

A Comprehensive Study and Analysis of Kinetic Energy Floor

Authors

Saad Bin Abul Kashem
 Molla E Majid
 Mujahid Tabassum
 Atif Iqbal
 Kiran Pandav
 Kouzou Abdellah

Keywords

renewable energy, kinetic floor, piezoelectric, electricity

Abstract

This research studies the concept of piezoelectricity, in which the energy can be captured with a small compression. Kinetic energy floor by piezoelectric is able to generate electricity under compression of human weight. A survey has been conducted to estimate the energy that can be harness from human walk. At Swinburne University of Technology Sarawak Campus, the pathway between A/B block and G block has been chosen to do the survey which has the highest population in walking. An experimental model has been designed and evaluated; results obtained after continuous experiments and troubleshooting are tabulated. Comparison between the theoretical and experimental result are made for better understanding on the functionality and credibility of the device. In this paper, recommendations are also included for future implementation

DOI: 10.12736/issn.2330-3022.2020201

Received: 29.09.2019

Revised: 14.11.2019

Accepted: 15.12.2019

Available on-line: 21.12.2020

1. Introduction

Energy consumption and depletion of natural resources have become a subject of concern globally. Increased energy consumption from natural sources has been identified as one of main reasons behind global warming. [1, 2, 3]. Growing industrialization and energy consumption of many countries, including China, India and Malaysia, are gradually making this situation more vulnerable [4–7]. Scientists are investigating ways to generate energy from alternative sources that are renewable and sustainable, so that dependence of humans on nonrenewable sources of energy is decreased. Nonrenewable sources of energy (such as oil, natural gas and coal) are heavily used but they take billions of years for formation. Electricity has, now-a-days, become one of the main needs of human being. Both renewable resources, such as wind power, hydropower, solar energy, and nonrenewable resources, such as charcoal and natural gas, are used to generate electricity. More and more countries around the globe are gradually finding ways to shift towards renewable sources in order to meet their energy needs [10, 11].

Kinetic energy floor is a concept to capture energy produced by human while walking. A person takes about an average of a hundred million steps in a lifetime. The force exerted from people's weight is just absorbed by the ground or wasted. Using piezoelectric materials, it is possible to convert the dynamic compression of floor into electrical energy. This type of energy is renewable, and can be used to supplement the growing energy needs. A number of researches have been conducted to prove the workability of this principle [8, 9]. The kinetic floor is designed in compact modules, and the installation area decides the number of modules required. Every module is compressed elastically if a human, vehicle or any other heavy substances move upon it. The kinetic energy floor design is a regenerative system that is capable of harnessing wasted energy. The modular floor system has a small generator that collects and stores energy in each module. Every little compression of the floor will be enough to activate the generator to produce electricity that can be saved or used to power up systems. The value of savings in electricity can easily be determined by calculating the amount of energy captured by the area of the kinetic energy floor.

2. Brief History of Piezoelectric Phenomenon

In the year 1881, the discovery of the deformation of a piezoelectric material under the effect of an applied electrical field by Lippmann was treated as a converse effect of the piezoelectric effect. Afterward, Curie and Curie (1881) [12] rectified the announcement of Lippmann's mathematical predictions related to thermodynamic theories, to reversible processes, and hence the existence of piezoelectric effect had been verified. Piezo, a term derived from the Greek word *piezein* means "pressure", and the phrase piezoelectricity can be explained in a simple way that electricity will only be generated after the exertion of pressure on a piezoelectric material [13].

By recalling back the history of piezoelectricity, this effect was first implied on sonar devices during the First World War in order to sense submerged metal-made objects in the water. Piezoelectric microphones, sound recorder and vibration measuring tools are some of the examples of the products that manifested the piezoelectric principle after the building of the first sonar device. These important inventories raised interest among the public and thus this effect was being further investigated, especially in the aspect of energy usage [13].

2.1. Materials and Structure of Piezoelectric Generator

It is necessary to use a piezoelectric material to build a generator or prototype. There are three groups of materials categorized as the usual piezoelectric materials. The most ordinarily used piezoelectric material in designing the generator is ceramic. [14] In this context, these ceramics are significantly known as piezoceramics, a ferroelectric material that possess a polycrystalline structure. The structures of piezoceramics will change accordingly to the Curie temperature change. [1] The critical temperature beyond which a ferromagnetic material turns in paramagnetic is known as Curie temperature [15]. These ferroelectric crystals will exhibit a simple cubic symmetry structure when it is above the Curie temperature. In this case, both the positive or negative charge sites will be in coincidental condition and hence there will not be any dipoles present in this state. On the other hand, both the positive and negative charges will not be in coincidental condition below the Curie temperature. This scenario allowed the presence of electric dipoles and the realignment of neighboring dipoles will form Weiss domains [13].

There are a few well-known examples of typical piezoceramics used in industrial sectors. They are lead zirconate titanate (PZT), lead titanate (PbTiO_3), potassium niobate (KNbO_3), barium titanate (BaTiO_3), lithium titanate (LiTaO_3), lithium niobate (LiNbO_3), zinc oxide (ZnO) and sodium tungstate (Na_2WO_3). Among these piezoelectric materials, PZT would be the first choice for the manufacturers due to its high-performance efficiency. However, from the sustainability aspect, a restriction on the amount of lead usage has been issued due to toxicity problems. Nevertheless, PZT still remains the most popular commercial product in the industrial sectors [13]. Besides ceramics, composite materials can also be used as a piezoelectric material. Although ceramics possess excellent piezo properties, it has low flexibility

and difficult to stretch into different shapes and layers. On the other hand, composite materials are flexible and are easy to be shaped in different geometries, such as shell structure, rod shape or honeycomb structure. Piezocomposites have a lower level of brittleness compared to the piezoceramics and hence have increased flexibility. There are two types of commonly used piezocomposites, these are piezoelectric fiber composite (PFC) and macro-fiber composite (MFC) [13].

Moreover, polymers are also another favorite choice of the piezoelectric group of materials. In fact, polymers have fascinating benefits over ceramics and composite materials as these can be fabricated in the form of yarns and fabrics. Its flexibility and piezoelectric properties are much higher than the other materials. Basically, either natural polymers or artificial polymers are widely used by the manufacturers, for example, polysaccharides, polynucleotides or polyvinylidene fluoride (PVDF) are preferable materials for textile manufacturing. [13] Under this circumstance, PVDF will be a more popular material among the artificial polymers due to its superior crystalline structure that is composed of at least 50% and above of the crystal phase [14].

2.2. Working Theories and Principles

There are two categories of piezoelectric effects, these are 'direct piezoelectric effect' and 'converse piezoelectric effect'. For the direct piezoelectric effect, it concerns the conversion of mechanical energy into electrical energy meanwhile the latter effect opposes the previous concept, converts electrical energy to mechanical energy. The direct piezoelectric effect addresses the concept of the generation of electrical output. It depends on the insertion of mechanical stress on the materials where electrical charges have been produced on the surface of the crystals of materials. Thereby, when the electrical charges change their polarity by alternating their direction of strain, the effect is identified as reversed and known as the converse piezoelectric effect [13].

In this research, the direct piezoelectric effect is (the) main adopted concept. When the molecular structure orientation of material plays an important role in the formation of electrical dipoles, the material is categorized as a part of the ferroelectric family. Thus, piezoelectric materials are one of the members as the change of localized charge separation will change the formation of electrical dipoles. Weiss domains are determined as a group of dipoles with parallel orientation, and this domain can be oriented in a random way for any raw piezoelectric material. This orientation makes the materials not to exhibit any piezoelectric properties. When the Curie temperature continues to increase while heating the material, these electric dipoles rearrange their orientation in order to fit the direction of the applied pressure in the presence of a strong electric field [13].

The working principle of the piezoelectric generator is occasionally based on the theory of conversion of energy. Structural vibrations can be treated as a kind of energy and it is produced when there is an application of pressure. Piezoelectricity makes use of vibration energy created by applying pressure on a piezoelectric material and this force causes a significant change in the crystalline structures of piezoelectric materials. Both junctions

of the surface become imbalanced as the two ends being polarized due to the change of polarity of electric dipoles. This kind of distortion allows the generation of high voltage outputs but low energy flow of electric current [13]. This has been the subject of a study with many different measurements [16, 17–22].

2.3. Performance Efficiency of Piezoelectric Generator

The performance efficiency of the piezoelectric generator depends on the coupling factor k_{xy} of a piezoelectric material. The value of k represents the effectiveness of the piezoelectric material and it will be changing in a random manner. Due to its inability of completing the conversion of all mechanical energy to electrical energy, the value of k is always less than unity [13, 23–25]. Besides that, the structure of the piezoelectric generator used will affect its stability of performance. Basically, the beam structure will be the main choice of the users as the resonant frequency is adjacent to the driving frequency of the object's vibration in that structure. When the mass M installed on a beam has been increased, the amount of electric power will be increased in a proportional amount [14, 26–29].

3. Application

A survey of applying the kinetic energy floor at the Swinburne University of Technology, Sarawak Campus has been conducted. The area chosen is the corridor connecting Building A/B and Building G, which are one of the most popular walkthroughs, meaning that the kinetic energy floor installed will get most steps in this area. The lobby is the main entrance to Swinburne, and also the entrance of Building A/B which has a library, student office, lecture halls and classrooms, activity rooms and open labs. The lobby is also a place to wait for pick-ups. The corridor shown in figure 1 is the main way to go between Building A/B and Building G, where Building G is also popular with lectures and classrooms, activity rooms, IT office, student help center, and cafeteria. The corridor links the way of the two-building, A/B and G that student spends most of their time on their activities and events, such as going to class, buying food and drinks at the cafeteria or to go back to the hostel. The other corridor linking lobby and Building E is not chosen because Building E has fewer classrooms and thus not many people walk on that path every day. A reason that the high popularity area like the lobby in Building A/B and ground floor of Building G are not recommended to apply the kinetic energy floor is because people there mostly walk in lines, meaning that all Powerfloor modules will be stepped in the pathway. Room space is less effective because when people walk in that area, most of the Powerfloor module will not be stepped but only a part of them on a certain path.

Currently, the source of electricity that has been used by Swinburne is provided by Sarawak Energy. Whenever the city has a blackout, the university is affected. If the kinetic energy floor is implemented in all popular pathways in the whole campus, the university will have an independent power source, along with the main power supply. During a blackout of the city, lights in the campus can still be on and some emergency apparatus can still be run by the energy stored by the energy floor.

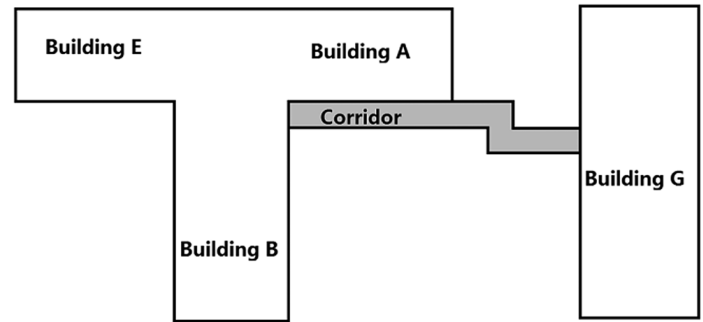


Fig. 1. The Map of Building A/B Ground Floor

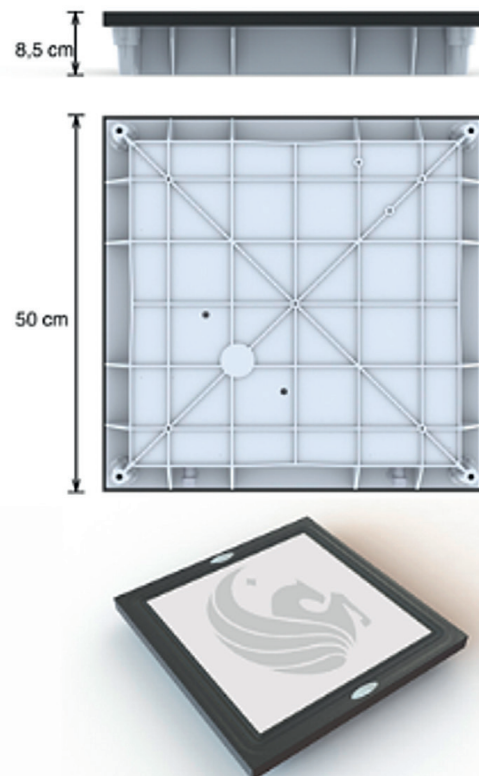


Fig. 2. The Powerfloor Module of Powerleap Inc.

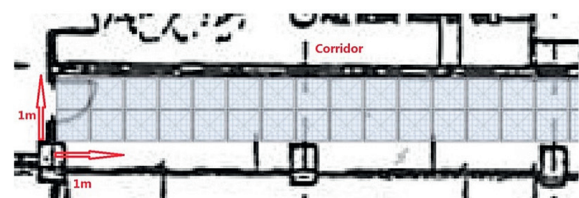


Fig. 3. Zoomed in the map to the corridor

The Powerfloor module would be installed in the way as shown in Fig. 3. In this survey, the available product in the market would be used to study the cost and research effectiveness. The Powerfloor Module (Fig. 2) of Powerleap Inc. [14] has a module size of 50 x 50 cm with 8.5 cm depth which costs RM1800 per tile. The installation area is the corridor which is 30 m long and 1 m wide, 30 m² in area, meaning that the area would need 120 tiles.

The total cost will be RM 236, 000 including RM 20, 000 installation fee.

Each tile generates 5Watt-seconds with a maximum 0.01 cm displacement under 100 N force. The displacement is just 0.01 cm so that whoever steps on the modules does not feel any difference, however, electricity is produced. The force exerted from a body to the ground while walking is approximately 1x to 1.5x of the body weight. Taking an assumption of 80 kg for men and 65 kg for women while carrying books, bags, laptops or other stuff, the force exerted on the floor is around 650 N~800 N. While the force needed is only 100 N, it is more than enough to make a 0.01 cm maximum displacement to the tile.

The Swinburne University in Sarawak has around 4,500 people and using an estimate of a total of 3,000 people going to campus on weekdays, 1,000 on Saturdays and 500 on Sundays. The total steps in a week are 2970000, assuming each person spending 180 steps walking up and down twice through the corridor in a day. The details are tabulated in Tab. 1 below.

With so many steps, Powerfloor would be able to produce an amount of 4.125 kWh electricity in a week; it will be 198 kWh in a year. So for every year, there will be 198kWh electricity harvested from people walking in the small area in the corridor.

Kilowatt-hour (kWh) is a unit of energy equivalent to one kilowatt of power expended in an hour, which is equivalent to 2.6 Mega Joules of energy. 1 kWh of energy can perform the following tasks:

- Run a photocopier (rated 375 watts) for 2.5 hours
- Run a laptop (rated 22 watts) for 44 hours
- Charge the mobile phone for 1000 hours

As per the calculated energy harvested, it is possible to power up much more electrical equipments. With the installation of a kinetic energy floor at the corridor besides the lobby, electricity harvested can be spent on lighting of the lobby. The university is now using Incandescent filament light bulbs (rated 60 watts). Instead lighting can be changed to Light Emitting Diodes (rated 6 watts), which emits less greenhouse gas and lower watts. In this way, the lighting of lobby could be covered by the kinetic energy floor installed at the corridor partly. With 198 kWh harvested every year, 6 LEDs are able to be powered up throughout the year independently.

The electricity price for commercial customers in Kuching, Malaysia is 26.4 cents/kWh. So, every year Swinburne University could save an approximate of RM 52.27 in electricity bills. The

amount saved in electricity is not that much since the electricity in Malaysia is not expensive and the installation area is small where a limited amount of energy can be harvested.

Looking at the price of installation and the purchase of the Powerfloor module, the amount of savings will never reach the break-even point. However, today, people are talking about the discovery of new renewable energy sources in order to reduce dependency on the current sources of production of electricity, especially those are nonrenewable. In the U.S. today, majority of the electricity come from converting heat energy which is released from burning fossil fuels like coal, natural gas, and oil. This is not a sustainable practice as nonrenewable energy is limited and these sources are typically not environmental friendly.

Calculations

- Calculation of force exerted on the module:

$$1.3 \cdot \text{Body weight} \cdot \text{Gravitational force} = \text{Force exerted on module}$$

$$1.3 \cdot 80 \text{ kg} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1019.2 \text{ N}$$

- Calculation of daily steps on the Powerfloor module:

$$\text{Number of person} \cdot \text{Steps spending per person} = \text{Number of daily steps}$$

$$(3000 \cdot 5 + 1000 + 500) \text{ persons} \cdot 180 \frac{\text{steps}}{\text{person}} = 297000$$

- Calculation of electricity harvested weekly:

$$\text{Power generated per step} \cdot \text{Number of steps} = \text{Power generated}$$

$$5 \frac{\text{Ws}}{\text{step}} \cdot 297000 \text{ steps} \cdot \frac{0.001}{3600 \text{ s}} = 4.125 \text{ kW}$$

$$\text{And every month, it can have } 4.125 \text{ kWh} \cdot 4 = 16.5 \text{ kWh}$$

$$\text{And every year it would be } 16.5 \text{ kWh} \cdot 12 = 198 \text{ kWh}$$

- Calculation of electricity cost saving for a year:

$$\text{Cost of electricity per kilowatt-hour} \cdot \text{electricity harvested} = \text{Yearly saving amount}$$

$$\text{RM}0.264 \cdot 198 = \text{RM}52.27$$

3. Experimental Model

The concept of kinetic flooring uses both piezoelectric transducer and direct kinetic energy capture methods. These concepts are

Amount of people	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Peak Hours (8 am – 5 pm)	2500	2500	2500	2500	2500	800	400
Offpeak hours (5 pm – 8 am)	500	500	500	500	500	200	100
Total	3000	3000	3000	3000	3000	1000	500
Steps per person	180	180	180	180	180	180	180
Total Steps	540 000	540 000	540 000	540 000	540 000	180 000	90 000
Total Steps in a week	2 970 000						

Tab. 1. Estimation of steps in a week

being used around the world and are viable concepts that can be implemented in Swinburne. For this research, piezoelectric transducer has been chosen to generate energy as the system is smaller and more compact in size compared to other energy collection methods. Its cost is also considerably lower. The data collected about the volume flow and area of Swinburne with high traffic volume further strengthens the viability of this concept to be implemented in Swinburne. The biggest challenges faced during this research were the learning of how a piezoelectric crystal works, where the positives and negatives were located and it's grounding mechanism. Also identifying it in the lighter was problematic at the beginning too.

The original design was to use piezoelectric transducers in producing a working prototype. However, several problems had been identified, such as availability and price. These parts could not be found in Kuching city. The crystal needed to be struck hard to produce a charge because the only crystals that were available were of low quality and produced a poor charge. Therefore, the crystals were removed from the lighters. Besides, another problem rose up, which was the charge produced were very little compared to the size and shape of the crystal. This was not up to the standards and requirements needed to be satisfied. The first design consisted of 2 plates that sandwiched the piezoelectric crystals in the middle, using springs to keep the plates separate. This did not work as the force required to produce a charge was very high. There was also difficulty while fixing the wires as the crystals had irregular shapes and the positive and negative could not be identified or which sides of the crystals to attach to the wires. As the model moved with the introduced force it made the wires stay in the specific place nearly impossible.

The second model was to keep the piezoelectric housing and use the build-in spring for the design. This proved very hard to trigger and keep upright as the force required was very high. The force to energize the spring was high and caused the second model to collapse by the force needed to depress it and keep the model in one piece

The third design was to keep the whole body of the gas-lighter and just remove the mechanism that releases the fuel source. Now, the casing is used as it supports stilts. The design was further refined by adding a support rod in the middle of lighter (piezoelectric crystals) to compare the efficiency. To strengthen the model, wooden plates were introduced instead of cardboard. The second problem with this design was the charge produced was just for a brief instant. In order to let the charge last longer, a capacitor was introduced into the system to collect the charge and provide a more sustained light to the LED. From the experiment, it has been found that the charge produced by striking the piezoelectric crystal was not a dc current which cannot be used directly to charge the capacitor. Therefore, a rectifier has been added in order to produce the desired flow of current by converting the ac current into the dc current.

As shown in Fig. 5, when switch S1 is opened, the current produced from the lighter will start to charge up the polarized capacitor C1. As ac current passes through diode D1, it will be converted into DC current to prevent it from flowing backward.



Photo 1. Experimental model

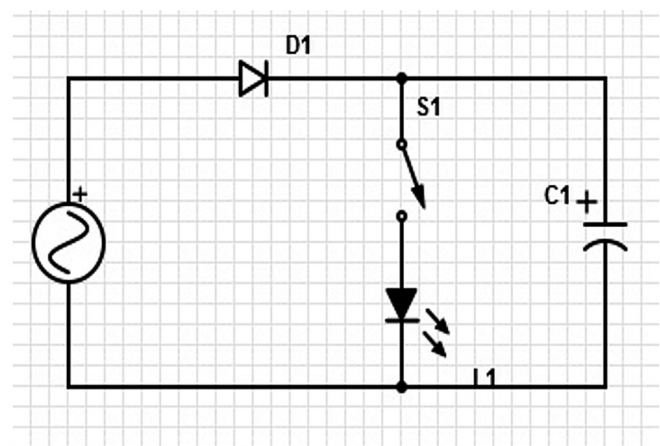


Fig. 4. Circuit of the piezoelectric generating floor model

When switch S1 is closed, the charge will be released from the capacitor and flow back to the LED. The steps are repeated in order to keep the LED lit up.

This model is just to show the concept. The results from this model may not be suitable to be used to compare to real-life models. The piezoelectric transducer produces a much higher charge as it's crystal is purer. Using the estimated power produced by the actual model, it can be calculated how much power can be generated daily in Swinburne.

3.1. Experimental Layout

The structure of the piezoelectric generating floor model is a sandwich structure, where the lighters are positioned in the middle of two square wooden boards. The electric current is produced when the pressure is exerted on the upper plate causing the strike between the piezoelectric crystal and the metal plate in the lighter. As mentioned earlier, the amount of charge produced is very little that is only enough to produce an instant spark from the led. In order to maximize the charge which can be produced; an arrangement of the lighters' connection has been made based on the Ohm's Law principle.

According to Ohm's Law principle, lighters can produce more current when they are connected in parallel which can be charged in the capacitor for every cycle. Hence it also increases the duration of the LED lit up when the charge is released. Another method had been considered in increasing the charge production, which is, increasing the number of lighter being used in the circuit.

3.3. Fabrication of the second model

The second model is simply using 8 lighters instead of 4 lighters to charge up the capacitor. The extra four lighters will be added into the extra holes on the bottom plate and connected with the other four lighters in the parallel circuit. The experiment is conducted to investigate the relationship between the number of lighters used and the output of the charge. The measurement of the voltage and current will be using multimeter throughout the experiment. Since a multimeter has been used, the accuracy of the data might not be good enough for the graph as the charge produced by the model is varying and the reading on the multimeter is fluctuating. However, the experiment is just to prove the concept.

4. Result

Attempts	2 lighters		4 lighters		6 lighters		8 lighters	
	mV	mA	mV	mA	mV	mA	mV	mA
1	10.3	23	43	36	34.6	25	40.3	105
2	1.5	15	22.7	53	42.6	64	25.2	62
3	14.8	9	3.3	20	35.6	67	57.2	164
4	5.7	25	15.8	98	4.5	45	33.5	124
5	3.6	55	35.1	45	29.5	42	45.2	45
Average	7.18	25.4	23.98	50.4	29.36	48.6	40.28	100

5. Analysis and Discussions

Based on the results obtained from the initial prototype, the result in terms of voltage is not good enough and hence it has been decided to build the second one. The second modal produces a high voltage but very low ampere. The highest voltage produce per single depression is just below four Millivolts. This varies with depression and only if the depression is complete. It also depends on the piezoelectric crystal's condition at that very moment. This is because the energy produced from the crystal varies depending on many factors. Using high-quality piezoelectric crystals, it is possible to produce a proper charge. This research will help to reduce Swinburne's overall carbon footprint and energy consumption.

6. Conclusion

The kinetic energy floor has a high potential to become one of the main streams in energy generators. The module is simple and easy to produce to power up the systems nearby, meaning where do people walk, there comes electricity. The piezo crystals are the recommended material for kinetic energy floor where the

piezoelectric effect is a simple concept understood as linear electromechanical interaction between the mechanical and electrical state. The kinetic energy floor has the same energy conversion with piezoelectric and they are meticulous, a small change in potential will also provide a certain current of electricity.

The kinetic energy floor has low purchase and installation cost and the savings in electricity bills could come to breakeven in the short term. It should be installed in places which are highly crowded such as dance clubs, the entrance of buildings, bus stations, train stations, in order to achieve the highest efficiency. Future improvements could be made in the field of power generation and battery capacity, as well as the durability of the energy floor module. The products are possible to be customized. They are highly flexible in size and design of appearance to fulfill consumer demand.

From the survey in the application of the kinetic energy floor in Swinburne University of Technology, Sarawak Campus, the amount of electricity harvested is acceptable with 100 tiles of Powerfloor module installed in the 25 m² corridor. The kinetic energy floor will be more and more common in the future which brings a huge difference in its price. With an economical price the energy floor is possible to be installed in all high popularity areas in Swinburne, the huge amount of electricity harvest, in that case, is able to power up some lighting, computers or even air conditioners.

In conclusion, the kinetic energy floor is one of the most efficient energy converters; it is cost-effective and efficient for large scale applications. It is said to be sustainable as the energy sources in unlimited, as long as there are people walking on earth.

REFERENCES

1. Saidi K., Hammami S., The impact of CO₂ emissions and economic growth on energy consumption in 58 countries, *Energy Reports*, 1(0), 2015, pp. 62–70.
2. Fumo N., Rafe Biswas M.A., Regression analysis for prediction of residential energy consumption, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47(0), 2015, pp. 332–343.
3. Liu Z., Zhao T., Contribution of price/expenditure factors of residential energy consumption in China from 1993 to 2011: A decomposition analysis, *Energy Conversion and Management*, 98(0), 2015, pp. 401–410.
4. Zhang Y. et al., China's energy consumption in the building sector: A life cycle approach, *Energy and Buildings*, 94(0), 2015, pp. 240–251.
5. Yin, X., et al., China's transportation energy consumption and CO₂ emissions from a global perspective, *Energy Policy*, 82(0), 2015, pp. 233–248.
6. Yang Z., Zhao Y., Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in India: Evidence from directed acyclic graphs, *Economic Modelling*, 38(0), 2014, pp. 533–540.
7. Alam M.J. et al., Dynamic modeling of causal relationship between energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in India, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 2011, pp. 3243–3251.

8. Hafiz F., Abdennour A., Optimal use of kinetic energy for the inertial support from variable speed wind turbines, *Renewable Energy*, 80(0), 2015, pp. 629–643.
9. Dincer I., Zamfirescu C., Chapter 7 – Renewable-Energy-Based Power Generating Systems, in *Advanced Power Generation Systems*, I.D. Zamfirescu, Editor, Elsevier: Boston, 2014, pp. 369–453.
10. Notton G., Importance of islands in renewable energy production and storage: The situation of the French islands, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47(0), 2015, pp. 260–269.
11. Llano-Paz de F. et al., The European low-carbon mix for 2030: The role of renewable energy sources in an environmentally and socially efficient approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48(0), 2015, pp. 49–61.
12. Waqar S., Wang L., John S., 9 – Piezoelectric energy harvesting from intelligent textiles, in *Electronic Textiles*, T. Dias, Editor., Woodhead Publishing: Oxford, 2015, pp. 173–197.
13. Grzybek D., Piezoelectric generators: materials and structures, in *Department of Process Control*, AGH University of Science and Technology: Poland, 2013.
14. Chougule P.K. et al., Enhancement in Curie temperature of nickel substituted Co-Mn ferrite, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 372(0), 2014, pp. 181–186.
15. Katzir S., Measuring constants of nature: confirmation and determination in piezoelectricity. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 34(4), 2003, pp. 579–606.
16. Mahadeva S.K., Lee S.-W., Kim J., Effect of heat treatment on the structure, piezoelectricity and actuation behavior of a cellulose electroactive-paper actuator, *Acta Materialia*, 56(8), 2008, pp. 1868–1875.
17. Paulus W., Opitz A., Ohm's law and tDCS over the centuries, *Clinical Neurophysiology*, 124(3), 2013, pp. 429–430.
18. Chowdhury M.A., Kashem, S.B.A., H ∞ loop-shaping controller design for a grid-connected single-phase photovoltaic system, *International Journal of Sustainable Engineering*, 2018, pp. 1–9.
19. Mubarak H., Kashem S.B.A., Comparison of different energy saving lights using solar panel, *Frontiers in Energy*, 10(4), 2016, pp. 466–472.
20. Siddique M.B.M., Kashem S.B.A., Mathew K., Home and Water Heating Using Biofuels, *Proceedings of International Conference on Recent Innovations in Engineering and Technology*, 2017.
21. Tay F., Kashem S.B.A., Automated Miniature Greenhouse, *Advanced Science Letters*, 23.6, 2017, pp. 5309–5313.
22. Safe A.A. et al., Design, fabrication & analysis of twisted blade vertical axis wind turbine (VAWT) and a simple alternator for VAWT. In *Strategic Technology (IFOST)*, 2014 9th International Forum on, pp. 304–308.
23. Tabassum M., Kashem S.B.A., Mathew K., Distributed energy generation – is it the way of the future?, *Proceedings of the 1st Springer International Conference on Emerging Trends and Advances in Electrical Engineering and Renewable Energy*, 2016.
24. Sheikh M. et al., Enhancing solar power generation using gravity and fresh water pipe, *Proceedings of IEEE Xplore 2017, IEEE International Conference on Mechatronics*, pp. 266–271.
25. Tabassum M. et al., Feasibility of using Photovoltaic (PV) technology to generate solar energy in Sarawak., In *Computer and Drone Applications (IConDA)*, 2017 International Conference on, pp. 11–16.
26. Siddique M.B.M., Kashem S.B.A., Iqbal A., Biofuels in Malaysian perspective: Debates and benefits. In *Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, 2018 IEEE 12th International Conference on, pp. 1–6.
27. Shabrin N. et al., Investment and Construction Cost Analysis on Net-Zero Energy Building Technology, *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, Vol. 5, Issue 4, 2017.
28. Shabrin N., Kashem S.B.A., A Comprehensive Cost Benefit Analysis of Green Building, *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering (IJAMCE)*, Vol. 4, Issue 2, June 2017.
29. Kashem S.B.A. et al., Microgrid in military applications, In *Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, 2018 IEEE 12th International Conference on, pp. 1–5.

Saad Bin Abul Kashem

Qatar Armed Forces – Academic Bridge Program, Qatar Foundation, Doha, Qatar

e-mail: skashem@qf.org.qa

Instructor at Qatar Armed Forces – Academic Bridge Program, Qatar Foundation, Doha, Qatar

Molla E Majid

Qatar Armed Forces – Academic Bridge Program, Qatar Foundation, Doha, Qatar

e-mail: mmajid@qf.org.qa

Instructor at Qatar Armed Forces – Academic Bridge Program, Qatar Foundation, Doha, Qatar

Mujahid Tabassum

Higher College of Technology in Muscat, Oman

e-mail: mujahid.tabassum@hct.edu.om

Faculty at Higher College of Technology in Muscat, Oman

Atif Iqbal

Qatar University

e-mail: atif.iqbal@qu.edu.qa

Atif Iqbal, Fellow IET (UK), Fellow IE (India) and Senior Member IEEE, PhD (UK) – Associate Editor IEEE Tran. On Industry Application, IEEE ACCESS, Editor-in-Chief, I-manager journal of Electrical Engineering, Associate Professor at Electrical Engineering, Qatar University and Former Full Professor at Electrical Engineering, Aligarh Muslim University (AMU), Aligarh, India. Recipient of Outstanding Faculty Merit Award AY 2014–2015 and Research excellence award at Qatar University, Doha, Qatar. He received his B.Sc. (Gold Medal) and M.Sc. Engineering (Power System & Drives) degrees in 1991 and 1996, respectively, from the Aligarh Muslim University (AMU), Aligarh, India and PhD in 2006 from Liverpool John Moores University, Liverpool, UK. He has been employed as a Lecturer in the Department of Electrical Engineering, AMU, Aligarh since 1991 where he served as Full Professor until Aug. 2016. He is recipient of Maulana Tufail Ahmad Gold Medal for standing first at B.Sc. Engg. Exams in 1991 from AMU. He has received best research papers awards at IEEE ICIT-2013, IET-SEISCON-2013, and SIGMA 2018. He has published widely in International Journals and Conferences his research findings related to Power Electronics and Renewable Energy Sources. Dr. Iqbal has authored/co-authored more than 350 research papers and one book and three chapters in two other books. He has supervised several large R&D projects. His principal area of research interest is Modeling and Simulation of Power Electronic Converters, Control of multi-phase motor drives and Renewable Energy sources.

Kiran Pandav

Dept. of Electrical Engineering, Qatar University, Doha, Qatar

e-mail: kiranpandav88@yahoo.in

Research Assistant at Qatar University

Kouzou Abdellah

Faculty of Science and Technology, Djelfa University, Algeria

e-mail: kouzouabdellah@ieee.org, kouzouabdellah@yahoo.fr

IEEE Senior Member, IACSIT Senior Member, SCIEI Senior Member, Affiliate Member of IFAC, IISRO Member, IAENG Member. IEEE-HKN Alumni Member.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 6–13. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Kompleksowe badanie i analiza kinetycznej podłogi energetycznej

Autorzy

Saad Bin Abul Kashem
Molla E. Majid
Mujahid Tabassum
Atif Iqbal
Kiran Pandav
Kouzou Abdellah

Słowa kluczowe

energia odnawialna, podłoga kinetyczna, piezoelektryk, elektryczność

Streszczenie

Praca ta bada zjawisko piezoelektryczności, które umożliwia pozyskiwanie energii przy niewielkich naciskach. Kinetyczna podłoga energetyczna z piezoelektryku może generować energię elektryczną pod wpływem nacisku masy człowieka. Przeprowadzono badanie w celu oszacowania energii, jaką można pozyskać i wykorzystać podczas chodzenia. W kampusie Sarawak Uniwersytetu Technicznego Swinburne do badań wybrano najbardziej uczęszczaną ścieżkę między blokiem A/B a blokiem G. Zaprojektowano i oceniono model eksperymentalny; wyniki uzyskane po ciągłych eksperymentach i rozwiązywaniu problemów zestawiono w tabeli. Aby lepiej poznać funkcjonalność i przydatność tego urządzenia, porównano wyniki teoretyczne i eksperymentalne. W artykule zawarto także zalecenia co do przyszłych wdrożeń.

Data wpływu do redakcji: 29.09.2019

Data wpływu do redakcji po recenzjach: 14.11.2019

Data akceptacji artykułu: 15.12.2019

Data publikacji online: 21.12.2020

1. Wprowadzenie

Zużycie energii i wyczerpywanie się zasobów naturalnych stały się przedmiotem troski na całym świecie. Zwiększone zużycie energii ze źródeł naturalnych zostało uznane za jedną z głównych przyczyn globalnego ocieplenia [1, 2, 3]. Rosnące uprzemysłowienie i zużycie energii w wielu krajach, w tym w Chinach, Indiach i Malezji, stopniowo pogarszają tę sytuację [4–7]. Naukowcy badają sposoby wytwarzania energii z alternatywnych źródeł, odnawialnych i zrównoważonych, aby zmniejszyć zależność ludzi od nieodnawialnych źródeł energii. Nieodnawialne źródła energii (takie jak ropa naftowa, gaz ziemny i węgiel) są intensywnie zużywane, a ich tworzenie trwa miliardy lat. Energia elektryczna stała się obecnie jedną z głównych potrzeb człowieka. Do wytwarzania energii elektrycznej wykorzystywane są zarówno zasoby odnawialne, takie jak energia wiatrowa, energia wodna, energia słoneczna, jak i zasoby nieodnawialne, takie jak węgiel i gaz ziemny. Coraz więcej krajów na całym świecie stopniowo znajduje sposoby, aby przejść na źródła

odnawialne w celu zaspokajania swoich potrzeb energetycznych [10, 11].

Kinetyczna podłoga energetyczna (ang. *kinetic energy floor*) to koncepcja wychwytywania energii wytwarzanej przez człowieka podczas chodzenia. W ciągu całego życia przeciętny człowiek stawia sto milionów kroków. Siła wywierana przez masę człowieka jest po prostu pochłaniana przez podłoże lub marnowana. Wykorzystując materiały piezoelektryczne, można przekształcić dynamiczne naciski na podłogę w energię elektryczną. Ten rodzaj energii jest odnawialny i może służyć do uzupełniania rosnących potrzeb energetycznych. Przeprowadzono szereg badań, aby udowodnić praktyczną skuteczność tej zasady [8] [9]. Podłogi kinetyczne projektuje się w kompaktowych modułach, a liczba potrzebnych modułów zależy od powierzchni instalacji. Każdy moduł jest elastycznie ściskany, kiedy porusza się po nim człowiek, pojazd lub inny ciężar.

Konstrukcja kinetycznej podłogi energetycznej to system regeneracyjny, który może wykorzystać marnowaną energię. Taki modułowy system podłogowy ma

mały generator, który zbiera i gromadzi energię w każdym module. Nawet niewielki nacisk na podłogę wystarczy, aby uruchomić generator do produkcji energii elektrycznej, którą można zaoszczędzić lub wykorzystać do zasilania systemów. Wartość oszczędności energii elektrycznej można łatwo określić, obliczając ilość energii przechwyconej przez obszar kinetycznej podłogi energetycznej.

2. Krótka historia zjawiska piezoelektrycznego

W 1881 roku odkrycie przez Lippmanna odkształcenia materiału piezoelektrycznego pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego potraktowano jako zjawisko odwrotne do efektu piezoelektrycznego. Następnie Curie i Curie (1881) [12] skorygowali ogłoszone przez Lippmanna matematyczne przewidywania odnoszące się do teorii termodynamicznych i procesów odwracalnych, a zatem zweryfikowali istnienie efektu piezoelektrycznego. Piezo, termin wywodzący się od greckiego słowa *piezein*, oznacza „nacisk”, a określenie piezoelektryczność można prosto objaśnić jako

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 6–13. When referring to the article please refer to the original text.

PL

oznaczające energię elektryczną wytwarzaną po wywarciu nacisku na materiał piezoelektryczny [13].

W historii piezoelektryczności efekt ten został po raz pierwszy zastosowany podczas I wojny światowej w urządzeniach sonarowych do wykrywania metalowych obiektów zanurzonych w wodzie. Piezoelektryczne mikrofony, rejestratory dźwięku i przyrządy do pomiaru drgań to tylko niektóre przykłady produktów, w których po zbudowaniu pierwszego sonaru wykorzystuje się zjawisko piezoelektryczności. Te ważne wynalazki wzbudziły zainteresowanie opinii publicznej, więc zjawisko to było dalej badane, zwłaszcza w aspekcie wykorzystania energii [13].

2.1. Materiały i budowa generatora piezoelektrycznego

Do budowy generatora lub prototypu trzeba użyć materiału piezoelektrycznego. Są trzy grupy materiałów zwykle klasyfikowanych jako materiały piezoelektryczne. Materiałem piezoelektrycznym najczęściej stosowanym do budowy generatorów jest ceramika [14]. W tym kontekście ceramika ta znana jest jako piezoceramika, materiał ferroelektryczny o strukturze polikrystalicznej. Struktury piezoceramiki będą się zmieniać zgodnie ze zmianą temperatury Curie [1]. Temperaturą Curie nazywa się temperaturę krytyczną, powyżej której materiał ferromagnetyczny zamienia się w paramagnetyk [15]. Powyżej temperatury Curie kryształy ferroelektryczne wykazują prostą sześcienną strukturę symetrii. W takim przypadku ładunki zarówno dodatnie, jak i ujemne będą umiejscowione przypadkowo, a zatem nie będą tworzyć dipoli. Z drugiej strony, poniżej temperatury Curie ani ładunki dodatnie, ani ujemne nie będą umiejscowione przypadkowo. Scenariusz ten dopuszcza obecność dipoli elektrycznych, a reorientacja sąsiednich dipoli utworzy domeny Weissa [13].

Jest kilka dobrze znanych przykładów typowej piezoceramiki stosowanej w sektorach przemysłowych. Są to tytanian cyrkonianu ołowiu (PZT), tytanian ołowiu (PbTiO_3), niobian potasu (KNbO_3), tytanian baru (BaTiO_3), tytanian litu (LiTaO_3), niobian litu (LiNbO_3), tlenek cynku (ZnO) i wolframian sodu (Na_2WO_3). Spośród tych materiałów piezoelektrycznych producenci najczęściej wybierają PZT ze względu na jego wysoką wydajność. Jednak z uwagi na zrównoważony rozwój i problemy

z toksycznością ołowiu wprowadzono ograniczenia jego ilości. Niemniej jednak PZT nadal pozostaje najbardziej popularnym produktem komercyjnym w sektorach przemysłowych [13]. Oprócz ceramiki jako materiał piezoelektryczny można również stosować materiały kompozytowe. Choć ceramika ma doskonałe właściwości piezoelektryczne, jest mało elastyczna i trudno ją rozciągać w różne kształty i warstwy. Materiały kompozytowe natomiast są elastyczne i można je łatwo kształtować w różne geometrie, takie jak struktura skorupy, kształt pręta lub struktura plastra miodu. Piezokompozyty są mniej kruche od piezoceramiki, a więc są bardziej elastyczne. Dwa powszechnie stosowane rodzaje piezokompozytów to kompozyty z włókna piezoelektrycznego (PFC) i kompozyty z makrowłókien (MFC) [13].

Ponadto także polimery są często wybieranym materiałem piezoelektrycznym. Polimery mają atrakcyjne zalety w porównaniu z ceramiką i materiałami kompozytowymi, ponieważ można je wytwarzać w postaci przędzy i tkanin. Pod względem elastyczności i właściwości piezoelektrycznych polimery znacznie wyprzedzają inne materiały. Zarówno polimery naturalne, jak i sztuczne, są szeroko stosowane przez producentów, na przykład polisacharydy, polinukleotydy lub polifluorek winylidenu (PVDF) są materiałami preferowanymi do produkcji tekstyliów [13]. Najbardziej popularnym sztucznym polimerem jest PVDF ze względu na doskonałą strukturę krystaliczną, która w co najmniej 50% składa się z fazy krystalicznej [14].

2.2. Teorie i zasady działania

Są dwie kategorie efektów piezoelektrycznych – bezpośredni efekt piezoelektryczny i odwrotny efekt piezoelektryczny. Bezpośredni efekt piezoelektryczny polega na zamianie energii mechanicznej na energię elektryczną, efekt odwrotny zaś – odwrotnie – to zamiana energii elektrycznej w energię mechaniczną. Konceptcja wytwarzania energii elektrycznej wykorzystuje więc bezpośredni efekt piezoelektryczny. Potrzeba do tego wywołać naprężenia mechaniczne w materiałach, w których na powierzchni kryształów wytworzone zostały ładunki elektryczne. Gdy zaś ładunki elektryczne zmieniają polaryzację, odwracając kierunek naprężenia, efekt jest odwrotny i dlatego

nazywany jest odwrotnym efektem piezoelektrycznym [13].

Badania te odnoszą się głównie do koncepcji bezpośredniego efektu piezoelektrycznego. Kiedy orientacja struktury molekularnej materiału odgrywa ważną rolę w tworzeniu się dipoli elektrycznych, materiał zalicza się do rodziny ferroelektrycznej. Należą do niej materiały piezoelektryczne, ponieważ zmiana zlokalizowanej separacji ładunków wpływa na tworzenie się dipoli elektrycznych. Domenę Weissa określa się jako grupę dipoli o orientacji równoległej, a domena ta w każdym surowym materiale piezoelektrycznym może być zorientowana w sposób losowy. Taka orientacja sprawia, że materiały nie wykazują żadnych właściwości piezoelektrycznych. Gdy podczas ogrzewania materiału nadal rośnie temperatura Curie, te dipole elektryczne zmieniają swoją orientację, aby dopasować się do kierunku przyłożonego nacisku w obecności silnego pola elektrycznego [13].

Zasada działania generatora piezoelektrycznego oparta jest na teorii konwersji energii. Drgania strukturalne można traktować jako rodzaj energii i powstają pod wpływem nacisku. Piezoelektryczność wykorzystuje energię drgań wytworzonych poprzez wywieranie nacisku na materiał piezoelektryczny i siła ta powoduje znaczną zmianę struktur krystalicznych materiałów piezoelektrycznych. Oba połączenia powierzchni stają się niezerównoważone, gdy ich dwa końce są polaryzowane w wyniku zmiany polaryzacji dipoli elektrycznych. Zniekształcenie tego rodzaju umożliwia generowanie prądu elektrycznego o wysokim napięciu, ale niewielkiej energii [13]. Było to przedmiotem badań, w których uwzględniono wiele różnych pomiarów [16, 17–22].

2.3. Sprawność generatora piezoelektrycznego

Sprawność generatora piezoelektrycznego zależy od współczynnika sprzężenia k_{xy} materiału piezoelektrycznego. Wartość k reprezentuje wydajność materiału piezoelektrycznego i zmienia się w sposób losowy. Ponieważ nie można przekształcić całej energii mechanicznej na energię elektryczną, wartość k jest zawsze mniejsza od jedności [13, 23–25]. Poza tym na stabilność pracy generatora piezoelektrycznego wpływa jego struktura. Zasadniczo użytkownicy

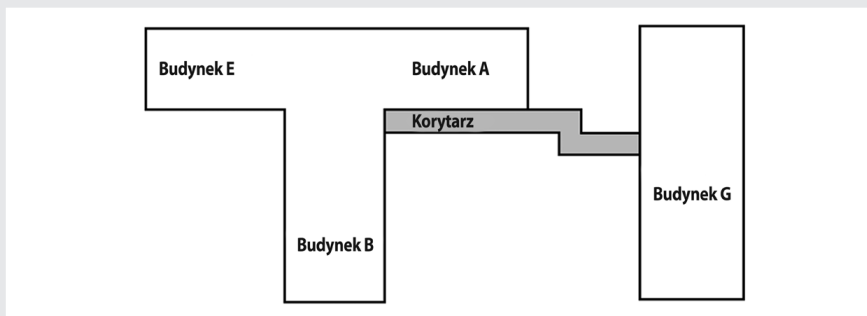
This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 6–13. When referring to the article please refer to the original text.

PL

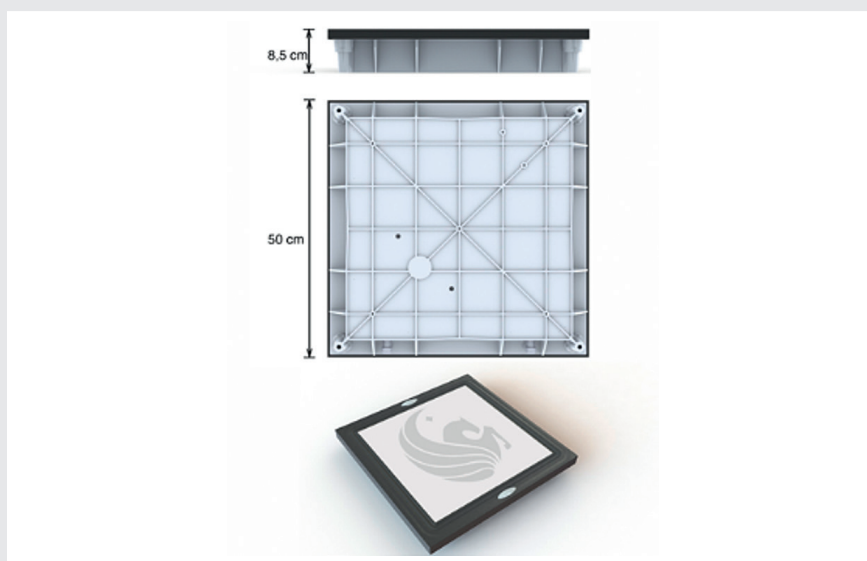
najczęściej wybierają strukturę belki, ponieważ w tej strukturze częstotliwość rezonansowa odpowiada częstotliwości napędu drgań obiektu. Gdy zwiększy się masę M obciążającą belkę, proporcjonalnie zwiększy się ilość energii elektrycznej [14, 26–29].

3. Zastosowanie

Badanie wykorzystania kinetycznej podłogi energetycznej przeprowadzono w Kampusie Sarawak Uniwersytetu Technicznego Swinburne. Wybrany obszar to korytarz łączący Budynek A/B z Budynkiem G, które należą do najbardziej uczęszczanych, co oznacza, że zainstalowana tam kinetyczna podłoga energetyczna będzie poddana największej liczbie kroków. Hol ten jest głównym wejściem do Swinburne, a także wejściem do Budynku A/B, który mieści bibliotekę, biuro spraw studenckich, sale wykładowe i lekcyjne, sale zajęć i otwarte laboratoria. Hol ten służy także jako poczekalnia na środki transportu. Pokazany na rys. 1 korytarz to główna droga prowadząca między Budynkiem A/B i Budynkiem G, gdzie także mieszczą się uczęszczane sale wykładowe i lekcyjne, sale zajęć, biuro IT, ośrodek pomocy dla studentów i stołówka. Korytarz łączy dwa budynki, A/B i G, w których studenci spędzają większość czasu na zajęciach i z innych powodów, takich jak chodzenie na wykłady i ćwiczenia, kupowanie jedzenia i napojów w stołówce lub powrót do akademika. Drugi korytarz łączący hol z budynkiem E jest mniej uczęszczany, ponieważ w budynku E jest mniej sal lekcyjnych, a zatem niewiele osób codziennie chodzi tą drogą. Powodem, dla którego w bardzo uczęszczanych obszarach, takich jak hol w budynku A/B i parter budynku G, nie zaleca się stosowania kinetycznej podłogi energetycznej, jest to,



Rys. 1. Plan parteru budynku A/B



Rys. 2. Moduł Powerfloor firmy Powerleap Inc.

że chodzi się tam przeważnie „gęsiego”, co oznacza, że po drodze nie następuje się na wszystkie moduły Powerfloor. Przestrzenie pomieszczeń są mniej efektywne, ponieważ gdy ludzie chodzą w takich obszarach, nie następują na większość modułów Powerfloor, a tylko na część z nich na określonej ścieżce.

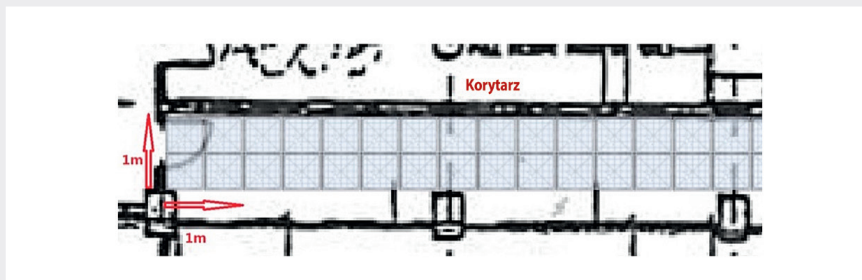
Obecnie Uniwersytet Swinburne jest zaopatrywany w energię elektryczną przez firmę Sarawak Energy. Za każdym razem, gdy w mieście dochodzi do awarii zasilania, dotyka to także Uniwersytetu. Gdyby kinetyczne podłogi energetyczne zastosowano na wszystkich najbardziej uczęszczanych ścieżkach w całym kampusie, Uniwersytet miałby własne,

Liczba osób	Poniedziałek	Wtorek	Środa	Czwartek	Piątek	Sobota	Niedziela
Godziny szczytu (8.00–17.00)	2500	2500	2500	2500	2500	800	400
Poza godzinami szczytu (17.00–8.00)	500	500	500	500	500	200	100
Ogółem	3000	3000	3000	3000	3000	1000	500
Kroki na osobę	180	180	180	180	180	180	180
Kroki ogółem	540 000	540 000	540 000	540 000	540 000	180 000	90 000
Całkowita liczba kroków w tygodniu	2 970 000						

Tab. 1. Szacunkowa liczba kroków w ciągu tygodnia

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 6–13. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 3. Powiększenie planu korytarza

niezależne źródło jako dodatek do zasilania podstawowego. W razie przerwy w dostawie prądu w mieście światła w kampusie mogłyby się nadal świecić, a także nadal działać niektóre urządzenia awaryjne zasilane przez energię z podłóg energetycznych.

Moduły Powerfloor instaluje się tak, jak pokazano na rys. 3. W tej pracy do analizy kosztów i badania efektywności wykorzystano produkt dostępny na rynku. Moduł Powerfloor (rys. 2) firmy Powerleap Inc. [14] ma wymiary 50 x 50 cm i głębokość 8,5 cm, a kosztuje 1800 RM za płytkę. Obszarem instalacji jest korytarz o długości 30 m i szerokości 1 m, powierzchni 30 m², do którego pokrycia potrzeba 120 płytek. Całkowity koszt wyniesie 236 000 RM [rynggitów malezyjskich], w tym 20 000 RM opłaty za instalację.

Każda płytką generuje 5 watosekund przy maksymalnym przemieszczeniu 0,01 cm pod wpływem siły 100 N. Przemieszczenie wynosi zaledwie 0,01 cm, więc nikt, kto nastąpi na moduł, nie odczuje żadnej różnicy, a jednak wytwarza energię elektryczną. Nacisk wywierany na podłogę przez ciało ludzkie podczas chodzenia wynosi około 1x do 1,5x jego wagi. Przy założeniu wagi 80 kg mężczyzny i 65 kg kobiety noszących książki, torby, laptopy lub inne rzeczy, nacisk wywierany na podłogę przez jedną osobę wynosi ok. 650 N ~ 800 N. Jest to znacznie więcej niż nacisk 100 N potrzebny do maksymalnego przemieszczenia płytki o 0,01 cm.

Uniwersytet Swinburne w Sarawak liczy około 4500 osób i szacuje się, że łącznie 3000 osób przebywa w kampusie w dni powszednie, 1000 w soboty i 500 w niedziele. Całkowita liczba kroków w tygodniu to 2 970 000 przy założeniu, że każda osoba stawia 180 kroków, dwa razy dziennie przechodząc przez ten korytarz w tę i z powrotem. Szczegóły podano w tab. 1 poniżej

Przy tak wielu krokach Powerfloor byłby w stanie wyprodukować 4,125 kWh energii elektrycznej tygodniowo, czyli 198 kWh rocznie. Tak więc co roku ludzie chodzący po małym obszarze korytarza wytwarzaliby 198 kWh energii elektrycznej.

Kilowatogodzina (kWh) to jednostka energii równoważna jednemu kilowatowi mocy zużytej w ciągu godziny, co odpowiada 2,6 megadžulom energii. 1 kWh energii wystarczy do wykonania następujących zadań:

- Praca kserokopiarki (moc znamionowa 375 W) przez 2,5 godziny
- Praca laptopa (o mocy 22 W) przez 44 godziny
- Ładowanie telefonu komórkowego przez 1000 godzin

Obliczoną tu pozyskaną energią można zasilić znacznie więcej urządzeń elektrycznych. Energię elektryczną uzyskaną z instalacji kinetycznej podłogi energetycznej w korytarzu obok holu można przeznaczyć na oświetlenie holu. Uniwersytet używa obecnie żarówek żarowych (o mocy 60 W). Zamiast tego można zmienić oświetlenie na elektroluminescencyjne diody LED (o mocy 6 W), które emitują mniej gazów cieplarnianych i mniej ciepła. W ten sposób oświetlenie holu mogłoby być częściowo pokryte przez energię z kinetycznej podłogi energetycznej zainstalowanej w korytarzu. Przy pozyskiwaniu 198 kWh rocznie można tą energią zasilać 6 diod LED przez cały rok.

Cena energii elektrycznej dla klientów komercyjnych w Kuching w Malezji wynosi 26,4 centa/kWh. Tak więc co roku Uniwersytet Swinburne mógłby zaoszczędzić około 52,27 RM na rachunkach za prąd. Kwota zaoszczędzona na energii elektrycznej nie jest tak duża, ponieważ energia elektryczna w Malezji nie jest droga, a obszar instalacji, z którego można pozyskiwać energię, jest niewielki.

Przy obecnych cenach instalacji i zakupu modułów Powerfloor, oszczędności nigdy nie zrównoważą nakładów. Jednak dzisiaj mówi się o odkrywaniu nowych odnawialnych źródeł energii, aby zmniejszyć zależność od obecnych źródeł wytwarzania energii elektrycznej, zwłaszcza tych nieodnawialnych. Obecnie w USA większość energii elektrycznej pochodzi z konwersji energii cieplnej, którą uwalnia się ze spalania paliw kopalnych, takich jak węgiel, gaz ziemny i ropa. Praktyka ta nie sprzyja zrównoważonemu rozwojowi, ponieważ zasoby energii nieodnawialnej są ograniczone, a jej źródła zazwyczaj nie są przyjazne dla środowiska.

Obliczenia:

- Obliczanie siły wywieranej na moduł:

$$1,3 \cdot \text{masa ciała} \cdot \text{siła grawitacyjna} = \text{siła wywierana na moduł}$$

$$1,3 \cdot 80 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1019,2 \text{ N}$$

- Obliczenie dziennej liczby kroków stawianych na module Powerfloor:
Liczba osób · kroki stawiane przez osobę = dzienna liczba kroków

$$(3000 \cdot 5 + 1000 + 500) \text{ persons} \cdot 180 \frac{\text{steps}}{\text{person}} = 297000$$

- Obliczenie energii elektrycznej pozyskiwanej przez tydzień:
Energia generowana jednym krokiem · liczba kroków = energia generowana

$$5 \frac{\text{Ws}}{\text{step}} \cdot 297000 \text{ steps} \cdot \frac{0,001}{3600 \text{ s}} = 4,125 \text{ kWh}$$

Co miesiąc może to być
4,125 kWh · 4 = 16,5 kWh
Co rok byłoby to
16,5 kWh · 12 = 198 kWh

- Obliczenie rocznej oszczędności kosztów energii elektrycznej:

$$\text{Koszt kilowatogodziny energii elektrycznej} \cdot \text{pozyskana energia} = \text{roczna oszczędność}$$

$$\text{RM} 0,264 \cdot 198 = \text{RM} 52,27$$

4. Model eksperymentalny

Koncepcja podłogi kinetycznej wykorzystuje zarówno przetwornik piezoelektryczny, jak i metody bezpośredniego wychwytywania energii kinetycznej. Koncepcje te stosuje się na całym świecie, a więc można je wdrożyć także w Swinburne. Do tego badania jako źródło energii wybrano przetwornik piezoelektryczny, ponieważ system ten

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 6–13. When referring to the article please refer to the original text.

PL

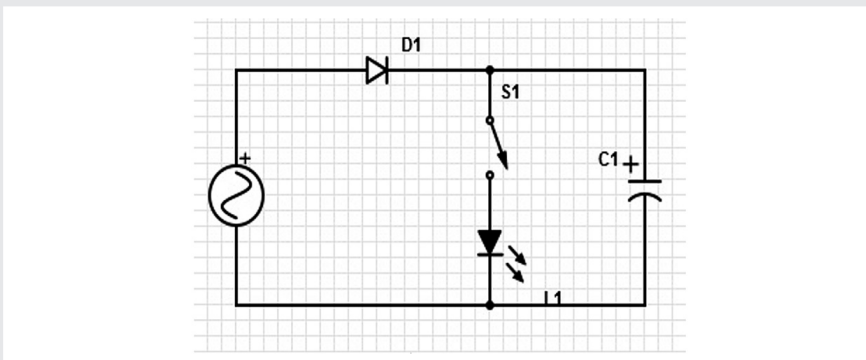
jest mniejszy i bardziej kompaktowy w porównaniu z innymi metodami zbierania energii. Jego koszt jest również znacznie niższy. Zebrane dane dotyczące natężenia przepływu i obszaru Swinburne o dużym natężeniu ruchu dodatkowo potwierdzają przydatność tej koncepcji do wdrożenia w Swinburne. Największym wyzwaniem, jakie napotkaliśmy podczas tych badań, było poznanie sposobu działania kryształu piezoelektrycznego, gdzie mieszczą się ładunki dodatnie i ujemne, oraz mechanizmu jego uziemienia. Na początku problemem było także zidentyfikowanie tego w zapalnicze.

Pierwotny projekt zakładał wykorzystanie przetworników piezoelektrycznych do wykonania działającego prototypu. Jednak natrafiono na kilka problemów, takich jak dostępność i cena. Części tych nie udało się znaleźć w Kuching (miasto w Malesji). Aby wytworzyć ładunek, trzeba było mocno uderzać kryształ, ponieważ jedyną dostępną kryształami były niskiej jakości i dawały słaby ładunek. Dlatego kryształy wyjęto z zapalniczek. Poza tym pojawił się inny problem, polegający na tym, że wytworzony ładunek był bardzo mały w porównaniu z rozmiarem i kształtem kryształu. Nie odpowiadało to standardom i wymaganiom, które należało spełnić. Pierwszy model składał się z 2 płytek, z kryształami piezoelektrycznymi umieszczonymi pomiędzy nimi, zaopatrzonych w sprężynę, aby utrzymać płytki oddzielone od siebie. To nie zadziałało, ponieważ siła potrzebna do wytworzenia ładunku była bardzo duża. Pojawiły się również trudności podczas mocowania drutów, ponieważ kryształy miały nieregularne kształty i nie można było zidentyfikować ładunków dodatnich i ujemnych ani które strony kryształów przymocować do drutów. Ponieważ pod wpływem przyłożonej siły model się poruszał, praktycznie niemożliwe było utrzymanie drutów w określonym miejscu.

Drugi model polegał na zachowaniu obudowy piezoelektrycznej i zastosowaniu w projekcie wbudowanej sprężyny. Okazało się, że bardzo trudno było uruchomić i utrzymać model w pozycji pionowej, ponieważ potrzebna siła była bardzo duża. Siła pobudzająca sprężynę była duża i spowodowała rozpad drugiego modelu pod wpływem siły potrzebnej do jego wciśnięcia i utrzymania modelu w jednym kawałku.



Fot. 1. Model eksperymentalny



Rys. 4. Schemat modelu podłogi z generacją piezoelektryczną

Trzeci projekt polegał na zachowaniu całego korpusu zapalniczki gazowej i usunięciu mechanizmu, który uwalnia źródło paliwa. Teraz obudowa służyła jako konstrukcja wsporcza. Projekt ten dodatkowo udoskonalono, dodając pręt wsporczy pośrodku zapalniczki (kryształów piezoelektrycznych) w celu porównania wydajności. Aby wzmocnić model, zamiast tektury zastosowano płytki drewniane. Drugim problemem przy tej konstrukcji było to, że ładunek wytwarzany był tylko na krótką chwilę. Aby ładunek trwał dłużej, do układu dodano kondensator, który zbiera ładunek i dostarcza bardziej trwałe światło do diody LED. Na podstawie tego eksperymentu stwierdzono, że ładunek wytworzony przez uderzenie w kryształ piezoelektryczny nie był prądem stałym, który można by wykorzystać bezpośrednio do ładowania kondensatora. Dlatego dodano prostownik w celu wytworzenia pożądanego przepływu prądu poprzez przemianę prądu przemiennego na prąd stały.

Jak pokazano na rys. 4, gdy przełącznik S1 jest otwarty, prąd wytwarzany z zapalniczki zaczyna ładować spolaryzowany kondensator C1. Gdy prąd przemienny przepływa przez diodę D1, zostaje przekształcony w prąd stały, aby zapobiec jego cofaniu się. Po zamknięciu przełącznika S1 ładunek zostanie uwolniony z kondensatora i powróci do diody LED. Kroki są powtarzane, aby utrzymać świecenie diody LED.

Model ten ma tylko pokazać koncepcję. Uzyskane z niego wyniki mogą się nie nadawać do porównania z modelami rzeczywistymi. Przetwornik piezoelektryczny wytwarza znacznie większy ładunek, ponieważ jego kryształ jest czystszy. Na podstawie oszacowania energii wytwarzanej przez ten model rzeczywisty można obliczyć, ile energii można dziennie wygenerować w Swinburne.

4.1. Układ eksperymentalny

Struktura modelu podłogi z generacją piezoelektryczną jest konstrukcją

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 6–13. When referring to the article please refer to the original text.

PL

warstwową, w której zapalniczki są umieszczone pomiędzy dwoma kwadratowymi deskami drewnianymi. Prąd elektryczny wytwarzany jest, gdy na górną płytkę wywiera się nacisk, powodując uderzenie metalowej płytki zapalniczki w kryształ piezoelektryczny. Jak wspomniano wcześniej, wytwarzany ładunek jest bardzo mały i wystarcza tylko do wytworzenia chwilowej iskry w diodzie. Aby zwiększyć wytwarzany ładunek, zastosowano układ połączenia zapalniczek zgodny z prawem Ohma.

Zgodnie z prawem Ohma zapalniczki mogą wytwarzać większy prąd, gdy są połączone równolegle i mogą ładować kondensator w każdym cyklu. A więc wydłuża się również czas świecenia diody LED po uwolnieniu ładunku. Rozważano także inną metodę zwiększania wytwarzanego ładunku, czyli zwiększanie liczby zapalniczek w obwodzie.

4.2. Wykonanie drugiego modelu

W drugim modelu do ładowania kondensatora po prostu użyto 8 zamiast 4 zapalniczek. Te dodatkowe 4 zapalniczki wstawiono do dodatkowych otworów w dolnej płycie i równolegle połączono z pozostałymi 4 zapalniczkami. Eksperyment przeprowadzono w celu zbadania związku między liczbą użytych zapalniczek a wielkością ładunku. Przez cały czas trwania eksperymentu napięcie i prąd mierzy się miernikiem uniwersalnym. Ponieważ użyto miernika uniwersalnego, dokładność danych może nie wystarczać do sporządzenia wykresu, bowiem ładunek wytwarzany przez model zmienia się, a odczyt na mierniku się waha. Jednak eksperyment ma na celu jedynie potwierdzenie trafności koncepcji.

5. Wynik

Próby	2 zapalniczki		4 zapalniczki		6 zapalniczek		8 zapalniczek	
	mV	mA	mV	mA	mV	mA	mV	mA
1	10,3	23	43	36	34,6	25	40,3	105
2	1,5	15	22,7	53	42,6	64	25,2	62
3	14,8	9	3,3	20	35,6	67	57,2	164
4	5,7	25	15,8	98	4,5	45	33,5	124
5	3,6	55	35,1	45	29,5	42	45,2	45
średnio	7,18	25,4	23,98	50,4	29,36	48,6	40,28	100

6. Analiza i dyskusja

Wynikowa wartość napięcia uzyskana z pierwszego prototypu nie była zadowalająca, więc postanowiono zbudować drugi model. Ten drugi model wytwarza wysokie napięcie, ale bardzo słaby prąd. Najwyższe napięcie wytwarzane przez pojedynczy nacisk wynosi nieco poniżej czterech miliwoltów. Zależy to od nacisku i działa tak tylko wtedy, gdy wciśnięcie jest całkowite. Zależy to również od stanu kryształu piezoelektrycznego w danym momencie. Dzieje się tak, ponieważ energia wytwarzana z kryształu zmienia się w zależności od wielu czynników. Stosując wysokiej jakości kryształy piezoelektryczne, można wytworzyć odpowiedni ładunek. Badania te pomogą zmniejszyć ogólny ślad węglowy i zużycie energii w Swinburne.

7. Wniosek

Kinetyczne podłogi energetyczne mają duży potencjał, aby stać się jednym z głównych sposobów generacji energii elektrycznej.

Moduł taki jest prosty i łatwy w produkcji i może zasilać pobliskie systemy, co oznacza, że tam, gdzie chodzą ludzie, jest prąd. Materiałem zalecanym na kinetyczne podłogi energetyczne są kryształy piezoelektryczne, a efekt piezoelektryczny polega na liniowej interakcji elektromechanicznej pomiędzy stanem mechanicznym a elektrycznym. Kinetyczne podłogi energetyczne wykorzystują taką samą konwersję energii, jak piezoelektryki i są wydajne, ponieważ nawet niewielka zmiana potencjału zapewni również pewien prąd elektryczny.

Koszty zakupu i instalacji kinetycznych podłóg energetycznych są niskie, a oszczędności na rachunkach za energię elektryczną mogą prędko je zrównoważyć. Należy je instalować w miejscach o dużym natężeniu ruchu, takich jak kluby taneczne, wejścia do budynków, dworce autobusowe i kolejowe, w celu uzyskania jak najwyższej wydajności. Przyszłe ulepszenia mogą dotyczyć wytwarzania energii i pojemności baterii, a także trwałości modułów podłogi energetycznej. Produkty te można dostosować do indywidualnych potrzeb. Są bardzo elastyczne pod względem rozmiaru i wyglądu, aby spełnić wymagania konsumentów.

Z badania dotyczącego zastosowania kinetycznej podłogi energetycznej w Kampusie Sarawak Uniwersytetu Swinburne wynika, że ilość pozyskanej energii elektrycznej jest akceptowalna przy 100 płytkach modułu Powerfloor zainstalowanych w korytarzu o powierzchni 25 m². W przyszłości kinetyczne podłogi energetyczne będą coraz bardziej powszechne, co spowoduje znaczne obniżenie ich ceny. Przy ekonomicznej cenie podłogi energetyczne można będzie zainstalować we wszystkich mocno uczęszczanych obszarach Swinburne, a znaczna ilość pozyskiwanej w takim przypadku energii elektrycznej wystarczy do zasilania części oświetlenia, komputerów, a nawet klimatyzatorów.

Podsumowując, kinetyczne podłogi energetyczne są jednymi z najbardziej wydajnych konwerterów energii; są opłacalne i wydajne w zastosowaniach na dużą skalę. Uważa się, że ich potencjał jako źródeł energii jest niewyczerpany dopóty, dopóki ludzie chodzą po ziemi.

Bibliografia

- Saidi K., Hammami S., The impact of CO₂ emissions and economic growth on energy consumption in 58 countries [Wpływ emisji CO₂ i rozwoju ekonomicznego na zużycie energii w 58 krajach], *Energy Reports* 2015, nr 1(0), s. 62–70.
- Fumo N., Rafe Biswas M.A., Regression analysis for prediction of residential energy consumption [Analiza regresyjna dla celów prognozy zużycia energii w mieszkalnictwie], *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015, nr 47(0), s. 332–343.
- Liu Z., Zhao T., Contribution of price/expenditure factors of residential energy consumption in China from 1993 to 2011: A decomposition analysis [Wpływ czynników cen/wydatków na zużycie energii w sektorze mieszkalnictwa w Chinach w latach 1993–2011. Analiza dekompozycyjna], *Energy Conversion and Management* 2015, nr 98(0), s. 401–410.
- Zhang Y. i in., China's energy consumption in the building sector: A life cycle approach [Zużycie energii w Chinach w sektorze budownictwa. Podejście cyklu życiowego], *Energy and Buildings* 2015, nr 94(0), s. 240–251.
- Yin X. i in., China's transportation energy consumption and CO₂ emissions from a global perspective [Zużycie energii

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 6–13. When referring to the article please refer to the original text.

PL

- w transporcie i emisje CO₂ w Chinach z perspektywy globalnej], *Energy Policy* 2015, nr 82(0), s. 233–248.
6. Yang Z., Zhao Y., Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in India: Evidence from directed acyclic graphs. [Zużycie energii, emisje dwutlenku węgla i wzrost gospodarczy w Indiach: Dowód z ukierunkowanych grafów acyklicznych], *Economic Modelling* 2014, nr 38(0), s. 533–540.
 7. Alam M.J. i in., Dynamic modeling of causal relationship between energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in India [Modelowanie dynamiczne związku przyczynowego między zużyciem energii, emisjami CO₂ i wzrostem gospodarczym w Indiach], *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011, nr 15(6), s. 3243–3251.
 8. Hafiz F., Abdennour A., Optimal use of kinetic energy for the inertial support from variable speed wind turbines [Optymalne wykorzystanie energii kinetycznej do bezwładnościowego wsparcia turbin wiatrowych o zmiennej prędkości], *Renewable Energy* 2015, nr 80(0), s. 629–643.
 9. Dincer I., Zamfirescu C., Chapter 7 – Renewable-Energy-Based Power Generating Systems [Rozdział 7 – Systemy wytwarzania energii oparte na odnawialnych źródłach energii], [w:] *Advanced Power Generation Systems*, red. I.D. Zamfirescu, Elsevier: Boston 2014, s. 369–453.
 10. Notton G., Importance of islands in renewable energy production and storage: The situation of the French islands [Znaczenie wysp w produkcji i magazynowaniu energii odnawialnej: sytuacja wysp francuskich], *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015, nr 47(0), s. 260–269.
 11. Llano-Paz de F. i in., The European low-carbon mix for 2030: The role of renewable energy sources in an environmentally and socially efficient approach [Europejski koszyk niskoemisyjny do 2030 r.: Rola odnawialnych źródeł energii w środowiskowo i społecznie efektywnym podejściu], *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015, nr 48(0), s. 49–61.
 12. Waqar S., Wang L., John S., Piezoelectric energy harvesting from intelligent textiles [Pozyskiwanie energii piezoelektrycznej z inteligentnych tekstyliów], [w:] *Electronic Textiles*, red. T. Dias, Woodhead Publishing: Oxford 2015, s. 173–197.
 13. Grzybek D., Piezoelectric generators: materials and structures [Generatory piezoelektryczne: materiały i konstrukcje], [w:] *Department of Process Control, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie* 2013.
 14. Chougule P.K. i in., Enhancement in Curie temperature of nickel substituted Co–Mn ferrite [Podwyższenie temperatury Curie przez podstawiony niklem ferryt Co – Mn], *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2014, nr 372(0), s. 181–186.
 15. Katzir S., Measuring constants of nature: confirmation and determination in piezoelectricity [Pomiar stałych natury: potwierdzenie i określenie w piezoelektryczności], *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 2003, nr 34(4), s. 579–606.
 16. Mahadeva S.K., Lee S.-W., Kim J., Effect of heat treatment on the structure, piezoelectricity and actuation behavior of a cellulose electroactive-paper actuator [Wpływ obróbki cieplnej na strukturę, piezoelektryczność i zachowanie siłownika celulozowo-papierowego], *Acta Materialia* 2008, nr 56(8), s. 1868–1875.
 17. Paulus W., Opitz A., Ohm's law and tDCS over the centuries [Prawo Ohma i tDCS na przestrzeni wieków], *Clinical Neurophysiology* 2013, nr 124(3), s. 429–430.
 18. Chowdhury M.A., Kashem, S.B.A., H ∞ loop-shaping controller design for a grid-connected single-phase photovoltaic system [Konstrukcja regulatora kształtowania pętli H ∞ dla jednofazowego systemu fotowoltaicznego podłączonego do sieci], *International Journal of Sustainable Engineering* 2018, nr 11(3), s. 1–9.
 19. Mubarak H., Kashem, S.B.A., Comparison of different energy saving lights using solar panel [Porównanie różnych lamp energooszczędnych], *Frontiers in Energy* 2016, nr 10(4), s. 466–472.
 20. Siddique M.B.M., Kashem S.B.A., Mathew K., Home and Water Heating Using Biofuels [Ogrzewanie domu i wody przy użyciu biopaliw], *Materiały konferencyjne International Conference on Recent Innovations in Engineering and Technology*, 2017.
 21. Tay F., Kashem S.B.A., Automated Miniature Greenhouse [Zautomatyzowana miniaturowa szklarnia] *Advanced Science Letters* 2017, nr 23.6, s. 5309–5313.
 22. Safe A.A. i in., Design, fabrication & analysis of twisted blade vertical axis wind turbine (VAWT) and a simple alternator for VAWT [Projekt, produkcja i analiza turbiny wiatrowej o pionowej łopacie z osią skręconą (VAWT) i prostego alternatora dla VAWT], [w:] *Strategic Technology (IFOST)*, 2014 9th International Forum on IEEE, październik 2014, s. 304–308.
 23. Tabassum M., Kashem S.B.A., Kuruvilla M., Distributed energy generation – is it the way of the future? [Energetyka rozproszona – czy to droga na przyszłość?], *Materiały konferencyjne 1, Springer International Conference on Emerging Trends and Advances in Electrical Engineering and Renewable Energy*, 2016.
 24. Sheikh M. i in., Enhancing solar power generation using gravity and fresh water pipe [Zwiększenie wytwarzania energii słonecznej za pomocą grawitacji i rur wodociągowych], *Materiały konferencyjne IEEE Xplore 2017, IEEE International Conference on Mechatronics*, s. 266–271.
 25. Tabassum M., Kashem S.B.A., Siddique M.B.M., Feasibility of using Photovoltaic (PV) technology to generate solar energy in Sarawak. In Computer and Drone Applications (IConDA) [Możliwość wykorzystania technologii fotowoltaicznej (PV) do generowania energii słonecznej w Sarawak. W zastosowaniu do komputerów i dronów (IConDA)], *International Conference on IEEE*, listopad 2017, s. 11–16.
 26. Siddique M.B.M., Kashem S.B.A. i Iqbal A., Biofuels in Malaysian perspective: Debates and benefits [Biopaliwa w perspektywie malezyjskiej: Debata i korzyści], [w:] *Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, IEEE 12. International Conference on IEEE, kwiecień 2018, s. 1–6.
 27. Shabrin N. i in., Investment and Construction Cost Analysis on Net-Zero Energy Building Technology [Analiza kosztów inwestycji i budowy w technologii budynków o zerowej energii netto], *International Journal*

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 6–13. When referring to the article please refer to the original text.

PL

- of *Mechanical and Production Engineering* 2017, Vol. 5, Issue 4.
28. Shabrin N., Kashem S.B.A., A Comprehensive Cost Benefit Analysis of Green Building [Kompleksowa analiza kosztów i korzyści budynku ekologicznego], *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering (IJAMCE)* 2017, Vol. 4, Issue 2.
29. Kashem S.B.A. i in., Microgrid in military applications [Mikrosieć w zastosowaniach militarnych], [w:] *Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, 12. International Conference on IEEE, kwiecień 2018.

Saad Bin Abul Kashem

dr

Siły Zbrojne Kataru – Akademicki Program Pomostowy, Fundacja Katarska, Doha, Katar

e-mail: skashem@qf.org.qa

Instruktor w Siłach Zbrojnych Kataru – Akademicki Program Pomostowy, Fundacja Katarska, Doha, Katar.

Molla E. Majid

dr

Siły Zbrojne Kataru – Akademicki Program Pomostowy, Fundacja Katarska, Doha, Katar

e-mail: mmajid@qf.org.qa

Instruktor w Siłach Zbrojnych Kataru – Akademicki Program Pomostowy, Fundacja Katarska, Doha, Katar.

Mujahid Tabassum

dr

Wyższa Szkoła Techniczna w Muscat, Oman

e-mail: mujahid.tabassum@hct.edu.om

Wykładowca w Wyższej Szkole Technicznej w Muscat, Oman.

Atif Iqbal

dr

Uniwersytet Katarski

e-mail: atif.iqbal@qu.edu.qa

Pracownik naukowy IET (W. Brytania), pracownik naukowy IE (Indie) i starszy rangą członek IEEE, zastępca redaktora *IEEE Tran.* ds. zastosowań przemysłowych, IEEE ACCESS, redaktor naczelny *Journal of Electrical Engineering*. Profesor nadzwyczajny na Wydziale Inżynierii Elektrycznej Uniwersytetu Katarskiego i były profesor zwyczajny na Wydziale Inżynierii Elektrycznej Muzułmańskiego Uniwersytetu Aligarh (AMU) w Aligarh w Indiach. Laureat nagrody za wybitne zasługi dla wykładowców oraz nagrody za wybitne osiągnięcia naukowe na Uniwersytecie Katarskim w Doha w Katarze. Uzyskał licencjat i magisterium nauk technicznych na Aligarh Muslim University (AMU), Aligarh, Indie (1991, 1996) i doktorat na Liverpoolskim Uniwersytecie Johna Mooresa w Liverpoolu, W. Brytania (2006). Od 1991 roku pracuje jako wykładowca na Wydziale Inżynierii Elektrycznej Uniwersytetu AMU w Aligarh, gdzie od sierpnia 2016 roku pełni funkcję profesora zwyczajnego. Jest laureatem złotego medalu Maulana Tufail Ahmad za najlepsze wyniki na inżynierskich egzaminach licencjackich na AMU (1991). Otrzymał nagrody za najlepsze prace naukowe w IEEE ICIT-2013, IET-SEISCON-2013, oraz SIGMA 2018. Wyniki swoich badań związanych z elektroniką energetyczną i odnawialnymi źródłami energii często publikuje w międzynarodowych czasopismach i uczestniczy w konferencjach. Jest autorem i współautorem ponad 350 prac naukowych, jednej książki i trzech rozdziałów w dwóch innych książkach. Prowadził kilka dużych projektów badawczych. Jego głównym obszarem zainteresowań naukowych jest modelowanie i symulacja elektronicznych przekształtników energii, sterowanie wielofazowych napędów elektrycznych i odnawialnych źródeł energii.

Kiran Pandav

Wydział Inżynierii Elektrycznej, Uniwersytet Katarski, Doha, Katar

e-mail: kiranpandav88@yahoo.in

Asystent naukowy.

Kouzou Abdellah

prof.

Wydział Nauki i Technologii Uniwersytetu Djelfa, Algieria

e-mail: kouzouabdellah@ieee.org

Starszy rangą członek IEEE, starszy rangą członek IACSIT, starszy rangą członek SCIEI, członek stowarzyszony IFAC, członek IISRO, członek IAENG. Członek absolwentów IEEE-HKN.