

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA

1130618

MERANIE DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTI
CELOZRNNEJ MÚKY

2011

Rudolf Jakab

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA

MERANIE DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTI
CELOZRNNEJ MÚKY

Bakalárska práca

Študijný program:	Prevádzková bezpečnosť techniky
Študijný odbor:	2386700 Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra fyziky
Školiteľ:	Mgr .Ján Novák ,PhD.

Nitra, 2011

Rudolf Jakab

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Rudolf Jakab vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Dielektrické vlastnosti celozrnej múky ” vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre

Pod'akovanie

Touto cestou by som sa chcel pod'akovať môjmu školiteľovi Mgr. Jánovi Novákovi , PhD. za pomoc, odborné vedenie, potrebné informácie a pripomienky pri vypracovaní mojej bakalárskej práce. pod'akovanie patrí tiež vedúcej katedry, RNDr. Vlaste Vozárovej, PhD. a celému vedeniu Technickej fakulty Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre.

Abstrakt

Moja bakalárska práca sa zaoberá meraním dielektrických vlastností celozrnej múky a zistením závislosti relatívnej permitivity od frekvencie elektrického poľa a vlhkosti.

Na meranie boli použité pomôcky a meracie prístroje, ktoré sú bežnou výbavou školského laboratória. Prakticky sa realizovali štyri merania. Merali sme s frekvenciami v rozsahu od 1 MHz do 10 MHz.

Vypočítali sme relatívnu permitivitu, vlhkosť a hustotu. Dosiahnuté výsledky sú znázornené v grafickej a tabuľkovej forme a sú porovnané s doterajším výskumom uvedených autorov a ich teórií. Výsledky, ktoré som získal v práci, je možné použiť pri rôznych aplikáciách v poľnohospodárskej výrobe ale aj v iných odvetviach.

Kľúčové slová : dielektrické vlastnosti, relatívna permitivita, hustota, vlhkosť , celozrnná múka

Abstract

My thesis deals with measuring the dielectric properties of wholemeal flour and finding the relative permittivity on frequency of the electrical field and moisture.

For measuring have been used devices, which are common equipment of school laboratory.

Practically was implemented four measurements that had been realised in the laboratory and as the sample was used barley. Measurements are frequency ranges for 1 MHz to 10 MHz.

Calculated the relative permittivity, moisture and consistence. The result obtained are shown in tabular and graphical form, and compared with the previous research of mentioned authors and their theories. Results that are I am at work gained is possible employ application in agricultural mode production and but in more areas.

Key words : dielectric properties, relative permittivity, moisture, consistence, wholemeal flour

OBSAH

Zoznam ilustrácií	7
Zoznam tabuliek	8
Zoznam skratiek a značiek	9
Úvod	10
1 Prehľad riešenej problematiky	12
1.1 Dielektrikum a jeho vlastnosti	12
1.2 Polarizácia dielektrika	15
1.3 Relatívna permitivita	17
1.4 Hustota a vlhkosť	19
1.4.1 Hustota	19
1.4.2 Vlhkosť	20
2 Ciele práce	21
3 Metodika práce	22
3.1 Charakteristika použitého materiálu	22
3.2 Charakteristika použitia meracích prístrojov a zariadení	23
3.3 Charakteristika postupu merania	24
4 Výsledky práce	26
5 Záver	34
6 Zoznam použitej literatúry	36
Prílohy	37

Zoznam ilustrácií

Obr. 1 Laboratórna miska

Obr. 2 Laboratórna sušička

Obr. 3 Laboratórna váha so vzorkou

Obr. 4 Merací kondenzátor

Obr. 5 Sklenená odmerka

Obr. 6 Merací prístroj TESLA Q-meter BM 560

Zoznam tabuliek

- Tab. 1 Namerané a vypočítané hodnoty pre relatívnej permitivity ϵ_r , sypnú hmotnosť $\rho=539 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a relatívnu vlhkosť $\omega=10,946\%$.
- Tab. 2 Namerané a vypočítané hodnoty pre relatívnej permitivity ϵ_r , sypnú hmotnosť $\rho=543 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a relatívnu vlhkosť $\omega=11,602\%$.
- Tab. 3 Namerané a vypočítané hodnoty pre relatívnej permitivity ϵ_r , sypnú hmotnosť $\rho=556 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a relatívnu vlhkosť $\omega=13,489\%$.
- Tab. 4 Namerané a vypočítané hodnoty pre relatívnej permitivity ϵ_r , sypnú hmotnosť $\rho=577 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a relatívnu vlhkosť $\omega=12,652\%$.

Zoznam skratiek a značiek

ϵ_r	relatívna permitivita
C	kapacita kondenzátora
C1	kapacita kondenzátora bez záťaže
C2	kapacita kondenzátora so záťažou
C _x	kapacita spojovacích vodičov
C ₀	kapacita merného kondenzátora, bez spojovacích vodičov
m1	hmotnosť vlhkej vzorky
m2	hmotnosť vzorky po vysušení
ω	vlhkosť
V	objem
ρ	hustota
f	frekvencia
MHz	mega hertz
F	farad
pF	pikofarad
kg	kilogram
g	gram
m ³	meter kubický
m	meter

ÚVOD

Rozvoj vedy je okrem iného charakterizovaný tým, že pribúdajú nové poznatky. Javy dielektrické patria medzi fyzikálne javy, z ktorých získavame poznatky a ktoré sú súčasťou nášho života. Popri vodivých látkach sa v prírode nachádzajú látky nevodivé, ktoré nazývame izolanty alebo dielektriká. Sú to látky, v ktorých sa náboje pod účinkom elektrických polí nemôžu pohybovať.

Takýmito látkami sú mnohé prírodné materiály, rôzne minerály ale aj biologické materiály, ktoré sú cieľenými produktmi ľudskej činnosti s dobre definovanou atómovou štruktúrou, ako napr. rozmanité organické aj neorganické umelé hmoty. Najmenej polovica predmetov, ktoré nás obklopujú a tvoria naše životné prostredie, sú nevodivé. Ak hovoríme o izolantoch, musíme podobne ako pri vodičoch mať na pamäti, že ideálne nevodiče prakticky neexistujú. Ako model pre našu analýzu sú najvhodnejšie práve tuhé polymérne materiály, ktoré sú elektricky homogénne a izotropné (majú rovnaké elektrické vlastnosti v každom bode objemu a vo všetkých smeroch). Bakalárska práca je zameraná na meranie dielektrických vlastností celozrnnej múky, ktorá je významnou poľnohospodárskou surovinou pri výrobe. Pod pojmom dielektrické vlastnosti sa skrývajú dva dôležité materiálové parametre: relatívna permitivita a stratový činiteľ. Pomocou nich sú látky, presnejšie nevodiče hodnotené medzi sebou a vyberané pre zodpovedajúce praktické aplikácie. Pri práci sme sa hlbšie zamerali predovšetkým na zistenie a vlhkosť celozrnnej múky.

Dielektrická látka je systémom nábojov, ktoré sú v zložitých atomárnych a molekulárnych väzbách. Elektrické pole na tieto väzby pôsobí silami a bude nejakým spôsobom deformovať rovnovážnu konfiguráciu atómov. Pri práci sme sa hlbšie zamerali na zistenie relatívnej permitivity a vlhkosti celozrnnej múky. Dielektrické vlastnosti poľnohospodárskych materiálov a ich pozorovanie vedie dnes k čoraz väčšiemu záujmu. Ak poznáme dielektrické vlastnosti môžeme s ľahkosťou určiť ako vplýva frekvencia na relatívnu permitivitu, či aká je vlhkosť.

Pri zisťovaní týchto vlastností je potrebné zhromaždenie dostatočných informácií, ktoré môžeme neskôr využiť v praxi pri rôznych technologických aplikáciách.

Vlastnosti múky priaznivo ovplyvňujú akosť pekárenských výrobkov, ktoré tvoria jej pekársku hodnotu. V priebehu technologického spracovania je východiskovou surovinou pre výrobu potravinárskych výrobkov, ktoré obsahom nutrične dôležitých látok zaraďujeme medzi nenahraditeľné vo výžive.

1 PREHLAD SÚČASNEJ PROBLEMATIKY

1.1 Dielektrikum a jeho vlastnosti

Dielektrikum je každá látka, ktorá sa polarizuje vo vonkajšom elektrickom poli. Dielektrikum označovaný ako (nevodič izolant) za normálnych podmienok neobsahuje väčší počet voľných nábojov (alebo ich obsahuje veľmi málo). Dielektrikum sa všeobecne vyznačuje malou mernou elektrickou vodivosťou. Ďalšie dôležité vlastnosti (podľa aplikácie) sú permitivita (dielektrická konštanta), stratový uhol, prierazné napätie, mechanické vlastnosti, tepelná vodivosť a iné. Nabité častice v dielektriku sú viazané na atómy alebo molekuly látky (nepremiestňujú sa) (Krempaský, 1992).

Podľa (Poljaka, 1983) elektricky nevodivé látky - izolanty (dielektriká) - obsahujú rovnako ako vodiče veľké množstvo nabitých častíc, v prevažnej miere sú to však len neutrálne molekuly s rovnako veľkými nábojmi s opačným znamienkom, pole od ktorých sa v makroskopickom objeme ruší. Platí to ale len pri rovnomernom rozložení nábojov. Dielektriká sa javia ako elektricky neutrálne.

(Krempaský, 1983) sa vyjadruje, že „Dielektriká sú látky, ktoré nevedú elektrický prúd. Sú to teda izolanty, ktorých názov zdôrazňuje skutočnosť, že sa v nich vyskytujú zaujímavé javy súvisiace s polarizáciou. Rozdeľujeme ich na polárne, t. j. také ,ktorých molekuly majú permanentný dipólový moment a nepolárne, t.j. také v ktorých takéto momenty vznikajú len vo vonkajšom elektrickom poli. Z iného hľadiska ich rozdeľujeme na lineárne a nelineárne“. V prvých je vzťah medzi vektorom polarizácie a intenzitou elektrického poľa lineárny, v opačnom prípade nelineárny. Na atómy dielektrika pôsobí intenzita lokálneho poľa (E_l), ktorá sa od intenzity vonkajšieho makroskopického poľa E líši o intenzitu Lorentzovho poľa E_L vyjadrenú vzťahom

$$E_L = E_1 - E = \frac{1}{3\epsilon_0} P$$

kde P je polarizácia.

Clausiusova – Mosottiho rovnica vyjadruje súvislosť medzi mikroskopickou charakteristikou (polarizovateľnosťou α atómov a molekúl) a makroskopickými charakteristikami (relatívnou dielektrickou permitivitou).

Má tvar $\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2} = \frac{1}{3} \sum n_i \alpha_i$

Kde n_i je koncentrácia častíc s polarizovateľnosťou α_i .

V reálnych dielektrikách je výhodné zaviesť pojem komplexnej permitivity vzťahom

$$\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$$

pričom reálna zložka má význam statickej permitivity a zložka ϵ'' charakterizuje straty v dielektriku.

Pomer

$$\text{Tg } \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

sa nazýva stratový faktor a uhol δ stratový uhol.

Vektor indukcie elektrického poľa v dielektriku je určený vzťahom

$$D = \epsilon E = \epsilon_0 E + P$$

Kde P je vektor polarizácie. V skutočnosti dielektriká nie sú z mikroskopického hľadiska spojité, pretože pozostávajú z atómov a molekúl, ktoré majú vo všeobecnosti nenulový

Na daný konkrétny atóm pôsobí preto elektrické pole. Je tvorené jednak poľom s intenzitou E , ktorú nazývame makroskopické pole, a poľom s intenzitou E_L , ktoré vzniká od dipólov prostredia spolarizovaného atómom a ktoré nazývame Lorentzovo pole. Navonok sa prejavuje len pole intenzity E , preto pri meraní elektrického poľa, napr. v dielektriku kondenzátora sa meria len toto pole.

V nevodičoch – izolantoch sú nabité častice viac-menej viazané na pevné miesto a nemôže sa z tohto miesta pôsobením elektrického pola vzdialiť. Preto môže v nevodičoch existovať elektrické pole a môže nimi alebo skrze nich prestupovať, z toho dôvodu sa nevodiče nazývajú dielektriká. Dielektriká obsahujú tak isto ako kovy veľké množstvo nabitých častíc, avšak navonok sa takisto javia ako elektricky neutrálne. Dielektrikum má vplyv na elektrické javy, čiže vedľa nábojov doposiaľ uvažovaných, umiestnených na vodičoch, spolupôsobia i náboje stavebných častíc dielektrika – atómov, molekúl, iónov.

Dielektriká sú ako všetky látky zložené z molekúl, atómov alebo, iónov. Obsahujú teda podobne ako kovy, elektricky nabité častice. Medzi pevnými dielektrikami je napríklad skupina, ktorá je vybudovaná z kladných a záporných iónov – napríklad v kryštáli soli kamennej. Tieto ióny majú určité rovnovážne polohy, z ktorých sa môže

elektrické pole síce posunúť, ale nie úplne oddialiť. Preto sa kladné ióny posúvajú v smere intenzity elektrického pola, záporné v opačnom smere, a to tým viac, čím je intenzita pola väčšia. Následkom toho vystupuje na koncových plochách telesa, kde siločiar vychádzajú z dielektrika, kladný povrchový viazaný náboj, na druhej koncovej plošine záporný povrchový viazaný náboj.

Výsledné pole vnútri sa tým zoslabí, klesne napätie medzi doskami a tým vzrastie kapacita. Tento jav sa nazýva dielektrická polarizácia. Je nutné zdôrazniť, že viazaným nábojom sa rozumie náboj, ktorý vzniká polarizáciou na hraničných plochách dielektrika. Tieto náboje sú viazané vnútromolekulárnymi silami a nemôžu sa pôsobením časovo nepremeného elektrického pola pohybovať, bez toho aby sa porušila celistvosť molekúl (Fuka, Havelka, 1995).

1.2 Polarizácia dielektrika

Treba poznamenať, že dielektriká obsahujú tiež malý počet nabitých častíc, ktoré sa môžu v látke voľne pohybovať. Tieto náboje podmieňujú mizivo malú vodivosť izolantov, na ktorú nebudeme v ďalšom prihliadať. Aj najmenšie častice tuhých látok môžu vplyvom deformujúcich síl meniť vzájomnú polohu. Náboje nie sú v dielektriku viazané na úplne nemenné polohy. Ich rozloženie sa pôsobením vonkajšieho elektrostatického poľa môže do istej miery meniť. Treba si uvedomiť, že náboj obsiahnutý v látke je veľmi veľký. Už i miligram látky obsahuje približne 50 C kladného a 50 C záporného náboja. I veľmi malé posunutie náboja sa vzhľadom na jeho množstvo môže prejaviť poruchou vzájomnej kompenzácie polí vytvorených nábojmi opačného znamienka a výsledné elektrostatické pole od týchto nábojov už nebude nulové. Tento proces sa nazýva polarizácia dielektrika (Werner, 2000).

Polarizácia dielektrika znamená odozva dielektrika na prítomnosť elektrického poľa. V dielektriku treba vo všeobecnosti rozlišovať tieto druhy polarizácií: elektrónovú, iónovú, dipólovú (orientačnú). Tieto druhy polarizácií vystupujú do popredia najmä vtedy, keď sa dielektrikum nachádza v striedavom elektrickom poli. Elektróny sú schopné sledovať zmeny elektrického poľa v časovom intervale rádu 10^{-15} s, preto elektrónová polarizácia vzniká už pri frekvenciách odpovedajúcich ultrafialovému žiareniu.

Elektrónová polarizácia (tiež atómová polarizácia). Vzniká vzájomným posuvom kladne nabitého jadra a záporne nabitého elektrónového obalu atómu. Elektróny obiehajú okolo jadra s vysokou frekvenciou, (rýchlosťou porovnateľnou s rýchlosťou svetla). Elektrónový obal sa dá takto považovať za rovnomerne nabitú guľovú vrstvu. Elektrostatické pole v jej okolí je také isté ako pole v okolí bodového rovnako veľkého náboja, ktorý by bol v jej strede. Výsledné pole od jadra a elektrónového obalu je teda nulové. Pôsobením vonkajšieho elektrostatického poľa sa súmernosť molekuly poruší. Jadro je ťahané v smere poľa, elektróny v opačnom smere. Takto nastane deformácia atómu. Stred elektrónového obalu nesplýva so stredom jadra). Atóm sa zmení na elektrický dipól s elektrickým momentom, ktorý je úmerný vzájomnému posunu kladných a záporných nábojov. Toto posunutie je veľmi malé i vzhľadom na vzdialenosti elektrónového obalu od stredu atómu. Elektrické pole jadra v mieste elektrónu má intenzitu

$\sim 10^{12} \text{ V m}^{-1}$, vonkajšie elektrické pole je minimálne o šesť rádov menšie, preto aj zmena parametrov dráhy je veľmi malá. Príkladom elektrónovej polarizácie je polarizácia atómu inertného plynu, napr. He. Atómová polarizácia vzniká v každej látke, ale v súčinnosti s inými typmi polarizácie (uvedenými nižšie), je to najslabšia časť celkovej polarizácie (Vachek, 1999).

Iónová polarizácia vzniká v látkach, ktorých molekuly sú zložené z dvoch alebo viacej iónov. Takéto molekuly majú nenulový elektrický moment aj bez pôsobenia vonkajšieho elektrického poľa. Ak usporiadanie molekúl v látke nie je podmienené väzobnými silami sú orientácie momentov elektrických dipólov náhodne orientované a vektorový súčet momentov veľkého počtu molekúl nulový. Aj v tuhých látkach sa v určitom rozmedzí môže meniť vzájomná poloha iónov v molekule. Ak je látka vo vonkajšom elektrostatickom poli, posunú sa kladné ióny vo všetkých molekulách v smere poľa a záporné ióny proti tomuto smeru, takže výsledný elektrický moment aj veľkého počtu molekúl už nie je nulový a jeho smer je rovnobežný so smerom elektrického poľa. Príkladom sú iónové kryštály, napr. NaCl.

Orientačná polarizácia vzniká v kvapalinách a v plynch, kde sa orientácia polárnych molekúl vplyvom zrážok neustále mení. Mení sa teda aj smer elektrických momentov jednotlivých molekúl. Časová stredná hodnota výsledného elektrického momentu molekúl sa rovná nule. Ak vložíme takúto látku do vonkajšieho elektrostatického poľa, pribudne k neusporiadaným točivým momentom pôsobiacim na molekuly vplyvom termického pohybu ešte aj točivý moment, ktorým pôsobí vonkajšie elektrostatické pole na elektrické dipóly molekúl. Tento sa snaží natočiť každý dipól tak, aby jeho moment mal smer intenzity poľa. Usmerňovací účinok poľa je však stále rušený termickými pohybmi molekúl, a preto je možný len istý stupeň orientácie, ktorý závisí od teploty a od veľkosti elektrostatického poľa. Príkladom orientačnej polarizácie je polarizácia vody, molekula vody má nenulový elektrický dipól. Ak sa stočia dipólové momenty všetkých molekúl do smeru elektrického poľa, nedá sa orientačná polarizácia už zvýšiť. Naproti tomu atómová a iónová polarizácia môže rásť priamoúmerne s intenzitou poľa, ale len v medziach daných pevnosťou dielektrika (http://kf-lin.elf.stuba.sk/~ballo/STU_online/Fyzika%20II/8%20kapitola/elstat3-3.htm).

1.3 Relatívna permitivita

Permitivita alebo permitivita prostredia alebo absolútna permitivita, staršie dielektrická konštanta, je fyzikálna veličina, ktorá opisuje:

- izolačné vlastnosti dielektrika v prípade statického poľa
- vzťah medzi vektormi elektrického poľa a elektrickej indukcie v prípade striedavého poľa alebo elektromagnetického vlnenia
- Najčastejšie sa udáva ako súčin permitivity vákua a relatívnej permitivity. Permitivita prostredia nahrádza permitivitu vákua vo všetkých elektrostatických rovniciach, ak je priestor namiesto vákua vyplnený dielektrikom. (Karlson, 1996).

Značka: ε

Výpočet: $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$

Relatívna permitivita je súčasť permitivity, látková konštanta, ktorá vyjadruje, koľkokrát sa elektrická sila zmenší v prípade, že telesá s elektrickým nábojom sú namiesto vo vákuu umiestnené v látkovom prostredí, alebo koľkokrát sa zväčší kapacita kondenzátora, ak sa umiestni medzi elektródy dielektrikom. Označuje sa ako ε_r .

Relatívna permitivita, predtým nazývaná aj dielektrická konštanta je makroskopická veličina, ktorá poskytuje určitú kvantitatívnu informáciu o zložitých mikroskopických pochodoch, odohrávajúcich sa v látke uloženej v elektrickom poli. Tieto pochody nazývané polarizácia dielektrika sú vyvolané silovým pôsobením elektrického pola na viazané náboje v látke. Pretože každý atóm obsahuje minimálne jeden kladný a jeden záporný náboj, musí sa dej zvaný polarizácia objaviť vždy u všetkých látok i skupenstvách látok, je prítomné elektrické pole. Látky pozostávajú z rôznych elementárnych častíc a majú rôznu skladbu a štruktúru. Preto ani polarizácia nemôže vždy prebiehať tým istým spôsobom (Pintér, 2010).

(Vachek, 1999) uvádza definíciu podľa ktorej je „Relatívna permitivita z materiálu za daných podmienok miera, do akej miery sa sústreďuje elektrostatické línie toku . To je pomer množstvu uloženej elektrickej energie pri použití napätia, v pomere k uchovávaným vákua, podobne, to je pomer kapacita kondenzátora pomocou tohto materiálu ako dielektrikum, v porovnaní s podobným kondenzátor, ktorý má vákuum ako jeho dielektrikum. Relatívna statická permitivita je rovnaká ako relatívna permitivita hodnotená frekvencie nuly”.

Iné požiadavky pre relatívnu permitivitu sú dielektrickou konštantou, alebo relatívnou dielektrickou konštantou. Tieto termíny, zatiaľ čo oni zostanú veľmi bežné, sú nejasné a boli zastarané niektorými organizáciami štandardov. Dôvodom pre prípadné nejasnosti je dvojaký. Po prvé, niektorí starší autori použili "dielektrikum" alebo "absolútna permitivita". Po druhé, zatiaľ čo vo väčšine moderných použití "dielektrikum" sa odkazuje na relatívnu permitivitu, môže to byť buď statické, alebo frekvenciou –závislá relatívna permitivita v závislosti od kontextu. Relatívna permitivita je nekonečne komplexné číslo.

1. 4 Hustota a vlhkosť

1. 4. 1 Hustota

Definícia hustoty

Hustota látok – sa označuje gréckym písmenom ρ homogénnej látky a je definovaná ako pomer jej hmotnosti m ku objemu V , ktorý látka zaberá. Vyjadruje vlastnosť látky danú zložením a nezávisí od miesta merania, iba od jeho fyzikálnych podmienok.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Jednotkou hustoty je $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$.

Normálna hustota je hustota meraná za normálnych podmienok, tj. normálneho tlaku $p_0 = 101325 \text{ Pa}$ a normálnej teploty $t_0 = 0^\circ\text{C}$.

Vzťah $\rho = \frac{m}{V}$ je na výpočet hustoty látky priamo použiteľný za predpokladu znalosti hmotnosti telesa a jeho objemu. Z dôvodu malej presnosti sa však v praxi využíva veľmi málo.

V dôsledku chýb merania objemu (chyba stanovenia hmotnosti je aj pri bežných váženíach väčšinou menšia ako 0,1%) sa priame určenie objemu nahradzuje obvykle druhým vážením. Prakticky môžeme stanoviť hustotu látok vo všetkých troch skupenstvách – tuhom (s), kvapalnom (l) i plynnom (g).

Pre meranie hustoty tuhých látok možno použiť nasledujúce metódy:

- metóda vážením
- metóda pyknometrická
- metóda hydrostatická (uvedená principiálne)
- metóda rovnakých hustôt (uvedená principiálne)

Hustota kvapalín ρ_k sa najčastejšie stanovuje:

- pyknometrickou metódou
- pomocou ponorného telieska - Mohrove (Archimedove) váhy (vztlaková metóda)
- hustomerom (vztlaková metóda)

Meranie hustoty plyných látok sa najčastejšie stanovuje pomocou

- pyknometrickej metódy
- plynových váh
- efuziometra – z doby výtoku rovnakých objemov plynov
(<http://sk.wikipedia.org/wiki/Hustota>).

1. 4. 2 Vlhkosť

Pôsobenie vlhkosti a vody má mimoriadny účinok na pôsobenie dielektrických vlastností. Hlavným zdrojom vlhkosti je obyčajne atmosféra, v ktorej sa izolant nachádza.

Absolútna vlhkosť v objemových jednotkách je množstvo vody v danom objeme vzduchu. Medzi najčastejšie jednotky sú gramy na kubický meter, aj keď nejaké masové jednotky a všetky objemové jednotky by mohli byť použité. Ak sú všetky vody v jednom kubickom metri vzduchu boli potláčané do kontajnera, kontajner mohol byť zväžit' určit' absolútna vlhkosť. Množstvo vodnej pary vo vzduchu, že kocka je absolútna vlhkosť, ktorá kubický meter vzduchu. Viac technicky, absolútnej vlhkosti v objemových jednotkách je množstvo rozpusteného vodnej pary, m_w , na meter kubický celkom vlhkého vzduchu, V_{net} . Absolútna vlhkosť sa pohybuje od 0 gramov na meter kubický v suchom vzduchu až 30 gramov na kubický meter (0,03 oz na kubickú stopu), keď je tlak nasýtených pár pri teplote 30 ° C.

Relatívna vlhkosť je definovaná ako pomer parciálneho tlaku vodnej pary (v plynnej zmesi vzduchu a vodnej pary), aby tlak nasýtených pár vody pri danej teplote. Inými slovami, relatívna vlhkosť vzduchu je množstvo vodnej pary, ktorá je vo vzduchu pri určitej teplote v porovnaní s maximálne množstvo vodnej pary, ktoré konkrétne teplota je schopný držať bez vody kondenzácie.

Merná vlhkosť je pomer vodnej pary do ovzdušia (vrátane vodnej pary a suchého vzduchu) v určitej hmotnosti. Merná vlhkosť pomer sa vyjadruje ako pomer kilogramov vodnej pary, m_w , na kilogram celkového vzduchu vlhký m_t . (<http://www.vies.sk/vlhkost>).

2 CIEĽ PRÁCE

Hlavným cieľom tejto bakalárskej práce bolo čo najpresnejšie zmerať údaje o dielektrických vlastnostiach celozrnnej múky v laboratórnych podmienkach. Medzi tieto vlastnosti patria najmä vlhkosť ω , relatívna permitivita ϵ_r a hustota ρ . Zmeriame závislosť celozrnnej múky od frekvencie, ktorá sa pohybuje v rozsahu od 1 MHz až po 10 MHz. Ďalej budeme sledovať závislosť relatívnej permitivity od vlhkosti tejto vzorky. Namerané hodnoty zapíšeme do tabuliek a vypočítame vlhkosť, hustotu a relatívnu permitivitu. Z výsledkom zhodnotíme ich oblasť využitia či už použitia v poľnohospodárskej technike, pri nových metódach, alebo iných ďalších praktických aplikácii použiteľných s touto metódou.

3 METODIKA PRÁCE

3.1 Charakteristika použitého materiálu

Celozrnná múka je výrobok z pšenice. Pšeničné múky delíme podľa celozrnnosti na :

- Pšeničná celozrnná múka hladká
- Špaldová celozrnná múka hrubá
- Ražná celozrnná múka hladká

Pšeničná celozrnná múka je vhodná na pečenie koláčov, chleba, rôzneho pečiva, zákuskov a zahusťovanie pokrmov. Celozrnná múka je chuťovo výraznejšia ako biela múka, farba pečiva je prirodzene tmavšia, cesto je tuhšie.

Špaldová múka je bohatá na bielkoviny s vysokým obsahom lepku, je vynikajúca na pečenie. V celozrnnnej špaldovej múke zostávajú zachované všetky cenné zložky, charakterizujúce pšenicu špaldovú. Múka bohatá na bielkoviny s vysokým obsahom lepku je vynikajúca na pečenie a priame použitie v domácnosti namiesto klasickej múky. Pôžitok z jedla zvyčajne je jemne oriešková chuť špaldy. Je výborná na prípravu chleba, na pečenie koláčov a rôznych keksíkov. Môže sa tiež používať na prípravu halušiek.

Ražná múka sa už oddávna používala na pečenie chleba. Chlieb z ražnej celozrnnnej múky má prirodzene dlhšiu trvanlivosť. Okrem pečenia chleba sa ražná múka výborne hodí na pečenie perníkov, zahusťovanie polievok, obilné placky a kaše.

Výrobky z celozrnnnej múky sú sýtejšie a trvanlivejšie ako z bežnej múky. Obsahujú viac vitamínov B, viac minerálnych látok, sú vynikajúcim zdrojom sacharidov a bielkovín.

3.2 Charakteristika použitých meracích prístrojov a zariadení

Použité prístroje a zariadenia :

- meranie dielektrických vlastností celozrnnnej múky budene realizovať na školskom laboratórnom meracom prístroji TESLA Q-meter BM 560, pomocou použitia rezonančnej metódy. Frekvenčný rozsah meracieho prístroja je od 50 kHz až do 50 MHz.

- koaxiálny kondenzátor : - objem 100cm³
 - priemery : -vonkajšia elektróda = 80 mm
 - vnútorná elektróda = 16 mm
 - vyrobený z mosadze

- sklenená odmerka : - maximálny objem 250 ml
 - vyrobená zo skla

- laboratórna váha : - presnosť $\pm 0,1$ g

- laboratórna miska : - hmotnosť 107,5g $\pm 3\%$

- laboratórna sušička : -s vlastnou reguláciou nastavovacej teploty

- chladiaci box

3.3 Charakteristika postupu merania

Pri meraní dielektrických vlastností celozrnnej múky sme použili TESLA Q-meter BM 560 a pripojili sme k nemu vhodnú indukčnosť cievky (L6-L10). Do meracieho kondenzátora sme nasypali obsah 100 cm³ celozrnnej múky. Následne sme si nastavili frekvenciu pri ktorej sme merali daný materiál. Frekvenčný rozsah sme nastavovali 1 MHz odčítame hodnotu kapacity C₁ následne pripojíme merací kondenzátor na Q-meter a odčítame hodnotu kapacity C₂. Následne sme zvyšovali frekvenciu o 1 MHz a znovu sme odčítali obe kapacity. Takto sme zvyšovali frekvenciu po 10 MHz. Vykonali sme 10 meraní.

Po ukončení všetkých meraní je potrebné vypočítať kapacitu merného kondenzátora podľa vzťahu :

$$C = C_1 - C_2, F$$

Kde : C - kapacita merného kondenzátora

C₁ - kapacita kondenzátora bez záťaže

C₂ - kapacita kondenzátora so záťažou

Relatívnu permitivitu vypočítame podľa vzťahu :

$$\epsilon_r = \frac{C - C_x}{C_0}$$

kde:

ϵ_r – relatívna permitivita

C – kapacita vypočítaného kondenzátora, F

C_x – kapacita spojovacích vodičov, F

C₀ – kapacita merného kondenzátora bez spojovacích vodičov, F

Hodnoty C_x a C_0 už boli v minulosti určené pri testovaní kondenzátora.

Pre výpočet vlhkosti bolo potrebné vzorku vysušiť v sušičke, aby sme dostali hmotnosť m_2 . Potom sme následne vedeli vypočítať vlhkosť vzorky. Vzťah pre výpočet vlhkosti vzorky:

$$\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \%$$

kde: ω - je vlhkosť vzorky, %

m_1 = hmotnosť vlhkej vzorky, kg

m_2 = hmotnosť vysušenej vzorky, kg

Konštanta 100 sa dáva preto aby nám vyšla vlhkosť v percentách.

Pre výpočet hustoty objemu vzorky musíme poznať hmotnosť vlhkej vzorky. Vzťah pre výpočet hustoty vzorky :

$$\rho = \frac{m_1}{V}$$

Vzorový výpočet pre hodnotu kapacity C :

- pre frekvenciu 1 MHz : $C = C_1 - C_2 = 198,1 - 181,6 = 16,5$ pF

Vzorový výpočet pre hodnotu relatívnej permitivity ϵ_r :

- pre frekvenciu 1 MHz : $\epsilon_r = \frac{16,5 - 12,59}{1,22} = 3,20492$

Vzorový výpočet pre hodnotu vlhkosti ω :

pre jedno meranie : $\omega = \frac{53,9 - 48}{53,9} \times 100 = 10,9462$ %

Vzorový výpočet pre hodnotu hustoty ρ :

- pre jedno meranie : $\rho = \frac{0,539}{0,0001} = 539 \text{ kg } m^{-3}$

4 VÝSLEDKY PRÁCE

Všetky merania boli zmerané v laboratórnych podmienkach a následne zapísané do tabuliek. Urobili sme štyri merania a každé meranie bolo zapísané do tabuľky. Následne sme vypočítali relatívnu permitivitu, hustotu a vlhkosť celozrnej múky. Hodnoty relatívnej permitivity sa pohybujú v rozmedzí 2,5 – 4 pri frekvenciách 1 – 10 MHz.

Z grafov 1 - 4 následne vidíme závislosť relatívnej permitivity od frekvencie. Ďalej sme zistili závislosť vlhkosti od relatívnej permitivity pri rôznych frekvenciách. Z grafu je zrejmé že relatívna permitivita od 1MHz po 6 MHz klesá. Potom následným zvyšovaním frekvencie sa relatívna permitivita zvyšuje. To by malo znamenať že nastavovaním ďalších frekvencií by sa mala relatívna permitivita mala mať striedavý charakter.

Tabuľka č.1

Namerané a vypočítané hodnoty pre relatívnej permitivity ϵ_r , sypnú hmotnosť

$\rho=539 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a relatívnu vlhkosť $\omega=10,946\%$.

Označenie cievky	f [MHz]	C ₁ [pF]	C ₂ [pF]	C [pF]	ϵ_r
L6	1	198,1	181,6	16,5	3,205
L7	2	165,8	149,5	16,3	3,041
	3	71,4	55,1	16,4	3,123
L8	4	113,8	97,5	16,3	3,041
	5	72,2	55,8	16,4	3,123
L9	6	116,6	100,4	16,2	2,959
	7	80,5	64,3	16,2	2,959
	8	61,1	44,8	16,3	3,041
	9	47,2	30,8	16,4	3,123
	10	37,6	20,6	17,0	3,615

Podmienky pri ktorých sa meranie uskutočnilo :

Vlhkosť prostredia – 69%

Teplota prostredia -21°C

Tlak atmosféry - 1007 hPa

Materiál vzorky – celozrnná múka

Tabuľka č.2

Namerané a vypočítané hodnoty pre relatívnej permitivity ϵ_r , sypnú hmotnosť

$\rho=543 \text{ kg. m}^{-3}$ a relatívnu vlhkosť $\omega=11,602\%$.

Označenie cievky	f [MHz]	C ₁ [pF]	C ₂ [pF]	C [pF]	ϵ_r
L6	1	198,6	181,6	17,0	3,615
L7	2	165,5	148,9	16,6	3,287
	3	71,45	54,6	16,85	3,492
L8	4	113,95	97,15	16,8	3,451
	5	72,15	55,3	16,85	3,492
L9	6	116,25	99,7	16,55	3,246
	7	80,6	64,05	16,55	3,246
	8	61,05	44,5	16,55	3,246
L10	9	189,6	173,0	16,6	3,287
	10	155,7	138,9	16,8	3,451

Podmienky pri ktorých sa meranie uskutočnilo :

Vlhkosť prostredia – 70%

Teplota prostredia -22°C

Tlak atmosféry - 1008 hPa

Materiál vzorky – celozrnná múka

Tabuľka č.3

Namerané a vypočítané hodnoty pre relatívnej permitivity ϵ_r , sypnú hmotnosť

$\rho=577 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a relatívnu vlhkosť $\omega=12,652\%$.

Označenie cievky	f [MHz]	C ₁ [pF]	C ₂ [pF]	C [pF]	ϵ_r
L6	1	198,8	182,5	16,3	3,041
L7	2	165,70	149,55	16,15	2,918
	3	71,2	55,4	15,8	2,631
L8	4	113,6	97,9	15,9	2,713
	5	72,35	56,3	16,05	2,836
L9	6	116,5	100,5	16,00	2,795
	7	80,5	64,2	16,3	3,040
	8	61,15	45,1	16,05	2,836
L10	9	189,85	174,1	15,75	2,590
	10	155,45	139,55	15,9	2,713

Podmienky pri ktorých sa meranie uskutočnilo :

Vlhkosť prostredia – 69%

Teplota prostredia -21°C

Tlak atmosféry - 1007 hPa

Materiál vzorky – celozrnná múka

Tabuľka č.4

Namerané a vypočítané hodnoty pre relatívnej permitivity ϵ_r , sypnú hmotnosť

$\rho=556 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a relatívnu vlhkosť $\omega=13,489\%$.

Označenie cievky	f [MHz]	C ₁ [pF]	C ₂ [pF]	C [pF]	ϵ_r
L6	1	199,1	182,0	17,1	3,697
L7	2	166,15	148,9	17,25	3,820
	3	71,2	54,1	17,1	3,697
L8	4	113,8	96,9	16,9	3,533
	5	72,15	55,4	16,75	3,410
L9	6	116,6	99,8	16,8	3,451
	7	80,6	63,9	16,7	3,369
	8	61,2	44,3	16,9	3,533
L10	9	189,95	173,25	16,7	3,369
	10	155,45	138,75	16,7	3,369

Podmienky pri ktorých sa meranie uskutočnilo :

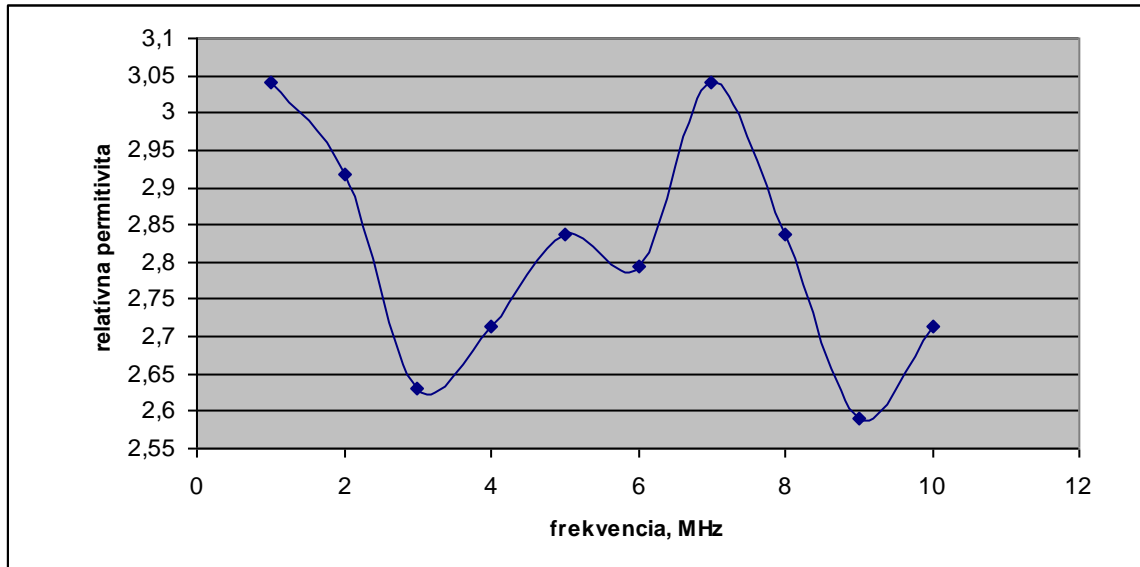
Vlhkosť prostredia – 69%

Teplota prostredia -20°C

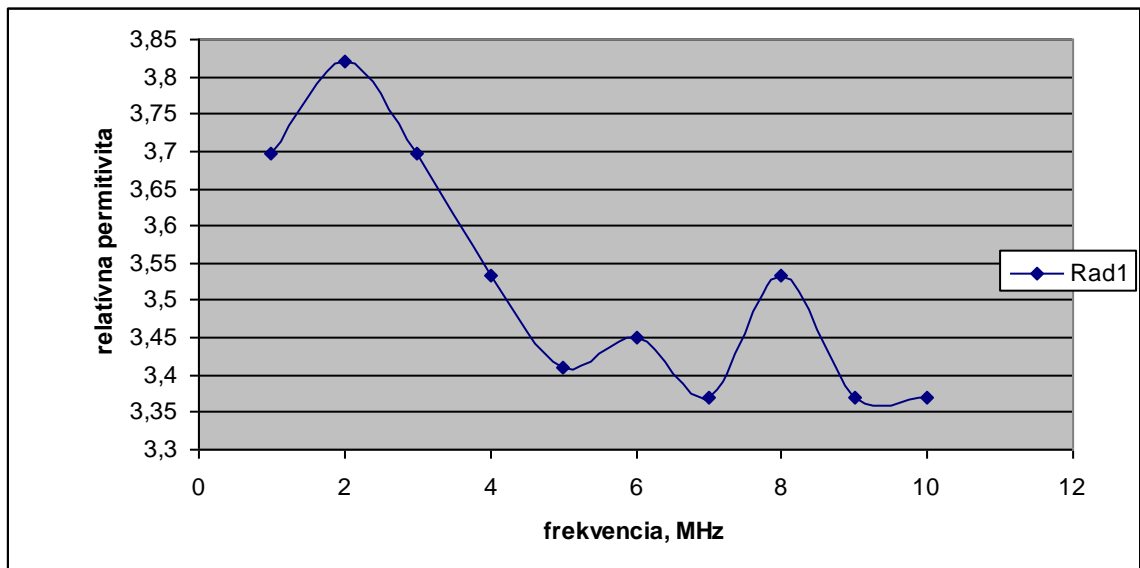
Tlak atmosféry - 1006 hPa

Materiál vzorky – celozrnná múka

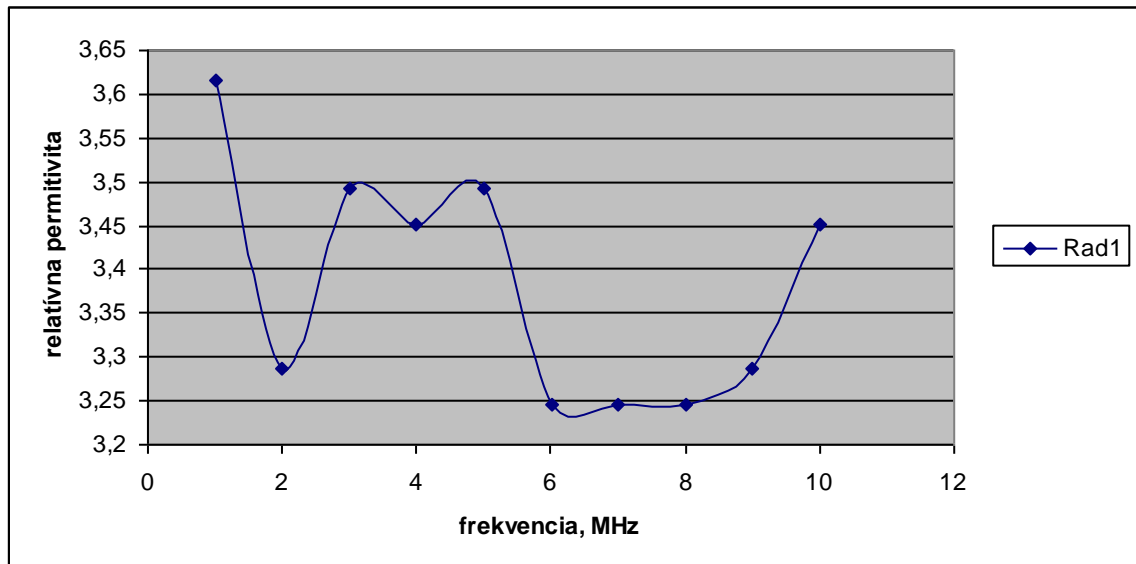
Graf č.1 : Grafické znázornenie závislosti frekvencia a relatívnej permitivity ϵ_r celozrnnej múky pre vlhkosť $\omega = 10,9462$



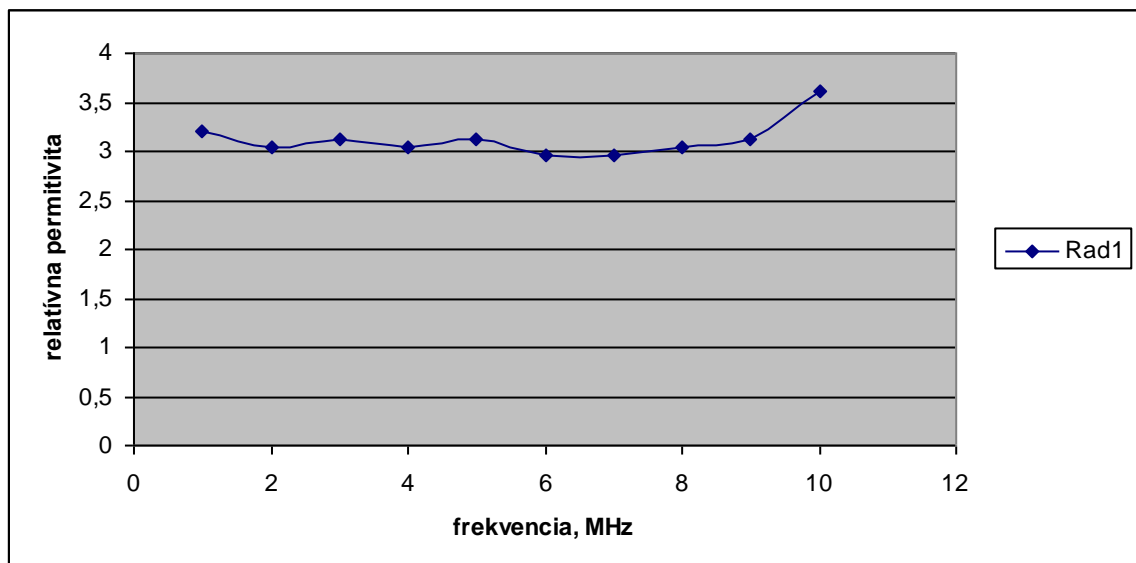
Graf č.2 : Grafické znázornenie závislosti frekvencia a relatívnej permitivity ϵ_r celozrnnej múky pre vlhkosť $\omega = 11,6022$



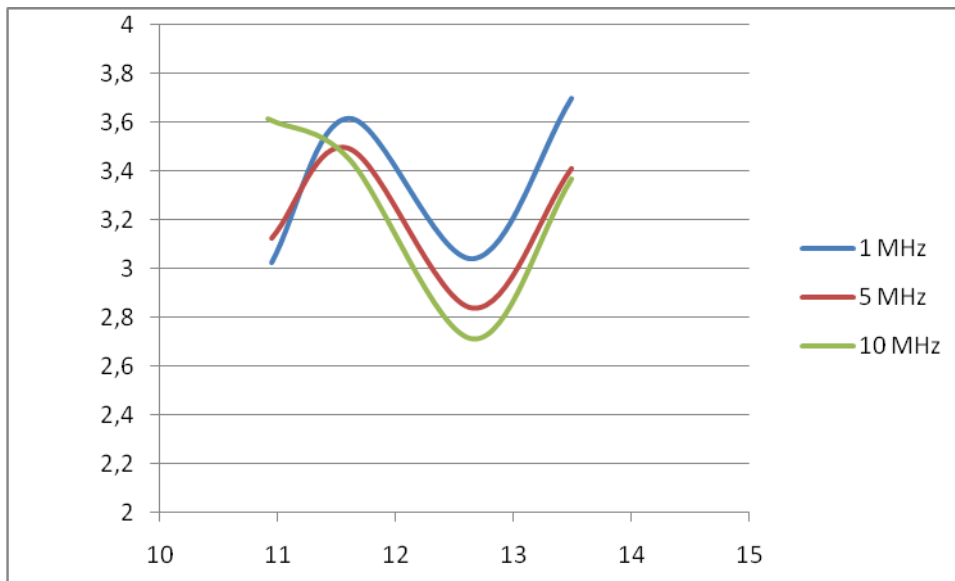
Graf č.3 : Grafické znázornenie závislosti frekvencia a relatívnej permitivity ϵ_r celozrnnej múky pre vlhkosť $\omega = 13,4892$



Graf č.4 : Grafické znázornenie závislosti frekvencia a relatívnej permitivity ϵ_r celozrnnej múky pre vlhkosť $\omega = 12,652$



Graf č.5 : Grafické znázornenie vlhkosti od relatívnej permitivity pri frekvenciách 1, 5 a 10 MHz



Z grafov č.1-4 vyplýva že najprv nám relatívna permitivita klesá od frekvencie 1 MHz po 6MHz a následným zväčšovaním frekvencie nám relatívna permitivita stúpa.

Z grafu č.5 vyplýva že vlhkosť nemá vplyv na relatívnu permitivitu.

5 ZÁVER

Cieľom tejto bakalárske práce bolo zmerať dielektrické vlastnosti celozrnej múky. Ak poznáme dielektrické vlastnosti daného materiálu budeme vedieť ako sa bude materiál chovať v elektrickom poli.

Merali sme relatívnu permitivitu v závislosti od frekvencie elektrického poľa, vlhkosť v závislosti od relatívnej permitivity. Prístroj pomocou ktorého sme merali TESLA Q-meter BM 560 v rozsahu frekvencií 1 MHz – 10 MHz. Danými meraniami sme zistili, že medzi nimi existuje závislosť. Zvyšovaním frekvencie nám najprv relatívna permitivita klesala a od frekvencie 6-7 MHz nám relatívna permitivita stúpala. V závislosti vlhkosti a relatívnej permitivity sme zistili že vlhkosť nemá vplyv na meranie. Zistili sme že prítomnosť vody má vplyv na meranie a že vlhkosť má značný vplyv na meranie permitivity. Dôvodom je aj to že permitivita vody je niekoľkonásobne väčšia ako permitivita celozrnej múky.

Laboratórne meranie sa uskutočňovalo v laboratóriu, kde sme sa snažili vyhovieť podmienkam, ktoré sú uvedené v normách STN (vlhkosť, teplota, tlak) . Všetky tieto faktory mali vplyv na meranie, preto sme sa snažili tieto faktory čo najviac zminimalizovať a odstrániť. Namerané výsledky sme dosadili do vzorcov a vypočítali sme vlhkosť, hustotu, a relatívnu permitivitu daného prvku.

Meraním sa potvrdilo tvrdenie Nelsona, že parametre elektrických vlastností materiálov sú závislé od frekvencie elektrického poľa. Zistili sme, že existuje závislosť medzi frekvenciou elektrického poľa a relatívnej permitivity, pri konštantnej vlhkosti celozrnej múky. Pri frekvenciách od 1MHz do frekvencie 6 MHz nám relatívna permitivita klesala. Následným zväčšovaním frekvencie od 6-7 MHz do 10 MHz nám relatívna permitivita stúpala.

Poznatky, ktoré sme získali pri meraní dielektrických vlastností sú veľmi dôležité z hľadiska poľnohospodárskej techniky, pretože podobne ako celozrnná múka vyrobená zo pšenice patria do tejto skupiny aj iné poľnohospodárske produkty, ako sú napríklad sójové bôby, sezam, a rôzne iné . Vedomosti, ktoré sme získali pri našom meraní sú vhodné pre určenie zberu s prípadným následným uskladnením alebo výrobou poľnohospodárskych produktov.

Všetky tieto zistené údaje môžu byť publikované a využité ako učebná pomôcka na či už na prednáškach alebo cvičeniach rôznych predmetov a tiež pri zhotovovaní podobných prác s odbornou tematikou.

6 LITERATÚRA A PRAMENE

FUKA, JOSEF – HAVELKA, BELDŘICH. 1995. *Elektrina a magnetizmus*. Praha : Štátne pedagogické nakladateľstvo, 1995. 656 s. ISBN 14-702-79.

HEISENBERG, WERNER. 2000. *Fyzika a filosofie*. Praha : FINIDR, 2000. 80 s. ISBN 80-85-974-91-6.

HORVÁTHOVÁ, VIERA – KUBIČKOVÁ, KATARÍNA – MALOVCOVÁ – JANA. 2009. *Hodnotenie pekárskeho vlastností pšeničnej múky*. Trnava : Univerzita sv. Cyrila a Metoda, 2009. 13 s.

ILAVSKÝ, PETER. 2006. *Fyzikálne vlastnosti obilnín a múk*. Seminárna práca. Nitra : SPU, 2006. 2-12 s.

KARLSON, PAUL. 1996. *Fyzika a ty*. Bratislava : ALFA, 1996. 284 s. ISBN 63-108-76.

KREMPASKÝ, JÚLIUS. 1982. *Fyzika*. Praha : nakladateľstvo technickej literatúry, 1982. 749 s. ISBN 063- 580- 87.

LANDAU, L.D – KITAJGOROSKIJ, A.I. 1986. *Fyzika pre každého*. Bratislava : Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1986. 420 s. ISBN 63-058-66.

NOVÁK, JÁN. 2009. *Fyzikálne vlastnosti biologických materiálov*. Dizertačná práca. Nitra : MF SPU, 2009. 24 s.

PINTER, MICHAL. 2010. *Meranie elektrických vlastností biologických materiálov : diplomová práca*. Nitra : SPU, 2010. 60 s.

POLJAK F. 1983. *Dielektriká, izolanty*. 1. vyd., Bratislava: Alfa, 1999. 67 s. ISBN 45-678- 445.

VACHEK, JAROSLAV. 1999. *Fyzika*. Bratislava : Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1999. 324 s. ISBN 67-445-79.

Internet :

Dielektrikum. 2011 [online] : Dostupné na: < <http://sk.wikipedia.org/wiki/Dielektrikum>>.

Hustota. 2011[online] : Dostupné na: < <http://sk.wikipedia.org/wiki/Hustota>>.

Vlhkosť. 2011 [online] : Dostupné na: <<http://www.vies.sk/vlhkost/>>.

Ražná celozrnná múka bio . 2011 [online] : Dostupné na: < <http://www.naturshop.sk/product/razna-celozrnn-muka-bio-1-kg-945/>>.

Fyzika. 2011 [online] : Dostupné na: < http://kf-lin.elf.stuba.sk/~ballo/STU_online/Fyzika%20II/8%20kapitola/elstat3-3.htm >.

PRÍLOHY

Príloha 1: Laboratórna miska so vzorkou



Príloha 2 : Laboratórna sušička



Príloha 3 : Laboratórna váha



Príloha 4 : Merací kondenzátor



Príloha 5 : Sklenená odmerka



Príloha 6 : Merací prístroj TESLA Q-meter BM 560

