MAX:							68,93

Tabulka 8.8: Hmotnosti a rozměry vzorků buk lesní (*Fagus sylvatica*), při podílu vlhkosti 30,30 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Buk 1	21,02	21,78	20,22	7,49	9257,03	9,26	35,38
Buk 2	20,40	20,61	20,80	6,40	8745,24	8,75	28,29
Buk 3	21,06	20,84	21,35	7,63	9370,31	9,37	43,21
Buk 4	19,67	20,74	20,80	6,01	8485,48	8,49	25,38
Buk 5	20,97	21,87	20,76	7,62	9520,82	9,52	34,62
Buk 6	20,45	20,64	20,52	6,32	8661,25	8,66	27,96
Buk 7	20,84	20,85	20,36	6,87	8846,71	8,85	30,54
Buk 8	20,63	20,71	20,82	6,59	8895,29	8,90	29,28
Buk 9	20,82	21,31	20,49	7,24	9090,88	9,09	30,43
Buk 10	20,85	20,71	20,25	7,03	8744,02	8,74	32,76
Buk 11	20,91	20,88	20,53	7,18	8963,41	8,96	33,85
Buk 12	20,57	20,78	20,70	6,65	8848,10	8,85	28,90
Buk 13	20,89	21,11	19,95	6,86	8797,71	8,80	29,34
Buk 14	20,96	21,19	21,06	6,86	9353,64	9,35	32,06
Buk 15	20,42	20,77	20,71	6,62	8783,60	8,78	28,77
Buk 16	20,71	19,69	20,56	5,97	8383,95	8,38	27,92
Buk 17	20,68	20,28	21,22	6,35	8899,46	8,90	28,60
Buk 18	21,12	22,84	20,02	7,94	9657,26	9,66	39,51
Buk 19	20,09	20,64	20,66	5,93	8566,83	8,57	23,20
Buk 20	20,71	20,43	21,06	7,09	8910,60	8,91	31,38
Buk 21	20,72	20,08	20,01	5,86	8325,31	8,33	25,66
Buk 22	20,92	21,34	20,31	7,41	9067,05	9,07	34,64
Buk 23	20,86	20,68	20,89	7,03	9011,63	9,01	29,97
Buk 24	20,91	21,15	20,86	7,53	9225,26	9,23	34,58
Buk 25	20,73	21,00	20,35	6,63	8858,97	8,86	30,74
Buk 26	20,83	20,34	20,06	6,36	8499,06	8,50	27,30
Buk 27	20,98	20,51	20,22	6,73	8700,66	8,70	29,69
Buk 28	21,66	21,23	20,20	7,41	9288,80	9,29	34,05
Buk 29	20,27	20,72	20,09	5,95	8437,69	8,44	25,58
Buk 30	20,33	20,84	19,40	5,80	8219,34	8,22	25,57
Buk 31	20,30	20,72	20,61	6,53	8668,90	8,67	27,82
Buk 32	20,85	20,74	20,70	6,73	8951,28	8,95	29,00
Buk 33	20,88	20,31	20,16	6,37	8549,31	8,55	26,93
Buk 34	20,72	19,60	20,23	5,93	8215,65	8,22	26,06
Buk 35	21,07	21,05	20,83	7,44	9238,59	9,24	31,36

Tabulka 8.8: (Pokračování)

Buk 36	20,67	20,49	21,31	6,27	9025,39	9,03	26,30
Buk 37	21,42	21,00	19,59	7,06	8811,97	8,81	32,34
Buk 38	20,84	20,70	20,27	6,64	8744,23	8,74	29,37
Buk 39	20,57	20,63	20,34	6,24	8631,46	8,63	28,70
Buk 40	20,67	20,90	20,35	6,43	8791,26	8,79	28,01
Buk 41	20,73	20,61	20,66	6,61	8826,89	8,83	27,44
Buk 42	20,75	20,89	21,34	7,07	9250,20	9,25	32,08
Buk 43	21,22	20,87	19,64	6,87	8697,80	8,70	29,67
Buk 44	20,84	20,94	20,52	6,55	8954,71	8,95	29,88
Buk 45	21,98	20,85	19,84	7,32	9092,33	9,09	34,00
Buk 46	20,87	21,14	20,08	7,25	8859,13	8,86	33,88
Buk 47	20,95	21,33	20,18	7,32	9017,71	9,02	35,36
Buk 48	20,62	20,81	20,46	6,85	8779,43	8,78	30,26
Buk 49	20,84	20,36	20,37	6,00	8643,04	8,64	23,78
Buk 50	19,45	20,74	20,23	5,91	8160,64	8,16	29,53
Buk 51	21,46	21,03	20,18	7,15	9107,31	9,11	33,04
Buk 52	20,59	20,69	20,54	6,71	8750,19	8,75	28,86
Buk 53	21,24	20,98	20,17	7,41	8988,06	8,99	35,96
Buk 54	20,98	20,86	21,11	7,53	9238,64	9,24	33,97
Buk 55	20,71	21,00	20,27	6,75	8815,63	8,82	30,99
Buk 56	20,75	20,55	20,12	6,23	8579,42	8,58	25,85
Buk 57	20,66	20,67	19,94	6,63	8515,22	8,52	32,41
Buk 58	20,68	19,64	19,91	5,66	8086,55	8,09	23,29
Buk 59	20,78	20,92	20,12	6,76	8746,52	8,75	30,11
Buk 60	20,63	20,51	19,72	6,15	8343,95	8,34	27,55
Buk 61	21,03	21,16	20,98	7,20	9335,99	9,34	35,42
Buk 62	20,82	20,69	19,60	6,40	8443,01	8,44	29,07
Buk 63	21,15	20,75	19,30	6,81	8470,05	8,47	27,12
Buk 64	20,62	20,65	20,67	6,31	8801,35	8,80	29,72
Buk 65	20,88	20,81	20,62	6,88	8959,65	8,96	32,35
Buk 66	20,32	20,69	20,37	6,02	8563,97	8,56	27,89
Buk 67	20,89	20,92	20,39	7,02	8910,81	8,91	31,13
Buk 68	20,79	21,04	20,24	7,06	8853,41	8,85	32,80
Buk 69	20,59	20,15	20,91	6,24	8675,32	8,68	26,29
Buk 70	20,54	20,85	20,61	6,91	8826,42	8,83	30,41
Buk 71	20,14	20,73	20,40	5,91	8517,04	8,52	24,79
Buk 72	20,73	20,41	20,93	6,52	8855,47	8,86	28,52
Buk 73	21,26	20,96	20,00	6,94	8912,19	8,91	34,69

Tabulka 8.8: (Pokračování)

Buk 74	19,93	20,80	20,61	6,19	8543,75	8,54	26,92
Buk 75	22,49	20,89	19,75	7,34	9278,87	9,28	31,41
Buk 76	20,71	20,42	20,37	6,38	8614,44	8,61	25,61
Buk 77	20,61	20,86	20,29	6,58	8723,17	8,72	27,29
Buk 78	21,12	21,03	20,40	7,02	9060,73	9,06	32,55
Buk 79	20,73	20,71	21,00	6,75	9015,68	9,02	27,56
Buk 80	21,21	20,74	20,79	7,51	9145,43	9,15	31,67
Buk 81	21,26	21,14	20,87	7,29	9379,74	9,38	41,27
Buk 82	20,62	20,73	20,35	6,68	8698,66	8,70	31,10
Buk 83	20,82	21,01	19,62	6,75	8582,34	8,58	32,11
Buk 84	20,95	20,50	20,48	6,61	8795,65	8,80	32,96
Buk 85	20,87	20,20	20,39	6,56	8595,89	8,60	30,26
Buk 86	20,91	20,63	19,52	6,41	8420,41	8,42	30,73
Buk 87	20,73	21,14	20,14	7,28	8826,00	8,83	34,12
Buk 88	20,92	21,36	20,45	7,50	9138,11	9,14	33,62
Buk 89	20,71	20,14	20,54	5,93	8567,22	8,57	24,83
Buk 90	20,68	20,48	20,77	6,30	8796,64	8,80	29,76
Celkem:					793804,19	793,80	-
Průměr:							30,30
MIN:							23,20
MAX:							43,21

Tabulka 8.9: Hmotnosti a rozměry vzorků buk lesní (*Fagus sylvatica*), při podílu vlhkosti 22,91 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Buk 1	20,55	21,27	20,17	7,01	8816,28	8,82	26,97
Buk 2	20,10	20,08	20,74	6,03	8370,83	8,37	21,71
Buk 3	20,35	20,32	21,32	6,97	8816,08	8,82	31,43
Buk 4	20,14	19,31	20,84	5,64	8104,75	8,10	19,12
Buk 5	21,13	20,34	20,73	7,07	8909,43	8,91	25,00
Buk 6	20,16	20,19	20,52	5,95	8352,26	8,35	21,33
Buk 7	20,40	20,44	20,33	6,50	8477,12	8,48	23,93
Buk 8	20,15	20,25	20,74	6,22	8462,70	8,46	22,75
Buk 9	20,30	20,57	20,46	6,87	8543,50	8,54	24,10
Buk 10	20,19	20,35	20,25	6,46	8320,05	8,32	22,98
Buk 11	20,43	20,41	20,51	6,62	8552,18	8,55	24,23
Buk 12	20,29	20,27	20,78	6,32	8546,36	8,55	22,98
Buk 13	20,53	20,30	19,97	6,42	8322,68	8,32	21,92
Buk 14	20,75	20,39	21,05	6,31	8906,10	8,91	22,53
Buk 15	20,11	20,24	20,67	6,28	8413,24	8,41	22,88
Buk 16	20,16	19,41	20,53	5,62	8033,50	8,03	21,53
Buk 17	20,18	20,01	21,19	5,86	8556,56	8,56	20,21
Buk 18	20,60	22,30	20,00	7,41	9187,60	9,19	30,24
Buk 19	20,20	19,82	20,66	5,76	8271,52	8,27	20,27
Buk 20	20,00	20,16	21,04	6,63	8483,33	8,48	23,45
Buk 21	19,78	20,17	20,05	5,52	7999,20	8,00	19,68
Buk 22	20,46	20,78	20,28	6,96	8622,22	8,62	26,96
Buk 23	20,33	20,27	20,81	6,67	8575,57	8,58	23,69
Buk 24	20,62	20,38	20,93	6,95	8795,53	8,80	24,75
Buk 25	20,34	20,47	20,30	6,19	8452,10	8,45	22,78
Buk 26	19,92	20,24	20,02	5,99	8071,68	8,07	20,99
Buk 27	20,03	20,45	20,00	6,30	8192,27	8,19	22,35
Buk 28	21,00	20,97	20,18	6,99	8886,67	8,89	27,08
Buk 29	20,07	20,26	20,04	5,66	8148,63	8,15	20,43
Buk 30	20,43	20,10	19,35	5,48	7945,94	7,95	20,00
Buk 31	20,28	19,98	20,60	6,20	8347,00	8,35	22,01
Buk 32	20,56	20,32	20,72	6,39	8656,39	8,66	23,02
Buk 33	20,35	19,94	20,16	6,03	8180,50	8,18	21,10
Buk 34	19,27	20,13	20,20	5,34	7835,68	7,84	16,45
Buk 35	20,54	20,57	20,81	7,07	8792,39	8,79	25,08

Tabulka 8.9: (Pokračování)

Buk 36	20,10	20,17	21,29	6,02	8631,33	8,63	21,82
Buk 37	20,87	20,45	19,56	6,65	8348,04	8,35	25,17
Buk 38	20,29	20,35	20,26	6,12	8365,38	8,37	20,28
Buk 39	20,21	20,07	20,34	5,76	8250,20	8,25	20,14
Buk 40	20,31	20,87	20,34	6,16	8621,51	8,62	23,23
Buk 41	20,35	20,15	20,62	6,31	8455,28	8,46	22,30
Buk 42	20,35	20,32	21,30	6,51	8807,81	8,81	22,91
Buk 43	20,30	20,66	19,55	6,43	8199,23	8,20	22,46
Buk 44	20,30	20,38	20,48	6,09	8472,86	8,47	21,93
Buk 45	20,39	21,49	19,89	6,88	8715,42	8,72	26,00
Buk 46	20,56	20,38	20,10	6,70	8422,16	8,42	23,86
Buk 47	20,65	20,44	20,16	6,83	8509,25	8,51	26,61
Buk 48	20,28	20,15	20,38	6,44	8328,12	8,33	23,13
Buk 49	20,26	20,07	20,33	5,73	8266,55	8,27	19,38
Buk 50	19,24	20,22	20,20	5,56	7858,46	7,86	22,99
Buk 51	20,52	20,70	20,16	6,73	8563,24	8,56	25,58
Buk 52	20,17	20,19	20,48	6,38	8340,12	8,34	22,87
Buk 53	20,57	20,66	20,09	6,94	8537,77	8,54	27,55
Buk 54	20,33	20,38	21,06	6,86	8725,69	8,73	22,36
Buk 55	20,62	20,17	20,31	6,38	8447,04	8,45	24,32
Buk 56	20,18	20,24	20,10	5,96	8209,71	8,21	21,26
Buk 57	20,19	20,33	19,85	6,07	8147,68	8,15	22,04
Buk 58	20,17	19,36	19,87	5,46	7759,06	7,76	19,86
Buk 59	20,39	20,43	20,09	6,34	8368,85	8,37	22,71
Buk 60	20,36	20,06	19,71	5,88	8049,99	8,05	22,72
Buk 61	20,69	20,51	20,93	6,69	8881,69	8,88	26,30
Buk 62	20,16	20,37	19,59	6,05	8044,81	8,04	22,94
Buk 63	20,60	20,26	19,29	6,38	8050,80	8,05	20,10
Buk 64	20,34	20,16	20,68	5,85	8479,92	8,48	21,28
Buk 65	20,27	20,38	20,60	6,35	8509,91	8,51	23,13
Buk 66	19,94	20,18	20,37	5,61	8196,67	8,20	20,60
Buk 67	20,38	20,31	20,35	6,58	8423,23	8,42	23,48
Buk 68	20,21	20,57	20,26	6,55	8422,48	8,42	23,71
Buk 69	19,87	20,10	20,91	5,89	8351,18	8,35	20,07
Buk 70	20,36	20,09	20,56	6,32	8409,71	8,41	20,44
Buk 71	19,88	20,20	20,41	5,66	8196,17	8,20	20,51
Buk 72	20,09	20,20	20,96	6,06	8505,95	8,51	20,62
Buk 73	20,38	20,71	19,96	6,32	8424,51	8,42	23,19

Tabulka 8.9: (Pokračování)

Buk 74	19,64	20,30	20,49	5,83	8169,20	8,17	20,50
Buk 75	20,46	21,75	19,76	6,88	8793,30	8,79	23,60
Buk 76	20,29	20,08	20,36	6,04	8295,14	8,30	19,72
Buk 77	20,47	20,17	20,29	6,24	8377,33	8,38	21,42
Buk 78	20,61	20,56	20,41	6,40	8648,57	8,65	22,20
Buk 79	20,37	20,21	20,34	6,38	8373,52	8,37	21,45
Buk 80	20,72	20,32	20,79	7,10	8753,22	8,75	24,61
Buk 81	20,78	20,65	20,79	6,77	8921,13	8,92	31,29
Buk 82	20,22	20,15	20,34	6,20	8287,19	8,29	22,61
Buk 83	20,38	20,54	19,61	6,45	8208,85	8,21	26,84
Buk 84	20,38	20,09	20,43	6,16	8364,74	8,36	24,53
Buk 85	19,79	20,44	20,41	6,22	8256,00	8,26	23,99
Buk 86	20,29	20,30	19,48	5,96	8023,56	8,02	22,74
Buk 87	20,59	20,21	20,15	6,78	8384,90	8,38	25,00
Buk 88	20,71	20,38	20,46	6,90	8635,55	8,64	23,43
Buk 89	20,23	19,87	20,51	5,63	8244,41	8,24	19,69
Buk 90	20,16	20,06	20,74	5,91	8387,46	8,39	22,69
Celkem:					757369,69	757,37	-
Průměr:							22,91
MIN:							16,45
MAX:							31,43

Tabulka 8.10: Hmotnosti a rozměry vzorků buk lesní (*Fagus sylvatica*), při podílu vlhkosti 15,57 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Buk 1	20,60	20,16	20,19	6,38	8384,83	8,38	15,94
Buk 2	20,00	19,87	20,77	5,65	8254,00	8,25	14,95
Buk 3	20,07	20,15	21,30	6,56	8613,94	8,61	24,11
Buk 4	19,94	19,15	20,79	5,31	7938,68	7,94	13,54
Buk 5	20,14	20,79	20,75	6,59	8688,24	8,69	16,61
Buk 6	19,87	20,00	20,41	5,57	8110,93	8,11	14,52
Buk 7	20,27	20,19	20,34	6,12	8324,17	8,32	17,14
Buk 8	20,06	20,00	20,77	5,82	8332,92	8,33	15,70
Buk 9	20,20	20,12	20,47	6,39	8319,50	8,32	15,90
Buk 10	20,20	20,00	20,25	6,02	8181,00	8,18	15,44
Buk 11	20,27	20,16	20,50	6,13	8377,19	8,38	15,81
Buk 12	20,06	20,09	20,80	5,89	8382,51	8,38	15,26
Buk 13	20,36	20,21	19,96	6,00	8213,05	8,21	14,84
Buk 14	20,41	20,17	21,06	5,92	8669,76	8,67	15,77
Buk 15	19,98	19,87	20,61	5,82	8182,22	8,18	14,90
Buk 16	19,31	19,87	20,52	5,23	7873,31	7,87	14,42
Buk 17	19,95	19,87	21,17	5,51	8391,93	8,39	14,21
Buk 18	20,29	21,92	19,97	6,72	8881,79	8,88	18,18
Buk 19	19,72	20,01	20,59	5,40	8124,76	8,12	14,09
Buk 20	19,90	20,02	21,04	6,18	8382,29	8,38	15,69
Buk 21	19,94	19,65	20,03	5,15	7848,17	7,85	13,18
Buk 22	20,44	20,22	20,28	6,38	8381,66	8,38	17,06
Buk 23	20,13	20,15	20,80	6,28	8436,89	8,44	16,90
Buk 24	20,22	20,33	20,85	6,51	8570,86	8,57	17,29
Buk 25	20,07	20,28	20,30	5,84	8262,50	8,26	16,46
Buk 26	19,82	20,02	20,00	5,59	7935,93	7,94	14,16
Buk 27	20,28	19,88	20,20	5,90	8143,96	8,14	15,53
Buk 28	20,85	20,73	20,15	6,38	8709,24	8,71	16,94
Buk 29	19,87	19,97	20,04	5,28	7951,95	7,95	13,68
Buk 30	20,04	19,93	19,36	5,06	7732,33	7,73	12,70
Buk 31	20,09	19,77	20,59	5,84	8177,92	8,18	15,67
Buk 32	20,34	20,05	20,70	5,98	8441,81	8,44	15,82
Buk 33	20,19	19,83	20,16	5,68	8071,41	8,07	15,09
Buk 34	19,92	19,21	20,19	5,08	7725,97	7,73	12,21
Buk 35	20,32	20,27	20,83	6,54	8579,59	8,58	16,10

Tabulka 8.10: (Pokračování)

Buk 36	20,07	19,90	21,27	5,59	8495,09	8,50	14,13
Buk 37	20,55	20,22	19,56	6,15	8127,59	8,13	16,43
Buk 38	20,01	20,15	20,18	5,80	8136,61	8,14	14,69
Buk 39	20,09	19,88	20,31	5,43	8111,59	8,11	14,26
Buk 40	20,54	19,92	20,33	5,71	8318,16	8,32	15,25
Buk 41	20,26	19,91	20,58	5,90	8301,49	8,30	15,27
Buk 42	20,17	20,22	21,28	6,04	8678,78	8,68	15,22
Buk 43	20,15	20,50	19,55	5,99	8075,62	8,08	15,25
Buk 44	20,22	20,15	20,46	5,75	8336,08	8,34	16,06
Buk 45	20,25	21,15	19,82	6,46	8488,66	8,49	18,36
Buk 46	20,23	20,47	20,09	6,33	8319,43	8,32	17,12
Buk 47	20,26	20,15	20,18	6,27	8238,26	8,24	16,61
Buk 48	20,09	19,95	20,40	6,02	8176,23	8,18	15,83
Buk 49	19,98	20,08	20,39	5,33	8180,44	8,18	12,87
Buk 50	19,06	19,92	20,40	5,07	7745,37	7,75	13,83
Buk 51	20,37	20,19	20,16	6,25	8291,21	8,29	17,05
Buk 52	20,07	19,98	20,48	6,05	8212,45	8,21	16,88
Buk 53	20,27	20,28	20,07	6,32	8250,29	8,25	16,46
Buk 54	20,02	20,14	21,90	6,55	8830,14	8,83	16,98
Buk 55	20,46	20,03	20,30	5,93	8319,22	8,32	16,22
Buk 56	19,95	20,12	20,09	5,51	8064,01	8,06	13,61
Buk 57	20,18	20,01	19,80	5,70	7995,28	8,00	15,19
Buk 58	19,27	19,98	19,88	5,08	7654,09	7,65	13,36
Buk 59	20,24	20,12	20,06	5,97	8169,01	8,17	16,20
Buk 60	20,06	19,84	19,69	5,41	7836,43	7,84	14,31
Buk 61	20,53	20,31	20,90	6,24	8714,55	8,71	18,25
Buk 62	20,11	19,94	19,57	5,54	7847,44	7,85	14,01
Buk 63	20,26	20,05	19,29	6,05	7835,85	7,84	14,71
Buk 64	20,21	19,94	20,67	5,54	8329,75	8,33	15,60
Buk 65	20,11	20,26	20,58	5,92	8384,88	8,38	15,65
Buk 66	19,87	19,96	20,33	5,23	8062,98	8,06	13,85
Buk 67	20,12	20,25	20,34	6,16	8287,13	8,29	16,17
Buk 68	20,09	20,45	20,21	6,14	8303,09	8,30	16,40
Buk 69	19,73	19,89	20,88	5,59	8193,93	8,19	14,74
Buk 70	20,18	19,93	20,59	5,98	8281,04	8,28	14,70
Buk 71	20,01	19,72	20,38	5,24	8041,89	8,04	13,33
Buk 72	19,99	19,95	20,89	5,70	8330,94	8,33	14,43
Buk 73	20,57	20,27	19,98	5,94	8330,74	8,33	16,14

Tabulka 8.10: (Pokračování)

Buk 74	19,48	20,10	20,75	5,54	8124,62	8,12	15,33
Buk 75	21,38	20,24	19,76	6,46	8550,77	8,55	16,47
Buk 76	19,91	20,09	20,36	5,73	8143,84	8,14	14,36
Buk 77	20,34	19,93	20,27	5,88	8216,98	8,22	15,20
Buk 78	20,36	20,38	20,32	6,05	8431,52	8,43	16,36
Buk 79	19,96	20,22	20,96	5,98	8459,27	8,46	14,85
Buk 80	20,03	20,49	20,84	6,63	8553,04	8,55	16,52
Buk 81	20,36	20,30	20,77	6,20	8584,41	8,58	20,35
Buk 82	20,02	20,07	20,31	5,77	8160,59	8,16	15,02
Buk 83	20,41	20,02	19,57	5,84	7996,46	8,00	16,14
Buk 84	19,84	20,14	20,50	5,72	8191,34	8,19	16,29
Buk 85	20,25	19,55	20,39	5,83	8072,15	8,07	16,79
Buk 86	20,08	20,16	19,52	5,50	7901,95	7,90	14,56
Buk 87	20,41	20,05	20,18	6,37	8258,07	8,26	17,52
Buk 88	20,17	20,57	20,43	6,46	8476,34	8,48	15,96
Buk 89	20,00	19,77	20,50	5,26	8105,70	8,11	13,36
Buk 90	19,89	20,07	20,74	5,47	8279,25	8,28	14,70
Celkem:					742399,26	742,40	-
Průměr:							15,57
MIN:							12,21
MAX:							24,11

Tabulka 8.11: Hmotnosti a rozměry vzorků buk lesní (*Fagus sylvatica*), při podílu vlhkosti 12,68 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Buk 1	19,71	20,01	20,85	5,71	8223,18	8,22	4,20
Buk 2	19,69	19,80	20,30	5,62	7914,20	7,91	14,41
Buk 3	19,68	19,84	19,30	5,60	7535,71	7,54	6,96
Buk 4	20,00	19,63	20,80	5,91	8166,08	8,17	23,69
Buk 5	20,16	19,63	20,28	5,72	8025,62	8,03	1,40
Buk 6	20,13	19,64	19,41	5,58	7673,81	7,67	14,70
Buk 7	19,91	19,62	19,92	5,60	7781,43	7,78	7,86
Buk 8	19,81	19,53	20,22	5,67	7822,90	7,82	13,05
Buk 9	19,57	19,71	20,84	5,85	8038,50	8,04	6,67
Buk 10	19,58	19,89	20,89	5,83	8135,53	8,14	12,18
Buk 11	19,63	19,94	21,00	5,82	8219,87	8,22	10,48
Buk 12	19,60	19,95	20,09	5,57	7855,59	7,86	9,52
Buk 13	20,11	19,67	21,03	5,93	8318,70	8,32	13,66
Buk 14	20,51	19,34	20,77	5,77	8238,70	8,24	13,17
Buk 15	19,63	19,86	20,36	5,77	7937,38	7,94	14,04
Buk 16	19,96	19,59	19,38	5,48	7577,90	7,58	18,98
Buk 17	19,68	19,80	20,67	5,84	8054,35	8,05	19,86
Buk 18	19,82	19,61	20,88	5,72	8115,43	8,12	0,70
Buk 19	19,71	20,11	21,09	5,82	8359,40	8,36	21,31
Buk 20	19,84	19,57	20,53	5,80	7971,16	7,97	9,14
Buk 21	19,94	19,70	20,87	5,69	8198,11	8,20	22,67
Buk 22	19,66	19,97	20,60	5,86	8087,77	8,09	8,19
Buk 23	19,66	20,33	19,96	5,74	7977,77	7,98	7,49
Buk 24	19,88	19,57	20,97	5,90	8158,41	8,16	6,95
Buk 25	19,55	19,89	20,08	5,53	7808,10	7,81	10,85
Buk 26	20,05	19,61	20,71	5,86	8142,77	8,14	18,77
Buk 27	19,62	20,28	20,61	5,86	8200,59	8,20	14,85
Buk 28	20,15	19,62	21,26	6,02	8404,99	8,40	10,96
Buk 29	19,66	20,02	19,99	5,63	7867,93	7,87	19,89
Buk 30	19,62	19,97	20,33	5,75	7965,53	7,97	24,70
Buk 31	20,00	19,66	20,42	5,68	8029,14	8,03	12,85
Buk 32	19,63	19,93	20,40	5,69	7981,01	7,98	10,72
Buk 33	19,91	19,57	20,80	5,83	8104,48	8,10	17,67
Buk 34	20,09	19,62	21,29	6,14	8391,79	8,39	29,48
Buk 35	20,12	19,62	20,60	5,90	8131,94	8,13	5,25

Tabulka 8.11: (Pokračování)

Buk 36	19,84	19,64	19,64	5,59	7652,88	7,65	14,13
Buk 37	19,66	19,91	20,54	5,72	8039,98	8,04	8,92
Buk 38	20,16	19,62	20,59	5,72	8144,15	8,14	13,29
Buk 39	20,09	19,72	20,46	5,61	8105,74	8,11	17,47
Buk 40	19,74	19,66	20,00	5,64	7761,77	7,76	14,01
Buk 41	19,61	19,97	20,58	5,83	8059,37	8,06	14,07
Buk 42	19,75	19,71	21,40	6,11	8330,43	8,33	16,37
Buk 43	19,72	19,88	21,24	6,10	8326,79	8,33	17,05
Buk 44	20,29	19,69	20,63	5,79	8241,89	8,24	16,75
Buk 45	19,68	19,88	19,87	5,50	7773,91	7,77	0,91
Buk 46	19,70	19,80	20,17	5,49	7867,51	7,87	1,82
Buk 47	19,85	19,66	19,94	5,60	7781,60	7,78	4,64
Buk 48	19,96	19,60	20,60	5,75	8059,05	8,06	11,13
Buk 49	20,37	19,66	20,97	6,14	8397,94	8,40	26,06
Buk 50	19,69	20,13	19,36	5,35	7673,52	7,67	19,07
Buk 51	20,09	19,62	20,13	5,63	7934,56	7,93	6,04
Buk 52	19,57	19,52	20,51	5,51	7834,95	7,83	7,08
Buk 53	20,29	19,72	20,04	5,59	8018,38	8,02	3,40
Buk 54	20,09	19,65	20,18	5,77	7966,43	7,97	3,47
Buk 55	20,17	19,65	19,58	5,55	7760,35	7,76	9,37
Buk 56	20,07	19,43	21,24	5,88	8282,75	8,28	19,90
Buk 57	19,51	19,72	20,06	5,40	7717,83	7,72	9,63
Buk 58	19,63	20,01	20,88	5,84	8201,59	8,20	26,37
Buk 59	19,96	19,66	20,20	5,68	7926,75	7,93	11,09
Buk 60	19,62	19,36	20,59	5,59	7820,97	7,82	17,53
Buk 61	19,68	20,42	19,72	5,59	7924,79	7,92	6,62
Buk 62	20,09	19,62	19,96	5,71	7867,55	7,87	16,99
Buk 63	19,75	19,94	21,58	6,12	8498,53	8,50	15,85
Buk 64	20,11	19,66	19,64	5,45	7764,92	7,76	13,94
Buk 65	20,16	19,74	20,14	5,75	8014,88	8,01	12,70
Buk 66	19,60	19,99	19,57	5,63	7667,60	7,67	20,96
Buk 67	19,73	19,61	20,77	5,75	8036,02	8,04	9,04
Buk 68	19,68	20,26	20,43	5,61	8145,78	8,15	6,95
Buk 69	19,54	19,64	20,77	5,63	7970,81	7,97	15,45
Buk 70	20,02	19,69	20,68	5,92	8151,93	8,15	13,68
Buk 71	19,61	19,85	20,85	5,85	8116,04	8,12	23,76
Buk 72	19,68	20,08	20,34	5,82	8037,85	8,04	16,49
Buk 73	19,80	19,60	19,48	5,39	7559,80	7,56	5,94

Tabulka 8.11: (Pokračování)

Buk 74	19,75	20,14	20,04	5,61	7971,21	7,97	16,58
Buk 75	19,59	19,97	20,85	5,89	8156,78	8,16	6,79
Buk 76	19,64	19,98	20,81	5,78	8165,99	8,17	15,22
Buk 77	19,74	19,56	21,11	5,79	8150,87	8,15	13,64
Buk 78	19,97	19,75	21,59	5,99	8515,26	8,52	15,36
Buk 79	19,63	20,14	21,34	6,06	8436,73	8,44	16,17
Buk 80	19,91	19,63	20,89	5,81	8164,51	8,16	2,41
Buk 81	19,69	19,78	19,08	5,21	7431,05	7,43	1,34
Buk 82	20,19	19,66	19,67	5,66	7807,72	7,81	13,07
Buk 83	19,84	19,62	20,79	5,70	8092,73	8,09	13,68
Buk 84	19,80	19,63	19,21	5,34	7466,43	7,47	9,18
Buk 85	19,66	19,85	19,62	5,42	7656,72	7,66	9,23
Buk 86	19,68	19,83	20,63	5,63	8050,95	8,05	16,87
Buk 87	19,68	19,84	19,67	5,48	7680,18	7,68	1,28
Buk 88	19,73	20,12	20,48	5,89	8129,90	8,13	6,28
Buk 89	20,13	19,68	21,19	5,84	8394,60	8,39	23,29
Buk 90	19,20	19,64	20,38	5,51	7685,05	7,69	15,43
Celkem:					720810,07	720,81	-
Průměr:							12,68
MIN:							0,70
MAX:							29,48

Tabulka 8.12: Hmotnosti a rozměry vzorků buk lesní (*Fagus sylvatica*), sušina

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Buk 1	20,72	20,39	20,17	5,47	8521,44	8,52	-
Buk 2	20,52	19,82	20,69	4,81	8414,76	8,41	-
Buk 3	20,47	20,38	21,26	5,21	8869,22	8,87	-
Buk 4	18,86	20,66	20,74	4,51	8081,29	8,08	-
Buk 5	20,47	20,69	20,70	5,64	8766,95	8,77	-
Buk 6	20,53	19,83	20,39	4,76	8300,97	8,30	-
Buk 7	20,08	20,55	20,29	5,16	8372,55	8,37	-
Buk 8	19,84	20,47	20,70	4,93	8406,78	8,41	-
Buk 9	20,47	20,32	20,44	5,46	8502,03	8,50	-
Buk 10	20,47	19,96	20,18	5,12	8245,17	8,25	-
Buk 11	20,14	20,58	20,46	5,21	8480,29	8,48	-
Buk 12	19,85	20,67	20,66	5,04	8476,79	8,48	-
Buk 13	20,21	20,62	19,89	5,12	8288,76	8,29	-
Buk 14	20,26	20,55	20,99	5,01	8739,04	8,74	-
Buk 15	20,57	19,71	20,56	4,96	8335,74	8,34	-
Buk 16	20,62	19,00	20,47	4,44	8019,74	8,02	-
Buk 17	20,60	19,77	21,15	4,68	8613,59	8,61	-
Buk 18	22,08	20,60	19,96	5,68	9078,77	9,08	-
Buk 19	20,77	19,52	20,58	4,58	8343,76	8,34	-
Buk 20	20,52	19,88	20,99	5,27	8562,61	8,56	-
Buk 21	20,61	19,45	19,91	4,40	7981,21	7,98	-
Buk 22	20,48	20,35	20,28	5,38	8452,06	8,45	-
Buk 23	20,73	19,97	20,80	5,31	8610,74	8,61	-
Buk 24	20,68	20,42	20,85	5,49	8804,65	8,80	-
Buk 25	20,64	19,70	20,23	4,93	8225,68	8,23	-
Buk 26	19,73	20,61	19,91	4,76	8096,11	8,10	-
Buk 27	19,78	20,63	20,11	4,99	8206,11	8,21	-
Buk 28	20,62	21,04	20,08	5,36	8711,60	8,71	-
Buk 29	19,62	20,69	20,01	4,51	8122,82	8,12	-
Buk 30	20,68	19,63	19,27	4,33	7822,63	7,82	-
Buk 31	20,63	19,63	20,48	4,95	8293,72	8,29	-
Buk 32	20,61	20,01	20,56	5,08	8479,07	8,48	-
Buk 33	20,73	19,67	20,14	4,80	8212,27	8,21	-
Buk 34	18,87	20,53	20,14	4,33	7802,26	7,80	-
Buk 35	20,61	20,48	20,75	5,59	8758,43	8,76	-

Tabulka 8.12: (Pokračování)

Buk 36	20,57	19,83	21,24	4,80	8663,86	8,66	-
Buk 37	20,47	20,69	19,51	5,21	8262,96	8,26	-
Buk 38	20,65	19,92	20,15	4,96	8288,66	8,29	-
Buk 39	20,66	19,95	20,28	4,63	8358,75	8,36	-
Buk 40	20,25	20,69	20,27	4,85	8492,57	8,49	-
Buk 41	19,92	20,47	20,59	5,01	8395,83	8,40	-
Buk 42	20,67	20,02	21,23	5,11	8785,26	8,79	-
Buk 43	20,57	20,16	19,45	5,06	8065,74	8,07	-
Buk 44	20,46	19,87	20,42	4,82	8301,55	8,30	-
Buk 45	21,54	20,55	19,76	5,45	8746,70	8,75	-
Buk 46	20,65	20,64	20,07	5,39	8554,16	8,55	-
Buk 47	20,40	20,16	20,13	5,34	8278,74	8,28	-
Buk 48	20,50	19,66	20,32	5,11	8189,57	8,19	-
Buk 49	20,77	19,78	20,28	4,54	8331,64	8,33	-
Buk 50	20,58	18,72	20,41	4,33	7863,11	7,86	-
Buk 51	20,39	20,45	20,13	5,29	8393,72	8,39	-
Buk 52	19,69	20,52	20,47	5,12	8270,67	8,27	-
Buk 53	20,71	20,82	20,04	5,40	8640,89	8,64	-
Buk 54	20,40	20,18	21,04	5,57	8661,58	8,66	-
Buk 55	20,45	20,31	20,21	5,03	8394,01	8,39	-
Buk 56	20,70	19,88	20,04	4,71	8246,78	8,25	-
Buk 57	19,93	20,51	19,85	4,88	8113,97	8,11	-
Buk 58	18,94	20,41	19,84	4,30	7669,46	7,67	-
Buk 59	19,92	20,59	20,06	5,05	8227,67	8,23	-
Buk 60	20,52	19,89	19,60	4,61	7999,60	8,00	-
Buk 61	20,43	20,57	20,86	5,22	8766,31	8,77	-
Buk 62	20,43	19,84	19,51	4,74	7908,01	7,91	-
Buk 63	20,39	20,49	19,19	5,15	8017,41	8,02	-
Buk 64	19,97	20,61	20,64	4,69	8495,05	8,50	-
Buk 65	20,32	20,63	20,56	5,02	8618,78	8,62	-
Buk 66	20,67	19,65	20,27	4,45	8232,97	8,23	-
Buk 67	20,16	20,61	20,29	5,23	8430,45	8,43	-
Buk 68	20,58	20,21	20,16	5,22	8384,98	8,38	-
Buk 69	20,66	19,61	20,77	4,76	8414,81	8,41	-
Buk 70	20,56	19,78	20,44	5,11	8312,47	8,31	-
Buk 71	20,61	19,54	20,30	4,46	8175,20	8,18	-
Buk 72	19,72	20,83	20,86	4,86	8568,61	8,57	-
Buk 73	20,44	20,55	19,96	5,07	8384,04	8,38	-

Tabulka 8.12: (Pokračování)

Buk 74	20,78	19,29	20,74	4,68	8313,55	8,31	-
Buk 75	21,82	20,66	19,70	5,49	8880,78	8,88	-
Buk 76	20,63	19,83	20,28	4,90	8296,40	8,30	-
Buk 77	20,52	20,19	20,19	5,00	8364,69	8,36	-
Buk 78	20,63	20,18	20,30	5,07	8451,16	8,45	-
Buk 79	20,16	20,58	20,91	5,08	8675,41	8,68	-
Buk 80	20,59	20,64	20,79	5,67	8835,28	8,84	-
Buk 81	19,97	20,56	20,74	5,14	8515,50	8,52	-
Buk 82	19,89	20,46	20,25	4,92	8240,73	8,24	-
Buk 83	20,49	20,26	19,54	4,92	8111,59	8,11	-
Buk 84	19,55	20,62	20,42	4,85	8231,73	8,23	-
Buk 85	19,73	20,56	20,32	4,92	8242,78	8,24	-
Buk 86	19,97	20,75	19,43	4,68	8051,35	8,05	-
Buk 87	20,37	20,38	20,13	5,41	8356,78	8,36	-
Buk 88	20,54	20,55	20,39	5,52	8606,56	8,61	-
Buk 89	20,66	19,52	20,46	4,48	8251,17	8,25	-
Buk 90	20,61	19,87	20,67	4,66	8464,79	8,46	-
Celkem:					753796,42	753,80	-

8.3 Příloha C: Tabulky hmotností a rozměrů vzorků dub letní (*Quercus robur*), při různém podílu vlhkosti

Tabulka 8.13: Hmotnosti a rozměry vzorků dub letní (*Quercus robur*), při podílu vlhkosti 43,65 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Dub 1	22,45	21,13	21,02	9,50	9971,23	9,97	43,68
Dub 2	21,10	22,47	20,46	9,51	9700,43	9,70	43,74
Dub 3	22,35	21,10	19,44	8,97	9167,61	9,17	40,36
Dub 4	20,82	22,86	20,95	9,66	9971,05	9,97	44,62
Dub 5	22,82	20,90	20,45	9,68	9753,38	9,75	44,73
Dub 6	22,78	20,90	19,60	9,34	9331,60	9,33	42,72
Dub 7	20,85	22,67	20,01	9,34	9458,12	9,46	42,72
Dub 8	22,57	20,57	20,34	9,46	9443,15	9,44	43,45
Dub 9	22,42	20,79	21,01	9,43	9793,01	9,79	43,27
Dub 10	20,82	22,60	21,07	9,75	9914,11	9,91	45,13
Dub 11	20,88	22,60	21,18	9,68	9994,59	9,99	44,73
Dub 12	20,90	22,51	20,15	9,41	9479,75	9,48	43,15
Dub 13	20,88	22,79	21,18	9,95	10078,61	10,08	46,23
Dub 14	23,02	20,56	20,93	9,75	9905,98	9,91	45,13
Dub 15	20,82	22,60	20,54	9,38	9664,73	9,66	42,96
Dub 16	20,79	22,67	19,50	9,15	9190,53	9,19	41,53
Dub 17	21,03	22,23	20,81	9,50	9728,61	9,73	43,68
Dub 18	22,47	20,81	20,99	9,62	9814,94	9,81	44,39
Dub 19	22,70	21,07	21,22	9,75	10149,29	10,15	45,13
Dub 20	20,83	22,52	20,49	9,62	9611,69	9,61	44,39
Dub 21	22,28	21,14	21,01	9,51	9895,69	9,90	43,74
Dub 22	22,77	20,82	20,79	9,59	9855,94	9,86	44,21
Dub 23	21,01	22,92	20,09	9,57	9674,32	9,67	44,10
Dub 24	20,79	22,67	21,13	9,60	9958,77	9,96	44,27
Dub 25	20,64	22,43	20,26	9,21	9379,47	9,38	41,91
Dub 26	22,82	20,85	20,88	9,74	9934,64	9,93	45,07
Dub 27	22,87	20,88	20,71	9,86	9889,56	9,89	45,74
Dub 28	20,93	22,72	21,42	10,00	10185,84	10,19	46,50
Dub 29	22,61	20,98	20,18	9,44	9572,54	9,57	43,33
Dub 30	20,98	22,53	20,47	9,46	9675,75	9,68	43,45
Dub 31	22,79	20,93	20,60	9,52	9826,09	9,83	43,80
Dub 32	20,91	22,63	20,59	9,35	9743,05	9,74	42,78

Tabulka 8.13: (Pokračování)

Dub 33	20,81	22,51	20,90	9,75	9790,25	9,79	45,13
Dub 34	22,74	20,83	21,46	10,19	10165,05	10,17	47,50
Dub 35	22,87	20,97	20,81	9,85	9980,14	9,98	45,69
Dub 36	20,83	22,60	19,81	9,15	9325,72	9,33	41,53
Dub 37	20,93	22,53	20,72	9,53	9770,58	9,77	43,86
Dub 38	22,87	20,82	20,86	9,73	9932,56	9,93	45,02
Dub 39	21,21	22,30	20,62	9,45	9752,91	9,75	43,39
Dub 40	20,93	22,38	20,13	9,26	9429,16	9,43	42,22
Dub 41	22,72	20,79	20,87	9,49	9857,92	9,86	43,62
Dub 42	22,55	21,01	21,55	10,10	10209,86	10,21	47,03
Dub 43	22,64	21,05	21,40	10,15	10198,64	10,20	47,29
Dub 44	22,85	21,10	20,78	9,64	10018,77	10,02	44,50
Dub 45	21,11	22,16	20,00	9,18	9355,95	9,36	41,72
Dub 46	22,43	21,04	20,44	9,25	9646,19	9,65	42,16
Dub 47	22,35	20,88	20,04	9,35	9352,03	9,35	42,78
Dub 48	20,92	22,62	20,72	9,71	9804,92	9,80	44,90
Dub 49	23,13	20,86	21,16	10,16	10209,53	10,21	47,34
Dub 50	21,12	22,57	19,49	9,22	9290,46	9,29	41,97
Dub 51	20,81	22,78	20,13	9,25	9542,66	9,54	42,16
Dub 52	21,74	20,91	20,66	9,31	9391,69	9,39	42,53
Dub 53	22,49	21,12	20,19	9,21	9590,02	9,59	41,91
Dub 54	20,82	22,95	20,30	9,43	9699,73	9,70	43,27
Dub 55	23,06	20,98	19,73	9,18	9545,35	9,55	41,72
Dub 56	22,67	20,63	21,38	9,92	9999,04	10,00	46,07
Dub 57	21,97	20,73	20,20	8,95	9199,85	9,20	40,22
Dub 58	22,90	20,92	21,04	9,66	10079,59	10,08	44,62
Dub 59	20,89	22,59	20,23	9,34	9546,64	9,55	42,72
Dub 60	20,84	22,11	20,78	9,50	9574,85	9,57	43,68
Dub 61	22,96	21,09	19,87	9,34	9621,58	9,62	42,72
Dub 62	20,85	22,83	20,13	9,42	9581,99	9,58	43,21
Dub 63	22,51	21,14	21,74	10,01	10345,23	10,35	46,55
Dub 64	20,97	22,73	19,67	9,10	9375,67	9,38	41,21
Dub 65	23,06	20,60	20,33	9,33	9657,48	9,66	42,66
Dub 66	22,70	20,81	19,81	9,20	9357,99	9,36	41,85
Dub 67	20,87	22,46	20,94	9,53	9815,42	9,82	43,86
Dub 68	22,56	21,07	20,56	9,38	9772,97	9,77	42,96
Dub 69	21,99	20,91	20,90	9,44	9610,05	9,61	43,33
Dub 70	20,89	22,55	20,77	9,78	9784,11	9,78	45,30

Tabulka 8.13: (Pokračování)

Dub 71	22,56	20,80	21,00	9,64	9854,21	9,85	44,50
Dub 72	20,90	22,83	20,50	9,41	9781,51	9,78	43,15
Dub 73	22,46	20,81	19,56	8,95	9142,20	9,14	40,22
Dub 74	22,77	21,14	20,19	9,33	9718,61	9,72	42,66
Dub 75	22,77	20,85	21,13	9,68	10031,56	10,03	44,73
Dub 76	20,86	22,58	20,97	9,52	9877,26	9,88	43,80
Dub 77	22,35	20,65	21,33	9,65	9844,38	9,84	44,56
Dub 78	21,22	22,38	21,93	9,88	10414,64	10,41	45,85
Dub 79	20,87	22,77	21,48	10,19	10207,51	10,21	47,50
Dub 80	22,53	20,87	20,97	9,47	9860,12	9,86	43,51
Dub 81	21,13	22,23	19,26	8,44	9046,81	9,05	36,61
Dub 82	22,94	20,87	19,79	9,29	9474,62	9,47	42,41
Dub 83	20,98	22,44	20,85	9,72	9816,00	9,82	44,96
Dub 84	20,96	22,51	19,33	9,00	9120,08	9,12	40,56
Dub 85	22,50	20,82	19,78	9,11	9265,94	9,27	41,27
Dub 86	21,04	22,33	20,81	9,66	9777,02	9,78	44,62
Dub 87	22,59	21,09	19,86	9,02	9461,76	9,46	40,69
Dub 88	20,97	22,90	20,55	9,75	9868,38	9,87	45,13
Dub 89	22,52	21,09	21,36	9,60	10144,86	10,14	44,27
Dub 90	21,56	20,86	20,49	9,26	9215,21	9,22	42,22
Celkem:					874819,30	874,82	-
Průměr:							43,65
MIN:							36,61
MAX:							47,50

Tabulka 8.14: Hmotnosti a rozměry vzorků dub letní (*Quercus robur*), při podílu vlhkosti 39,06 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Dub 1	22,27	21,08	21,00	8,59	9858,48	9,86	37,72
Dub 2	21,03	22,17	20,45	8,52	9534,51	9,53	38,85
Dub 3	21,99	21,04	19,41	7,89	8980,42	8,98	38,15
Dub 4	22,67	20,76	20,95	8,84	9859,68	9,86	44,34
Dub 5	22,64	20,86	20,45	8,59	9657,93	9,66	37,37
Dub 6	22,64	20,86	19,59	8,33	9251,78	9,25	38,42
Dub 7	22,47	20,80	20,04	8,37	9366,22	9,37	37,28
Dub 8	22,47	20,54	20,34	8,55	9387,60	9,39	37,66
Dub 9	20,75	22,26	20,98	8,68	9690,56	9,69	36,64
Dub 10	22,44	20,77	21,07	8,84	9820,28	9,82	38,12
Dub 11	22,52	20,88	21,17	8,75	9954,51	9,95	37,37
Dub 12	20,87	22,41	20,26	8,38	9475,54	9,48	37,35
Dub 13	20,83	22,58	21,15	8,99	9947,72	9,95	38,38
Dub 14	20,55	22,83	20,90	8,74	9805,37	9,81	37,87
Dub 15	22,47	20,75	20,51	8,67	9562,84	9,56	38,18
Dub 16	22,52	20,73	19,50	8,18	9103,37	9,10	41,20
Dub 17	22,10	20,99	20,79	8,82	9644,04	9,64	42,63
Dub 18	20,73	22,29	20,95	8,71	9680,40	9,68	38,23
Dub 19	21,03	22,59	21,25	8,76	10095,19	10,10	43,72
Dub 20	20,81	22,39	20,48	8,66	9542,37	9,54	36,84
Dub 21	22,15	21,10	21,01	8,56	9819,34	9,82	44,51
Dub 22	22,59	20,78	20,81	8,83	9768,63	9,77	37,49
Dub 23	20,86	22,78	20,09	8,69	9546,58	9,55	37,63
Dub 24	22,55	20,75	21,13	8,79	9886,99	9,89	36,63
Dub 25	20,61	22,29	20,26	8,33	9307,38	9,31	37,09
Dub 26	22,60	20,79	20,87	8,73	9805,85	9,81	40,89
Dub 27	20,82	22,68	20,71	8,89	9779,21	9,78	39,15
Dub 28	22,59	20,86	21,45	8,99	10107,83	10,11	36,93
Dub 29	22,42	20,92	20,18	8,41	9464,95	9,46	42,57
Dub 30	22,39	20,91	20,48	8,57	9588,22	9,59	45,74
Dub 31	20,87	22,60	20,46	8,62	9650,20	9,65	37,82
Dub 32	22,57	20,87	20,62	8,58	9712,76	9,71	37,41
Dub 33	22,38	20,73	20,91	8,73	9700,93	9,70	40,66
Dub 34	22,55	20,77	21,47	9,21	10055,76	10,06	49,19
Dub 35	22,70	20,89	20,78	8,87	9853,94	9,85	37,32

Tabulka 8.14: (Pokračování)

Dub 36	22,46	20,77	19,78	8,35	9227,26	9,23	38,20
Dub 37	22,43	20,90	20,71	8,60	9708,58	9,71	37,33
Dub 38	22,68	20,77	20,85	8,65	9821,68	9,82	38,38
Dub 39	22,22	21,06	20,60	8,49	9639,84	9,64	41,11
Dub 40	22,22	20,91	20,14	8,47	9357,45	9,36	38,13
Dub 41	22,58	20,74	20,84	8,61	9759,56	9,76	36,93
Dub 42	20,99	22,38	21,56	9,20	10127,94	10,13	39,89
Dub 43	22,47	20,99	21,40	9,23	10093,21	10,09	40,74
Dub 44	22,74	21,05	20,74	8,70	9927,76	9,93	40,00
Dub 45	21,10	22,04	19,96	8,15	9282,28	9,28	36,81
Dub 46	22,24	20,98	20,40	8,29	9518,54	9,52	37,64
Dub 47	22,19	20,83	20,03	8,51	9258,22	9,26	37,96
Dub 48	20,85	22,46	20,72	8,62	9702,99	9,70	36,54
Dub 49	22,97	20,82	21,17	9,15	10124,24	10,12	46,67
Dub 50	21,02	22,37	19,47	8,09	9155,13	9,16	42,27
Dub 51	22,62	20,76	20,20	8,39	9485,74	9,49	36,71
Dub 52	21,48	20,87	20,60	8,19	9234,72	9,23	36,75
Dub 53	22,32	21,07	20,17	8,30	9485,60	9,49	36,51
Dub 54	22,81	20,77	20,32	8,60	9626,88	9,63	36,86
Dub 55	22,75	20,91	19,72	8,29	9380,85	9,38	36,91
Dub 56	22,53	20,58	21,41	8,95	9927,12	9,93	43,13
Dub 57	21,89	20,70	20,21	8,06	9157,62	9,16	36,97
Dub 58	22,52	20,86	21,01	8,76	9869,81	9,87	47,03
Dub 59	22,46	20,83	20,28	8,59	9487,83	9,49	37,60
Dub 60	22,04	20,79	20,82	8,51	9539,97	9,54	41,60
Dub 61	21,01	22,84	19,86	8,38	9530,19	9,53	37,11
Dub 62	22,65	20,79	20,09	8,50	9460,25	9,46	40,00
Dub 63	21,09	22,34	21,80	9,09	10271,08	10,27	38,94
Dub 64	22,58	20,91	19,69	8,19	9296,59	9,30	38,22
Dub 65	22,96	20,67	20,32	8,48	9643,53	9,64	36,20
Dub 66	22,56	20,76	19,78	8,32	9263,88	9,26	42,31
Dub 67	21,03	22,30	20,93	8,56	9815,52	9,82	36,33
Dub 68	22,39	21,02	20,53	8,44	9662,19	9,66	37,20
Dub 69	21,95	20,84	20,89	8,42	9555,88	9,56	39,07
Dub 70	22,38	20,83	20,78	8,88	9687,12	9,69	37,95
Dub 71	22,43	20,74	20,99	8,75	9764,51	9,76	45,14
Dub 72	22,68	20,84	20,48	8,67	9679,90	9,68	39,33
Dub 73	22,26	20,77	19,57	8,04	9048,00	9,05	37,06

Tabulka 8.14: (Pokračování)

Dub 74	22,50	21,08	20,16	8,37	9561,89	9,56	39,55
Dub 75	22,66	20,81	21,14	8,93	9968,66	9,97	38,86
Dub 76	22,42	20,83	20,97	8,62	9793,17	9,79	38,63
Dub 77	22,27	20,65	21,34	8,73	9813,74	9,81	38,14
Dub 78	22,18	21,16	21,85	8,89	10254,83	10,25	37,91
Dub 79	22,62	20,96	21,47	9,16	10179,25	10,18	39,85
Dub 80	20,83	22,34	20,92	8,71	9734,96	9,73	37,08
Dub 81	21,00	22,10	19,23	7,75	8924,64	8,92	37,42
Dub 82	20,86	22,76	19,78	8,39	9391,02	9,39	36,47
Dub 83	22,29	20,77	20,88	8,66	9666,67	9,67	38,22
Dub 84	22,37	20,85	19,36	7,99	9029,78	9,03	36,92
Dub 85	22,35	20,76	19,75	8,15	9163,72	9,16	37,42
Dub 86	21,02	22,17	20,82	8,43	9702,40	9,70	40,09
Dub 87	22,45	21,02	19,86	8,21	9371,91	9,37	37,03
Dub 88	22,76	20,89	20,58	8,87	9784,89	9,78	37,54
Dub 89	21,04	22,24	21,34	8,69	9985,62	9,99	44,53
Dub 90	20,81	21,39	20,45	8,22	9102,82	9,10	39,05
Celkem:					866276,85	866,28	-
Průměr:							39,06
MIN:							36,20
MAX:							49,19

Tabulka 8.15: Hmotnosti a rozměry vzorků dub letní (Quercus robur), při podílu vlhkosti 35,87 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Dub 1	20,99	22,05	21,03	8,03	9733,30	9,73	33,37
Dub 2	20,94	22,00	20,47	8,06	9430,12	9,43	35,36
Dub 3	21,95	20,96	19,45	7,41	8948,40	8,95	34,14
Dub 4	22,45	20,69	20,97	8,47	9740,37	9,74	41,91
Dub 5	20,80	22,43	20,44	8,18	9536,16	9,54	34,23
Dub 6	20,81	22,42	19,62	7,99	9153,91	9,15	35,79
Dub 7	22,26	20,73	20,06	7,99	9256,68	9,26	34,29
Dub 8	22,25	20,44	20,37	7,93	9264,07	9,26	32,79
Dub 9	20,69	22,11	21,02	8,15	9615,72	9,62	32,52
Dub 10	22,12	20,72	21,07	8,19	9656,94	9,66	33,21
Dub 11	22,41	20,84	21,20	8,34	9900,92	9,90	34,29
Dub 12	20,85	22,16	20,14	8,06	9305,41	9,31	34,86
Dub 13	20,77	22,36	21,17	8,42	9831,71	9,83	34,20
Dub 14	20,50	22,72	20,94	8,40	9753,01	9,75	35,36
Dub 15	20,73	22,17	20,54	8,22	9439,86	9,44	34,79
Dub 16	22,30	20,70	19,49	7,82	8996,78	9,00	38,49
Dub 17	20,90	21,84	20,82	8,06	9503,41	9,50	37,22
Dub 18	20,65	22,01	20,98	8,29	9535,55	9,54	35,10
Dub 19	20,96	22,38	21,27	8,20	9977,43	9,98	39,88
Dub 20	20,68	22,10	20,48	8,30	9359,93	9,36	34,10
Dub 21	22,03	21,02	21,03	8,09	9738,37	9,74	41,29
Dub 22	22,41	20,74	20,81	8,37	9672,14	9,67	34,05
Dub 23	22,47	20,80	20,20	7,98	9441,00	9,44	32,08
Dub 24	22,34	20,71	21,14	8,26	9780,66	9,78	32,57
Dub 25	20,55	22,08	20,26	8,00	9192,85	9,19	34,50
Dub 26	20,68	22,34	20,84	8,29	9627,90	9,63	37,76
Dub 27	22,45	20,73	20,75	8,34	9656,81	9,66	35,13
Dub 28	22,38	20,80	21,48	8,55	9999,03	10,00	33,68
Dub 29	22,22	20,85	20,20	7,92	9358,40	9,36	39,02
Dub 30	22,18	20,87	20,50	8,29	9489,38	9,49	43,91
Dub 31	20,77	22,35	20,55	8,03	9539,51	9,54	33,25
Dub 32	22,31	20,76	20,64	8,13	9559,53	9,56	33,95
Dub 33	20,68	22,15	20,93	8,22	9587,24	9,59	36,98
Dub 34	20,75	22,40	21,48	8,94	9983,90	9,98	47,65
Dub 35	20,84	22,51	20,80	8,36	9757,45	9,76	33,49

Tabulka 8.15: (Pokračování)

Dub 36	22,16	20,74	19,83	7,74	9113,84	9,11	33,33
Dub 37	22,18	20,83	20,74	8,24	9582,07	9,58	34,59
Dub 38	20,71	22,39	20,71	8,32	9603,16	9,60	35,94
Dub 39	21,12	22,11	20,60	8,30	9619,44	9,62	39,76
Dub 40	20,83	22,02	20,18	8,01	9256,09	9,26	34,58
Dub 41	22,29	20,68	20,86	8,16	9615,57	9,62	33,46
Dub 42	20,86	22,07	21,52	8,61	9907,38	9,91	35,77
Dub 43	22,18	20,91	21,42	8,55	9934,25	9,93	36,02
Dub 44	22,45	20,94	20,78	8,27	9768,74	9,77	36,88
Dub 45	21,82	21,00	20,02	7,92	9173,56	9,17	34,97
Dub 46	20,91	22,27	20,40	7,99	9499,58	9,50	35,29
Dub 47	20,80	22,10	20,06	8,13	9221,18	9,22	35,06
Dub 48	22,24	20,76	20,74	8,10	9575,71	9,58	32,47
Dub 49	22,94	20,80	21,19	8,51	10110,85	10,11	42,66
Dub 50	20,95	22,38	19,50	7,72	9142,79	9,14	39,51
Dub 51	20,72	22,38	20,22	8,02	9376,29	9,38	33,79
Dub 52	20,82	21,41	20,66	7,93	9209,32	9,21	34,68
Dub 53	22,27	21,00	20,20	7,90	9446,93	9,45	33,29
Dub 54	20,74	22,65	20,33	8,25	9550,24	9,55	34,18
Dub 55	20,84	22,51	19,71	7,88	9246,13	9,25	33,63
Dub 56	20,59	22,48	21,38	8,72	9896,02	9,90	41,63
Dub 57	21,70	20,72	20,22	7,67	9091,40	9,09	33,77
Dub 58	20,85	22,44	21,05	8,53	9848,75	9,85	45,60
Dub 59	22,17	20,76	20,32	8,18	9352,26	9,35	34,47
Dub 60	20,80	22,04	20,82	8,21	9544,55	9,54	39,46
Dub 61	21,06	22,69	19,90	7,92	9509,24	9,51	33,46
Dub 62	20,73	22,37	20,14	8,17	9339,52	9,34	37,58
Dub 63	22,11	20,95	21,72	8,43	10060,80	10,06	34,16
Dub 64	22,40	20,85	19,72	7,91	9210,03	9,21	36,03
Dub 65	22,63	20,50	20,32	8,23	9426,75	9,43	34,26
Dub 66	20,72	22,35	19,77	8,08	9155,33	9,16	40,59
Dub 67	20,75	22,17	20,94	8,02	9632,98	9,63	32,04
Dub 68	22,19	20,96	20,57	8,03	9567,16	9,57	34,00
Dub 69	21,67	20,80	20,91	8,10	9424,89	9,42	36,67
Dub 70	22,13	20,79	20,80	8,36	9569,72	9,57	34,09
Dub 71	20,67	22,21	21,03	8,22	9654,47	9,65	41,61
Dub 72	22,41	20,77	20,53	8,25	9555,81	9,56	36,24
Dub 73	20,70	22,00	19,59	7,71	8921,29	8,92	34,37

Tabulka 8.15: (Pokračování)

Dub 74	21,00	22,14	20,23	7,96	9405,74	9,41	36,43
Dub 75	22,67	20,82	21,11	8,77	9963,70	9,96	37,74
Dub 76	22,17	20,75	21,00	8,31	9660,58	9,66	36,34
Dub 77	22,08	20,60	21,41	8,51	9738,30	9,74	36,55
Dub 78	22,00	21,06	21,82	8,22	10109,64	10,11	32,85
Dub 79	22,31	20,73	21,51	8,74	9948,08	9,95	36,96
Dub 80	22,11	20,81	21,01	8,16	9666,89	9,67	32,84
Dub 81	20,93	21,88	19,22	7,38	8801,77	8,80	34,28
Dub 82	20,78	22,50	19,82	7,88	9266,84	9,27	32,36
Dub 83	20,69	22,03	20,89	8,17	9521,68	9,52	34,52
Dub 84	22,15	20,75	19,37	7,56	8902,69	8,90	33,33
Dub 85	20,69	21,99	19,78	7,55	8999,37	9,00	32,45
Dub 86	20,94	21,97	20,84	8,11	9587,48	9,59	37,73
Dub 87	22,29	21,04	19,88	8,00	9323,35	9,32	35,38
Dub 88	20,81	22,46	20,60	8,38	9628,29	9,63	33,89
Dub 89	20,97	22,28	21,37	8,37	9984,31	9,98	42,41
Dub 90	20,80	21,23	20,50	8,02	9052,47	9,05	37,53
Celkem:					856599,13	856,60	-
Průměr:							35,87
MIN:							32,04
MAX:							47,65

Tabulka 8.16: Hmotnosti a rozměry vzorků dub letní (*Quercus robur*), při podílu vlhkosti 26,24 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Dub 1	21,73	20,74	21,01	6,99	9468,79	9,47	23,46
Dub 2	20,77	21,75	20,45	6,90	9238,24	9,24	24,49
Dub 3	20,75	21,47	19,34	6,36	8616,02	8,62	23,27
Dub 4	20,47	21,81	20,94	7,20	9348,68	9,35	31,67
Dub 5	21,80	20,60	20,48	7,02	9197,16	9,20	23,36
Dub 6	20,67	22,05	19,57	6,94	8919,49	8,92	26,08
Dub 7	20,57	21,68	19,93	6,94	8887,93	8,89	24,35
Dub 8	20,20	21,25	20,35	6,85	8735,24	8,74	22,19
Dub 9	20,44	21,42	21,07	7,02	9224,97	9,22	21,65
Dub 10	20,48	21,50	21,09	7,08	9286,35	9,29	22,74
Dub 11	20,77	22,19	21,19	7,59	9766,18	9,77	27,80
Dub 12	20,68	21,79	20,21	7,01	9106,97	9,11	25,11
Dub 13	21,76	20,59	21,24	7,35	9516,34	9,52	24,63
Dub 14	20,39	22,40	20,97	7,36	9577,75	9,58	26,22
Dub 15	20,60	21,61	20,51	7,12	9130,35	9,13	24,72
Dub 16	20,60	21,99	19,54	6,96	8851,50	8,85	30,89
Dub 17	21,11	20,59	20,79	6,92	9036,48	9,04	26,88
Dub 18	20,53	21,44	20,98	6,97	9234,62	9,23	22,81
Dub 19	20,72	21,87	21,25	7,27	9629,36	9,63	32,19
Dub 20	20,51	21,54	20,63	7,08	9114,03	9,11	22,74
Dub 21	21,90	20,84	21,00	7,10	9584,32	9,58	33,10
Dub 22	20,46	21,52	20,76	7,09	9140,61	9,14	22,14
Dub 23	20,50	21,72	20,19	6,93	8989,80	8,99	21,79
Dub 24	20,48	21,61	21,12	7,19	9347,14	9,35	22,53
Dub 25	21,57	20,39	20,26	6,94	8910,60	8,91	24,50
Dub 26	20,84	20,51	20,92	7,14	8941,80	8,94	27,73
Dub 27	21,74	20,50	20,73	7,12	9238,74	9,24	24,02
Dub 28	20,58	21,89	21,44	7,45	9658,64	9,66	23,89
Dub 29	21,64	20,63	20,19	6,92	9013,49	9,01	30,20
Dub 30	20,57	21,54	20,53	6,97	9096,39	9,10	33,29
Dub 31	21,52	20,52	20,58	6,85	9087,93	9,09	21,75
Dub 32	20,55	21,65	20,55	6,92	9142,85	9,14	22,40
Dub 33	21,72	20,53	20,95	7,26	9341,85	9,34	28,65
Dub 34	20,74	22,20	21,48	7,96	9889,99	9,89	41,21
Dub 35	21,90	20,65	20,79	7,28	9401,97	9,40	23,63

Tabulka 8.16: (Pokračování)

Dub 36	21,43	20,45	19,81	6,72	8681,60	8,68	23,21
Dub 37	21,45	20,53	20,70	6,83	9115,63	9,12	21,08
Dub 38	21,66	20,42	20,86	6,90	9226,32	9,23	22,75
Dub 39	20,75	21,64	20,58	6,92	9241,04	9,24	27,75
Dub 40	21,72	20,67	20,15	6,96	9046,39	9,05	24,71
Dub 41	21,64	20,43	20,85	7,10	9217,89	9,22	23,52
Dub 42	21,29	20,54	21,52	7,29	9410,62	9,41	24,14
Dub 43	20,77	21,77	21,35	7,54	9653,68	9,65	27,45
Dub 44	22,02	20,77	20,80	7,19	9512,99	9,51	27,40
Dub 45	21,84	20,85	20,01	6,85	9111,83	9,11	24,82
Dub 46	20,89	21,82	20,35	6,90	9275,93	9,28	25,07
Dub 47	21,94	20,74	20,10	7,21	9146,22	9,15	26,77
Dub 48	20,50	21,51	20,73	7,04	9141,00	9,14	22,30
Dub 49	22,07	20,50	21,16	7,38	9573,52	9,57	33,88
Dub 50	22,15	20,83	19,47	6,74	8983,16	8,98	30,71
Dub 51	20,55	21,96	20,21	7,02	9120,33	9,12	24,36
Dub 52	20,60	21,02	20,57	6,72	8907,06	8,91	22,92
Dub 53	21,64	20,74	20,19	6,94	9061,55	9,06	24,06
Dub 54	21,77	20,48	20,33	7,06	9064,12	9,06	23,09
Dub 55	21,93	20,64	19,79	6,85	8957,65	8,96	23,65
Dub 56	22,49	20,51	21,33	8,03	9838,89	9,84	36,61
Dub 57	21,25	20,37	20,21	6,69	8748,15	8,75	24,07
Dub 58	20,80	22,27	21,03	7,69	9741,43	9,74	39,66
Dub 59	21,50	20,52	20,32	6,85	8964,78	8,96	21,75
Dub 60	20,78	21,93	20,81	7,82	9483,23	9,48	36,45
Dub 61	20,75	22,17	19,87	6,88	9140,75	9,14	23,40
Dub 62	22,02	20,63	20,12	7,17	9139,96	9,14	28,87
Dub 63	21,71	20,69	21,71	7,41	9751,70	9,75	25,10
Dub 64	20,71	22,19	19,53	6,94	8975,11	8,98	27,09
Dub 65	20,48	21,86	20,29	7,00	9083,69	9,08	22,71
Dub 66	22,09	20,63	19,75	7,09	9000,40	9,00	32,30
Dub 67	21,57	20,53	20,91	6,99	9259,62	9,26	22,03
Dub 68	20,73	21,90	20,60	6,99	9352,13	9,35	24,18
Dub 69	21,46	20,65	20,96	7,21	9288,40	9,29	28,85
Dub 70	21,29	20,53	20,86	7,15	9117,57	9,12	22,94
Dub 71	20,51	21,55	20,99	7,18	9277,38	9,28	33,15
Dub 72	20,50	21,53	20,50	7,00	9047,98	9,05	24,86
Dub 73	20,60	21,69	19,54	6,66	8730,75	8,73	24,02

Tabulka 8.16: (Pokračování)

Dub 74	21,79	20,75	20,22	6,93	9142,32	9,14	26,98
Dub 75	20,83	22,58	21,07	8,41	9910,09	9,91	35,08
Dub 76	21,72	20,60	20,98	7,11	9387,12	9,39	25,60
Dub 77	20,66	21,98	21,37	7,62	9704,26	9,70	29,13
Dub 78	20,85	21,82	21,87	7,33	9949,69	9,95	24,69
Dub 79	20,59	21,85	21,50	7,55	9672,67	9,67	27,02
Dub 80	21,34	20,52	20,97	7,05	9182,70	9,18	22,27
Dub 81	21,68	20,76	19,24	6,37	8659,48	8,66	23,86
Dub 82	20,58	21,85	19,80	6,90	8903,53	8,90	22,75
Dub 83	21,64	20,53	20,94	7,15	9303,00	9,30	25,17
Dub 84	20,71	21,85	19,35	6,74	8756,14	8,76	25,22
Dub 85	21,39	20,52	19,78	6,63	8681,89	8,68	23,08
Dub 86	20,78	21,79	20,80	7,00	9418,16	9,42	27,86
Dub 87	20,94	22,30	19,76	7,25	9227,17	9,23	28,69
Dub 88	20,59	21,45	20,62	7,14	9106,94	9,11	22,41
Dub 89	21,58	20,69	21,35	7,20	9532,57	9,53	33,06
Dub 90	21,00	20,75	20,50	7,06	8932,88	8,93	29,04
Celkem:					829533,59	829,53	-
Průměr:							26,24
MIN:							21,08
MAX:							41,21

Tabulka 8.17: Hmotnosti a rozměry vzorků dub letní (*Quercus robur*), při podílu vlhkosti 6,13 %

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Dub 1	19,92	20,39	20,87	5,91	8476,74	8,48	9,48
Dub 2	20,46	19,96	20,27	5,29	8277,90	8,28	1,51
Dub 3	20,31	19,94	19,24	6,11	7791,84	7,79	20,13
Dub 4	20,58	19,77	20,77	5,56	8450,62	8,45	11,51
Dub 5	20,63	19,84	20,27	6,12	8296,49	8,30	12,09
Dub 6	20,50	19,86	19,42	5,25	7906,46	7,91	2,29
Dub 7	20,43	19,84	19,92	5,60	8074,20	8,07	6,25
Dub 8	19,57	20,40	20,08	5,35	8016,50	8,02	0,37
Dub 9	19,84	20,16	20,87	5,92	8347,47	8,35	7,09
Dub 10	20,44	19,78	20,89	5,59	8445,89	8,45	2,15
Dub 11	20,48	19,83	20,98	5,65	8520,36	8,52	3,01
Dub 12	20,28	19,82	20,16	5,44	8103,30	8,10	3,49
Dub 13	20,58	19,82	20,99	5,59	8561,73	8,56	0,89
Dub 14	20,95	19,56	20,76	5,44	8507,07	8,51	0,18
Dub 15	19,78	20,07	20,31	5,45	8062,76	8,06	1,65
Dub 16	20,42	19,78	19,35	5,17	7815,61	7,82	6,96
Dub 17	20,21	19,92	20,55	5,51	8273,08	8,27	8,17
Dub 18	20,28	19,77	20,74	6,18	8315,40	8,32	12,94
Dub 19	20,56	19,84	21,07	5,43	8594,67	8,59	9,21
Dub 20	20,35	19,75	20,48	5,73	8231,17	8,23	4,54
Dub 21	19,93	20,31	20,86	5,36	8443,68	8,44	11,38
Dub 22	20,37	19,79	20,62	5,86	8312,38	8,31	5,80
Dub 23	19,86	20,87	19,85	5,75	8227,39	8,23	5,74
Dub 24	19,76	20,49	20,96	5,99	8486,34	8,49	7,01
Dub 25	20,19	19,58	20,04	5,38	7922,22	7,92	2,60
Dub 26	20,45	19,83	20,72	5,54	8402,45	8,40	6,86
Dub 27	19,84	20,91	20,44	5,52	8479,62	8,48	1,99
Dub 28	21,28	19,81	20,73	5,87	8738,87	8,74	3,41
Dub 29	20,34	19,92	20,03	5,29	8115,61	8,12	8,70
Dub 30	20,35	19,82	20,32	5,43	8195,81	8,20	14,36
Dub 31	19,82	20,57	20,27	5,39	8264,03	8,26	0,56
Dub 32	20,31	19,78	20,47	5,47	8223,45	8,22	1,83
Dub 33	19,71	20,36	20,69	5,49	8302,81	8,30	5,65
Dub 34	19,84	20,56	21,23	5,79	8659,94	8,66	19,17
Dub 35	19,85	20,50	20,56	6,03	8366,38	8,37	7,79

Tabulka 8.17: (Pokračování)

Dub 36	20,34	19,78	19,66	5,28	7909,71	7,91	2,27
Dub 37	20,31	19,89	20,50	5,65	8281,30	8,28	4,60
Dub 38	20,80	19,79	20,68	5,42	8512,55	8,51	1,66
Dub 39	19,90	20,30	20,43	5,30	8253,11	8,25	5,66
Dub 40	19,84	20,14	20,00	5,30	7991,55	7,99	1,13
Dub 41	19,75	20,53	20,69	5,52	8389,12	8,39	1,63
Dub 42	20,36	20,00	21,44	5,74	8730,37	8,73	3,66
Dub 43	19,95	20,53	21,28	5,76	8715,72	8,72	5,03
Dub 44	20,62	19,86	20,53	5,48	8407,31	8,41	4,74
Dub 45	19,94	20,00	19,84	5,95	7912,19	7,91	13,45
Dub 46	20,26	19,86	20,21	5,83	8131,77	8,13	11,32
Dub 47	19,86	20,35	19,80	5,81	8002,19	8,00	9,12
Dub 48	20,42	19,78	20,62	5,55	8328,57	8,33	1,44
Dub 49	20,82	19,80	20,95	5,79	8636,34	8,64	15,72
Dub 50	19,93	20,60	19,35	5,05	7944,30	7,94	7,52
Dub 51	19,76	20,45	19,91	5,75	8045,47	8,05	7,65
Dub 52	19,73	19,79	20,51	5,56	8008,27	8,01	6,83
Dub 53	20,54	19,98	20,05	5,87	8228,30	8,23	10,22
Dub 54	20,75	19,77	20,17	6,05	8274,29	8,27	10,25
Dub 55	20,61	19,88	19,61	5,44	8034,74	8,03	3,86
Dub 56	20,62	19,62	21,14	5,55	8552,49	8,55	8,29
Dub 57	19,61	20,12	20,05	5,26	7910,79	7,91	3,42
Dub 58	20,50	19,86	20,85	5,51	8488,66	8,49	15,79
Dub 59	19,90	20,39	20,00	5,50	8115,22	8,12	2,55
Dub 60	20,03	19,79	5,27	5,29	2088,99	2,09	6,05
Dub 61	20,87	19,89	19,70	5,67	8177,55	8,18	7,05
Dub 62	19,81	20,52	19,94	5,40	8105,63	8,11	5,56
Dub 63	20,26	20,07	21,66	5,77	8807,35	8,81	3,81
Dub 64	19,81	20,41	19,42	5,15	7851,94	7,85	1,75
Dub 65	19,57	20,60	20,15	5,45	8123,31	8,12	0,73
Dub 66	20,46	19,74	19,63	5,32	7928,17	7,93	9,77
Dub 67	19,83	20,27	20,74	5,68	8336,53	8,34	4,05
Dub 68	20,49	20,02	20,39	5,68	8364,18	8,36	6,69
Dub 69	19,95	19,74	20,75	5,32	8171,62	8,17	3,57
Dub 70	20,55	19,89	20,60	5,55	8420,03	8,42	0,72
Dub 71	20,23	19,78	20,82	5,52	8331,11	8,33	13,04
Dub 72	19,82	20,45	20,29	5,49	8223,92	8,22	4,19
Dub 73	19,79	20,43	19,38	5,48	7835,52	7,84	7,66

Tabulka 8.17: (Pokračování)

Dub 74	20,70	19,97	19,97	5,29	8255,18	8,26	4,35
Dub 75	20,62	19,78	20,91	5,55	8528,43	8,53	1,62
Dub 76	20,36	19,80	20,79	5,46	8381,03	8,38	3,11
Dub 77	19,67	20,04	21,27	5,44	8384,35	8,38	0,74
Dub 78	20,25	20,01	21,62	5,62	8760,48	8,76	1,78
Dub 79	20,70	19,83	21,24	5,70	8718,62	8,72	3,33
Dub 80	20,49	19,80	20,80	6,17	8438,60	8,44	11,18
Dub 81	20,01	19,85	19,13	5,67	7598,41	7,60	14,46
Dub 82	20,57	19,76	19,64	5,35	7982,94	7,98	0,37
Dub 83	20,53	19,84	20,67	5,39	8419,21	8,42	0,74
Dub 84	20,43	19,86	19,23	5,25	7802,38	7,80	4,00
Dub 85	20,31	19,86	19,60	5,37	7905,79	7,91	5,03
Dub 86	20,41	19,88	20,65	5,33	8378,75	8,38	5,25
Dub 87	20,59	19,95	19,72	5,91	8100,39	8,10	12,52
Dub 88	20,66	19,95	20,41	5,98	8412,33	8,41	7,36
Dub 89	20,55	19,97	21,16	5,53	8683,71	8,68	12,84
Dub 90	19,63	19,89	20,27	5,21	7914,23	7,91	3,84
Celkem:					737445,29	737,45	-
Průměr:							6,13
MIN:							0,18
MAX:							20,13

Tabulka 8.18: Hmotnosti a rozměry vzorků dub letní (*Quercus robur*), sušina

	Rozměry vzorků (mm)			Hmotnost (g)	Objem vzorků (mm ³)	Objem vzorků (10 ⁻⁶ m ³)	Podíl vlhkosti vzorků (%)
	A	B	C				
Dub 1	20,22	19,65	20,01	5,35	7950,43	7,95	-
Dub 2	19,48	19,23	20,53	5,21	7690,55	7,69	-
Dub 3	19,76	19,54	21,24	4,88	8200,98	8,20	-
Dub 4	18,87	19,42	20,66	4,92	7570,97	7,57	-
Dub 5	20,41	19,78	20,68	5,38	8348,72	8,35	-
Dub 6	19,60	19,36	20,43	5,13	7752,29	7,75	-
Dub 7	19,82	19,68	20,25	5,25	7898,67	7,90	-
Dub 8	19,60	19,55	20,70	5,33	7931,83	7,93	-
Dub 9	20,07	19,77	20,43	5,50	8106,30	8,11	-
Dub 10	19,83	19,54	20,16	5,47	7811,56	7,81	-
Dub 11	19,69	19,89	20,43	5,48	8001,08	8,00	-
Dub 12	19,74	19,57	20,55	5,25	7938,71	7,94	-
Dub 13	19,89	19,76	19,89	5,54	7817,30	7,82	-
Dub 14	19,62	19,90	20,94	5,43	8175,77	8,18	-
Dub 15	19,49	19,51	20,54	5,36	7810,33	7,81	-
Dub 16	19,07	19,39	20,41	4,81	7546,95	7,55	-
Dub 17	19,41	19,56	21,08	5,06	8003,22	8,00	-
Dub 18	19,85	21,39	19,91	5,38	8453,62	8,45	-
Dub 19	19,45	19,35	20,53	4,93	7726,62	7,73	-
Dub 20	19,56	19,58	20,92	5,47	8012,04	8,01	-
Dub 21	19,28	19,47	19,92	4,75	7477,60	7,48	-
Dub 22	19,89	19,78	20,21	5,52	7951,10	7,95	-
Dub 23	19,60	19,69	20,79	5,42	8023,36	8,02	-
Dub 24	19,80	19,78	20,81	5,57	8150,11	8,15	-
Dub 25	19,56	19,82	20,26	5,24	7854,38	7,85	-
Dub 26	19,45	19,60	19,91	5,16	7590,09	7,59	-
Dub 27	19,46	19,76	20,13	5,41	7740,58	7,74	-
Dub 28	20,34	19,87	20,13	5,67	8135,66	8,14	-
Dub 29	19,47	19,50	19,95	4,83	7574,32	7,57	-
Dub 30	19,53	19,53	19,30	4,65	7361,42	7,36	-
Dub 31	19,56	19,36	20,48	5,36	7755,40	7,76	-
Dub 32	19,91	19,51	20,61	5,37	8005,83	8,01	-
Dub 33	19,59	19,42	20,03	5,18	7620,17	7,62	-
Dub 34	18,94	19,45	20,10	4,68	7404,50	7,40	-
Dub 35	19,91	19,73	20,76	5,56	8155,03	8,16	-

Tabulka 8.18: (Pokračování)

Dub 36	19,65	19,40	21,17	5,16	8070,22	8,07	-
Dub 37	20,15	19,72	19,50	5,39	7748,48	7,75	-
Dub 38	19,58	19,77	20,11	5,33	7784,51	7,78	-
Dub 39	19,35	19,76	20,23	5,00	7735,06	7,74	-
Dub 40	19,37	20,09	20,24	5,24	7876,26	7,88	-
Dub 41	19,46	19,86	20,51	5,43	7926,61	7,93	-
Dub 42	19,77	19,63	21,22	5,53	8235,17	8,24	-
Dub 43	20,01	19,59	19,57	5,47	7671,36	7,67	-
Dub 44	19,52	19,63	20,37	5,22	7805,33	7,81	-
Dub 45	20,70	19,82	19,74	5,15	8098,81	8,10	-
Dub 46	19,81	19,88	20,00	5,17	7876,46	7,88	-
Dub 47	19,78	19,99	20,10	5,28	7947,58	7,95	-
Dub 48	19,50	19,61	20,37	5,47	7789,39	7,79	-
Dub 49	19,58	19,58	20,32	4,88	7790,21	7,79	-
Dub 50	18,86	19,43	20,18	4,67	7394,96	7,39	-
Dub 51	19,86	19,73	20,10	5,31	7875,94	7,88	-
Dub 52	19,52	19,57	20,44	5,18	7808,21	7,81	-
Dub 53	19,81	19,88	20,06	5,27	7900,09	7,90	-
Dub 54	19,75	19,36	21,01	5,43	8033,38	8,03	-
Dub 55	20,01	19,51	20,26	5,23	7909,40	7,91	-
Dub 56	19,74	19,42	20,10	5,09	7705,35	7,71	-
Dub 57	19,80	19,49	19,84	5,08	7656,30	7,66	-
Dub 58	19,08	19,41	19,81	4,64	7336,49	7,34	-
Dub 59	19,69	19,63	20,04	5,36	7745,75	7,75	-
Dub 60	19,34	19,68	19,63	4,97	7471,40	7,47	-
Dub 61	19,76	19,88	20,87	5,27	8198,34	8,20	-
Dub 62	19,44	19,71	19,51	5,10	7475,50	7,48	-
Dub 63	19,88	19,65	19,22	5,55	7508,14	7,51	-
Dub 64	19,86	19,39	20,59	5,06	7928,91	7,93	-
Dub 65	19,56	19,81	20,50	5,41	7943,41	7,94	-
Dub 66	19,44	19,55	20,24	4,80	7692,25	7,69	-
Dub 67	19,83	19,64	20,34	5,45	7921,64	7,92	-
Dub 68	20,01	19,56	20,14	5,30	7882,71	7,88	-
Dub 69	19,39	19,34	20,83	5,13	7811,30	7,81	-
Dub 70	19,76	19,52	20,49	5,51	7903,30	7,90	-
Dub 71	19,38	19,50	20,29	4,80	7667,79	7,67	-
Dub 72	19,64	19,47	20,83	5,26	7965,20	7,97	-
Dub 73	20,05	19,77	19,89	5,06	7884,17	7,88	-

Tabulka 8.18: (Pokračování)

Dub 74	19,52	19,11	20,71	5,06	7725,39	7,73	-
Dub 75	19,80	20,42	19,68	5,46	7956,94	7,96	-
Dub 76	19,53	19,57	20,28	5,29	7751,06	7,75	-
Dub 77	19,43	19,94	20,17	5,40	7814,55	7,81	-
Dub 78	19,83	19,75	20,30	5,52	7950,34	7,95	-
Dub 79	19,73	19,85	20,89	5,51	8181,37	8,18	-
Dub 80	19,67	20,08	20,68	5,48	8168,05	8,17	-
Dub 81	19,75	19,80	20,70	4,85	8094,74	8,09	-
Dub 82	19,67	19,48	20,24	5,33	7755,39	7,76	-
Dub 83	19,52	19,91	19,52	5,35	7586,32	7,59	-
Dub 84	19,63	19,16	20,40	5,04	7672,66	7,67	-
Dub 85	19,09	19,77	20,34	5,10	7676,51	7,68	-
Dub 86	19,59	19,72	19,45	5,05	7513,82	7,51	-
Dub 87	20,00	19,66	20,13	5,17	7915,12	7,92	-
Dub 88	19,92	19,77	20,38	5,54	8026,02	8,03	-
Dub 89	19,43	19,42	20,41	4,82	7701,32	7,70	-
Dub 90	19,73	19,37	20,64	5,01	7887,99	7,89	-
Celkem:					705900,45	705,90	-