

# PËRCAKTIMI I REZISTENCËS ELEKTRIKE SPECIFIKE VOLUMORE TË POLIETILENIT, ME ANË TË METODËS SË RËNIES SË POTENCIALIT TË SIPËRFAQES

PRANVERA DHIMA,<sup>2</sup> FLORAN VILA.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universiteti i Tiranës, Fakulteti i Shkencave të Natyrës, Departamenti i Fizikës

<sup>2</sup>Universiteti i Teknologjisë, Darmstadt, Gjermani, Laboratori i Institutit të Teknologjisë së Komunikimit

e-mail: [pranvera\\_dhima@yahoo.com](mailto:pranvera_dhima@yahoo.com)

## Përmbledhje

Në këtë punim është përcaktuar rezistenca elektrike specifike volumore e polietilenit 50 $\mu$ m, me anë të metodës së rënies së potencialit të sipërfaqes. Pas ngarkimit me anë të triodës kurorë, në potenciale të ndryshme të grilës, potenciali i sipërfaqes së polietilenit zvogëlohet me kohën. Rezistenca elektrike specifike volumore është përcaktuar me anë të konstantes kohore, të marrë nga përafrimi i kurbës eksperimentale me një funksion eksponencial zbritës. Vlerat e përcaktuara me anë të kësaj metode rezultojnë të jenë më të larta, krahasuar me ato të përcaktuara me metodat klasike, ose të triodës kurorë, për shkak të kohës më të gjatë të matjes, e cila ndikon në rritjen e rezistencës elektrike specifike volumore. Por, është shumë e rëndësishme, që rezultatet e përfuara me anë të metodës së rënies së potencialit të sipërfaqes, janë në përputhje të plotë me teorinë dhe eksperimentet e zhvilluara me metodat e tjera të sipërpërmendura, në kushte ekuivalente kohe, fakt ky që tregon efikasitetin e saj.

**Fjalëkyçe:** Polietileni; rezistenca elektrike specifike volumore.

## Abstract

In this paper, the volume resistivity of polyethylene 50 $\mu$ m is determined by the surface potential decay method. The surface potential of corona-charged polyethylene at various grid potentials, decays with time. The volume resistivity is determined via time constant of the experimental decay curve, fitted to an exponential decay function. The values determined by this method result to be higher than those obtained by classical methods or corona triode method, because of longer time of measurement, which affects the volume resistivity increase. It is very important that the results obtained by surface potential decay method are in full accordance with the theory and experiments using the above-mentioned methods, under equivalent time conditions, a fact that indicates its efficiency.

**Key words:** Polyethylene; volume resistivity.

## Hyrje

Polietileni (PE) është polimeri termoplastik me përdorimin më të madh në botë. Ekzistojnë disa tipe polietileni, ndryshimet mes të cilëve lindin kryesisht prej tipeve të degëzimeve që modifikojnë natyrën e materialit (Peacock, 2000). Karakteristikat më të rëndësishme të PE janë qëndrueshmëria, lehtësia e përpunimit, rezistenca kimike, rezistenca ndaj

gërryerjes, vetitë elektrike, koeficienti i vogël i fërkimit, kostoja e ulët. Për shkak se ofron një kombinim të vetive fizike, elektrike dhe mekanike është i përshtatshëm për një numër aplikimesh në industri të ndryshme. Shkrin në temperaturën  $110^{\circ}\text{C} - 135^{\circ}\text{C}$ , në varësi të densitetit (Vasile & Pascu, 2005; Kong *et al.*, 2001).

Rezistenca elektrike specifike, është një nga parametrat më të rëndësishëm të karakteristikave elektrike të polimerëve. Në këtë punim, është përcaktuar rezistenca elektrike specifike volumore e polietilenit me trashësi  $50\mu\text{m}$ , me anë të metodës së rënies së potencialit të sipërfaqes, pas ngarkimit nëpërmjet triodës kurorë.

### Vështrim teorik

#### Përcaktimi i rezistencës elektrike specifike volumore

Njohja e procesit të rënies së potencialit të sipërfaqes në polimerët dhe e parametrave përgjegjës për mekanizmin e saj, përbën një mënyrë për përcaktimin e karakteristikave elektrike të tyre.

Mund të jenë disa mekanizmat përgjegjës, për rënien e potencialit të sipërfaqes së polimerëve, të ngarkuar me shkarkesë kurorë, si: neutralizimi nga jonet e gazit, përcjellshmëria sipërfaqësore, injektimi i ngarkesës dhe përcjellshmëria elektrike volumore. Por fakti që një pjesë e mirë e studimeve të rënies së potencialit është bërë në filmat e hollë polimerë, ka lejuar që në shumicën e teorive dhe modeleve, përcjellshmëria elektrike volumore të jetë faktor kryesor (Baum *et al.*, 1977; Chen, 2010; Xu *et al.*, 2007; Sonnonstine & Perlman, 1975; Kindersberger & Lederle, 2008; Ieda *et al.*, 1967; Llovera & Molinie, 2004; Molinie, 1998; Alison & Hill, 1994).

Modeli i eksperimentuar, mund të konsiderohet ekuivalent me një kondensator të thjeshtë, me pllaka paralele (Xing *et al.*, 2016; Swaminathan, 2004). Deri në kohën  $t=0$  aplikohet një potencial  $V_0$ . Ndërsa në  $t=0$ , shkëpusim burimin e tensionit dhe monitorojmë potencialin e sipërfaqes.

Rënia e potencialit sipërfaqësor që shfaqet pas stabilizimit të mekanizmave të polarizimit dhe vendosjes së një gjendjeje të qëndrueshme (Lutz & Kindersberger, 2009), i bindet një funksioni eksponencial zbritës me kohën, të tipit:

$$V = V_0 \exp[-t / \rho \varepsilon_0 \varepsilon], \quad (1)$$

ku  $\rho$  dhe  $\varepsilon$ , janë përkatësisht rezistenca elektrike specifike dhe konstantja dielektrike e materialit.

Pas përafrimeve të bëra, përcaktimi i rezistencës elektrike specifike mund të përcaktohet me formulën:

$$\rho = \frac{V_1}{\varepsilon_0 \varepsilon k}, \quad (2)$$

ku,  $V_1$  është potenciali përfundimtar i kurbës eksponenciale përafuese, ndërsa  $\bar{k}$ , është pjerrësia mesatare e kësaj kurbe, që shpreh ritmin e rënies së potencialit të sipërfaqes me kohën.

### Materiali dhe metodat

#### Modeli i përdorur

Në eksperimente u përdorën modele katrore PE,  $2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm}$  dhe trashësi  $50\ \mu\text{m}$ . Polietileni ngjitet mbi një pllakëz alumini me po të njëjtat përmasa, për të siguruar kontakt sa më të mirë ndërmjet tij dhe elektrodës së tokëzuar. Bashkimi i polimerit me pllakëzën e aluminit realizohet përmes një flete të hollë bakri, ngjitime në të dyja anët e saj (Figura 1).



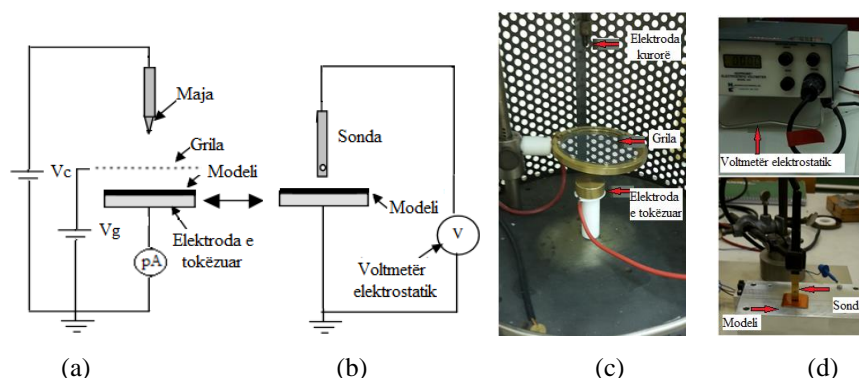
Figura 1. Përgatitja e modelit që do të eksperimentohet.

#### Metodika e matjeve

Modeli i përgatitur u ekspozua ndaj shkarkesës kurorë, të gjeneruar nga një elektrodë kurorë (majë, me diametër 1 mm), e vendosur mbi elektrodën e tokëzuar (disk tunxhi me diametër 20 mm dhe lartësi 8 mm), e lidhur me një burim tensioni të lartë të vazhduar DC (FUG HCN 14-12500). Në elektrodën kurorë u aplikua tension pozitiv dhe negativ ( $\pm 10\text{kV}$ ).

Një grilë metalike, e lidhur me një burim variabël potencialesh DC (Model 240 A, Keithley Instruments), të të njëjtit polaritet me atë të elektrodës kurorë, u vendos midis majës dhe sipërfaqes së modelit. Kështu që, mund të realizohet një kontroll i mirë i potencialit me të cilin ngarkohet sipërfaqja, si dhe i uniformitetit të ngarkesës (Giacometti & Oliveira, 1992). Distanca midis grilës dhe elektrodës së tokëzuar ishte 10 mm, ndërsa ajo midis grilës dhe elektrodës kurorë, 7 mm.

Menjëherë mbasi burimi i tensionit të lartë të kurorës fikej, modeli transportohej në zonën e matjes së potencialit të sipërfaqes, që realizohej me anë të një voltmetri elektrostatisht (Model 244, i pajisur me një sondë model 1017) pa asnjë kontakt fizik (Figura 2).



**Figura 2.** (a) Skema eksperimentale e triodës kurorë, (b) sonda për matjen e potencialit të sipërfaqes, (c) trioda kurorë, (d) voltmetri elektrostatik dhe sonda për matjen e potencialit të sipërfaqes.

Matja e potencialit të sipërfaqes së modelit vazhdoi për 70 minuta. Ndërsa intervali i kohës, nga përfundimi i procesit të ngarkimit deri tek matja e vlerës së parë të potencialit të sipërfaqes, nuk e kaloi vlerën 3 sekonda. Për çdo matje u përdor një model i ri, sipërfaqja e të cilit u pastrua paraprakisht me alkool (izopropanol).

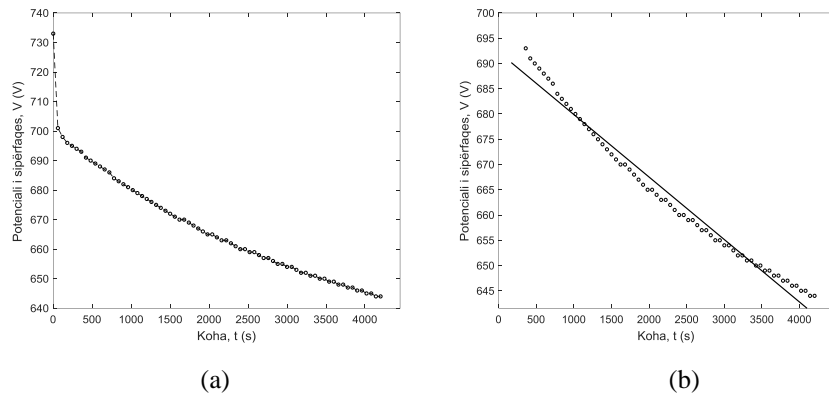
### Rezultate dhe diskutime

Në grupin e parë të eksperimenteve, për ngarkimin e modeleve u përdor shkarkesa kurorë pozitive dhe në grupin e dytë, u përdor shkarkesa kurorë negative. Varësia nga koha e potencialit të sipërfaqes së modelit, pas shkarkesës kurorë pozitive dhe negative, për katër potenciale të ndryshme të grilës paraqitet në Figurat 3(a)-10(a). Në grafikë janë paraqitur vlerat absolute të potencialit. Kur polimeri ndodhet nën veprimin e një fushe elektrike të jashtme, për shkak të ngarkesave të depozituara në sipërfaqe, ndodh polarizimi i tij. Ngarkesa e lidhur shfaqet në sipërfaqe dhe ka polaritet të kundërt me ngarkesën e lirë të saj. Një fenomen i tillë mund të krijojë një fushë elektrike shtesë që, kur ndërvepron me fushën e jashtme ndikon në rënien e potencialit të sipërfaqes (Xing *et al.*, 2016; Alam, 2016).

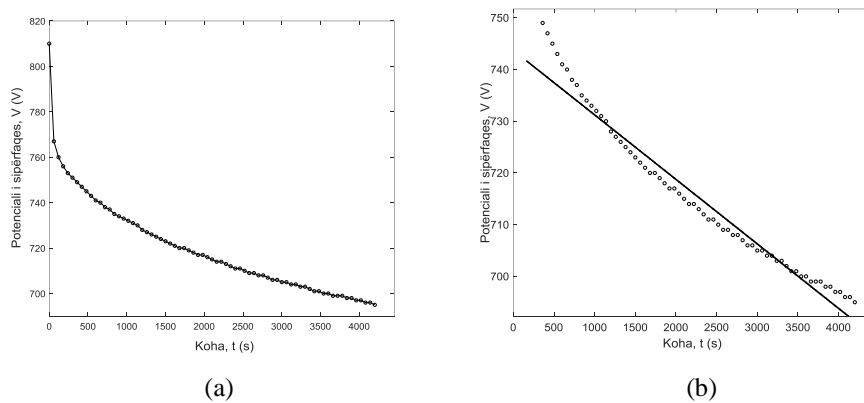
Edhe pse PE njihet si polimer jopolar, molekulat dipolare të tilla si grupet metil në fund, lidhjet dyfishe (Amos & Crispin, 1975; Peacock, 2000), papastërti, apo nënprodukte të oksidimit, mund të ekzistojnë në material, duke shkaktuar polarizimin që vihet re (Hoang *et al.*, 2016). Sa më i polarizueshëm të jetë materiali, aq më e gjatë do të jetë konstantja kohore për rënien e potencialit të sipërfaqes për shkak të polarizimit (Dennison *et al.*, 2006). Një kohë e tillë e shkurtër polarizimi në rastin tonë, është në përputhje me faktin që PE është i përbërë nga monomerë jo polar (Brunson, 2010).

Mbas rënies fillestare të potencialit të sipërfaqes, tipike e mekanizmit të përcjellshmërisë për shkak të polarizimit (Swaminathan, 2004; Brunson,

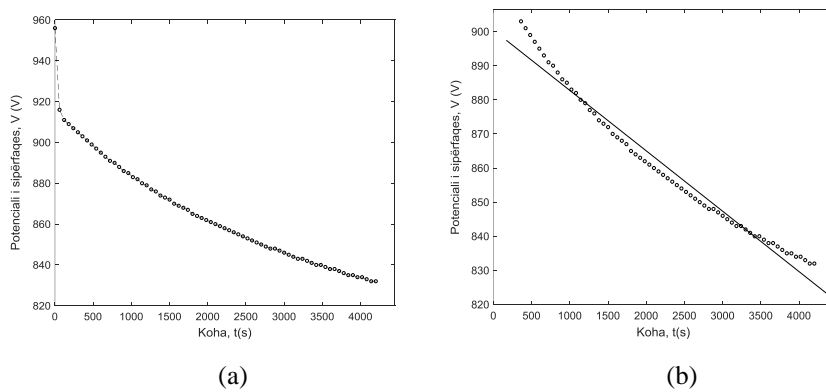
2010; Frederickson & Dennison, 2000), fillon një rënie eksponenciale. Është pikërisht kurba e kësaj të fundit, që përdoret për përcaktimin e rezistencës elektrike specifike (Figurat 3(b)-10(b)).



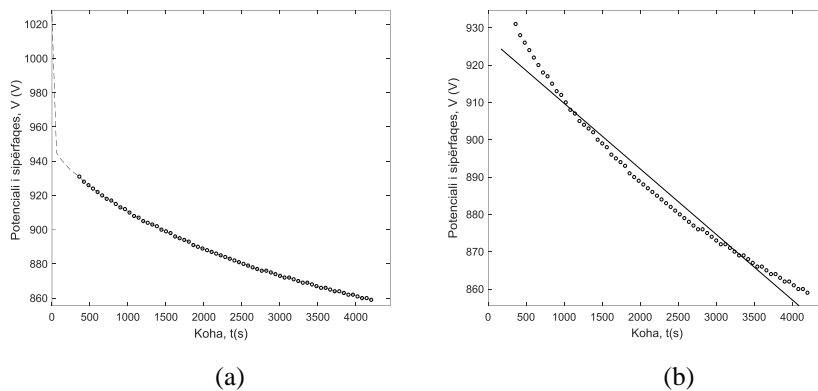
**Figura 3.** Varësia e potencialit të sipërfaqes nga koha (a) e plotë, (b) e përdorur për përcaktimin e rezistencës elektrike specifike, ( $V_g=800V$ ).



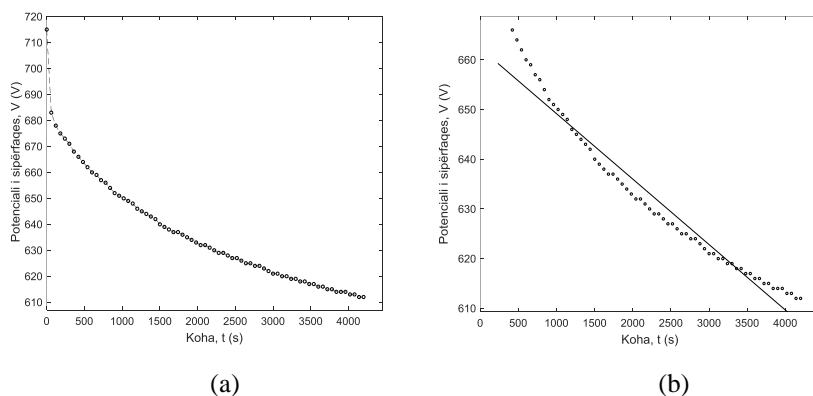
**Figura 4.** Varësia e potencialit të sipërfaqes nga koha (a) e plotë, (b) e përdorur për përcaktimin e rezistencës elektrike specifike, ( $V_g=900V$ ).



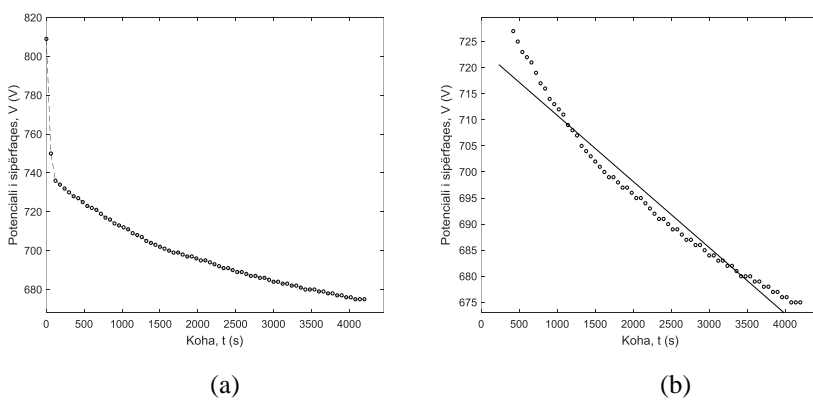
**Figura 5.** Varësia e potencialit të sipërfaqes nga koha (a) e plotë, (b) e përdorur për përcaktimin e rezistencës elektrike specifike, ( $V_g=1000V$ ).



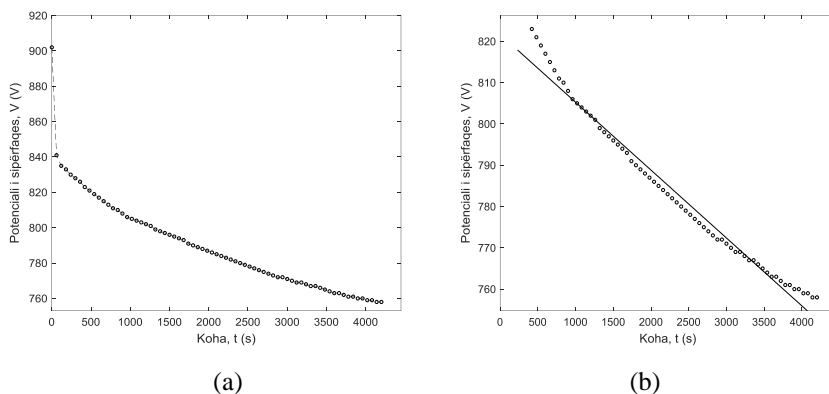
**Figura 6.** Varësia e potencialit të sipërfaqes nga koha (a) e plotë, (b) e përdorur për përcaktimin e rezistencës elektrike specifike, ( $V_g=1100V$ ).



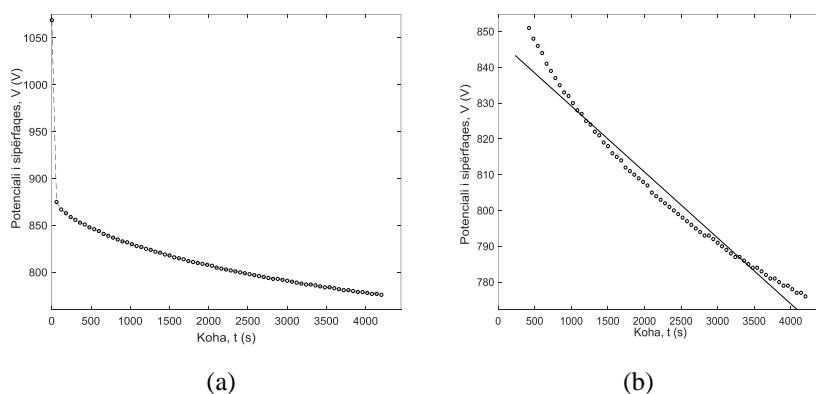
**Figura 7.** Varësia e potencialit të sipërfaqes nga koha (a) e plotë, (b) e përdorur për përcaktimin e rezistencës elektrike specifike, ( $V_g=-800V$ ).



**Figura 8.** Varësia e potencialit të sipërfaqes nga koha (a) e plotë, (b) e përdorur për përcaktimin e rezistencës elektrike specifike, ( $V_g = -900V$ ).



**Figura 9.** Varësia e potencialit të sipërfaqes nga koha (a) e plotë, (b) e përdorur për përcaktimin e rezistencës elektrike specifike, ( $V_g = -1000V$ ).



**Figura 10.** Varësia e potencialit të sipërfaqes nga koha (a) e plotë, (b) e përdorur për përcaktimin e rezistencës elektrike specifike, ( $V_g = -1100V$ ).

Llogaritjet e rezistencës elektrike specifike volumore (Tabelat 1-2) janë bërë me formulën (2), duke përdorur konstantet e përfuara nga përafrimi i kurbave eksperimentale përkatëse. Vlera e katrorit të koeficientit të korrelacionit ( $R^2$ ), për secilin përafrim, është paraqitur po ashtu në tabela. Konstantja dielektrike e PE ka vlerën 2.25.

**Tabela 1.** Rezistenca elektrike specifike volumore për PE 50 $\mu$ m , në rastin e kurorës pozitive, e përcaktuar me anë të metodës së rënies së potencialit së sipërfaqes. (Fillimi i kurbës së përdorur për përcaktimin e rezistencës elektrike specifike volumore konsiderohet në  $t_0=360$ s dhe fundi i saj në  $t_1=4200$ s).

$V_g$ (V)	Funksioni eksponencial përafrues	$R^2$	$\bar{k}$ (Vs $^{-1}$ )	$\rho$ ( $\Omega$ m)
800	$V=692.8\exp(-1.868\times 10^{-5}t)$	0.9818	$1.24\times 10^{-2}$	$2.59\times 10^{15}$
900	$V=745.5\exp(-1.805\times 10^{-5}t)$	0.9660	$1.29\times 10^{-2}$	$2.69\times 10^{15}$
1000	$V=901.9\exp(-2.083\times 10^{-5}t)$	0.9771	$1.79\times 10^{-2}$	$2.32\times 10^{15}$
1100	$V=928.7\exp(-2.005\times 10^{-5}t)$	0.9761	$1.78\times 10^{-2}$	$2.41\times 10^{15}$

**Tabela 2.** Rezistenca elektrike specifike volumore për PE 50 $\mu$ m , në rastin e kurorës negative) e përcaktuar me anë të metodës së rënies së potencialit së sipërfaqes. (Fillimi i kurbës së përdorur për përcaktimin e rezistencës elektrike specifike volumore konsiderohet në  $t_0=420$ s dhe fundi i saj në  $t_1=4200$ s).

$V_g$ (V)	Funksioni eksponencial përafrues	$R^2$	$\bar{k}$ (Vs $^{-1}$ )	$\rho$ ( $\Omega$ m)
800	$V=663.8\exp(-2.127\times 10^{-5}t)$	0.9631	$1.34\times 10^{-2}$	$2.27\times 10^{15}$
900	$V=725.0\exp(-1.871\times 10^{-5}t)$	0.9640	$1.30\times 10^{-2}$	$2.59\times 10^{15}$
1000	$V=823.2\exp(-2.127\times 10^{-5}t)$	0.9829	$1.67\times 10^{-2}$	$2.27\times 10^{15}$
1100	$V=849.5\exp(-2.330\times 10^{-5}t)$	0.9743	$1.88\times 10^{-2}$	$2.06\times 10^{15}$

Vlera mesatare e rezistencës elektrike specifike volumore është  $\bar{\rho}_v = 2.40\times 10^{15}\Omega$ m . Intervali i besimit për këtë vlerë, me sigurinë 95% , është  $\delta = 0.35\times 10^{15}\Omega$ m . Prandaj,  $\bar{\rho}_v$  ndodhet në intervalin  $2.05\times 10^{15}\Omega$ m p  $\bar{\rho}_v$  p  $2.75\times 10^{15}\Omega$ m . Ndërsa kufijtë e shpërndarjes së rezistencës elektrike specifike volumore, me sigurinë 99% , janë  $1.14\times 10^{15}\Omega$ m p  $\rho$  p  $3.66\times 10^{15}\Omega$ m .

Konsultimi me literaturën, lidhur me vetitë elektrike të PE (Biron, 2013; Martienssen & Warlimont, 2005), tregon se rezistenca elektrike specifike e tij, shtrihet në diapazonin  $10^{14}\Omega$ m- $10^{16}\Omega$ m, fakt që përputhet me rezultatet e matjeve tona eksperimentale.



Le të krahasojmë rezultatet e mësipërme, të marra me metodën e rënies së potencialit, me ato të metodave “statike” të standartizuara (sistem elektrodash).

Me metodat klasike “statike” (Vila *et al.*, 2005), rezistenca elektrike specifike volumore e PE, në kushte ekuivalente kohe, rezulton  $\rho=1.52 \times 10^{14} \Omega \text{m}$ , pra afërsisht një rend më e vogël se vlera e marrë me metodën e rënies së potencialit të sipërfaqes. Por, duhet theksuar se ato metoda nuk marrin në konsideratë faktorë si rënia e ngarkesës dhe kohëzgjatja e matjes, të cilët luajnë një rol thelbësor në përcaktimin e vlerës së rezistencës elektrike specifike.

### **Përfundime**

Vlerat e rezistencës elektrike specifike volumore të PE, të përcaktuara me anë të kësaj metode, rezultojnë të jenë më të larta, krahasuar me ato të përcaktuara me metodat klasike, ose të triodës kurorë, për shkak të kohës më të gjatë të matjes, e cila ndikon në rritjen e rezistencës elektrike specifike volumore.

Metoda e rënies së potencialit të sipërfaqes rezulton të jetë një metodë efikase për përcaktimin e rezistencës elektrike specifike volumore të PE.

### **Literatura**

Peacock, A. J. (2000): Handbook of Polyethylene: Structures, properties and applications. Marcel Dekker, Inc. NY: 1-28

Vasile, C., Pascu. M. (2005): Practical guide to Polyethylene. Rapra Technology Limited, UK: 4-7

Kong, J. S., Lee, D. J., Kim, H. D. (2001): Surface modification of Low-Density Polyethylene (LDPE) film and improvement of adhesion between evaporated copper metal film and LDPE. Journal of Applied Polymer Science, vol. 82: 1677–1690

Baum, E. A., Lewis, T. J., Toomer, R. (1977): Decay of electrical charge on polyethylene films. J. Phys. D.: Appl. Phys, vol. 10: 487-497

Chen, G. (2010): A new model for surface potential decay of corona-charged polymers. J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 43: 55405

Xu, Z., Zhang, L., Chen, G. (2007): Decay of electric charge on corona charged polyethylene. J. Phys. D.: Appl. Phys., vol. 40: 7085–7089

Sonnonstine, T. J., Perlm, M. M. (1975): Surface potential decay in insulators with field dependent mobility and injection efficiency. J. App. Phys., vol. 46: 3975-3981

Kindersberger J., Lederle, C. (2008): Surface charge decay on insulators in air and sulfur hexafluorid–Part I: Simulation. IEEE Trans. Diel. and Elect. Insul., vol. 15: 941-948

Ieda, M. Sawa, G., Shinohara, I. (1967): A decay process of surface electric charges across polyethylene films. J. App. Phys., vol. 6: 739-794

- Llovera, P., Molinie, P. (2004): New methodology for surface potential decay measurements: application to study charge injection dynamics on polypropylene films. *IEEE Trans. Dielect. and Elect. Insul.*, vol. 11:1049-1056
- Molinie, P. (1998): Charge injection in corona-charged polymeric films: potential decay and current measurements. *J. Electrostatics*, vol. 45: 265-273
- Alison, J.M., Hill, R. M. (1994): A model for bipolar charge transport, trapping and recombination in degassed crosslinked polyethylene. *J. Phys. D.*, vol. 27: 1291-1299
- Xing, Z., Ru, J., Huang, Y., Zhang, C., Chen, X., Min, D., Li, S. (2016): Research of surface charge characteristics of epoxy insulating material by DC Corona. *China Academic Journal Electronic Publishing House*, vol. 4: 1104-1108
- Swaminathan, P. V., (2004): Measurement of charge storage decay time and resistivity of spacecraft insulators. *All Graduate Theses and Dissertations*, Paper 2094: 103-107
- Lutz, B., Kindersberger, J. (2009): Determination of volume resistivity of polymeric insulators by surface charge decay. *Proceedings of the 16th International Symposium on High Voltage Engineering*, Innes House, Johannesburg, Paper A-4
- Giacometti, A. Oliveira, O. N. (1992): Corona charging of polymers. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 27: 924-943
- Alam, Sh. (2016): Surface potential dynamics on insulating polymers for HVDC applications. *Chalmers University of Technology, Sweden*, Technical report no. 97: 14
- Amos, A. T., Crispin, R. J. (1975): The Polarizabilities of CH and CC bonds. *J. Chem. Phys.*, vol. 63: 1890–1899
- Hoang, A. T., Pallon, L., Liu, D., Serdyuk, Y. V., Gubanski, S. M., Gedde, U. W. (2016): Charge transport in LDPE nanocomposites Part I—Experimental approach. *Polymers* 2016, vol. 8: 1-19
- Dennison, J. R., Swaminathan, P. V., Jost, R., Brunson, J., Green, N., Frederickson, A. R. (2006): Improved methods and analysis for resistivity measurements related to spacecraft charging. *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 34: 2191–2203
- Brunson, J., (2010): Hopping conductivity and charge transport in Low Density Polyethylene. *All Graduate Theses and Dissertations*, Paper 562: 42-45
- Frederickson, A. R., Dennison, J. R. (2000): Measurement of conductivity and charge storage in insulators related to spacecraft charging. *IEEE Trans. Nuclear Sciences*, vol. 50: 2284-2291
- Biron, M. (2013): *Thermoplastics and Thermoplastics Composites*. Elsevier Ltd, UK: 238
- Martienssen, W., Warlimont, H. (2005): *Springer handbook of condensed matter and materials data*. Springer Berlin Heidelberg: 484
- Vila, F., Sessler, G. M. Sykja, H. (2005): The influence of electron beam irradiation on the volume resistivity of polyethylene and kapton. *J. Electrostat.*, vol. 63: 749-754