



## PJEZOELEKTRINIO NANOKOMPOZITO NAUDOJIMAS ELEKTROS GAVYBAI

Justas CIGANAS<sup>1</sup>, Giedrius JANUŠAS<sup>2</sup>

*Kauno technologijos universitetas, Kaunas, Lietuva  
El. paštas: <sup>1</sup>justas.ciganas@ktu.edu; <sup>2</sup>giedrius.janusas@ktu.lt*

**Santrauka.** Sukurtas naujas modelis elektros energijai išgauti. Remiantis šiuo modeliu suprojektuotas generatorius, kurio veikimas paremtas pjezoelektriniu efektu. Taip pat sukurta medžiaga, kuri yra lanksti ir jos sudėtyje yra pjezoelektrinės medžiagos. Naudojant „Hytec“ firmos lazerinę sistemą PRISM, atlikti tyrimai parodė, kad oro srautas, praeinantis pro 1 m<sup>2</sup> ploto sistemą, generuotų pastovią 0,36 V įtampą. Taip pat buvo sukurta baigtinių elementų modelis bei sudarytas oro srauto modelis pjezokeramikos aptakumui stebėti naudojant CFD programinę įrangą. Tyrimams pasirinktos dvi skirtingos medžiagos: vanduo ir oras. Skaičiuojant baigtinių elementų metodu buvo nustatyta, kad atsiradus kliūčiai sraute padidėja turbulentinė kinetinė energija, kuri lygi 60 MJ. Tokie energijos šuoliai trunka neilgai ir greitai nusistovi.

**Reikšminiai žodžiai:** pjezoelektrinis efektas, elektros energija, pjezokeramika, kompozitas, generatorius.

### Įvadas

Energetika yra viena iš aktualiausių šių laikų temų. Energijos poreikis didėja, o naftos išteklių senka, taip pat ir šiltnamio efekto sukuriama grėsmė yra nenuginčiama. Dėl to reikia rasti švaresnių ir ekologiškesnių būdų energijai išgauti. Tokios aplinkybės skatina kurti naujas technologijas, kurios galėtų padėti aprūpinti visuomenę ir augantį jos energijos poreikį. Viena iš potencialių technologijų – pjezoelektrinių elementų naudojimas (Liu *et al.* 2011; Medjahdi *et al.* 2014).

Visų pirma, pjezoelektrinis efektas – tai efektas, kurio metu pjezokeramika yra apkraunama (tempinama ar gniuždoma) ir todėl ant šoninių paviršių susikaupia elektrinis krūvis, kurį galima įvairiai panaudoti (Bausells 2015).

Įprastinė pjezokeramika yra ydinga ir sunkiai pritaikoma, nes ji yra kieta ir labai trapi. Šie trūkumai neleidžia medžiagos plačiai naudoti elektros gavybai. Padėti išspręsti šią problemą gali nauja medžiaga arba jau kitoks esamų medžiagų panaudojimas.

Vienas iš labiausiai paplitusių atsinaujinančios energijos gavimo būdų šiuo metu yra vėjo jėgainės (Technologijos.lt 2015). Tai lemia vėjo energetikos lengvesnis pritaikymas nei, pavyzdžiui, saulės elementų pritaikymas.

Vienas iš pagrindinių reikalavimų, keliamų vėjo jėgainėms – tai didelis efektyvumas, kuris priklauso nuo kelių veiksnių: vietovės, konstrukcijos ir oro sąlygų. Taip pat šiandienos visuomenėje yra tokių terpių, pavyzdžiui,

kaip ventiliacijos angos, kur yra pastovus dujų arba skysčių srautas, nepriklausantis nuo aplinkos poveikio. Tokias terpes būtų galima pritaikyti elektros energijos gavybai, naudojant pjezokeramiką.

Tyrimais ir modeliavimais siekiama sukurti naujo tipo elektros išgavimo būdą, kuris būtų pritaikomas įvairiose terpe. Šio tyrimo tikslas – nustatyti pjezoelektrinių elementų technologijos galimybes ir rasti būdus, kaip panaudoti įprastinę pjezokeramiką elektrai išgauti.

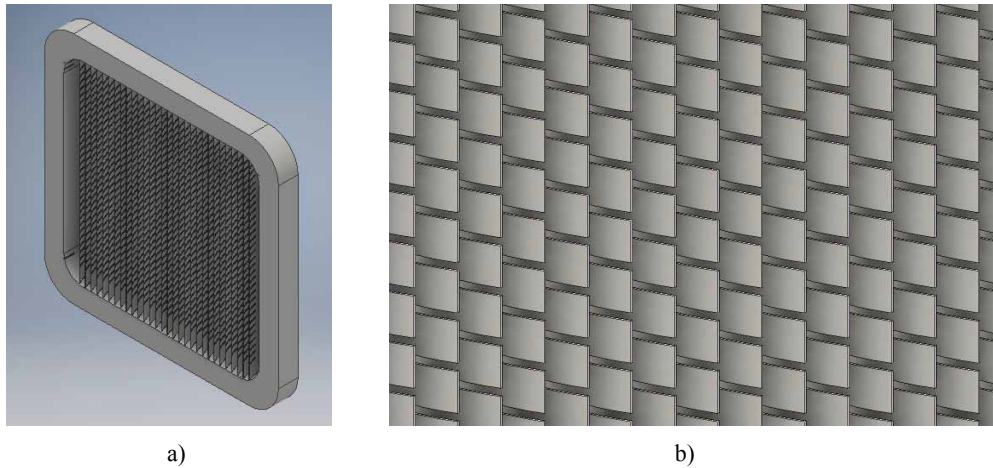
### Metodika

Buvo suprojektuotas standas bei sudarytas oro srauto baigtinių elementų modelis, skirtas pjezokeramikos deformacijai stebėti (1 pav.). Tyrimams pasirinktos dvi skirtingos medžiagos: vanduo ir oras. Eksperimentiniai ir teoriniai bandymai atlikti atskirai su kiekviena terpe naudojant kompozitą, sudarytą iš pjezokeramikos miltelių ir varinių plokštelių.

### Eksperimentų eiga

Naujo pjezoelektrinio kompozito tyrimai buvo atliekami Kauno technologijos universitete. Čia buvo pagamintas naujomis savybėmis pasižymintis kompozitas.

Bandinys buvo sudarytas iš pjezoelektrinės medžiagos, kuri buvo susmulkinta ir sumaišyta su 20 % polivinilo butirialio alkoholio tirpalu. Vėliau šis mišinys buvo



1 pav. Sistemos modelis (a); pjekozkompozitinių plokštelių išdėstymas (b)

Fig. 1. a) Software stand model; b) Arrangement of piezo ceramic

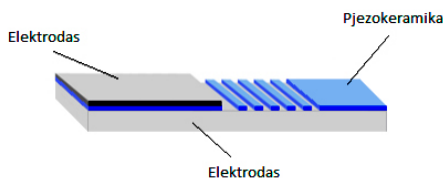
padengtas ant metalo ir džiovintas 100 °C temperatūroje 30 minučių (Janusas *et al.* 2015). Bendras bandinio storis buvo ~1,2 mm (2 pav.).

Šis bandinys (3 pav.) toliau buvo tiriamas naudojant vibracinį stendą, kuri sudarė elektrinis generatorius AGILENT 33220A, stiprintuvas HQ Power VPA2100MN ir vienos ašies akcelerometras KD-35. Naudojant šį stendą buvo nustatytos deformacijos metu sukuriamos įtampos (Technologijos.lt 2015). Vėliau buvo tiriamas atvirkštinis pjekoelektrinis efektas taikant PRISM matavimo sistemą (4 pav.) ir stebima, kaip elementas deformuojasi, kai juo

teka elektros srovė (6 pav.). PRISM įrangos išdėstymas ir veikimo principas pavaizduotas 5 pav.

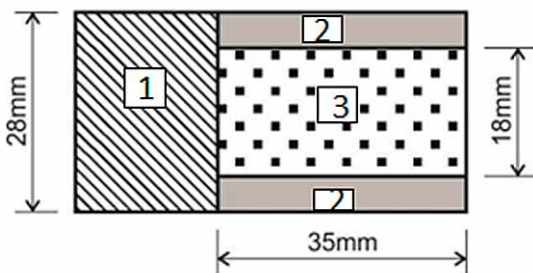
Atliekant tyrimus buvo sugalvota, kad naują pjekoelektrinę medžiagą reikia susmulkinti, kad ši taptų lanksti ir būtų galima stebėti jos deformacijas.

Naujoji pjekoelektrinė medžiaga buvo sukurta naudojant PZT miltelius ir 20 % polivinilbutiralo tirpalą benzilo alkoholyje viską kartu sumaišant. Varinė folija tolygiai padengiama gauta pasta ir džiovinama 100 °C temperatūroje 30 minučių. Ši procedūra leidžia suformuoti plonus sluoksnius tolygiu ir vienodu storiumi (šiuo atveju elemento storis buvo ~1,2 μm). Be to, pjekoelektrinės plonos plėvelės viršuje karšto išpaudimo technologija suformuota 4 μm periodinė mikrostruktūra. Toks kompozitas yra lankstus ir pasižymi pjekoelektrinėmis savybėmis, o periodinė mikrostruktūra leidžia panaudoti ne tik energijai išgauti, bet ir jutikliuose (Bruck *et al.* 2013; Ziegler 2004; Tomkins *et al.* 2013; Stolyarova *et al.* 2008; Albert *et al.* 2013; Tripathi *et al.* 2012; Egea *et al.* 2013).



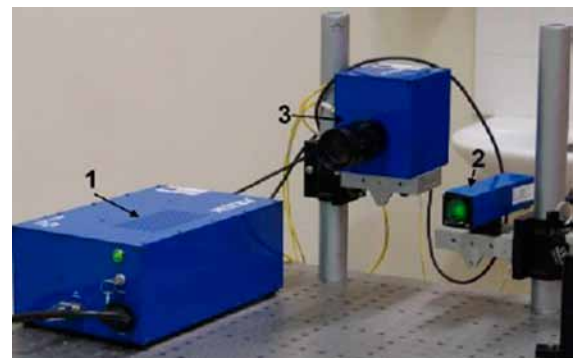
2 pav. Erdvinė bandinio schema

Fig. 2. A three-dimensional image of the sample



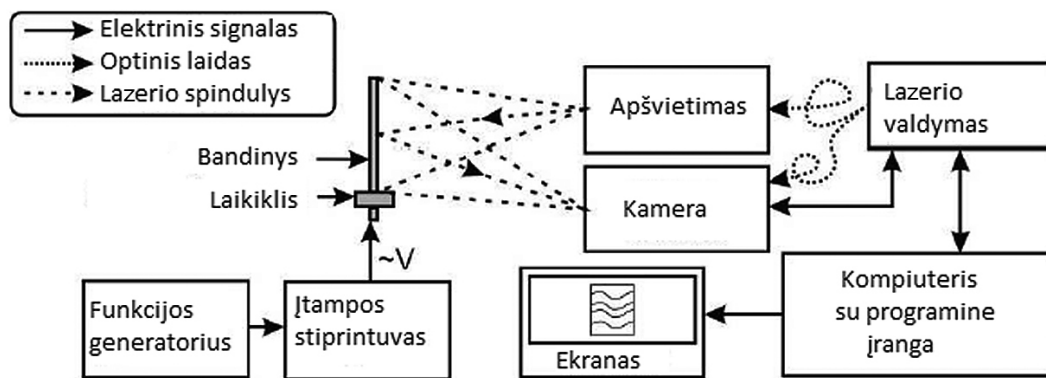
3 pav. Principinė bandinio schema: 1 – tvirtinimo vieta; 2 – varis; 3 – pjekokeramika

Fig. 3. Principal schemes of the piezoelectric element: 1 – clamping area; 2 – copper foil coated by composite PZT; 3 – electrode

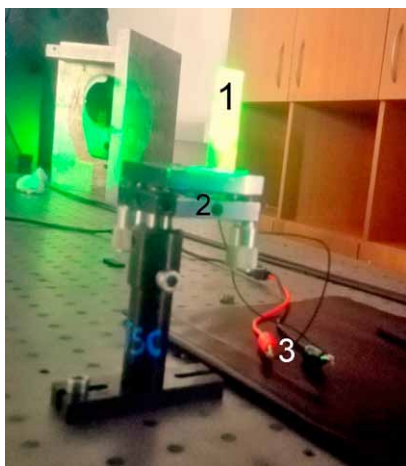


4 pav. PRISM įranga: 1 – valdymo blokas; 2 – apšvietimo galvutė; 3 – vaizdo kamera

Fig. 4. The PRISM measurement system consisting of: 1 – a control block; 2 – an object illumination head; 3 – a video camera



5 pav. PRISM įrangos schema  
Fig. 5. The PRISM experimental set-up



6 pav. Eksperimentas su kompozitu: 1 – apšviestas lazeriu kompozitas; 2 – laikiklis; 3 – elektros srovė  
Fig. 6. Experiment with the composite. 1 – composite laser illuminated; 2 – the clamping; 3 – electric current

Bandymai parodė, kad  $4 \mu\text{m}$  storio ir  $0,001 \text{ m}^2$  ploto pjezoelektrinis elementas deformuodamasis sukuria  $80 \mu\text{V}$  įtampą. Kadangi viena plokštelė generuoja mažą energijos kiekį, buvo pasiūlyta generatoriaus, sudaryto iš tokių bandinių sistemos (1 pav.), koncepcija. Skaičiavimai parodė, kad esant  $0,09 \text{ m}^2$  vamzdžio skersmeniui toks generatorius galėtų generuoti  $0,0192 \text{ V}$  įtampą.  $1 \text{ m}^2$  ploto tokia sistema generuotų  $0,36 \text{ V}$  įtampą (Bruck *et al.* 2013).

Šis atradimas yra svarbus tolesnei tyrimo eigai, nes nelieta liekamųjų deformacijų, o naujojo kompozito deformacijai reikalingos mažos jėgos.

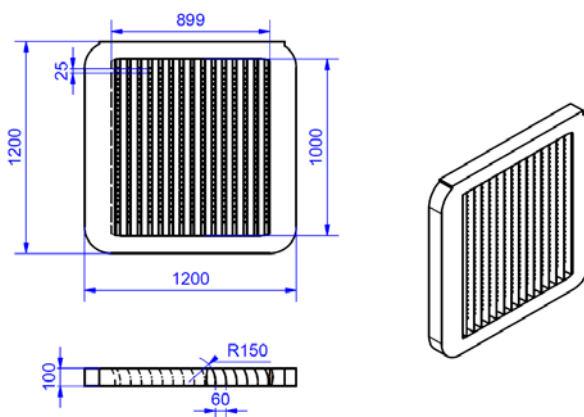
Pjezoelektrinis kompozitas gali būti naudojamas elektros gavybai, kai yra skysčio arba dujų srautas. Dujų srautas turi būti didesnis už skysčio dėl klampumo ir kitų medžiagų savybių, nes skysčio srautas turi didesnę kinetinę energiją.

Pjezoelektrinio kompozito konstrukcija ir išvaizda gali kisti priklausomai nuo parametų, tačiau visais atvejais

konstrukcija išlieka panaši. Pagrindą sudaro rėmas ir pjezoelektriniai elementai, kurie sraute gali lengvai deformuotis ir generuoti elektros energiją. Kompozitas turi būti padengtas lanksčia, nelaidžia elektros srovei danga, kad elektros krūvis nenutekėtų į skystį.

Tyrimai baigtinių elementų motodu atlikti su konstrukcija, kurios dydis buvo  $1200 \times 1200 \text{ mm}$ , o tarpai tarp plokštelių –  $60 \text{ mm}$  (7 pav.). Kad skaičiavimai geriau atspindėtų realaus srauto kitimą, plokštelė padaryta užlenkta. Dėl šio užlenkimo sraute atsirado kinetinė turbulentinė jėga.

Norint patikrinti, ar skystis pratekės pro generatorių, naudojant firmos „AutoDesk“ programas „CFD 2016“ ir „Inventor 2016“, atliktas 3D srautų modeliavimas, kurio rezultatai ir jų analizė pateikiami kitame skyriuje. Modeliuojant neanalizuojama plokštelių deformacija, o medžiagos buvo parinktos tokios, kad jų trinties koeficientai būtų artimi realiam modeliui. Korpusas buvo parinktas plieninis, o kompozitas simuliacijos modelyje buvo silikoninis (Sappia *et al.* 2015).

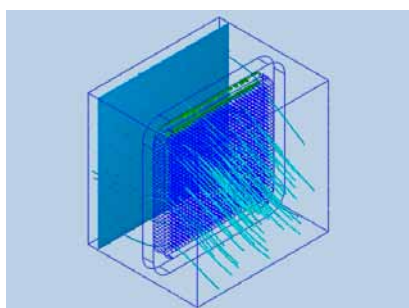


7 pav. Generatoriaus konstrukcija (mm)  
Fig. 7. Generator design (mm)

## Rezultatai ir jų analizė

Atlikus simuliacijas „Computational Fluid Dynamics“ (CFD) programine įranga, gauti pagrindiniai rezultatai, kurie parodė sistemos srauto pokytį ir jos susinormalizavimą atsiradus kliūčiai. Ši sistema neįvertina deformacijų, kurias sukuria srautas.

Modelio pradžioje buvo sukurtas 25 m/s greičio vėjas, o pabaigoje sudarytas vakuumas. Tyrimas buvo atliktas su dviem srautais: vandens ir vėjo. Viso srauto atkarpa buvo suskirstyta į šimtą iteracijų. Taikant tokį sistemos modelį lengviausia įvertinti sistemos patiriamus nuostolius (8 pav.).



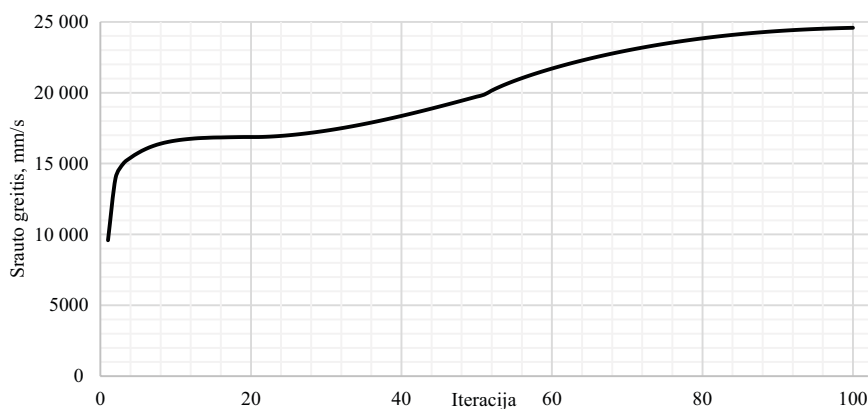
8 pav. Srauto simuliacija  
Fig. 8. The simulation of flow

Iš daugelio duomenų buvo išrinkti reikalingiausi ir aktualesni duomenys, kurie parodė srauto kitimą ir priklausomybę nuo iteracijų.

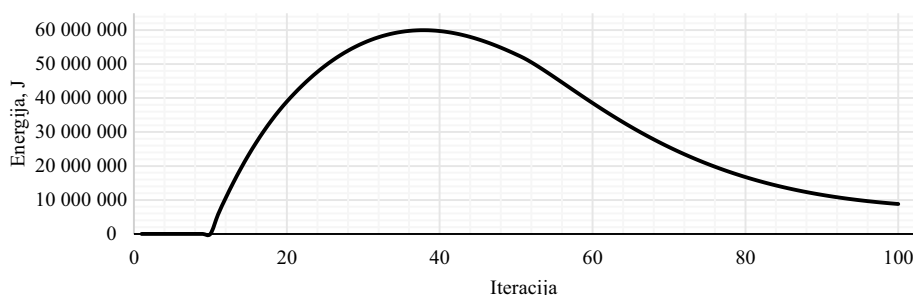
Atlikus tyrimus su dviem srautais (vandeniu ir oru) buvo pastebėta, kad srautai taip pat elgiasi, kai greičiai ir slėgiai yra vienodi. Kaip matyti iš grafikų, pateiktų 9 ir 10 pav., vandens greitis praktiškai nekinta, tačiau dėl kliūčių atsiranda turbulentinė kinetinė energija, kuri po kurio laiko nusistovi ir praktiškai išnyksta. Todėl prijungus prie sistemos generatorių, bendra sistema iš esmės nenukenčia.

Pastebėta, kad trisdešimt aštuntoje iteracijoje buvo didžiausia turbulentinė kinetinė energija, kuri lygi 60 MJ.

Toko tipo generatorių būtų galima pritaikyti vietovėms, kur yra didelis vėjas. Taip pat būtų galima pritaikyti ant pastatų arba ant žemės. Jis yra perspektyvesnis nei įprastinis vėjo generatorius, jį prižiūrėti yra nesudėtinga ir nėra jokių papildomų išlaidų. Skirtingai nei turbinos, kurios turi rotorius ir didžiulius sparnus, šis generatorius nekelia garso ir nedaro kraštovaizdžio. O lyginant su užimamu plotu, jis generuoja panašią galią, nes horizontali vėjo jėgainė pagamina 0,33 vato viename kvadratiname metre teritorijos.



9 pav. Teorinis srauto greičio kitimas, atsiradus kliūčiai, ties trisdešimt aštunta iteracija  
Fig. 9. The theoretical speed of flow range of an obstacle



10 pav. Teorinis turbulentinės kinetinės energijos kitimas, atsiradus kliūčiai, ties trisdešimt aštunta iteracija  
Fig. 10. The theoretical turbulent kinetic energy range of an obstacle

Šio tyrimo metu nebuvo įvertintos dėl srauto atsirandančios deformacijos, todėl nebuvo įmanoma išskirti kritinių verčių, kurioms esant pjezoelektrinis efektas pasireiškia. Taip pat nebuvo įvertintos vibracijos, kurių gali atsirasti deformuojantis kompozitui. Jos gali padidinti arba sumažinti sraute atsirandančias turbulentes kinetines energijas.

Reikia atkreipti dėmesį, kad šio generatoriaus leistina darbinė temperatūra negali viršyti tokios temperatūros, kurioje polimerinė apsauginė danga pradėtų deformuotis.

Atlikus analizę baigtinių elementų metodu buvo gauta srauto greičio priklausomybė nuo iteracijų. Matyti, kad ties 50 iteracija galima stebėti mažą grafiko lūžį, kuris rodo generatoriaus pabaigą. Taip pat grafikas parodė, kad srautas gana tolygiai kinta, nepriklausomai nuo kliūtis atsiradimo. Tokia priklausomybė mums aktuali, jei norime, kad bendras sistemos srauto greitis liktų nepakitęs.

Atlikus skaičiavimus programine įranga „Computational Fluid Dynamics“ matyti, kad atsiranda didelė turbulentinė kinetinė energija. Didžiausioji jos vertė, kuri lygi 60 MJ, pasiekama trisdešimt aštuntoje iteracijoje. Energija laikui bėgant nusistovi ir pasiekia 10 MJ. Toks energijos šuolis gali būti žalingas sistemai, todėl reikia užtikrinti, kad sistemos srautas, esantis už generatoriaus, turės galimybę nusistovėti.

## Išvados

1. Naujo tipo pjezoelektrinis generatorius yra perspektyvi elektros gamybos technologija.
2. Taikant šią technologiją iš 1 m<sup>2</sup> ploto galima išgauti 0,36 V įtampą.
3. Generatorius gali būti pritaikytas įvairiose terpėse ir gali būti įvairiai įkombinuojamas.
4. Atlikus eksperimentinius tyrimus, nustatyta, kad srautas po kliūtis nusistovi gana greitai.
5. Pastebėta, kad nepriklausomai nuo terpės srautas nusistovi pagal tą pačią priklausomybę.
6. Keletas tokio tipo generatorių, sujungtų į vieną sistemą, galėtų aprūpinti nuolatine energija namų ūkį.
7. Norint panaudoti kompozitą masiniam elektros gavimui galima pastatyti elektrines, kurios būtų suformuotos panašiu principu kaip saulės kolektorių elektrinės.

## Padėkos

Šie tyrimai buvo finansuoti Lietuvos mokslo tarybos (projekto nr. MIP-81/2015).

## Literatūra

- Bruck, H. A.; Yang, M.; Kostov, Y.; Rasooly, A. 2013. Electrical percolation based biosensors, *Methods* 63(3): 282–289. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2013.08.031>
- Ziegler, C. 2004. Cantilever-based biosensors, *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 379: 946–959. <https://doi.org/10.1007/s00216-004-2694-y>
- Tomkins, M. R.; Chow, J.; Lai, Y.; Docoslis, A. A. 2013. Coupled cantilever-microelectrode biosensor for enhanced pathogen detection, *Sensors and Actuators B: Chemical* 176: 248–252. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.09.020>
- Bausells, J. 2015. Piezoresistive cantilevers for nanomechanical sensing, *Microelectronic Engineering* 145: 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2015.02.010>
- Medjahdi, N.; Benmoussa, N.; Benyoucef, B. 2014. Modeling, simulation and optimization of the mechanical response of micromechanical silicon cantilever: application to piezoresistive force sensor, *Physics Procedia* 55: 348–355. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.07.051>
- Stolyarova, S.; Cherian, S.; Raiteri, R.; Zeravik, J.; Skladal, P.; Nemirovsky, Y. 2008. Composite porous silicon-crystalline silicon cantilevers for enhanced biosensing, *Sensors and Actuators B: Chemical* 131: 509–515.
- Sappia, L. D.; Trujillo, M. R.; Lorite, I.; Madrid, R. E.; Tirado, M.; Comedi, D.; Esquinazi, P. 2015. Nanostructured ZnO films: a study of molecular influence on transport properties by impedance spectroscopy, *Materials Science and Engineering: B* 200: 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2015.06.005>
- Liu, H.; Quan, C.; Tay, C. J.; Kobayashi, T.; Lee, C. 2011. A MEMS-based piezoelectric cantilever patterned with PZT thin film array for harvesting energy from low frequency vibrations, *Physics Procedia* 19: 129–133. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.06.136>
- Albert, J.; Lepinay, S.; Caucheteur, C.; DeRosa, M. C. 2013. High resolution grating-assisted surface plasmon resonance fiber optic aptasensor, *Methods* 63: 239–254. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2013.07.007>
- Tripathi, S. M.; Bock, W. J.; Mikulic, P.; Chinnappan, R.; Ng, A.; Tolba, M.; Zourob, M. 2012. Long period grating based biosensor for the detection of Escherichia coli bacteria, *Biosensors and Bioelectronics* 35: 308–312. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2012.03.006>
- Egea, A. M. C.; Mazenq, L.; Trévisiol, E.; Paveau, V.; Vieu, C. 2013. Optical label free biodetection based on the diffraction of light by nanoscale protein gratings, *Microelectronic Engineering* 111: 425–427. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2013.05.002>
- Janusas, G.; Ponelyte, S.; Brunius, A.; Guobiene, A.; Prosycevas, I.; Vilkauskas, A.; Palevicius, A. 2015. Periodical microstructures based on novel piezoelectric material for biomedical applications, *Sensors* 15(12): 31699–31708 [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. sausio 13 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/12/29876>
- Technologijos.lt. 2015. *Atsinaujinantys energijos šaltiniai* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. sausio 13 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.technologijos.lt/n/technologijos/energija\\_ir\\_energetika/S-49855/straipsnis/Atsinaujinantys-energijos-saltiniai-pasaulyje-paskelbta-statistika-ir-kita-idomi-informa](http://www.technologijos.lt/n/technologijos/energija_ir_energetika/S-49855/straipsnis/Atsinaujinantys-energijos-saltiniai-pasaulyje-paskelbta-statistika-ir-kita-idomi-informa)

## **POWER GENERATION TECHNOLOGY BASED ON PIEZOELECTRIC NANOCOMPOSITE**

**J. Ciganas, G. Janušas**

### **Abstract**

A new system based on a piezoelectric effect for electric power generation has been developed. Material used in the new model is flexible and has piezoelectric effect. Using the PRISM stand, it was determined that system of 1 m<sup>2</sup> area of such elements would generate a constant 0.36 V voltage. Also the created finite element model and the airflow in the designed system was analysed using CFD software. Two different materials were selected for the numerical investigation: water and air. Calculation shows that turbulent kinetic energy, which is equal to 60 MJ, increases as the obstacle arises. Such energy increases for the short time and quickly decreases and become stable.

**Keywords:** piezoelectric effect, electricity, piezoelectric power, composite, generator.