

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

TECHNICKÁ FAKULTA

1127459

BAKALÁRSKA PRÁCA

NITRA 2010

RICHARD VEREŠ

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE

Rektor: prof. Ing. Mikuláš Látečka, PhD.

TECHNICKÁ FAKULTA

Dekan: prof. Ing. Vladimír Kročko, CSc.

Meranie dielektrických vlastností sezamových zŕn

Bakalárska práca

Katedra fyziky

Vedúci katedry: RNDr. Vlasta Vozárová, PhD.

Vedúci práce: Mgr. Ján Novák

Richard Vereš

Nitra 2010

ABSTRAKT

Moja bakalárska práca sa zaoberá meraním dielektrických vlastností semien sezamu a zistením závislosti relatívnej permitivity od frekvencie elektrického poľa a vlhkosti. Meranie sa uskutočňovalo v školskom laboratóriu, kde boli všetky dostupné pomôcky, ktoré som pri meraní potreboval. Na meranie som použil Q meter v spojení s koaxiálnym snímačom. V určitom časovom intervale boli vykonané štyri merania s meniacimi sa vlhkosťami vzoriek a s frekvenciami v rozsahu od 1 až 16 MHz. Na základe nameraných hodnôt sme vypočítali relatívnu permitivitu a sypnú hmotnosť. Zostrojili sme tabuľky a grafy, kde vidieť rôzne zmeny pri rôznych meraniach. Všetky údaje sme vyhodnotili a teoreticky zdôvodnili. Výsledky, ktoré som meraním získal nám pomôžu pri použití dielektrického ohrevu a pri rôznych aplikáciách v oblasti poľnohospodárskej výroby.

Kľúčové slová: dielektrické vlastnosti, sezam, relatívna permitivita, sypná hmotnosť, frekvencia elektrického poľa, vlhkosť.

ABSTRACT

My thesis deals with measuring the dielectric properties of sesame seeds and finding the relative permittivity dependence on frequency of the electric field and moisture. Measurements took place in a school laboratory where all the tools that I needed to measure were available. To measure I used Q-meter in combination with a coaxial sensor. At a certain time interval, four measurements were made with varying sample moisture and frequencies rang from 1 to 16 MHz. Based on the measured values, we calculated the relative permittivity and bulk density. We drew up tables and graphs to see different changes in different measurements. All data were evaluated and theoretically justified. The results that I obtained by measurements will help us when using dielectric heating and a variety of applications in agricultural production.

Key words: dielectric properties, sesame, relative permittivity, bulk density, frequency of the electric field, moisture.

ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Podpísaný Richard Vereš, týmto čestne prehlasujem, že som predloženú bakalársku prácu na tému „Meranie dielektrických vlastností sezamových zŕn“ vypracoval samostatne, s použitím uvedenej literatúry.

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

V Nitre 3.mája 2010

RICHARD VEREŠ

POĎAKOVANIE

Touto cestou vyslovujem poďakovanie môjmu školiteľovi Mgr. Jánovi Novákovi za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej bakalárskej práce.

ZOZNAM POUŽITÝCH OZNAČENÍ

Fyzikálna veličina	Jednotka
C kapacita merného kondenzátora	F
C_1 kapacita ladiaceho kondenzátora pri rezonancii bez pripojenia merného kondenzátora	F
C_2 kapacita ladiaceho kondenzátora pri rezonancii s pripojeným merným kondenzátorom	F
C_0 kapacita merného kondenzátora bez kapacity spojovacích vodičov	F
C_x kapacita spojovacích vodičov	F
d vzájomná vzdialenosť posunutých nábojov	
E intenzita elektrického poľa	$V.m^{-1}$
ε permitivita	$F.m^{-1}$
ε_r relatívna permitivita	
ε_0 permitivita vákua	$F.m^{-1}$
ε_r^* permitivita materiálu	
ε_r' relatívna permitivita (reálna zložka)	
ε_r'' imaginárna časť komplexnej relatívnej permitivity	
ε_{r1} referenčná hodnota relatívnej permitivity	
f frekvencia elektrického poľa	Hz
f silový účinok elektrického poľa	N
j imaginárna jednotka	
k konštanta	
m_1 hmotnosť vlhkej vzorky	kg
m_2 hmotnosť suchej vzorky	kg
m_{ms} hmotnosť misky a semena	kg
m_m hmotnosť misky	kg

q	veľkosť elementárneho náboja	A.s
V	objem vzorky	cm^3
σ	konduktivita	$S.m^{-1}$
δ	stratový uhol	rad
ω	uhlová frekvencia	s^{-1}
ρ_s	sytná hmotnosť	$kg.m^{-3}$
ω	vlhkosť	%
Ca	vápnik	
Fe	železo	
χ_e	konštanta	
μ	elektrické pole	

OBSAH

1 ÚVOD.....	9
2 PREHĽAD LITERÁRNYCH POZNATKOV.....	10
2.1 Elektrické vlastnosti.....	10
2.1.1 Dielektrikum a jeho charakteristika.....	11
2.1.1.1 Klasifikácia dielektrík.....	12
2.1.1.2 Polarizácia dielektrík.....	12
2.1.1.3 Elektrická vodivosť dielektrík.....	13
2.1.1.4 Dielektrické vlastnosti materiálov.....	15
2.2 Relatívna permitivita.....	16
3 CIEĽ PRÁCE.....	18
4 METODIKA MERANIA.....	19
4.1 Charakteristika meranej vzorky.....	19
4.2 Použité prístroje a zariadenia.....	20
4.3 Charakteristika postupu merania.....	20
5 VÝSLEDKY PRÁCE.....	24
5.1 Zhodnotenie výsledkov.....	25
5.2 Výsledky meraní, výpočty a grafy.....	32
6 DISKUSIA.....	33
7 ZÁVER.....	34
8 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....	35
9 PRÍLOHY.....	37

1 ÚVOD

Znalosti elektrických vlastností poľnohospodárskych biologických materiálov sú dôležité a nevyhnutné v tejto oblasti a dobe pre skonštruovanie rôznych poľnohospodárskych strojov a zariadení. Tieto stroje sú využiteľné vo všetkých možných sférach poľnohospodárskej činnosti, ako napríklad pre orbu, sejbu, žatvu, dopravu, uskladnenie a ďalšie spracovanie takýchto komodít. Merania fyzikálnych veličín závisí od činností prebiehajúcich v biologických materiáloch, ktoré majú rôzne tepelné spracovanie. Patria sem metódy na meranie elektrických a dielektrických vlastností, ktorých presnosť a senzitivita je vysoká. Ako sa dielektrikum správa v určitom prostredí, závisí od vedomostí získané správnym meraním a sú dôležité pre použitie daného dielektrika. Fyzikálne vlastnosti sa členia na tri skupiny a to mechanické, tepelné a elektrické. Mechanické vlastnosti biologických materiálov sa využívajú pri konštruovaní strojov, zariadení a zistení mechanických porúch pri zbere, transporte a uskladnení. Pri tepelnom spracovaní sa poľnohospodárske plodiny sa môžu znehodnotiť výkyvom teploty a preto je dôležité poznať jeho tepelné vlastnosti. Elektrické vlastností plodín, zŕn a semien sú potrebné, preto ako sa materiál správa ak ho vystavíme pôsobeniu vonkajšieho elektrického poľa. Jeho ďalšie poznanie sa využíva ako indikátory pre určenie vlhkosti zŕn, zrelosti plodov, vytvorenie vlhkomerov a zariadení na dielektrický ohrev, sušenie, triedenie a dezinfekciu produkcie, na detekciu a ničenie hmyzu a zisťovanie obsahu cukru v ovocných plodoch (Hlaváčová, 1999). Preto sa v poslednej dobe venuje značný záujem o vedomosti v okruhu dielektrických vlastností biologických materiálov pri využití vysokofrekvenčnej elektrickej energie. Z tohto dôvodu sa v mojej bakalárskej práci zaoberám meraním dielektrických vlastností biologických materiálov a to presnejšie semien sezamu. Ak sa zhromaždí dostatočne veľa informácií o danom materiály, tak môžeme pochopiť ako sa sezam správa pri vystavení fyzikálnym vplyvom a určiť napríklad jeho vlhkosť. Preto medzi jeho najdôležitejšie veličiny, ktoré vplyvajú na elektrické vlastnosti sú vlhkosť a frekvencia elektrického poľa. Poznanie dielektrických vlastností biologických materiálov využívaných v poľnohospodárstve dovoľuje určenie najekonomickejších, najefektívnejších druhov využitia elektromagnetickej energie, znížiť náklady na pestovanie plodín, znížiť straty pri spracovaní a zvýšiť efektívnosť poľnohospodárskej výroby.

2 PREHĽAD LITERÁRNYCH POZNATKOV

2.1 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI

Elektrické vlastnosti zŕn, semien a iných poľnohospodárskych produktov skúmalo mnoho autorov a boli zamerané na zistenie vodivosti, odporu, permitivity a stratového čísla. Týmto výskumom sa zisťujú závislosti týchto uvedených veličín od iných veličín akými sú sytná hmotnosť, obsah vody, teplota, frekvencia pôsobiaceho elektrického poľa, rozmery, chemické zloženie, spôsob sorbcie a desorbcie vody (Nelson, 1982). Vlhkosť a frekvencia elektrického poľa sú veličiny, ktoré najviac ovplyvňujú elektrické vlastnosti semien a zŕn. Semená a zrná môžeme priradiť do skupiny izolantov a polovodičov pri rozdelení látok podľa ich elektrických vlastností v závislosti od vlhkosti. Ak sú materiály suché tak ich považujeme za izolanty a ich merný odpor sa pohybuje od $10^8 \Omega \cdot m$ až $10^{15} \Omega \cdot m$. Keď sa v nich nachádza voda resp. sú vlhké, tak patria do skupiny polovodičov s merným odporom $10^4 \Omega \cdot m$ (Blahovec, 1993). K makroskopicky nerovnorodým dielektrikám zaraďujeme súbor zŕn a semien, kde nerovnorodosť je zapríčinená tým, že v základnom materiály sa nachádza voda a vzduch v kapilárach i priestore medzi zrnom. Tým, že tieto materiály majú nerovnorodé chemické zloženie, obsahujú prímеси a znečistenia prispievajú k nerovnorodosti zŕn alebo semien. Mnohí vedci a autori skúmajú elektrické vlastnosti biologických materiálov z pohľadu kontinuálneho a diskontinuálneho určenia vlhkosti (Sembery, 1979; Nelson, 1999; Hlaváčová, 1994, 1999). Je zrejmé, že od vlhkosti materiálu závisia permitivita a taktiež vodivosť. Značné zmeny elektrických vlastností skúmaného materiálu môže vyvolať malé množstvo vody. Tieto dokázania sa využívajú pri výrobe elektrických vlhkomerov.

2.1.1 DIELEKTRIKUM A JEHO CHARAKTERISTIKA

Pojem dielektrikum zaviedol v roku 1839 Faraday vo svojej známej práci *Experimental researches in electricity* a použil ho preto, aby sa dala určiť taká látka, cez ktorú alebo pozdĺž ktorej účinkujú elektrické sily. Na jeho základe rozoznávame dva druhy látok:

- a) látky, v ktorých nosiče elektrických nábojov rôzneho znamienka a z nich je množstvo takých, ktoré nie sú medzi sebou viazané. Môžu sa premiestňovať z jedného miesta na druhé a nazývame ich vodičmi.
- b) látky, v ktorých sú nosiče elektrického náboja silne viazané. Po vložení takejto látky do elektrického poľa sa nosiče nemôžu pohybovať na väčšie vzdialenosti. Teda nemôžu celkom neutralizovať účinok vonkajšieho elektrického poľa, preto vo vnútri látky musí existovať elektrické pole. Tieto látky nazývame dielektrikami.

Vodiče ako aj reálne dielektriká sú schopné viesť elektrický prúd v rôznej miere. Ideálne dielektrikum nevedie jednosmerný elektrický prúd (neobsahuje voľné nosiče náboja alebo ich obsahuje len veľmi málo) a v tomto zmysle sa javí ako izolačná látka – izolant. Preto izolanty priraďujeme k dielektrikám, hoci z hľadiska svojej funkcie majú špecifické poslanie a to izolovať od seba dva vodiče s rôznym elektrickým potenciálom. Skupina polovodičových látok predstavuje prechod medzi izolantmi a vodičmi. K polovodičom zaraďujeme materiály, ktoré sa vyznačujú úzkymi energetickými medzerami a majú vyššiu konduktivitu v porovnaní s izolantmi. Za orientačnú hranicu medzi izolantmi a polovodičmi sa udáva spravidla šírka energetickej medzery čo súhlasí s kvantitatívnym ocenením elektrickej vodivosti týchto látok. To, či sa určitá látka správa ako vodič, polovodič alebo izolant, závisí aj od vonkajších podmienok (Poljak, 1983). Dielektrikum sa všeobecne vyznačuje malou mernou elektrickou vodivosťou. Ďalšie dôležité vlastnosti sú permitivita, stratový uhol, prierazne napätie, mechanické vlastnosti, tepelná vodivosť a iné. V elektrotechnike a elektronike sú používané ako materiál rôznych izolátorov, v kondenzátoroch, ako substrát pre dosku plošných spojov a v mnohých iných aplikáciách.

2.1.1.1 KLASIFIKÁCIA DIELEKTRÍK

Dielektriká môžeme rozdeliť podľa skupenstva na plynné, kvapalné a tuhé. Plynné dielektriká sú typické tým, že vzájomné silové pôsobenie častíc, ktoré ich tvoria je veľmi slabé. Ak by na plyny nepôsobili žiadne vonkajšie činitele, nevytvárali by sa v nich voľné nosiče elektrických nábojov. V plyne sa okrem elektricky neutrálnych častíc nachádza určité malé množstvo častíc, ktoré spôsobujú, že plyny vedú elektrický prúd. Aj za takýchto podmienok si v slabých elektrických poliach udržujú charakter dielektrika alebo izolantu. Jednotlivé častice, ktoré tvoria plyn, sú v stálom pohybe vyvolanou tepelnou energiou. Samotné molekuly plynu môžu mať charakter jednoatómových molekúl alebo sú zložené z viacerých atómov. Kvapalné dielektriká sa od plynných líšia väčšou interakciou medzi molekulami. Preto sa kvapaliny v porovnaní s plynmi vyznačujú vyššou hustotou a tepelný pohyb molekúl podlieha iným zákonitostiam. Ich premiestňovanie neprebíha spravidla spojitou, ale v podobe aktivovaných skokov. Molekuly pri nich prekonávajú potenciálové bariéry, ktorých veľkosť určuje sila väzieb medzi nimi. Okrem premiestňovania molekuly vykonávajú aj kmitavý pohyb okolo dočasných rovnovážnych polôh. Situácia sa podobá situácii v kryštáloch. Okolo ľubovoľnej molekuly, ktorá sa nachádza v dočasnej rovnovážnej polohe, vytvorí sa usporiadané rozloženie najbližších susedných molekúl, vznikne usporiadanosť „na blízko“ (Poljak, 1983). Tento typ štruktúry nazývame pseudokryštalickou alebo cybotaktickou štruktúrou. Plyny a kvapaliny môžeme rozdeľovať na nepolárne a polárne. Tuhé dielektriká sa delia na dielektriká, ktorých štruktúra sa vyznačuje stredom symetrie, a dielektriká so štruktúrou bez stredy symetrie. Tuhé amorfné látky sa často charakterizujú ako podchladené kvapaliny, v ktorých viskozita pri ochladzovaní vzrastala tak prudko, že častice látky sa nemohli preskupiť a usporiadať do pravidelného systému kryštálovej mriežky.

2.1.1.2 POLARIZÁCIA DIELEKTRÍK

Ak na ľubovoľné dielektrikum pôsobí elektrické pole, pozorujeme v ňom dve skupiny javov. Prvá skupina uvádza, že popri vonkajšom elektrickom poli, do ktorého sme vložili dielektrikum sa nachádza v jeho vnútri vždy od nuly rôzne vnútorné

elektrické pole. Jednotlivé elektrické náboje sa spolu so svojimi nosičmi, ktoré tvoria stavebné prvky látky, pod účinkom elektrického poľa premiestňovať. Premiestňovanie môže prebiehať v rámci mikroskopických a makroskopických vzdialeností vzhľadom na rozmer vzorky. Tieto javy nazývame dielektrickou polarizáciou. Druhá skupina javov je spojená s pohybom voľných nosičov náboja a nazývame ich elektrickou vodivosťou. Jav polarizácie výrazne závisí od zloženia vnútornej štruktúry dielektrika (Poljak, 1983). Zloženie a štruktúra rozhodujú o tom, na aké vzdialenosti sa náboje premiestnia a aký druh nosičov náboja sa premiestni. Základnou vlastnosťou každého dielektrika je jeho polarizovateľnosť a miera deformability jeho systému v interakcii s elektrickým poľom. Vzájomným posunutím kladných a záporných nábojov v dielektriku pod účinkom elektrického poľa vzniknú v smere poľa indukované dipólové momenty

$$\mu = q \cdot d \quad (1)$$

kde: q - veľkosť elementárneho náboja

d - vzájomná vzdialenosť posunutých nábojov.

Atómy s väčším počtom elektrónov sa budú vyznačovať vyššou hodnotou polarizovateľnosti v porovnaní s atómami s malým počtom elektrónov. Základným problémom teórie polarizácie dielektrík je stanoviť súvislosti medzi makroskopickými a mikroskopickými charakteristikami. V prvom rade je to závislosť medzi permitivitou a dipólovým momentom ľubovoľného elementárneho objemu látky. K tomu ešte pristupujú vonkajšie parametre, ako teplota, tlak, frekvencia vonkajšieho elektrického poľa atď. Dipólový moment elementárneho objemu látky je úzko zviazaný s molekulovými parametrami dielektrika.

2.1.1.3 ELEKTRICKÁ VODIVOSŤ DIELEKTRÍK

Elektrickú vodivosť považujeme všeobecne za jav, ktorý nie je príznačný pre dielektriká. Od dielektrika, ktoré má zastávať úlohu izolantu, vyžadujeme, aby pod účinkom napätia neprepúšťalo žiadny elektrický prúd. Po vložení do elektrického poľa vždy tečie nimi určitý, spravidla veľmi malý, elektrický prúd. Elektrický prúd, ktorý preteká dielektrikom, je vyvolaný elektrickým poľom, v ktorom sa nachádza

dielektrikum. Nevyhnutnou podmienkou existencie elektrického prúdu v dielektriku je prítomnosť voľných nosičov elektrického náboja v danej látke. Vo vodičoch je prítomnosť veľkého počtu voľných nosičov náboja podmienená štruktúrou látky a ich koncentrácia je porovnateľná s koncentráciou atómov. V polovodičoch a izolantoch vznik voľných nosičov náboja podmieňujú procesy vzбудenia. Ich koncentrácia je preto v porovnaní s vodičmi veľmi nízka. Silový účinok elektrického poľa na každý elektrický náboj môžeme vyjadriť vzt'ahom

$$f = q \cdot E \quad (2)$$

kde: f – silový účinok elektrického poľa, N

q – veľkosť elementárneho náboja, A.s

E – intenzita elektrického poľa, V. m^{-1}

V dielektrikách sa môžu vyskytovať viaceré druhy voľných nosičov náboja a v súvislosti s tým aj rôzne mechanizmy elektrickej vodivosti. Rozdeľujeme ich na:

- elektrónovú vodivosť, kde nosičmi náboja sú elektróny
- dierovú vodivosť, kde nosiče náboja sú nabité kladne
- iónová vodivosť, kde nosičmi sú ióny, ktoré môžu mať kladný alebo záporný náboj
- elektroforetická vodivosť, kde nosičmi náboja sú väčšie skupiny častíc

Elektrónová vodivosť sa prejavuje najmä pri kovových látkach. Iónová vodivosť je pre dielektriká príznačná a často sa vyskytuje spolu s elektroforetickou vodivosťou. Pri štúdiu javov elektrickej vodivosti nás zaujíma aj závislosť elektrického prúdu tečúceho dielektrikom od času pri konštantnom napätí. Ustálený proces elektrickej vodivosti v dielektriku prebieha súbežne s nepretržitou výmenou elektrických nábojov medzi dielektrikom a elektródami. V slabých elektrických poliach elektrickú vodivosť plynov spôsobuje pohyb voľných nosičov elektrického náboja, ktorých existencia a množstvo závisia od vonkajších ionizačných činiteľov (Poljak, 1983). Sú to rôzne druhy žiarení. Ak sa plyn nenachádza v elektrickom poli, v jeho objeme prebiehajú súčasne dva deje a to, ionizácia a rekombinácia. Elektrická vodivosť kvapalín súvisí so štruktúrou látky, so štruktúrou, charakterom a množstvom prímiesí, príp. nečistôt. V nepolárnych a polárnych dielektrikách je elektrická vodivosť podmienená predovšetkým prímiesami. Ak dielektrikum má výrazne vyššiu permitivitu, je potom citlivé na množstvo prímiesí,

ktoré významne zvyšujú koncentráciu voľných nosičov elektrického náboja a v dôsledku toho aj vodivosť. Ak na kvapalinu nepôsobí elektrické pole, aktivované molekuly sa kvapaline pohybujú postupným chaotickým pohybom. V tuhých dielektrikách sa môže vyskytovať iónová a elektrónová vodivosť. Konduktivita tuhých dielektrík sa všeobecne s ich rastúcou teplotou zvyšuje.

2.1.1.4 DIELEKTRICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLOV

Pre opis dielektrických vlastností materiálov sa zavádzajú materiálové veličiny: permitivita ϵ , ktorá vyjadruje elektrickú polarizačnú schopnosť materiálu a konduktivita σ , ktorá vyjadruje ohmické straty v materiáli. Obidve veličiny ϵ a σ spolu s permeabilitou μ úplne charakterizujú elektrické a magnetické vlastnosti materiálov. Nazývajú sa materiálové konštanty. Popri permitivitve ϵ sa zavádza relatívna permitivita

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (3)$$

kde $\epsilon_0 = 1/(\mu_0 c^2) = 8,854\ 187\ 818 \cdot 10^{-12}$ F/m je elektrická konštanta (približne aj permitivita vzduchu). Pre stratové vlastnosti materiálov sa zavádza stratový uhol δ daný výrazom

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \quad (4)$$

(ω je uhlová frekvencia aplikovaného elektrického poľa). Popri veličinách ϵ_r a $\operatorname{tg} \delta$ sa zavádza komplexná permitivita materiálu

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r (1 - j \operatorname{tg} \delta) = \epsilon_r' - j \epsilon_r'' \quad (5)$$

Materiály s malými stratovými uhlami sa hojne používajú v elektronických zariadeniach v celom spektre používaných frekvencií ako elektrické izolátory na upevnenie vodivých súčastí, pri výrobe kondenzátorov a koaxiálnych vedení, ako súčastí fázových

posúvačov, ako žiariče (dielektrické antény), dielektrické vlnovody a v mnohých iných aplikáciách. Prostredia s rôznymi elektrickými vlastnosťami rozlične vplývajú na prenos vysokofrekvenčnej elektromagnetickej energie. Materiálové konštanty prostredia pri danej frekvencii určujú dĺžku vlny elektromagnetického signálu v ňom, fázovú a grupovú rýchlosť, útlm a pod., takže ich znalosť je v praxi veľmi potrebná. Merania dielektrických vlastností materiálov sa robia v celom pásme rádiových frekvencií a v mikrovlnnej oblasti až po infračervenú oblasť, pretože tieto vlastnosti sú pri rôznych frekvenciách rozličné. Údaje o dielektrických vlastnostiach biologických materiálov sa využívajú v rôznych aplikáciách aj v poľnohospodárstve. Napríklad znalosť dielektrických vlastností obilnín je dôležitá pre meranie vlhkosti pomocou kapacitných vlhkomerov.

2.2 RELATÍVNA PERMITIVITA

Permitivita (relatívna permitivita) sa používa na vyjadrenie schopnosti materiálu hromadiť elektrický náboj. Hromadenie náboja je dôsledkom polarizácie materiálu t.j. pohybu viazaných elektrických nábojov v elektrickom poli. Označuje sa písmenom ϵ s indexom r pre relatívnu permitivitu. Uvádza sa aj ako dielektrická konštanta látky, ale z fyzikálneho pohľadu to nie je celkom presné z dôvodu, že relatívna permitivita závisí od rôznych fyzikálnych činiteľov, napríklad od frekvencie (Fuka, Havelka). Práve preto je lepšie označovať permitivitu ako relatívna permitivita. Vyjadruje, o koľko sa zmenší elektrická sila, že telesá s elektrickým nábojom sú umiestnené namiesto vákuu v látkovom prostredí, alebo o koľko sa kapacita kondenzátora zväčší, ak sa medzi elektródy umiestni dielektrikum. Permitivita sa zisťuje ako pomer kapacity meracieho kondenzátora, ktorého elektródový priestor je vyplnený meraným materiálom a kapacity toho istého kondenzátora bez vloženého materiálu, vo vákuu. Pri praktických meraniach možno meranie vo vákuu s dostatočnou presnosťou nahradiť meraním vo vzduchu, pretože relatívna permitivita vzduchu má pri normálnom atmosférickom tlaku hodnotu veľmi blízku jednotke (1,00053). Ak je veličina χ_e konštantou, tak veličina ϵ je nezávislá na intenzite elektrického poľa. Parametre dielektrických vlastností materiálov sú od frekvencie elektrického poľa závislé (Nelson, 1991). Závislosť ϵ_r od frekvencie sa narastaním frekvencie buď znižuje, alebo má približne konštantnú hodnotu. Na

základe zistení mnohých autorov (Torosjan 1972, Nelson 1976), sa dá povedať, že permitivita obilnín sa nemení, alebo klesá v závislosti od frekvencie, pričom je závislá od vlhkosti. Relatívna permitivita a tangens stratového uhla (stratový činiteľ) sú dôležité materiálové parametre, ktoré reprezentujú polarizačné mikroprocesy v látke. ϵ_r prostredia je definovaná ako podiel permitivity prostredia ϵ a permitivity vákuu ϵ_0 podľa vzťahu (3). Relatívnu permitivitu ϵ_r môžeme určiť ako podiel kapacity kondenzátora C , ktorého elektródy sú v priestore úplne vyplnenom príslušným izolačným materiálom a kapacity rovnako usporiadaných elektród vo vákuu C_0

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (6)$$

Ak medzi elektródy bezstratového kondenzátora vložíme dielektrikum tak, že úplne vyplní priestor medzi elektródami, zväčší sa podľa vzťahu jeho kapacita na hodnotu

$$C = \epsilon_r \cdot C_0 \quad (7)$$

teda ϵ_r - krát. Pre určenie relatívnej permitivity ϵ_r využívame práve túto zmenu kapacity.

Pri meraní permitivity sa nemôže použiť priama metóda a preto je dôležitý vhodný výber elektródového systému a meracieho zariadenia. Elektródový systém závisí od skupenstva a tvaru meraného objektu. Používajú sa dva druhy elektródových systémov: kontaktné a bezkontaktné. Vo frekvenčnej oblasti na meranie permitivity možno použiť všetky metódy určené na meranie impedancií resp. admitancií. Praktické spôsoby merania možno zhrnúť do dvoch kategórií na mŕstikové metódy merania, v oblasti stredných frekvencií a metódy založené na priamom využití Ohmovho zákona resp. výpočet impedancie z hodnôt napätia a prúdu. Ďalej sa využíva aj rezonančná metóda, ktorá sa využíva pri vysokých frekvenciách a ktorú pre meranie dielektrických vlastností zrn zhotovil Nelson a ďalší.

3 CIEĽ PRÁCE

Cieľom tejto bakalárskej práce je čo najpresnejšie vykonať merania dielektrických vlastností vzoriek sezamových semien v laboratórnych podmienkach, ktoré v minulosti neboli dostatočne preskúmané. Zmeriame závislosť frekvencie elektrického poľa pri rôznych rozsahoch od vlhkosti semena. Namerané údaje sa zaznamenajú do tabuliek a vypočíta sa relatívna permitivita ϵ_r , sypná hmotnosť ρ_s a vlhkosť ω . Následne zistíme závislosť relatívnej permitivity od frekvencie elektrického poľa vyhotovením grafov. Prácu vyhodnotíme a udáme možnosti ich praktického využitia v rôznych poľnohospodárskych odvetviach ako aj pri zavedení nových metód, procesov a zariadení do výroby.

4 METODIKA MERANIA

4.1 CHARAKTERISTIKA MERANEJ VZORKY

Sezamové semeno (*Sesamum indicum*) pochádza z tropickej jednoročnej rastliny a jej pôvod je z Afriky približne pred 5000 rokmi. Dorastá do výšky 80-200 cm s kvetmi bielej až ružovej farby. Plody obsahujú malé, žltohnedé, 2 mm dlhé semiačka. Patrí medzi najstaršie koreniny na svete. V súčasnosti sa pestuje v Číne, Mexiku, Barme, Indii a Sudáne. Je dokázané, že skrýva liečivé účinky (napr. tlmí vysoký krvný tlak, podporuje imunitu, proti depresii a zápche, predlžujú život). Je obľúbenou surovinou blízkovýchodnej a juhoázijskej kuchyne. Má významný obsah bielkovín a tuku, lenže neobsahuje zodpovedajúci pomer a množstvo všetkých aminokyselín, ako vo všeobecnosti rastlinné bielkoviny.

Zloženie sezamových semien:

- 57% oleja
- 21% bielkovín
- 14% sacharidov
- 8% minerálne látky (vápnik, fosfor, síra, niacin, železo, meď, mangán, horčík, draslík)

Látková stavba sezamových semien (100g):

- energia: 2670/639 (kJ/kcal)
- bielkoviny: 26,3 (g)
- tuky: 54,8 (g)
- uhľohydrát: 9,4 (g)
- vlákniny: 3 (g)
- Ca: 670 (mg)
- Fe: 10,4 (mg)
- vitamín E: 2,5 (mg)
- niacin (vitamín B3): 5 (mg)
- vitamín B1: 930 (µg)
- vitamín B2: 170 (µg)

4.2 POUŽITÉ PRÍSTROJE A ZARIADENIA

Q- meter BM-560 - je to merací prístroj, ktorý využíva sériovo rezonančný obvod

- určený k zisťovaniu vlastností vysokofrekvenčných obvodov
- je v spojení s koaxiálnym snímačom
- frekvenčný rozsah od 50kHz po 35 MHz
- materiál mosadz, permitivita od 1 do 10, kapacita na objem 100 cm^3 , priemer vonkajšej elektródy 80mm, priemer vnútornej elektródy 16mm.

Merací kondenzátor - bol špeciálne zhotovený na meranie na katedre fyziky

- vhodný na meranie vodivosti vzorky po pripojení na ohmmeter

Laboratórna sušička - so samočinnou reguláciou nastavenej teploty

Exikátor - používa sa na chladenie vysušenej vzorky

- sklená hermeticky uzavretá nádoba
- zabraňuje spätnému viazaniu vlhkosti vzorky zo vzduchom

Laboratórna váha – presnosť +/- 0,1g

4.3 CHARAKTERISTIKA POSTUPU MERANIA

Na zmeranie dielektrických vlastností sezamových zŕn sme použili rezonančnú metódu navrhnutú Nelsonom (1965), ktorá meria vo frekvenčnom pásme od 1 do 50 MHz. Bola použitá kvôli tomu že, keby použijeme mostíkovú metódu, kde frekvencia elektrického poľa je nižšia, tak chyby kapacitného mostíka by nadobudli neúnosné hodnoty. Ako merací prístroj sme použili Q- meter TESLA BM 560. Na držiak vzorky bol navrhnutý merací kondenzátor, ktorého dielektrickú časť tvoril sezam. Tento kondenzátor bol vyrobený z mosadzného materiálu s vnútorným priemerom elektródy 16mm a vnútorným priemerom vonkajšej elektródy 80mm. Obe elektródy sú uložené

v silonovom izolátore. Kondenzátor bol navrhnutý pre objem vzorky 100 cm^3 a relatívnu permitivitu od 1 do 10. Zmeraním vzorky sme chceli získať hodnotu kapacity kondenzátora a pomocou výsledkov vypočítať relatívnu permitivitu ε_r . Pred zahájením merania sme vzorku semien sezamu navlhčili a vložili do chladničky, kde pri teplote 5°C bola uložená po dobu približne 7 dní. Meranie bolo uskutočnené v rozsahu frekvencií od 1 MHz postupným zvyšovaním až po 16 MHz. Pri meraní sme nastavili hodnotu frekvencie na 1 MHz a laditeľný kondenzátor tak, aby obvod bol v rezonancii. Kapacitu kondenzátora pre danú frekvenciu sme zapísali do tabuľky a potom pripojili kondenzátor so skúmaným materiálom, ktorého objem je vždy rovnaký a hľadali sme rezonanciu. Číselná hodnota bola opäť zapísaná a výsledná kapacita kondenzátora vypočítaná podľa nasledujúceho vzťahu:

$$C = C_1 - C_2 \quad (8)$$

kde:

C - kapacita neznámeho kondenzátora so skúmanou vzorkou

C_1 - kapacita známeho ladiaceho kondenzátora pri rezonancii bez pripojenia kondenzátora

C_2 - kapacita ladiaceho kondenzátora pri rezonancii s pripojeným merným kondenzátorom so skúmaným materiálom

Keď bola vypočítaná hodnota kapacity kondenzátora, tak sme vedeli vypočítať relatívnu permitivitu sezamových semien, podľa vzťahu:

$$\varepsilon_r = \frac{C - C_x}{C_0} \quad (9)$$

kde:

ε_r - relatívna permitivita

C - vypočítaná kapacita kondenzátora zo skúmanej vzorky

C_x - kapacita spojovacích vodičov (12,59)

C_0 - kapacita kondenzátora bez vzorky a kapacity spojovacích vodičov (1,22)

Hodnoty C_x a C_0 boli zistené pri testovaní meracieho kondenzátora v predchádzajúcom výskume. Pre výpočet relatívnej vlhkosti vzoriek ω bolo potrebné vzorku vysušiť v sušičke pri teplote 102°C až 103°C po dobu 5 hodín, aby sme dostali hodnotu m_2 . Hmotnosť vzorky sme zmerali analytickými váhami. Vzťah pre výpočet relatívnej vlhkosti ω je nasledovný:

$$\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% \quad (10)$$

kde m_1 je hmotnosť vlhkej vzorky a m_2 hmotnosť sušiny. Konštanta 100% je udaná kvôli tomu, aby výsledok vyšiel v percentách.

Pre výpočet sypnej hmotnosti potrebujeme poznať hodnotu vlhkej vzorky m_1 a jeho objemu, ktorý je daný 100 cm^3 . Vypočítali sme ju podľa vzťahu:

$$\rho_s = \frac{m_1}{V}, \text{ kg.m}^{-3} \quad (11)$$

Postup merania:

- a) Odmeranie objemu vzorky 100 cm^3 v odmerke a nasýpanie ho do merného kondenzátora, kde bude tvoriť dielektrikum.
- b) Zapojenie obvodu, zapnutie Q- metra a pripojenie cievky (L6, L7, L8, L9, L10), ktoré sa pri rôznych frekvenciách menili.
- c) Zapnutie meracieho prístroja, nastavenie frekvencie 1 MHz a ladiaceho kondenzátora tak, aby bol v rezonancii.
- d) Zmeranie kapacity C_1 známeho ladiaceho kondenzátora bez pripojeného kondenzátora pre danú frekvenciu a zapísanie hodnôt do tabuľky.
- e) Pripojenie kondenzátora zo vzorkou, nastavenie rezonancie a zápis hodnôt do tabuľky.
- f) Opakovanie úkonu pre všetky frekvencie od 1 MHz po 16 MHz.
- g) Výpočet kapacity neznámeho kondenzátora C , podľa vzťahu (8) a relatívnej permitivity ε_r z nameraných údajov v tabuľke.

- h) Odváženie vlhkej vzorky m_1 :
- 1) Odváženie prázdnej misky na elektronických váhach do ktorej bola vzorka presypaná.
 - 2) Odváženie misky spolu so semenami sezamu.
 - 3) Odčítanie hmotnosti misky a semena m_{ms} od hmotnosti misky m_m a získanie hmotnosti vlhkej vzorky m_1 .
- i) Vysušenie vlhkej vzorky m_1 a odváženie hmotnosti tým istým spôsobom, kde získaná hodnota bude hmotnosť sušiny m_2 .
- j) Výpočet relatívnej vlhkosti ω a sypnej hmotnosti ρ_s z údajov vlhkej a suchej vzorky.
- k) Zostrojenie grafov závislosti relatívnej permitivity ε_r od hodnôt nastavenej frekvencie f .
- l) Vykonanie merania štyrikrát s dvojtýždňovým časovým intervalom, kde vlhkosť vzorky počas každého merania bola rozdielna.
- m) Zostrojenie grafov závislosti relatívnej permitivity ε_r od vlhkosti pri rôznych frekvenciách elektrického poľa.

Vzorový výpočet pre hodnotu kapacity C:

Pre hodnotu frekvencie 1MHz: $C = C_1 - C_2 = 199 - 183,3 = 15,7 \text{ pF}$

Vzorový výpočet pre hodnotu relatívnej permitivity ε_r :

Pre hodnotu frekvencie 1MHz: $\varepsilon_r = \frac{C - 12,59}{1,22} = \frac{15,7 - 12,59}{1,22} = 2,54$

5 VÝSLEDKY PRÁCE

5.1 ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Výsledkami práce sú namerané a vypočítané hodnoty relatívnej permitivity ε_r , sypnej hmotnosti ρ_s a relatívnej vlhkosti ω skúmaných vzoriek semien sezamu a zistené závislosti relatívnej permitivity ε_r od frekvencie elektrického poľa a relatívnej permitivity ε_r od relatívnej vlhkosti ω vzorky. Zistili sme, že vzorky majú rôzne sypné hmotnosti ρ_s , ktorá závisí od vlhkosti. Hodnoty relatívnej permitivity ε_r sa pohybujú v rozmedzí približne 1 až 8 pri frekvenciách od 1 MHz do 16 MHz a sú uvedené v tabuľkách 1 až 4. Na grafoch 1 až 4 je zobrazená závislosť frekvencie elektrického poľa od relatívnej permitivity ε_r , a na grafe 5 je závislosť vlhkosti od relatívnej permitivity pri rôznych frekvenciách elektrického poľa pre vzorku semien sezamu. Na všetkých grafoch zobrazujúcich závislosť frekvencie od relatívnej permitivity vidieť, že závislosť má klesajúci charakter. Najprv klesá prudko po frekvenciu 5MHz a pri vyšších frekvenciách je klesanie zmiernené. To znamená, že relatívna permitivita by rastúcou frekvenciou mala klesať. Uvedenú závislosť najlepšie popisuje mocninová regresná funkcia:

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{r1} \left(\frac{f}{f_1} \right)^k \quad (12)$$

kde:

ε_r - relatívna permitivita

ε_{r1} - referenčná hodnota relatívnej permitivity

f - frekvencia elektrického poľa

f_1 - 1MHz

k - konštanta

V našom meraní boli zistené chyby merania, ktoré je možné vidieť v tabuľkách 1 až 4. Následkom nich relatívna permitivita rastúcou frekvenciou len neklesá, ale

v niektorých prípadoch aj stúpa. Teda po určitú frekvenciu klesá, potom po určitú frekvenciu stúpa, znova klesá a pod. Je to spôsobené nepresnosťou merania, zlým odčítaním zo stupnice alebo chybou meracieho prístroja. Z Grafu č.5 závislosti relatívnej permitivity od relatívnej vlhkosti meranej pri štyroch rôznych frekvenciách elektrického poľa vyplýva, že relatívna permitivita narastá s rastúcou relatívnou vlhkosťou vzoriek semien sezamu. Hodnota relatívnej permitivity pri frekvencii 10 MHz sa pohybuje v rozmedzí približne 2,7 až 4,3 v závislosti od vlhkosti, ktorá bola nameraná od 4,2 po 11,9%. Môžeme skonštatovať, že nárast hodnôt relatívnej permitivity pri zvyšujúcej sa vlhkosti je skoro rovnaký pri všetkých štyroch uvedených frekvenciách. Z toho vychádza, že závislosť bola ovplyvnená chybami merania uvedenými vyššie. Ďalšími výpočtami bolo zistené, že sypná hmotnosť sa narastajúcou vlhkosťou znižuje.

5.2 VÝSLEDKY MERANÍ, VÝPOČTY A GRAFY

Tabuľka č.1: Hodnoty relatívnej permitivity a kapacity kondenzátora pri rôznych frekvenciách elektrického poľa s vlhkosťou $\omega = 4,251\%$ a sypnou hmotnosťou $\rho_s = 635 \text{ kg.m}^{-3}$ pre vzorku semien sezamu.

	$f, \text{ MHz}$	$C_1, \text{ pF}$	$C_2, \text{ pF}$	$C, \text{ pF}$	ϵ_r
L6	1	199	183,3	15,7	2,54
L7	2	165,4	149,7	15,7	2,54
L8	3	211,5	195,7	15,8	2,63
L9	4	264,6	248,5	16,1	2,87
L9	5	171,7	155,5	16,2	2,95
L10	6	116,1	100,8	15,3	2,22
L10	7	312,9	297,4	15,5	2,38
L10	8	240,7	225,6	15,1	2,05
L10	9	190,1	174,5	15,6	2,46
L10	10	155,8	139,9	15,9	2,71
L10	11	127,2	111,7	15,5	2,38
L10	12	105,1	89,9	15,2	1,39
L10	13	82,6	67,1	15,5	2,38
L10	14	72,7	57	15,7	2,54
L10	15	63,3	47,6	15,7	2,54
L10	16	54,8	39	15,8	2,63

Výpočet sypnej hmotnosti:

Hmotnosť vlhkej vzorky: $m_1 = 63,5 \text{ g}$

Objem vzorky: $V = 100 \text{ cm}^3$

Sypná hmotnosť: $\rho_s = \frac{m_1}{V} = \frac{63,5}{100} = 0,635 \text{ g.cm}^{-3} = 635 \text{ kg.m}^{-3}$

Výpočet vlhkosti:

$$\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% = \frac{63,5 - 60,8}{63,5} \cdot 100 = 4,25\%$$

Tabuľka č.2: Hodnoty relatívnej permitivity a kapacity kondenzátora pri rôznych frekvenciách elektrického poľa s vlhkosťou $\omega = 4,48 \%$ a sypnou hmotnosťou $\rho_s = 625 \text{ kg.m}^{-3}$ pre vzorku semien sezamu.

	$f, \text{ MHz}$	$C_1, \text{ pF}$	$C_2, \text{ pF}$	$C, \text{ pF}$	ϵ_r
L6	1	199,1	183	16,1	2,87
L7	2	166,7	150,3	16,4	3,12
L8	3	212,1	196,1	16	2,79
L9	4	264,7	248,6	16,1	2,87
L9	5	171,4	155,4	16	2,79
L10	6	116,4	100,5	15,9	2,71
L10	7	311,6	296,6	15	1,97
L10	8	240,6	225	15,6	2,46
L10	9	190,6	174,4	16,2	2,95
L10	10	155,5	139,6	15,9	2,71
L10	11	127,1	111,6	15,5	2,38
L10	12	105,4	89,8	15,6	2,46
L10	13	82,6	67	15,6	2,46
L10	14	72,9	57,4	15,5	2,38
L10	15	63,3	47,7	15,6	2,46
L10	16	54,7	38,9	15,8	2,63

Výpočet sypnej hmotnosti:

Hmotnosť vlhkej vzorky: $m_1 = 62,5 \text{ g}$

Objem vzorky: $V = 100 \text{ cm}^3$

Sypná hmotnosť: $\rho_s = \frac{m_1}{V} = \frac{62,5}{100} = 0,625 \text{ g.cm}^{-3} = 625 \text{ kg.m}^{-3}$

Výpočet vlhkosti:

$\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% = \frac{62,5 - 59,7}{62,5} \cdot 100 = 4,48\%$

Tabuľka č.3: Hodnoty relatívnej permitivity a kapacity kondenzátora pri rôznych frekvenciách elektrického poľa s vlhkosťou $\omega = 8,053\%$ a sypnou hmotnosťou $\rho_s = 596 \text{ kg.m}^{-3}$ pre vzorku semien sezamu.

	$f, \text{ MHz}$	$C_1, \text{ pF}$	$C_2, \text{ pF}$	$C, \text{ pF}$	ϵ_r
L6	1	199,8	181,8	18	4,43
L7	2	166	148,2	17,8	4,27
L8	3	211,8	194,6	17,2	3,77
L9	4	264,9	248,5	16,4	3,12
L9	5	171,4	154,5	16,9	3,53
L10	6	105,8	88,8	17	3,61
L10	7	311,5	295,1	16,4	3,12
L10	8	240,8	224	16,8	3,45
L10	9	190	173,3	16,7	3,36
L10	10	155,5	138,4	17,1	3,69
L10	11	127,1	110,8	16,3	3,04
L10	12	105,3	88,7	16,6	3,28
L10	13	82,6	66	16,6	3,28
L10	14	72,6	56,7	15,9	2,71
L10	15	63,1	46,5	16,6	3,28
L10	16	54,8	38,5	16,3	3,04

Výpočet sypnej hmotnosti:

Hmotnosť vlhkej vzorky: $m_1 = 59,6 \text{ g}$

Objem vzorky: $V = 100 \text{ cm}^3$

$$\text{Sypná hmotnosť: } \rho_s = \frac{m_1}{V} = \frac{59,6}{100} = 0,596 \text{ g.cm}^{-3} = 596 \text{ kg.m}^{-3}$$

Výpočet vlhkosti:

$$\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% = \frac{59,6 - 54,8}{59,6} \cdot 100 = 8,05\%$$

Tabuľka č.4: Hodnoty relatívnej permitivity a kapacity kondenzátora pri rôznych frekvenciách elektrického poľa s vlhkosťou $\omega = 11,879\%$ a sypnou hmotnosťou $\rho_s = 564 \text{ kg.m}^{-3}$ pre vzorku semien sezamu.

	$f, \text{ MHz}$	$C_1, \text{ pF}$	$C_2, \text{ pF}$	$C, \text{ pF}$	ϵ_r
L6	1	199	177,2	21,8	7,54
L7	2	165,8	145,9	19,9	5,99
L8	3	212,6	193,8	18,8	5,09
L9	4	263,9	245,4	18,5	4,84
L9	5	171,5	152,1	19,4	5,58
L10	6	105,4	88,2	17,2	3,77
L10	7	311,1	293,4	17,7	4,18
L10	8	241,3	223,2	18,1	4,51
L10	9	190,4	171,8	18,6	4,92
L10	10	155,5	137,7	17,8	4,27
L10	11	126,9	108,9	18	4,43
L10	12	105,2	87,2	18	4,43
L10	13	82,1	64,3	17,8	4,27
L10	14	72,6	54,8	17,8	4,27
L10	15	63,1	45,1	18	4,43
L10	16	54,6	37,1	17,5	4,02

Výpočet sypnej hmotnosti:

Hmotnosť vlhkej vzorky: $m_1 = 56,4 \text{ g}$

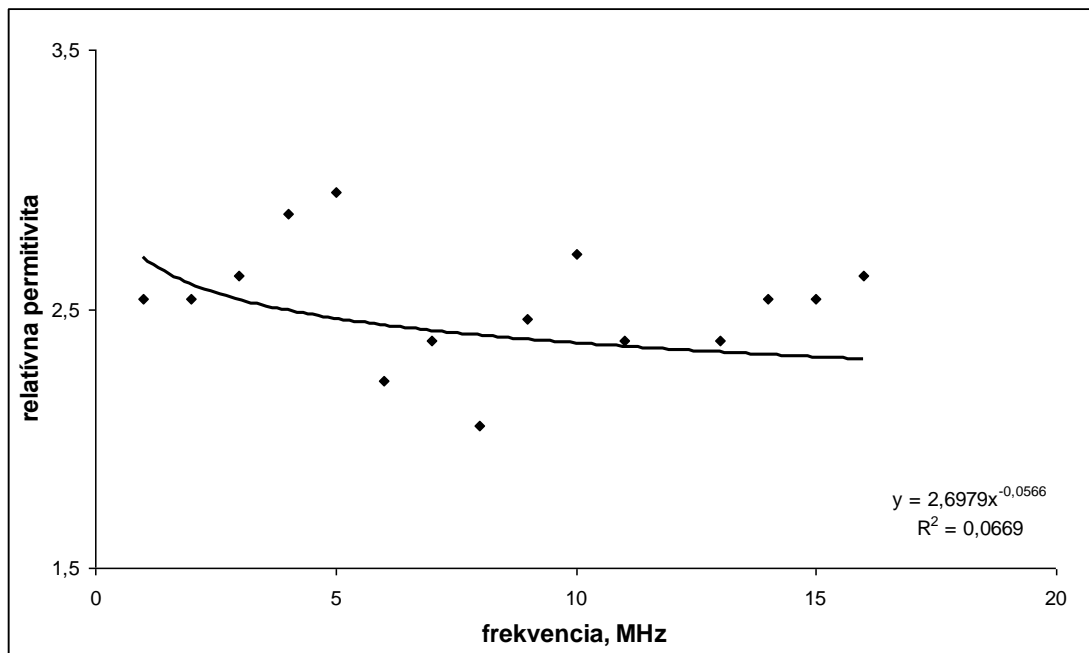
Objem vzorky: $V = 100 \text{ cm}^3$

$$\text{Sypná hmotnosť: } \rho_s = \frac{m_1}{V} = \frac{56,4}{100} = 0,564 \text{ g.cm}^{-3} = 564 \text{ kg.m}^{-3}$$

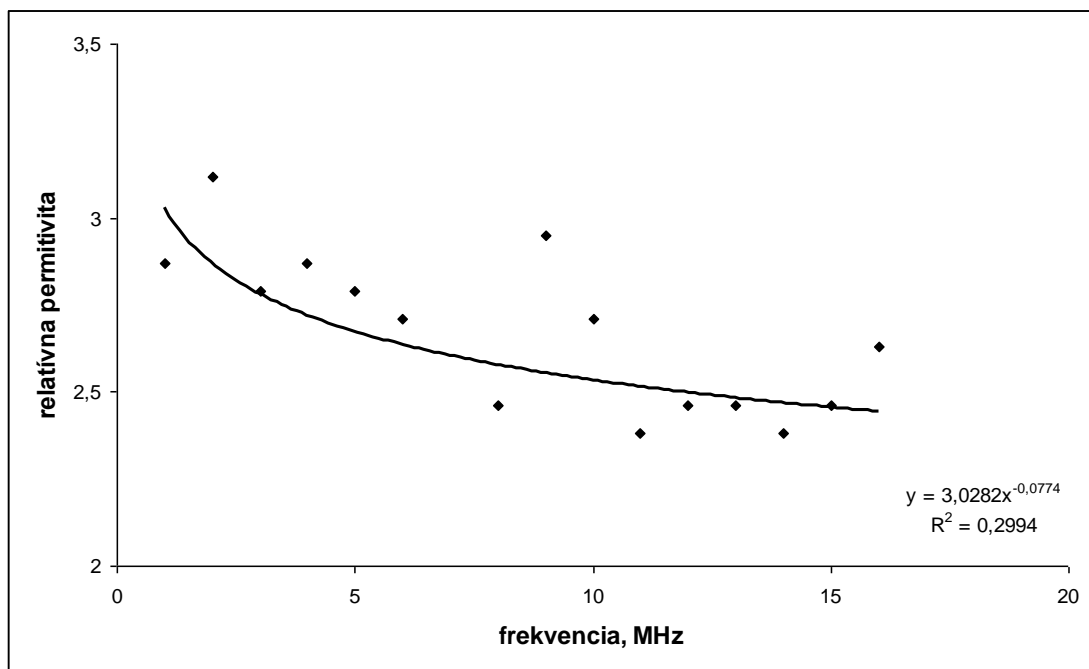
Výpočet vlhkosti:

$$\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% = \frac{56,4 - 49,7}{56,4} \cdot 100 = 11,87\%$$

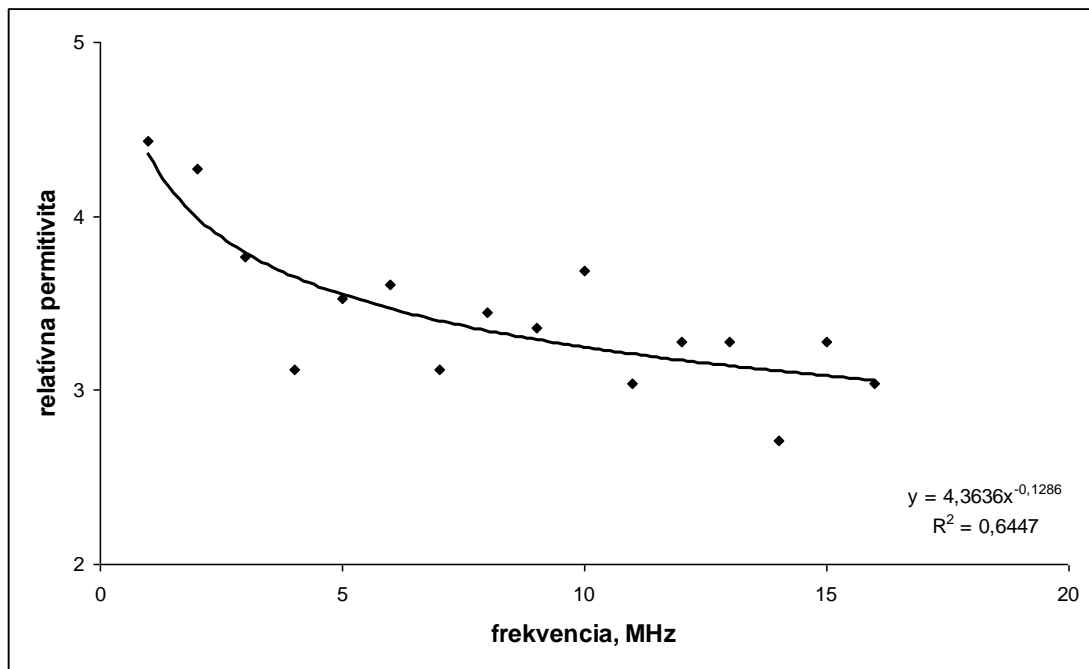
Graf č.1: Grafické zobrazenie závislosti frekvencie a relatívnej permitivity ϵ_r semien sezamu pre vlhkosť $\omega = 4,251\%$.



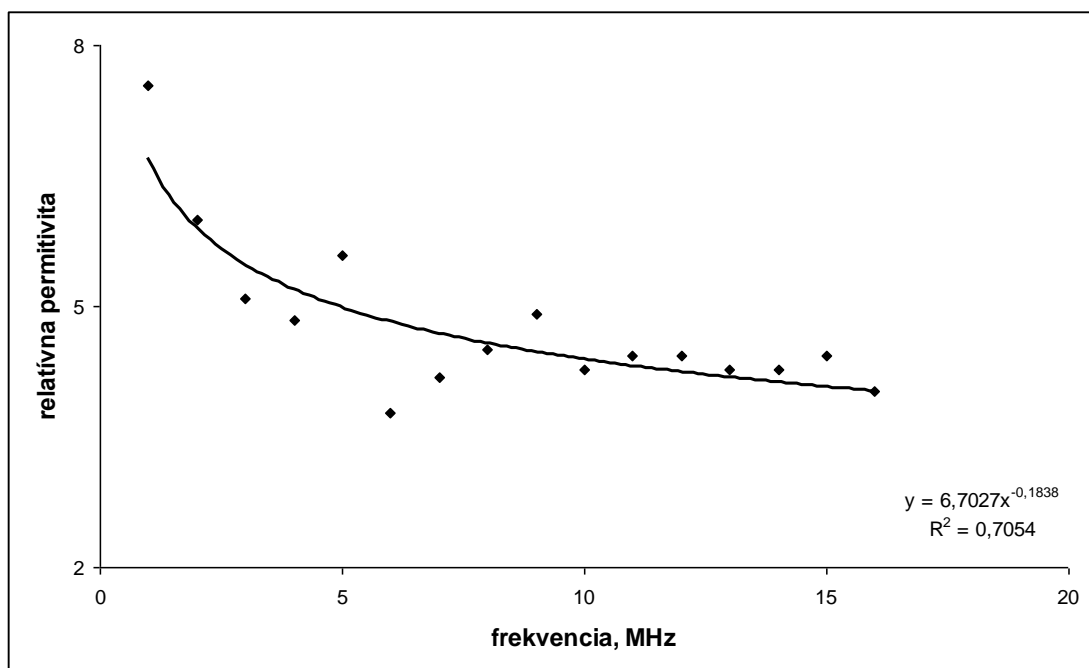
Graf č.2: Grafické zobrazenie závislosti frekvencie a relatívnej permitivity ϵ_r semien sezamu pre vlhkosť $\omega = 4,48\%$.



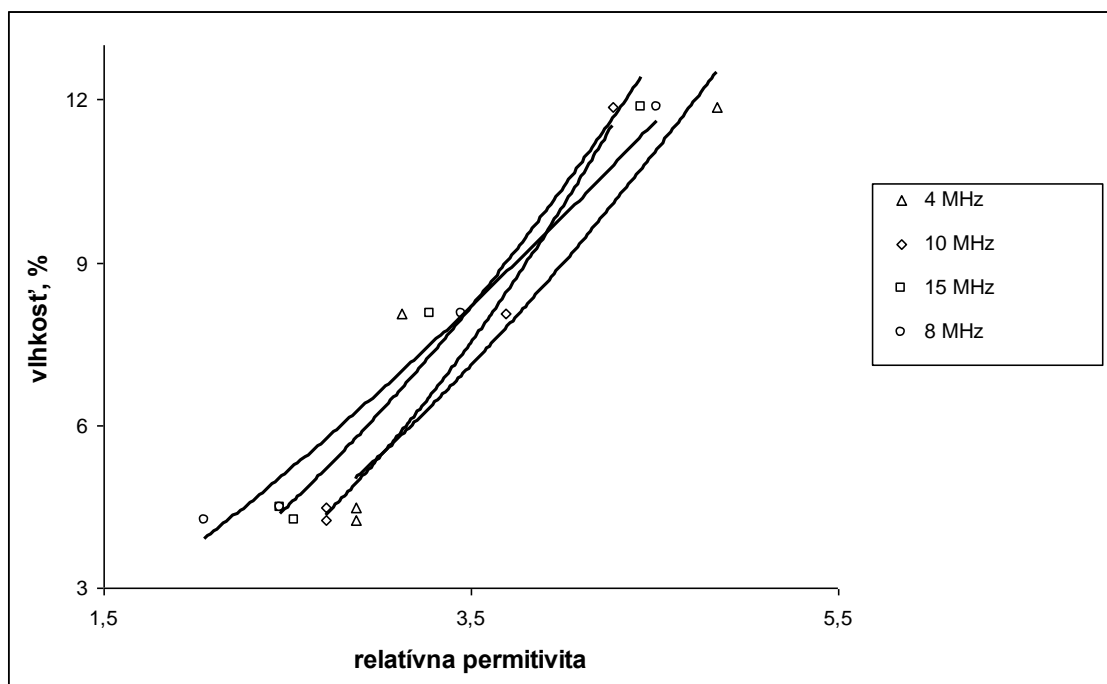
Graf č.3: Grafické zobrazenie závislosti frekvencie a relatívnej permitivity ϵ_r semien sezamu pre vlhkosť $\omega = 8,053\%$.



Graf č.4: Grafické zobrazenie závislosti frekvencie a relatívnej permitivity ϵ_r semien sezamu pre vlhkosť $\omega = 11,879\%$.



Graf č.5: Graf závislosti relatívnej permitivity ϵ_r od vlhkosti pre vzorku semien sezamu, merané pri rôznych frekvenciách elektrického poľa.



Z grafu č.5 vyplýva, že relatívna permitivita ϵ_r meraná pri štyroch rôznych frekvenciách elektrického poľa rastúcou relatívnou vlhkosťou ω rastie. Nárast hodnôt relatívnej permitivity pri zvyšujúcej sa vlhkosti je skoro rovnaký u všetkých štyroch uvedených frekvenciách a krivky vykazujú podobnú závislosť.

6 DISKUSIA

Merania spojené s mojou bakalárskou prácou, teda merania dielektrických vlastností sezamových semien sú porovnateľné s výsledkami viacerých autorov o danej téme. Tvrdenie, ktoré uviedol Nelson, že parametre dielektrických vlastností materiálov sú závislé od frekvencie elektrického poľa sa potvrdilo.

Potvrdili sme, že pri konštantnej vlhkosti sezamu existuje závislosť medzi relatívnou permitivitou a frekvenciou elektrického poľa. Ako vidieť na grafoch relatívna permitivita nám rastom frekvencie klesala. Do 5MHz bolo klesanie prudké a od 5 MHz sa klesanie zmiernilo na minimum.

Ďalej sme meraniami zistili, že sa hodnoty permitivity zväčšujú s nárastom vlhkosti v sezame skoro pre každú frekvenciu, na ktorej boli aplikované merania. Tieto poznatky publikovali viacerí autori, ako napríklad Sembery, 1979, Hlaváčová, 1999 a iný.

Tieto výsledky, ktoré som získal prácou na mojej bakalárke sa dajú využiť pri návrhu a konštrukcii viacerých zariadení používaných v poľnohospodárstve, alebo v iných odvetviach. Napríklad na vyhotovenie zariadení na sušenie, ničenie škodcov, dielektrický ohrev a pod. K problematike dielektrických vlastností nebolo v minulosti vydaných veľa publikácií a autori sa skôr zaoberali meraním biologických materiálov ako sezamových semien. Preto boli problémy moju prácu porovnať s výsledkami prác iných autorov. Môžem len povedať, že dielektrické vlastnosti sezamových zŕn majú podobné vlastnosti s niektorými biologickými materiálmi ako sója, bôb, pšenica a pod.

7 ZÁVER

Úlohou mojej bakalárskej práce bolo čo najpresnejšie zmerať dielektrické vlastnosti sezamových zrn.

Na základe uskutočnených meraní sme dospeli k rôznym hodnotám a záverom, ako sa vzorka správa, ak ho vystavíme rôznym elektrickým činiteľom. Merali sme závislosť relatívnej permitivity od frekvencie elektrického poľa v rozsahu 1 až 16 MHz, kde sme zistili, že medzi nimi existuje závislosť. V grafe vidieť ako relatívna permitivita s rastúcou frekvenciou klesá. Najprv krivka v rozmedzí od 0 až po 5 MHz mala prudko klesajúci charakter a od 5 do 16 MHz sa klesanie pomaly ustálilo. Túto závislosť môžeme odôvodniť tým, že molekuly vody viazané v semenách sezamu majú konštantný dipólový moment pri pôsobení elektrického poľa. Vtedy vzniká orientačná polarizácia, ktorá je závislá od frekvencie. Klesanie pri vyšších frekvenciách sa ustálilo, lebo dipóly nestačia sledovať jeho polaritu. Pri závislosti relatívnej permitivity ϵ_r od relatívnej vlhkosti ω vidieť, že relatívna permitivita sa zväčšuje s rastom relatívnej vlhkosti. Môžeme to odôvodniť tým, že permitivita vody je omnoho väčšia od permitivity sezamových semien. Z toho usudzujeme, že na dielektrické vlastnosti skúmaných semien má značný vplyv prítomnosť vody.

Ak sa pri meraniach vyskytli chyby, tak boli spôsobené buď nepresnosťou meracích prístrojov, nesprávnym odvážením vzorky alebo klimatickými podmienkami v laboratóriu. Bolo treba dbať na medzery medzi zrnami v meracom kondenzátore po nasypání vzorky. To som vyriešil potrasením kondenzátora pred meraním. Pri práci som vychádzal z vopred zadaných postupov merania a z naštudovanej literatúry o danej problematike. Namerané hodnoty sme zapísali, zadali do vzorcov, spracovali grafy a výsledky porovnali s existujúcimi meraniami biologických materiálov.

Cieľom práce bolo zobrazíť vplyv frekvencie elektrického poľa a vlhkosti na relatívnu permitivitu a osobám zaoberajúcich sa touto problematikou poskytnúť informácie o javoch a procesoch prebiehajúcich v dielektriku pri interakcii s elektrickým poľom. Získané údaje sa môžu použiť pri rôznych aplikáciách ako napríklad elektrické vlhkomery, dielektrický ohrev sušenie plodín a podobne. Keď už poznáme dielektrické vlastnosti sezamových semien, tak vieme určiť ako sa daný materiál bude správať v danom elektrickom poli.

8 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

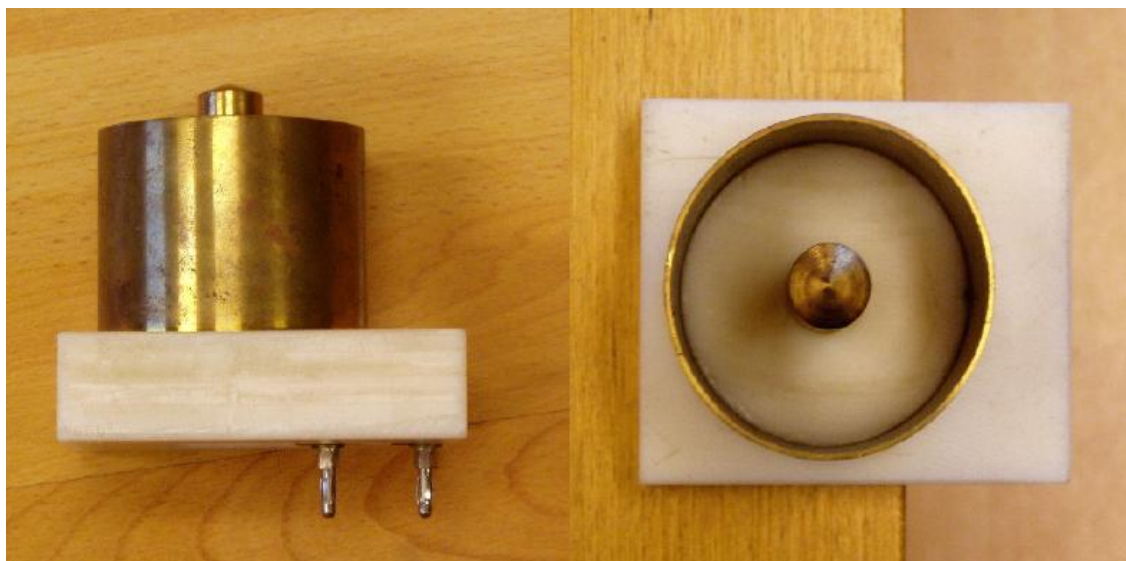
1. ARTBAUER, J. 1977. Izolanty a izolácie. 1 vyd., Praha: SNTL, 382 s.
2. FEXA, J. - ŠIROKÝ, K. 1983. Měření vlhkosti. 1 vyd. Bratislava: Alfa, SNTL, 264 s.
3. HANZELÍK, F. 1980. Fyzikálne vlastnosti obilnín vo vzťahu k teórii technologických procesov. Nitra: VŠP, 76 s.
4. HANZELÍK, F. 1990. Výskum fyzikálnych vlastností obilnín: záverečná výskumná práca. Nitra: VŠP, 62 s.
5. HLAVÁČOVÁ, Z. 1999. Niektoré elektrické vlastnosti semien laskavca. Zemědělská technika, 45,3, s. 99-104.
6. NELSON, S.O. 1965. Dielectric properties of grain and seed in the 1 to 50 MHz range. Trans. ASAE. s. 38-48.
7. NELSON, S.O. 1973. Electrical properties of agricultural products – a critical review. Trans. ASAE. s. 384-400.
8. NELSON, S.O. 1983. Density Dependence of the Dielectric Properties of particulate Materials In. Trans. ASAE.
9. NOVÁK, J. 2009. Fyzikálne vlastnosti biologických materiálov. Dizertačná práca, MF-SPU, Nitra.
10. POLJAK, F. 1983. Dielektriká, Izolanty. 1. vyd. Bratislava : Alfa, s. 11-117.
11. SEMBERY, P. 1979. Dielectrical properties of grains and rough fodder. Academy Publisher.
12. SVÍTIL, J. 1993. Vplyv niektorých činiteľov na presnosť merania vlhkosti súboru zrn obilnín. Nitra: VŠP, 53 s.
13. VON HIPPEL, A.R. 1959. Dielectric Materials and Applications, Moskva – Leningrad.
14. INTERNETOVÉ ODKAZY
<<http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=459>>
<<http://www.vegastrava.sk/old/index.php/sezamov-semeno.132.html>>

9 PRÍLOHY

Obr. 1: Meracie zariadenie Q- metra TESLA BM - 560 s pripojeným merným kondenzátorom a cievkou.



Obr. 2: Merací kondenzátor



Obr. 3: Merací kondenzátor



Obr. 4: Sezamové semeno (*Sesamum indicum*)

