

ZESZYTY NAUKOWE
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

SCIENTIFIC LETTERS
OF RZESZOW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

NR 292
(e-ISSN 2300-6358)

ELEKTROTECHNIKA

Kwartalnik
tom XXIII
zeszyt 34 (nr 1/2015)
styczeń-marzec



WYDZIAŁ
ELEKTROTECHNIKI
I INFORMATYKI
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Wydano za zgodą Rektora

Redaktor naczelny
Wydawnictw Politechniki Rzeszowskiej
prof. dr hab. inż. Leonard ZIEMIAŃSKI

Rada Naukowa
prof. Lúbomir BEŇA (Słowacja), prof. Victor BOUSHER (Ukraina)
prof. Stanisław GRZYBOWSKI (USA), prof. Michal KOLCUN (Słowacja)
prof. Stefan KULIG (Niemcy), prof. Stanisław PIRÓG (Polska)

Komitet Redakcyjny
(afiliacja: Polska)
redaktor naczelny
prof. dr hab. inż. Lesław GOŁĘBIEWSKI
redaktorzy tematyczni (naukowi)
dr hab. inż. Adam BRAŃSKI, prof. PRz
dr hab. inż. Marek GOTFRYD, prof. PRz
dr hab. inż. Stanisław PAWŁOWSKI, prof. PRz
dr hab. inż. Zbigniew ŚWIDER, prof. PRz

redaktor statystyczny
dr inż. Wiesława MALSKA

sekretarz redakcji
dr inż. Robert ZIEMBA

członkowie
dr inż. Robert HANUS
dr inż. Mariusz MAĆZKA

Redaktor językowy
Piotr CZERWIŃSKI

Przygotowanie matryc
Robert ZIEMBA

p-ISSN 0209-2662
e-ISSN 2300-6358

Wersja drukowana Zeszytu jest wersją pierwotną.

Redakcja czasopisma: Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki,
ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów (e-mail: ziemba@prz.edu.pl)
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/elektrotechnika>

Wydawca: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów (e-mail: oficyna1@prz.edu.pl)
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl>

Informacje dodatkowe – str. 75

SPIS TREŚCI

Tomasz DŁUGOSZ: Dokładność badań bioelektromagnetycznych – rola inżyniera w medycynie	5
Andrzej DUDZIAK, Tomasz BINKOWSKI: Badanie podstawowych charakterystyk modelu turbiny wiatrowej WindPitch™	19
Wiesława MALSKA: Karty kontrolne Shewharta przy ocenie liczbowej w programie STATISTICA	31
Wiesława MALSKA, Henryk WACHTA: Zastosowanie dekompozycji sezonowej (Census 1) w analizie szeregów czasowych i prognozowania w energetyce	41
Karolina MICAŁ, Lúbomir BEŇA, Henryk WACHTA: Wpływ metod oświetlania wnętrza na poziom równomierności oświetlenia płaszczyzny pracy wzrokowej	51
Paulina RYDZ, Lúbomir BEŇA, Henryk WACHTA: Wspomagane komputerowo projektowanie oświetlenia drogowego	63

Tomasz DŁUGOSZ¹

DOKŁADNOŚĆ BADAŃ BIOELEKTROMAGNETYCZNYCH – ROLA INŻYNIERA W MEDYCYNIE

Artykuł poświęcony jest zagadnieniu dokładności badań biomedycznych wykorzystujących pole elektromagnetyczne. Przedstawiono w nim wybrane źródła niepewności, które mogą prowadzić do całkowitego zafałszowania otrzymywanych rezultatów. Jednym z nich jest wzajemne oddziaływanie pomiędzy badanymi obiektami umieszczonymi w polu elektromagnetycznym układu ekspozycyjnego. W pracy zaproponowano rozwiązanie eliminujące to zjawisko. Jest nim urządzenie do ekspozycji obiektów biologicznych w postaci klatki dielektrycznej. Innym źródłem niepewności, które omówiono w pracy jest stosowanie tylko pola elektromagnetycznego o polaryzacji liniowej. W badaniach biomedycznych *in vivo* z wykorzystaniem pola elektromagnetycznego bardzo często wykorzystywana jest polaryzacja liniowa. W związku z tym, żeby zapewnić jednakową dawkę pola wszystkim badanym obiektom należy je unieruchomić, co powoduje wywołanie stresu u badanych zwierząt, a to z kolei może mieć wpływ na wyniki eksperymentu. W przypadku, gdy badane zwierzęta poruszają się swobodnie ilość zabsorbowanej mocy jest funkcją ich położenia w stosunku do wektorów pola, a to z kolei powoduje obciążenie uzyskanych wyników znaczącym błędem. Żeby temu zapobiec zaproponowano rozwiązanie w postaci układu ekspozycyjnego generującego pole elektromagnetyczne o polaryzacji quasi-sferycznej, co umożliwia zapewnienie jednakowych warunków wszystkim badanym obiektom, niezależnie od ich położenia. W badaniach wykorzystano metody numeryczne, które umożliwiły sprawne przeprowadzenie symulacji komputerowych. Analizowane zagadnienia, jak i wnioski odniesione zostały do aktualnie prowadzonych badań.

Słowa kluczowe: badania bioelektromagnetyczne, pole elektromagnetyczne, oddziaływania wzajemne, układy ekspozycyjne, polaryzacja quasi-sferyczna

1. Wstęp

Rozwój cywilizacji przyniósł ludzkości wiele udogodnień w różnych aspektach życia. W telekomunikacji (dyscyplinie najbardziej interesującej autora) jest to m. in. stały dostęp do Internetu, możliwość korzystania z telefonów komórkowych, czy systemów radiowo-telewizyjnych. Tradycyjne nadajniki radiowe i

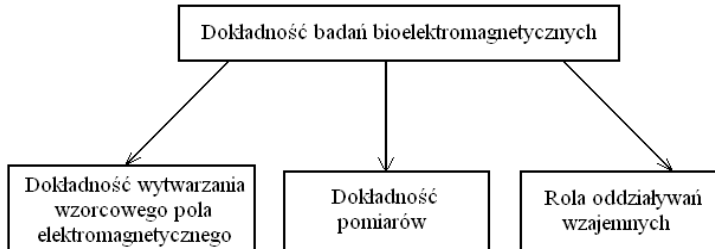
¹ Tomasz Długosz, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław, Tomasz.Dlugosz@pwr.edu.pl

telewizyjne, stacje bazowe, czy punkty dostępne bezprzewodowych sieci komputerowych stały się już właściwie stałą częścią krajobrazu. W rezultacie wytwarzane przez nie pole elektromagnetyczne (PEM) zdominowało nasze środowisko. W związku z tym zachodzi pytanie: czy i jakie zagrożenia niosą ze sobą te osiągnięcia techniki.

Wpływ promieniowania PEM ze sztucznych źródeł, pożądany i szkodliwy, jest przedmiotem zainteresowania badaczy od dziesięcioleci. Badania te są badaniami interdyscyplinarnymi, które łączą w sobie nauki techniczne (elektronika, elektrotechnika, telekomunikacja), medyczne i biologiczne.

Autor, jako inżynier, nie wypowiada się na tematy biologiczne, czy też medyczne, a swoją pracę poświęcił wybranym technicznym aspektom dotyczącym dokładności ekspozycji na PEM, typowo w zastosowaniach biomedycznych. Wiąże się to ze szczegółową analizą następującej grupy zagadnień (rys. 1):

- wytwarzanie wzorcowych PEM wykorzystywanych do atestacji narzędzi pomiarowych (wykorzystywanych, jako wzorce wtórne, lub układy ekspozycyjne, np. w badaniach biomedycznych) lub do badania wpływu PEM na dowolne obiekty materialne (np. własności materii poddanej działaniu PEM, wrażliwość organizmów i tkanek (*in vivo* lub/ *in vitro*) na działanie PEM, susceptybilność urządzeń technicznych, punkt detonacji lub samozapłonu materiałów i mieszanek wybuchowych pod wpływem działania PEM),
- dokładność w metrologii PEM,
- dokładność eksperymentu z obiektem biologicznym, polegająca na uwzględnieniu oddziaływań wzajemnych, które pojawiają się w tego typu badaniach.



Rys. 1. Grupy czynników wpływające na dokładność badań bioelektromagnetycznych

Fig. 1. Factors affecting the results of bioelectromagnetic research

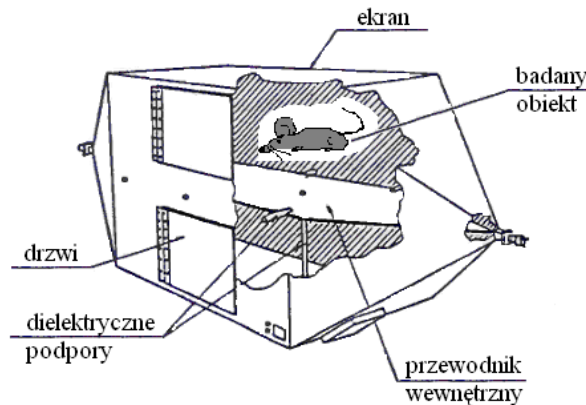
Zagadnienia dotyczące wytwarzania PEM i jego pomiaru zostały dokładnie omówione przez autora m. in. w [5, 8, 9]. Dalsza część pracy poświęcona jest roli oddziaływań wzajemnych, które zdaniem autora są kluczowe w badaniach bioelektromagnetycznych.

2. Charakterystyka badań bioelektromagnetycznych

Przeprowadzenie badań bioelektromagnetycznych, w których bada się skutki wpływu PEM na obiekt biologiczny wymaga wytworzenia pola o znanych parametrach. W tym celu stosowane są układy ekspozycyjne, do których, w zależności od zakresu częstotliwości, można zaliczyć: cewki Helmholtza, odcinki falowodów, komory TEM (ang. Transverse Electromagnetic), komory rewerberacyjne i bezechowe, czy anteny aperturowe [16, 17, 19]. Najczęściej wykorzystywana jest komora TEM (rys. 2), która cechuje się szerokim pasmem pracy (do 1 GHz), niezależnością natężenia pola od częstotliwości i jego prostym sposobem wyznaczania:

$$E = U / d = \left(\sqrt{P \cdot Z_0} \right) / d \quad (1)$$

gdzie: E – natężenie pola elektrycznego wewnątrz komory, U , P – napięcie lub moc doprowadzona do układu, d – odległość między ekranem i przewodnikiem wewnętrznym, Z_0 – impedancja swobodnej przestrzeni.



Rys. 2. Komora TEM

Fig. 2. TEM cell

Badania elektromagnetyczne, a zwłaszcza bioelektromagnetyczne, są jednymi z najmniej dokładnych i trudnych do przeprowadzenia. W wielu przypadkach wykonywane są w warunkach, w których ekspozycja PEM znacznie odbiega od tej, w której badany obiekt znajduje się będąc w warunkach naturalnych. Dodatkowo podczas prezentacji rezultatów z eksperymentów rzadko dyskutowane są źródła niepewności, które mogą obarczyć wynik dużym błędem. Wystarczy przejrzeć najnowsze publikacje w renomowanych czasopismach, aby zauważyć, że problem niedokładności badań bioelektromagnetycznych związany

z wytwarzaniem PEM, jego polaryzacją, czy oddziaływaniami wzajemnymi zostaje pomijany [14, 15].

Oszacowania przeprowadzone przez autora pokazują, że na skutek istnienia sprzężeń między badanymi obiektami i układem ekspozycyjnym oraz między samymi obiektami, powstają błędy, które mogą osiągać nawet kilkadziesiąt procent [2, 6].

3. Rola oddziaływań wzajemnych w badaniach bioelektromagnetycznych

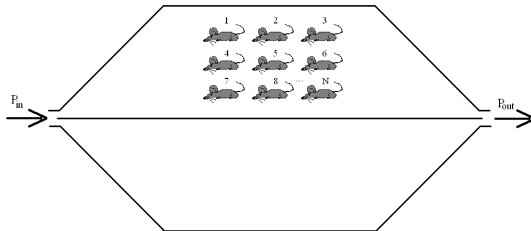
3.1. Analiza problemu

Bardzo często w badaniach bioelektromagnetycznych jednoczesnej ekspozycji poddaje się znaczną liczbę badanych obiektów – od kilku nawet do kilkudziesięciu [1, 11, 13, 14], dzięki czemu zyskuje się oszczędność czasu i redukcję kosztów eksperymentu, ale znacznie obniża się dokładność otrzymanych wyników badań. Niestety nie zawsze zwracana jest na to uwaga.

W tego typu przypadkach moc pochłoniętą przez badane objekty uznaje się za identyczną i wyznacza na podstawie bilansu mocy i podzieleniu mocy traconej w układzie ekspozycyjnym przez ilość badanych obiektów (rys. 3):

$$P_i = (P_{in} - P_{out}) / N \quad (2)$$

gdzie: P_i – moc pochłonięta przez i -ty obiekt, P_{in} – moc doprowadzona do układu, P_{out} – moc zmierzona na wyjściu układu, N – liczba obiektów poddanych jednoczesnej ekspozycji.

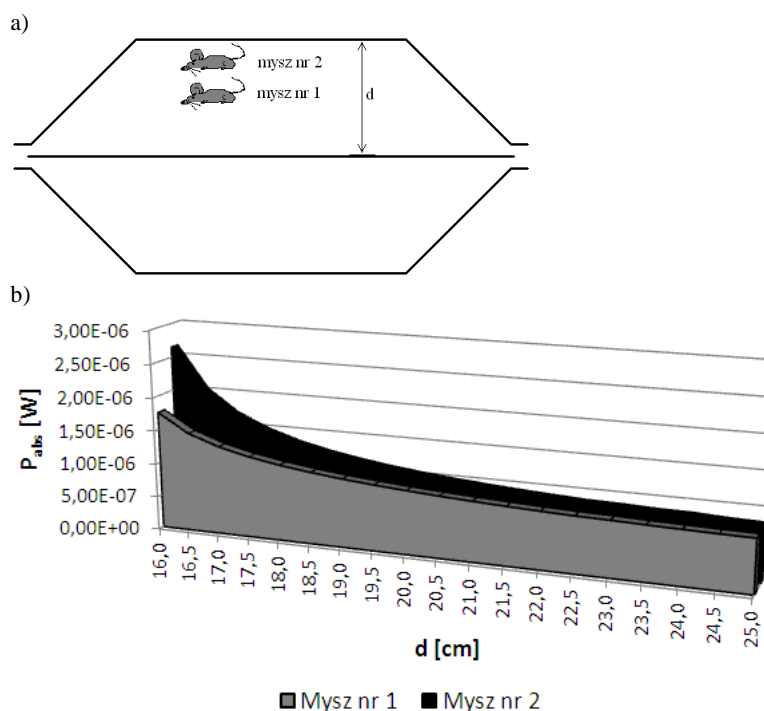


Rys. 3. Jednoczesna ekspozycja wielu obiektów w komorze TEM

Fig. 3. Simultaneous exposition of many biological objects

Wykazano, że podejście takie nie uwzględnia zjawiska oddziaływań wzajemnych między obiektami. W celu ilustracji zjawiska przytoczony zostanie przykład pokazany na rys. 4, który wraz z innymi możliwymi scenariuszami omówiono m. in. w [4, 6].

W symulacjach komputerowych, przeprowadzonych za pomocą oprogramowania Feko stosującego do obliczeń metodę momentów, nie wykorzystano rzeczywistego modelu myszy – zastąpiono go modelem prostokątnym, który w pierwszym przybliżeniu jest zupełnie wystarczający, albowiem chodzi tu jedynie o zasygnalizowanie występowania pewnego zjawiska, a nie o dokładną analizę rozkładu PEM w myszy. Na rysunkach pokazywane są myszy w celu jaśniejszego przedstawienia rozpatrywanego problemu. Parametry elektryczne obiektu biologicznego, przenikalność elektryczną i konduktywność, ustawiono odpowiednio na: $\epsilon_r = 80$ i $\sigma = 0,84$ S/m.



Rys. 4. Różnice w mocy pochłanianej przez dwie myszy umieszczone w komórce TEM: a) układ ekspozycyjny, b) wyniki symulacji komputerowych

Fig. 4. Differences in absorber power by two mice in TEM cell: a) exposure system, b) computer simulation results

W omawianym przykładzie (rys. 4a) mysz nr 1 umieszczona została w geometrycznym środku górnej części komory TEM, a mysz nr 2 pośrodku między myszą nr 1, a przewodem zewnętrznym (ekranem). Jak można zauważyć z wykresu przedstawionego na rys. 4b, moc pochłonięta przez mysz nr 2, którą umieszczono bliżej metalowej płyty, jest większa od mocy pochłoniętej przez mysz nr 1, znajdującą się w środku układu. Stosunek mocy pochłoniętej przez

mysz nr 2 do mocy pochłoniętej przez mysz nr 1 wynosi ok. 1,5, gdy płyty są w pobliżu myszy i ok. 1,0, gdy płyty są oddalone, co można zaobserwować w postaci zbiegających się ze sobą krzywych.

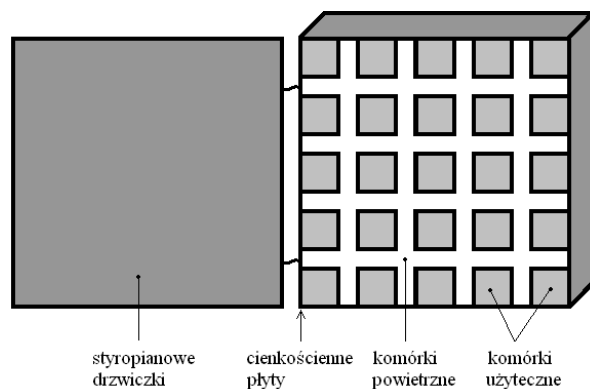
Występujące tu zjawisko może prowadzić do znacznych różnic w wynikach badań laboratoryjnych prowadzonych w różnych ośrodkach, a uznawanych za prowadzone w identycznych warunkach i należy je uwzględnić w postaci stosownych poprawek.

3.2. Proponowane rozwiązania

W celu wyeliminowania omówionego zjawiska przeprowadzono szereg badań, analiz, symulacji komputerowych z wykorzystaniem metod numerycznych oraz eksperymentów. W rezultacie zaproponowano dwa rozwiązania w postaci specjalnego układu do ekspozycji obiektów biologicznych i nowego rodzaju polaryzacji.

3.2.1. Nowy układ do ekspozycji obiektów biologicznych

Wyeliminowanie wzajemnych oddziaływań między badanymi obiektami możliwe było poprzez odpowiednie rozmieszczenie obiektów biologicznych w układzie ekspozycyjnym. W tym celu zaproponowane zostało urządzenie w postaci klatki wykonanej z materiału dielektrycznego. Klatka zawiera komórki użyteczne, w których umieszczone są badane obiekty oraz komórki powietrzne, których zadaniem jest izolacja komórek użytecznych (rys. 5). Wysokość i szerokość komórek użytecznych jest równa co najmniej dwukrotnej wysokości i szerokości komórek powietrznych, przy czym łączna wysokość i szerokość obu komórek jest co najmniej równa minimalnej odległości pomiędzy badanymi obiektami [10].

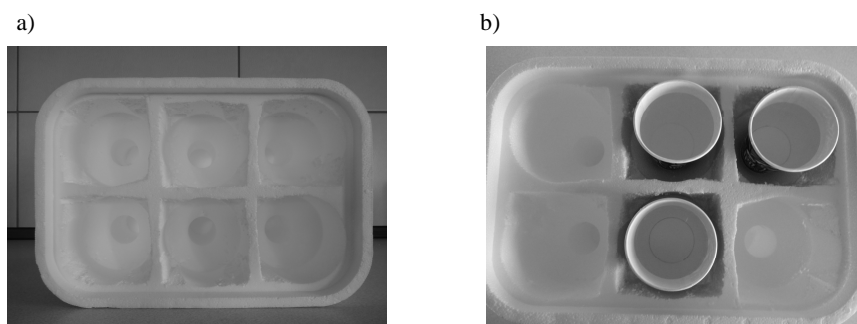


Rys. 5. Nowe urządzenie do ekspozycji obiektów biologicznych

Fig. 5. New device for biological objects exposition

Komórki użyteczne muszą mieć odpowiednio duży rozmiar, aby badanym zwierzętom umożliwić swobodne poruszanie, to z kolei może ograniczyć wpływ czynnika stresogennego na wyniki badań. Niedopuszczalne natomiast jest unieruchamianie zwierząt, jak to pokazano np. w [12]. Może to znacząco wpływać na rezultat eksperymentu.

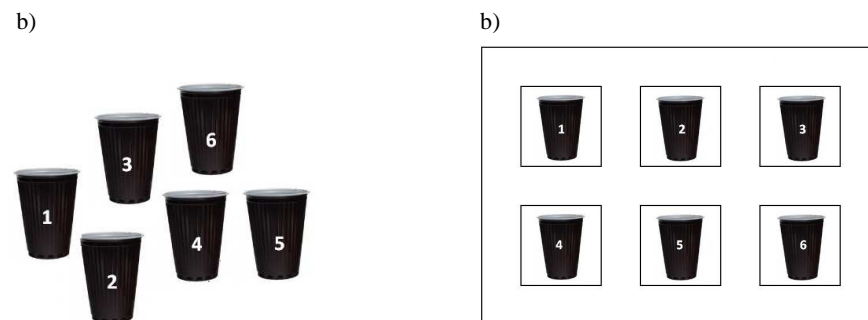
Na zaproponowanym rozwiązaniu przeprowadzono szereg symulacji komputerowych i eksperymentów [2, 3]. W dalszej części omówiony zostanie przebieg eksperymentu, na potrzeby którego wykonano klatkę (rys. 6a). Jako badany obiekt wykorzystano roztwór wody o parametrach elektrycznych $\epsilon_r = 88$, $\sigma = 2$ mS/m, który wlewo do papierowych kubków (rys. 6b). Całość umieszczono w kuchni mikrofalowej o dysponowanej mocy 700 W.



Rys. 6. Urządzenie do ekspozycji obiektów biologicznych: a) klatka, b) kubki z roztworem umieszczone w klatce

Fig. 6. A device for biological objects exposition: a) a cage, b) cups with an aqueous solution

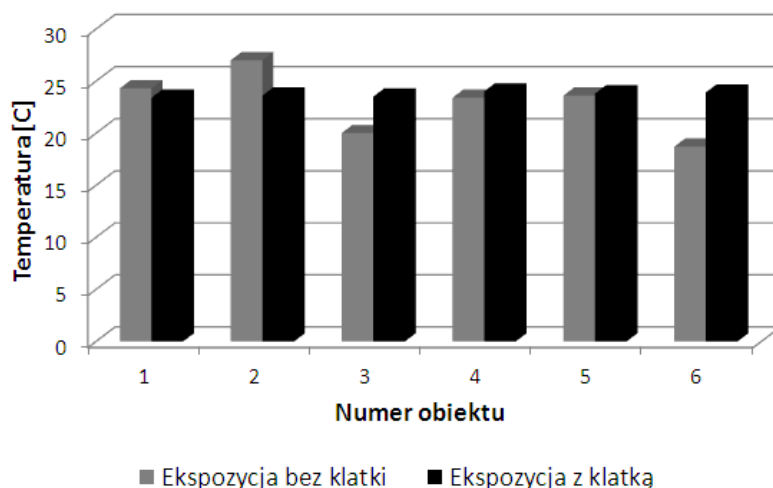
Po ustalonym czasie nagrzewania mierzony był przyrost temperatury dla obiektów umieszczonych w kuchni dowolnie (rys. 7a) i obiektów poddawanych ekspozycji w omawianej klatce (rys. 7b).



Rys. 7. Rozmieszczenie obiektów w układzie ekspozycyjnym: a) dowolne, b) w klatce

Fig. 7. Position of objects in exposure system: a) any, b) in the cage

Zgodnie z przedstawionymi wcześniej założeniami, jeśli obiekty umieszczone są dowolnie w układzie ekspozycyjnym (rys. 7a), to każde z nich zaabsorbuje inną dawkę energii, zatem również powinien zostać zaobserwowany inny przyrost temperatury podczas napromieniowania. Umieszczenie obiektów w zaproponowanej klatce (rys. 7b) powoduje wyeliminowanie wzajemnych oddziaływań między badanymi obiektami, co skutkuje równomierną absorpcją mocy przez badane obiekty, co potwierdzają wyniki eksperymentu (rys. 8).



Rys. 8. Wyniki eksperymentu

Fig. 8. Results of experiment

W przypadku umieszczenia obiektów w układzie bez klatki do ekspozycji (rys. 7a) temperatura poszczególnych obiektów zmieniała się w przedziale od 18,7°C do 24,3°C, a średnia wyniosła 22,8°C. W sytuacji, kiedy zastosowano urządzenie do ekspozycji w postaci zaproponowanej klatki (rys. 7b), to zmiany temperatury dla badanych obiektów wahały się w zakresie od 23,4°C do 24°C, a ich średnia wyniosła 23,7°C.

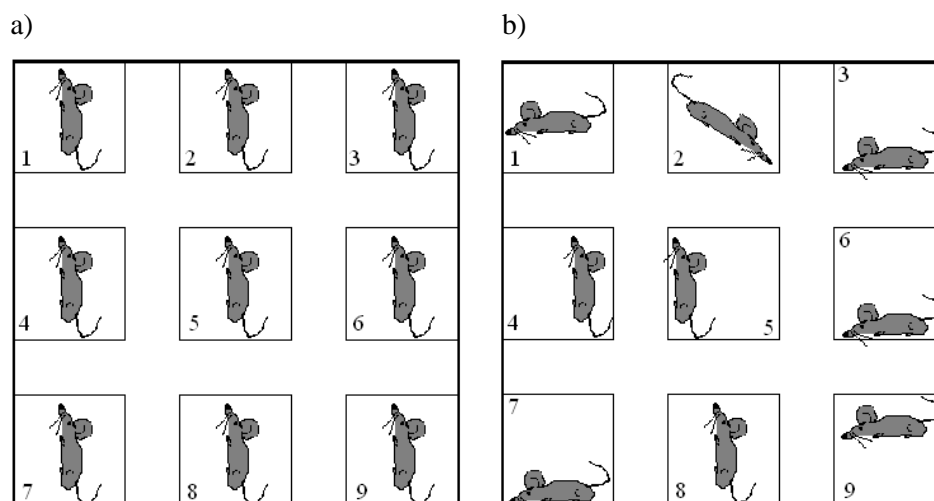
Z przeprowadzonego eksperymentu jasno wynika, że klatka spełnia swoje zadanie i eliminuje sprzężenia pomiędzy badanymi obiektami.

3.2.2. Polaryzacja quasi-sferyczna

Kolejnym istotnym czynnikiem mającym wpływ na dokładność badań bioelektromagnetycznych jest wpływ polaryzacji PEM na ilość zaabsorbowanej energii. Samo odseparowanie badanych obiektów od siebie nie jest wystarczające, gdyż eliminuje tylko oddziaływania wzajemne, ale należy pamiętać, że obiekt powinien się swobodnie poruszać, a to z kolei implikuje pewne wymaga-

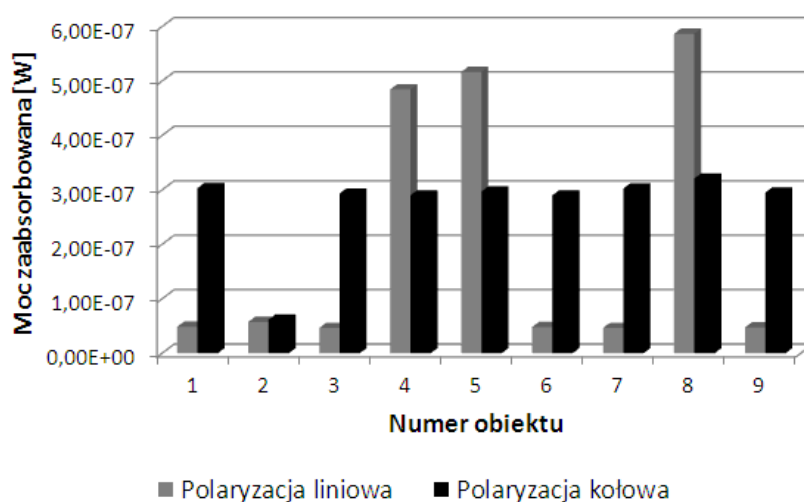
nia dotyczące polaryzacji PEM użytego do napromieniowania. Zazwyczaj w takich badaniach wykorzystywane jest pole o polaryzacji liniowej [15], czasami o polaryzacji kołowej [18], jednak do równomiernego napromieniowania swobodnie poruszających się obiektów nie jest to wystarczające.

Rozważmy dwa różne ułożenia obiektów biologicznych w zaproponowanej klatce do badań bioelektromagnetycznych (rys. 9). Jeśli badane obiekty umieszczone są jednakowo (rys. 9a), to do uzyskania równomiernego napromieniowania wystarczy PEM o polaryzacji liniowej (rys. 10). Niestety unieruchomienie zwierząt powoduje nie uwzględnienie innych czynników na wynik badania, jak np. stresu związanego ze wspomnianym unieruchomieniem. W przypadku obiektów poruszających się swobodnie (rys. 9b) pole o polaryzacji liniowej, ani kołowej nie są wystarczające i nie dają jednakowego napromieniowania badanych zwierząt (rys. 10). Możliwe jest to dopiero dzięki zastosowaniu PEM o polaryzacji quasi-sferycznej [7]. Dopiero w tym przypadku każdy z obiektów poddanych ekspozycji zaabsorbuje jednakową dawkę mocy (rys. 11).



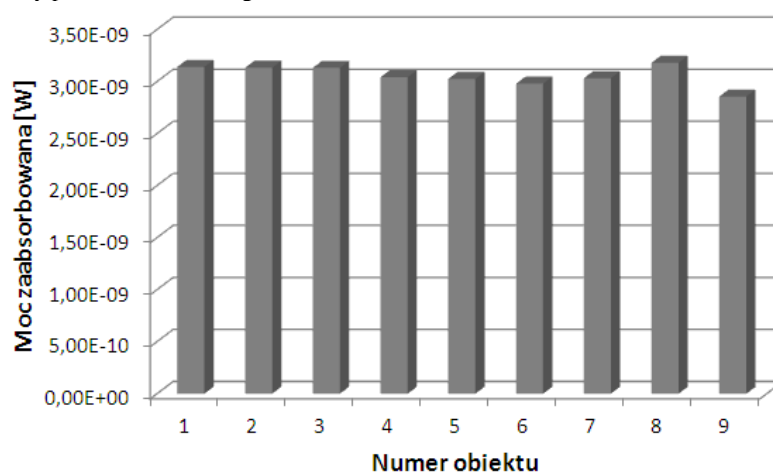
Rys. 9. Wybrane sposoby rozmieszczenia obiektów biologicznych w klatce do badań bioelektromagnetycznych: a) jednakowe, b) dowolne

Fig. 9. Selected arrangements of biological objects in the cage for bioelectromagnetic experiments: a) the same, b) any



Rys. 10. Wyniki absorpcji mocy przez obiekty umieszczone w klatce napromieniowanej PEM o polaryzacji liniowej i kołowej

Fig. 10. Results of absorber power by objected placed in exposure system with linearly and circularly polarized electromagnetic fields

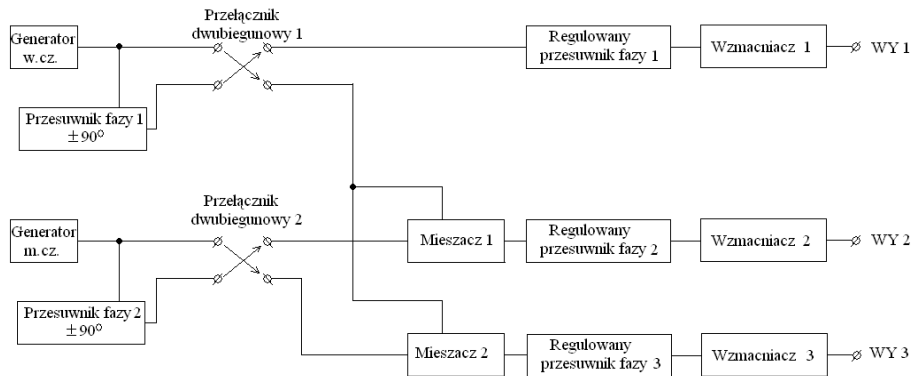


Rys. 11. Wyniki absorpcji mocy przez obiekty umieszczone w klatce napromieniowanej PEM o polaryzacji quasi-sferycznej

Fig. 11. Results of absorber power by objected placed in exposure system with quasi-spherically polarized electromagnetic fields

Polaryzację quasi-sferyczną można uzyskać dzięki urządzeniu, które zawiera dwa generatory, małej i wielkiej częstotliwości, podłączone z przesuwnikami fazy poprzez przełączniki dwubiegunowe (rys. 12). Dalej w torze nr 1

sygnał podawany jest na regulowany przesuwnik fazy i wzmacniacz, a wyjście toru podłączane jest do pierwszego elementu promieniującego. W torach nr 2 i 3 dodatkowo sygnał jest mieszany, a wyjścia torów podłącza się do kolejnych dwóch elementów promieniujących. Elementami promieniującymi mogą być np. kondensatory płaskie, cewki lub anteny logarytmiczno-periodyczne.



Rys. 12. Układ do wytwarzania PEM o polaryzacji quasi-sferycznej

Fig. 12. A set for generation quasi-spherically polarized electromagnetic fields

4. Podsumowanie

Wpływ promieniowania PEM na zdrowie człowieka jest przedmiotem zainteresowania i badań elektromagnetycznych od dziesięcioleci. Badania te są badaniami interdyscyplinarnymi, łączącymi w sobie nauki medyczne, biologiczne i techniczne. W niniejszym artykule zwrócono uwagę na techniczny aspekt tego typu badań, co podkreśla istotną rolę inżyniera w takich eksperymentach. Jak wykazano w pracy rola ta często jest pomijana, a przedstawiane w publikacjach wyniki badań odnoszą się często tylko do aspektów biologicznych. Przykładem mogą być publikacje ukazujące się w czasopiśmie *Bioelectromagnetics*, gdzie techniczne aspekty często są pomijane, a jak widać na podstawie omówionych w artykule wybranych zagadnień, mają istotny wpływ na końcowy wynik eksperymentu.

Literatura

- [1] Celik M.S., Gur A., Akdag Z., Akpolat V., Guven K., Celik Y., Sarac A.J., Otcu S.: The Effects of Long-Term Exposure to Extremely Low-Frequency Magnetic Fields on Bone Formation in Ovariectomized Rats., *Bioelectromagnetics*, Vol. 33, Issue 7, 2012, s. 543-549.

- [2] Długosz T.: A new solution for biomedical experiments, *Electromagnetic Biology and Medicine*, Vol. 33, Issue 3, 2014, s. 236-240.
- [3] Długosz T.: Problemy w ekspozycji obiektów biologicznych na pole elektromagnetyczne, *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne*, R. 82, nr 6, 2009, s. 601-603.
- [4] Długosz T.: Wzajemne oddziaływanie linii transmisyjnej TEM i badanego w niej obiektu, rozprawa doktorska, raport Instytutu Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki Politechniki Wrocławskiej, seria I28/07/P-004, Wrocław 2007.
- [5] Długosz T., Trzaska H.: A new calibration method for non-stationary electromagnetic fields measurements, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 23, nr 17-18, 2009, s. 2471-2480.
- [6] Długosz T., Trzaska H.: Mutual interactions in bioelectromagnetics, *Environmentalist*, vol. 27, nr 4, 2007, s. 403-409.
- [7] Długosz T., Trzaska H.: Polarization Problems in Bioelectromagnetic Experiments, 7th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Malta, October 8-12, 2012, CD Proceedings, ss. 1-7
- [8] Długosz T., Trzaska H.: Pomiary PEM w polu bliskim a dalekim, *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne*, R. 79, nr 8-9, 2006, s. 251-253.
- [9] Długosz T., Trzaska H.: Proximity effects in the near-field EMF metrology, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 57, nr 11, 2008, s. 626-630.
- [10] Długosz T., Trzaska H.: Sposób ekspozycji na pole elektromagnetyczne obiektów materialnych, zwłaszcza biologicznych i urządzenie do ekspozycji na pole elektromagnetyczne obiektów materialnych, zwłaszcza biologicznych, patent nr 215545, zgłoszenie patentowe nr P 385094 z 05.05.2008, opublikowano 31.12.2013.
- [11] Duan W., Liu C., Wu H., Chen C., Zhang T., Gao P., Luo X., Yu Z., Zhou Z.: Effects of Exposure to Extremely Low Frequency Magnetic Fields on Spermatogenesis in Adult Rats, *Bioelectromagnetics* Vol. 35, Issue 1, 2014, s. 58-69.
- [12] Faraone A, Luengas W, Chebrolu S, Ballen M, Bit-Babik G, Gessner AV, Kanda MY, Babij T, Swicord ML, Chou CK.: Radiofrequency dosimetry for the Ferris-wheel mouse exposure system, *Radiation Research*, vol. 165, issue 1., 2006, s. 105-112
- [13] Kim H.S., Paik M.-J., Kim Y.J., Lee G., Lee Y.-S., Choi H.-D., Kim B.C., Park J.-K., Kim N., Ahn Y.H.: Effects of Whole Body Exposure to 915 MHz RFID on Secretory Functions of the Thyroid System in Rats., *Bioelectromagnetics*, Vol. 34, Issue 7, 2013, s. 521-529.
- [14] Kleijn S., Trentelman J., Arts J, Cuppen J, De Jager L., Ferwerda G, Hermans P., . Verburg-van Kemenade L.: Extremely low frequency electromagnetic field exposure modulates stress regulation in mice, 33rd Annual Meeting of The Bioelectromagnetics Society, 12-17 June, 2011, <http://www.bems.org>
- [15] Li C., Chen Z., Yang L., Lv B., Liu J., Varsier N., Hadjem A., Wiart J., Xie Y., Ma L., Wu T.: Generation of Infant Anatomical Models for Evaluating Electromagnetic Field Exposures, *Bioelectromagnetics*, vol. 36, issue 1, 2015, s.10-26.
- [16] Liang S., Xu J., Ding J., Huo Y.: Experimental investigation of the antenna layout in source stirring reverberation chamber, *Electromagnetic Compatibility (APEMC)*, 2010 Asia-Pacific Symposium on, s: 582 – 585.

- [17] Rostamzadeh C., Archambeault B., Connor S.: FDTD analysis of symmetric TEM cell, *Electromagnetic Compatibility*, 2005. EMC 2005. 2005 International Symposium on, Vol. 2 Volume: 2, 8-12 Aug. 2005, s. 525 - 529
- [18] Shirai T., Imai N., Wang J., Takahashi S., Kawabe M., Wake K., Kawai H., Watanabe S.-I., Furukawa F., Fujiwara O.: Multigenerational Effects of Whole Body Exposure to 2.14 GHz W-CDMA Cellular Phone Signals on Brain Function in Rats, *Bioelectromagnetics*, Vol. 35, Issue 7, 2014, s. 497-511.
- [19] Shuanggang L., Jiadong X., Jianjin D., Yanning H.: Experimental investigation of the antenna layout in source stirring reverberation chamber, *Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC)*, 12-16 April, 2010, s. 582-585.

ACCURACY OF BIOELECTROMAGNETICS STUDIES – ROLE OF ENGINEER IN MEDICINE

Summary

The paper is devoted to the issue of the accuracy of biomedical experiments where electromagnetic fields are used. Selected sources of uncertainty were presented. One of them is mutual interactions between tested objects placed in exposure system. The paper proposes a solution to eliminate this phenomenon. It is the device for exposure of biological objects in the form of dielectric cage. Another source of uncertainty that is discussed in this work is the use of electromagnetic field with linear polarization only. In laboratory studies of bioeffects caused by an exposure to electromagnetic field performed *in vivo* usually linear polarized fields are in use. In order to have a possibility to quite accurate estimate the absorbed energy usually an animal under test is kept non-moving, that may lead to a stress that may cause effects exceeding that of the resulted by the exposure. In the case of the animal free behavior in the exposure system the quantity of absorbed energy is a function of animal position in relation to the field vectors and, as a result, in the case calculations of the absorbed energy quantity is loaded with remarkable error. To prevent this a new solution was proposed. It is an exposure system that would allow to expose animals that may move freely during the exposure. A quasispherical exposure system for this purpose is proposed.

The study used numerical methods that enabled the efficient computer simulations. Analyzed issues are referred to the current research.

Keywords: bioelectromagnetics studies, electromagnetic field, mutual interactions, exposure systems, quasi-spherical polarization

DOI: 10.7862/re.2015.1

Tekst złożono w redakcji: luty 2015

Przyjęto do druku: marzec 2015

Andrzej DUDZIAK¹
Tomasz BINKOWSKI²

BADANIE PODSTAWOWYCH CHARAKTERYSTYK MODELU TURBINY WIATROWEJ WINDPITCH™

W artykule przedstawiono przebieg i wyniki badań, których celem było wykreślenie najważniejszych charakterystyk modelu turbiny wiatrowej WindPitch™. Konstrukcja modelu firmy Horizon Fuel Cell pozwala na kompleksowe badanie zjawisk fizycznych związanych z pracą turbiny oraz umożliwia pomiar i obliczenie parametrów technicznych i określenie charakterystyk pracy dla różnych konfiguracji modelu. Zmienność najistotniejszego parametru badanego modelu, czyli generowanej mocy wyjściowej w funkcji prędkości wiatru, zmierzono dla różnych konfiguracji łopatek zamontowanych w wirniku. Analizie poddano zarówno wpływ kształtu profilu łopatek, zmiany kąta ich natarcia oraz różną ich liczbę zamontowaną w rotorze. Przebadano moc generowaną przez model z zainstalowanym wirnikiem trójłopatowym, dla kątów 10, 30 i 60 stopni, dla każdego z badanych profili, BP-28, BP-44 i BP-63. Przeanalizowano ponadto cztery warianty rozbudowy wirnika turbiny. Moc generowaną w funkcji prędkości wiatru określano dla wirników o dwóch, trzech, czterech i sześciu łopatkach, przy stałym kącie ich nachylenia - 10 stopni. Dla każdej z konfiguracji określono również prędkość startową, a jej zmienność w zależności od konfiguracji przedstawiono na stosownych wykresach. Pomiar przeprowadzono w zakresie zmian prędkości wiatru, dla których parametry znamionowe pracy danego modelu nie były przekraczane. Pomiaru mocy P_E generowanej przez turbinę dokonywano metodą techniczną pośrednią, prędkość obrotową natomiast określano metodą bezpośrednią, za pomocą tachometru. Zmian prędkości wiatru dokonywano z użyciem układu wentylatora i falownika, a za pomiar jego prędkości odpowiadały dwa anemometry czasowe.

Słowa kluczowe: wiatr, energia wiatru, turbina wiatrowa, charakterystyka mocy, WindPitch

¹ Andrzej Dudziak, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, andrzej.dudziak1@gmail.com

² Autor do korespondencji: Tomasz Binkowski, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 17 865 1974, tbinkow@prz.edu.pl.

1. Wprowadzenie

Artykuł ten skupia się na przedstawieniu i omówieniu wyników badań modelu turbiny wiatrowej o poziomej osi obrotu HAWT. Takie rozwiązanie budowy jest najczęstsze w zawodowej energetyce wiatrowej. Siłownie wiatrowe obecnie są bardzo korzystnym i atrakcyjnym źródłem mocy dla krajowego systemu elektroenergetycznego, mogącym w płynny i stosunkowo szybki sposób wesprzeć rozwój energetyki w Polsce. Ich implementacja nie wymaga dużych zmian w sieciach rozdzielczo-przesyłowych, a koszty i czas budowy pozwalają na szybkie uruchamianie nowych instalacji, nawet w ciągu jednego roku [2]. Według danych Urzędu Regulacji Energetyki na koniec września 2013 roku, istnieje w Polsce 795 instalacji wiatrowych o łącznej mocy 3 082 MW, a ich udział w krajowej produkcji energii elektrycznej wynosi 3,53% i liczby te stale rosną [5]. Ze względu na to niezbędny jest ciągły rozwój technologii budowy elektrowni, udoskonalanie turbin i rozwiązań w nich stosowanych, w celu zwiększania ich sprawności, poprawienia elastyczności pracy i poszerzenia zakresu ich użytkowania.

W artykule skupiono się na przedstawieniu wyników badań modelu turbiny wiatrowej, którym jest model WindPitchTM. Został on zakupiony na potrzeby laboratorium Wydziału Elektrotechniki i Informatyki, do badania odnawialnych źródeł energii i stanowi najważniejszą część stworzonego stanowiska do badania zjawisk towarzyszących pracy siłowni wiatrowej.

2. Opis badań

2.1 Energia wiatru- charakterystyka ogólna

Praca siłowni wiatrowej zależna jest praktycznie jedynie od parametrów wiatru, tj. jego prędkości i zmienności w czasie. Siłownię wiatrową projektuje się w zależności od warunków wietrznych występujących w danej lokalizacji. Wymiary i moc turbiny zależne są od szeregu czynników, zarówno technicznych, jak i środowiskowych. Należy pamiętać, że koszty związane z budową elektrowni wiatrowej rosną wykładniczo, a nie liniowo, w zależności od mocy którą planuje się zainstalować, dlatego też często uzasadnione ekonomicznie jest zastosowanie dwóch mniejszych turbin, niż jednej większej o tej samej mocy [4].

Energię wiatru stanowi energia kinetyczna poruszającej się masy powietrza. Jeżeli strumień ten, o masie m i prędkości V , przepływa przez powierzchnię o przekroju A , wówczas jego moc teoretyczną P_w można obliczyć zgodnie z zależnością (1).

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

Energii kinetycznej wiatru nie da się jednak przetworzyć ze stuprocentową sprawnością na inny rodzaj energii. Moc uzyskiwana z energii poruszającego się powietrza, przez przetwornik jakim jest turbina wiatrowa, jest znacznie mniejsza od mocy teoretycznej P_w . Moc ta jest równa różnicy energii powietrza poruszającego się przed i za przetwornikiem, przy czym pole przekrojów A_1 i A_2 mogą się różnić. Pełne przetworzenie energii wiatru nie jest możliwe, chociażby ze względu na to, że oznaczałoby to iż prędkość strugi powietrza za turbiną byłaby równa zero, co fizycznie jest niemożliwe. Moc uzyskana P_u (mechaniczna), którą pobiera od wiatru przetwornik jakim jest siłownia wiatrowa, określona jest zależnością (2).

$$P_u = P_{w1} - P_{w2} = \frac{1}{2} \rho (A_1 V_1^3 - A_2 V_2^3) \quad (2)$$

Moc elektryczna P_E wytworzona przez siłownię wiatrową nie jest jednak równa mocy mechanicznej P_u . Praca turbiny wiatrowej wiąże się z występowaniem szeregu strat. Do najważniejszych z nich należą straty mechaniczne i aerodynamiczne układu wirnika siłowni, straty w przekładni, generatorze i urządzeniach przetwarzających wytworzoną energię. Teoretyczna maksymalna sprawność przetwarzania wiatru przez turbinę, związana z prawem Betza, wynosi 59,3 %. Sprawność całkowita siłowni stosowanych w energetyce zawodowej z reguły nie przekracza wartości 30 %. Składają się na nią zarówno sprawność przetwarzania energii wiatru, jak i sprawności generatora oraz pozostałych układów [1].

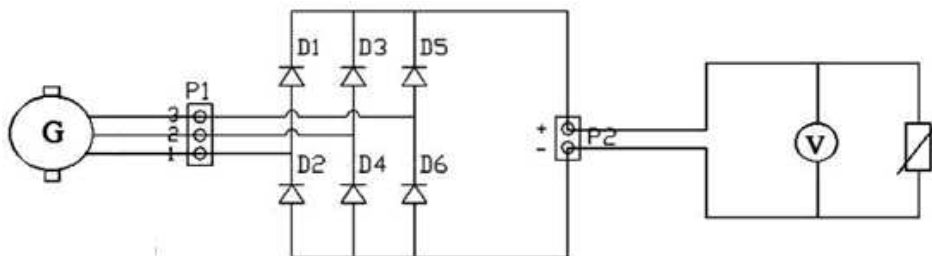
Obecnie zawodowa energetyka wiatrowa opiera się głównie na turbinach o poziomej osi obrotu (HAWT). Najczęściej stosowane są siłownie z wirnikiem o trzech łopatach i możliwością zamiany kąta ich nachylenia (pitch control) w celu regulacji mocy oddawanej. Charakteryzują się znacznie wyższą sprawnością w stosunku do siłowni o pionowej osi obrotu. Produkowane są w bardzo szerokim zakresie mocy znamionowych, od kilkudziesięciu watów do kilku megawatów. Duże jednostki mogą osiągać moce przekraczające nawet 5MW.

Wraz ze zmianami prędkości wiatru zmienia się moc wyjściowa elektrowni wiatrowej. Zależność pomiędzy tymi wielkościami przedstawia krzywa mocy turbiny. Ważne jest, aby krzywa była jak najbardziej stroma, a maksimum osiągała przy jak najmniejszej prędkości wiatru. Współczesne siłownie wiatrowe osiągają nominalne warunki pracy przy prędkościach wiatru rzędu 15 m/s. Dla każdej turbiny wiatrowej można wyznaczyć charakterystykę zakresu jej pracy i mocy generowanej w funkcji prędkości wiatru, opisaną w literaturze [3]. Z charakterystyki tej można odczytać prędkość startową turbiny, zakres jej pracy z mocą znamionową oraz prędkość wyłączenia turbiny. Dopóki wiatr nie osiągnie

prędkości nominalnej, dla danej turbiny, steruje się nią tak aby generowała możliwie maksymalną moc. Jeżeli siłownia wejdzie w zakres pracy znamionowej, utrzymuje się wytwarzaną moc na nominalnym poziomie, poprzez różnego rodzaju metody regulacji mocy oddawanej charakterystyczne dla konkretnych rozwiązań budowy turbiny.

2.2 Opis stanowiska pomiarowego

Stanowisko pomiarowe przeznaczone do badania charakterystyk modelu turbiny wiatrowej składa się z trzech zasadniczych segmentów. Najistotniejszy z nich stanowi element badany, czyli model turbiny wiatrowej WindPitch™, zamontowany na specjalnie zaprojektowanej szynie montażowej. Do kolejnej grupy urządzeń należy wentylator kanałowy Wentech o mocy 1,1 kW, który symuluje wiatr, generując strugę powietrza omywającą badaną turbinę. Jest on zasilany z falownika, ze względu na możliwość precyzyjnej regulacji prędkości obrotowej wentylatora, a zatem regulacji prędkości generowanej strugi powietrza. Urządzenia pomiarowe przyłączone do układu stanowią trzeci segment stanowiska. Należą do nich: 2 anemometry czasowe, do pomiaru prędkości wiatru przed i za badaną turbiną, umieszczone na szynie montażowej turbiny, multimetr cyfrowy, do pomiaru wartości napięcia stałego, odkładającego się na rezystancji obciążenia, przyłączonej do zacisków układu generatora elektrycznego, napędzanego przez turbinę, oraz tachometr laserowy, do pomiaru prędkości obrotowej wirnika turbiny. Elementem symulującym obciążenie generatora turbiny jest rezystor dekadowy. Mierzony na nim spadek napięcia, stanowi podstawę do obliczenia mocy elektrycznej generowanej przez turbinę. Schemat elektryczny układu pomiarowego przedstawia rysunek.1. Stanowisko wyposażone jest również w osłonę użytkownika, wykonaną z przezroczystego tworzywa. Jako podstawa dla całego stanowiska użyty został wytrzymały, stalowy stół warsztatowy Techwar.



Rys. 1. Schemat elektryczny modelu turbiny i połączeń układu pomiarowego

Fig. 1. Electrical diagram of wind turbine model and connections in measuring system

Szczegółowe dane znamionowe urządzeń pomiarowych i badanego modelu turbiny wiatrowej opisano w pracy ujętej w literaturze [2].

2.3 Opis przeprowadzonych badań

Analizie badawczej poddane zostały charakterystyki mocy elektrycznej generowanej przez turbinę w funkcji prędkości wiatru $P_E=f(V')$. Badania przeprowadzono dla różnych konfiguracji wirnika modelu. Określono parametry turbiny dla wirnika trójłataowego, w którym montowano różne profile łopat, dostarczone przez producenta modelu. Dla każdej z konfiguracji, wykorzystującej inny z analizowanych profili, badania przeprowadzono przy zmiennych kątach nachylenia łopat. Analizowano moc generowaną dla kątów 10, 30 i 60 stopni, dla każdego z badanych profili, BP-28, BP-44 i BP-63.

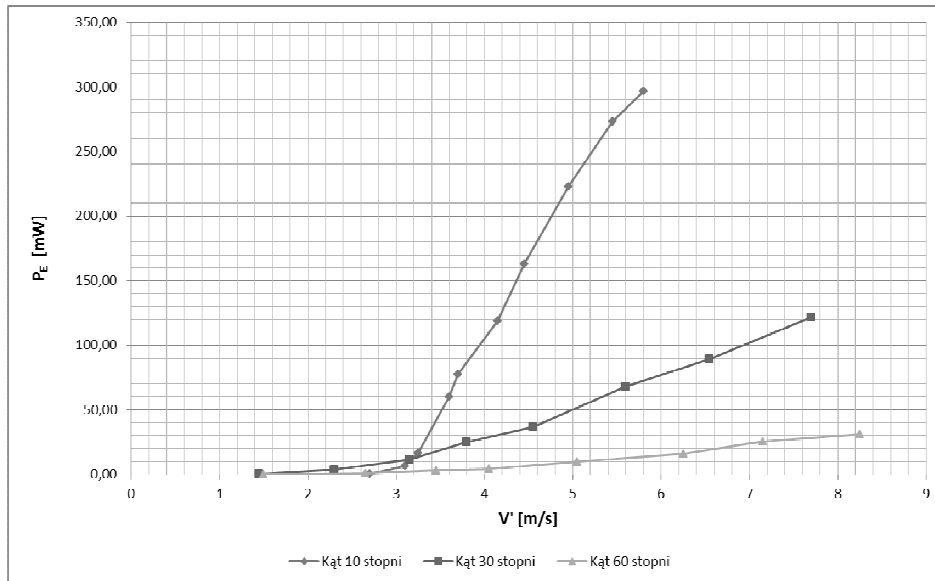
Badaniom poddano również cztery warianty rozbudowy wirnika turbiny, o różnej ilości zainstalowanych w nim łopat. Moc generowaną w funkcji prędkości wiatru określano dla wirników o dwóch, trzech, czterech i sześciu łopatach, przy stałych kącie ich nachylenia, 10 stopni, dla każdej z konfiguracji rozbudowy.

Dla każdej z opisanych i zbadanych konfiguracji, analizując dane pomiarowe, można wyznaczyć prędkość startową turbiny. Otrzymane wartości prędkości startowych również zostały poddane analizie.

3. Prezentacja wyników

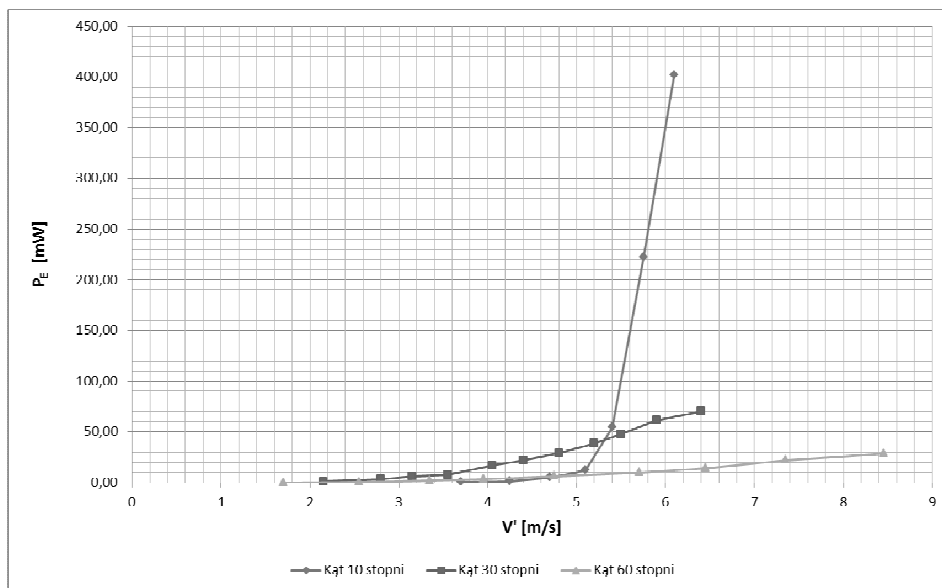
Z danych zebranych z pomiarów wykreślono charakterystyki zależności mocy elektrycznej generowanej przez turbinę WindPitch™, w funkcji prędkości wiatru $P_E = f(V')$, dla poszczególnych konfiguracji wirnika trójłataowego, ze zmiennymi łopatami, z uwzględnieniem kolejnych zmian ich kąta nachylenia. Wykreślono ponadto charakterystyki porównawcze analizowanych profili, przy danych kątach nachylenia łopat oraz charakterystykę porównawczą dla czterech wariantów rozbudowy wirnika turbiny, o różnej ilości zainstalowanych łopat, przy stałych kącie ich nachylenia dla każdego z wariantów.

Rodzinę punktowych charakterystyk prędkości startowej turbiny V_s od konfiguracji rotora, wyznaczono dla trzech badanych profili łopat wirnika trójłataowego, przy każdym analizowanym kącie ich ustawienia. Za start turbiny uważa się rozpoczęcie jej płynnego ruchu obrotowego. Dla każdej konfiguracji rotora wykreślono wartość prędkości wiatru, która jest dla niej prędkością startową. Analogiczny tok postępowania przyjęto określając prędkość startową dla wirnika dwu-, trój-, cztero-, sześćo-łataowego, które analizowano przy stałym kącie ustawienia łopat 10°.



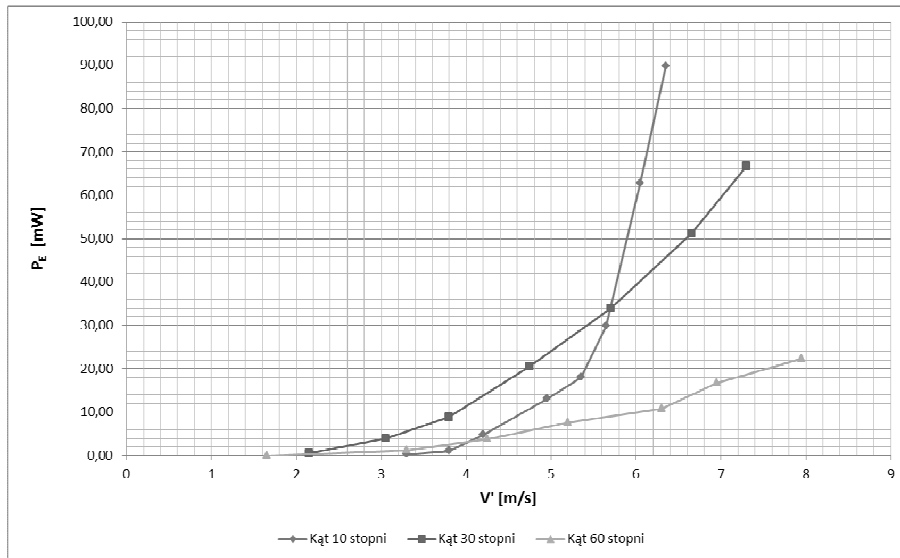
Rys. 2. Charakterystyki dla profilu BP-28

Fig. 2. Characteristics of BP-28 profile



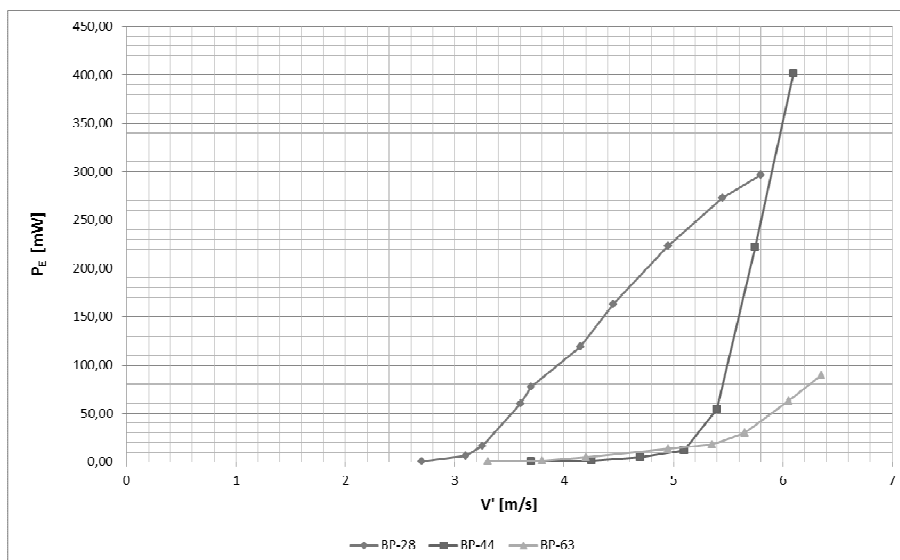
Rys. 3. Charakterystyki dla profilu BP-44

Fig. 3. Characteristics of BP-44 profile



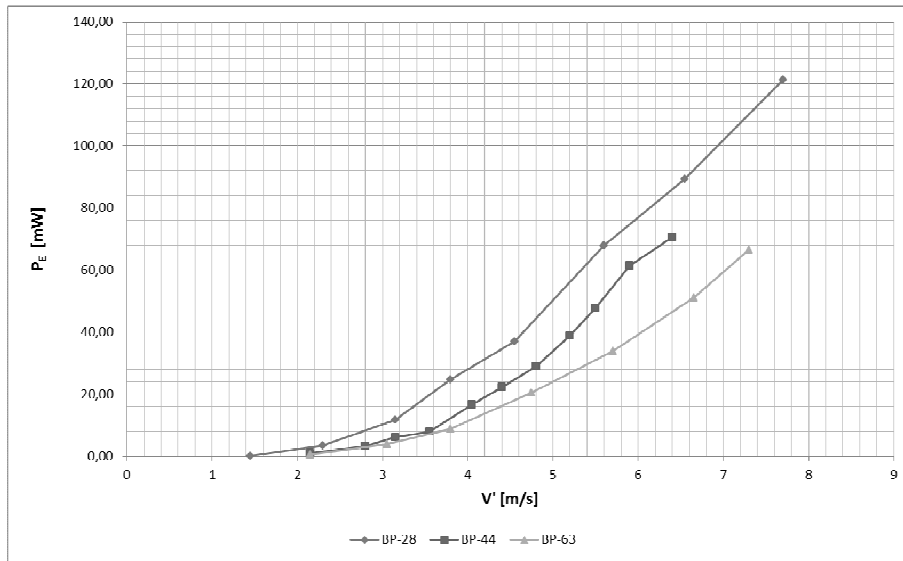
Rys. 4. Charakterystyki dla profilu BP-63

Fig. 4. Characteristics of BP-63 profile



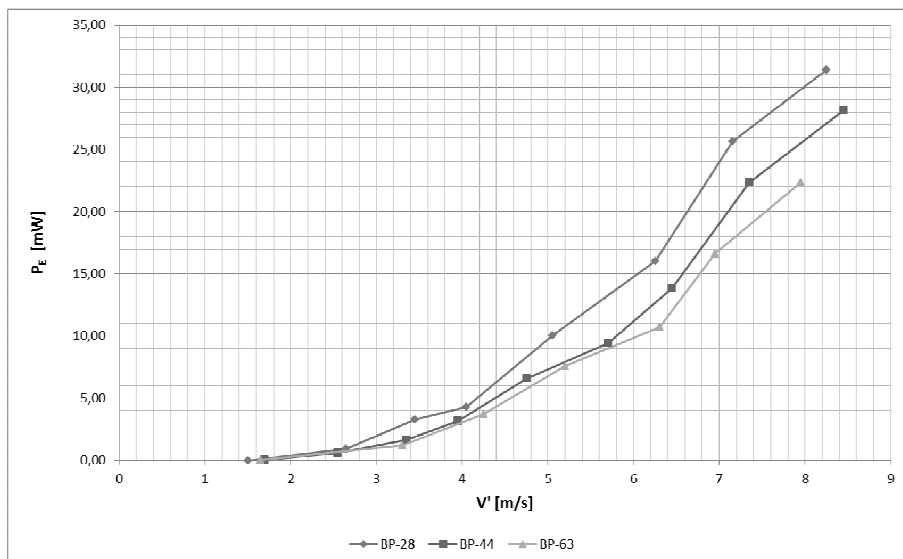
Rys. 5. Charakterystyka porównawcza dla kąta 10 stopni

Fig. 5. Comparative characteristics for 10 degrees angle



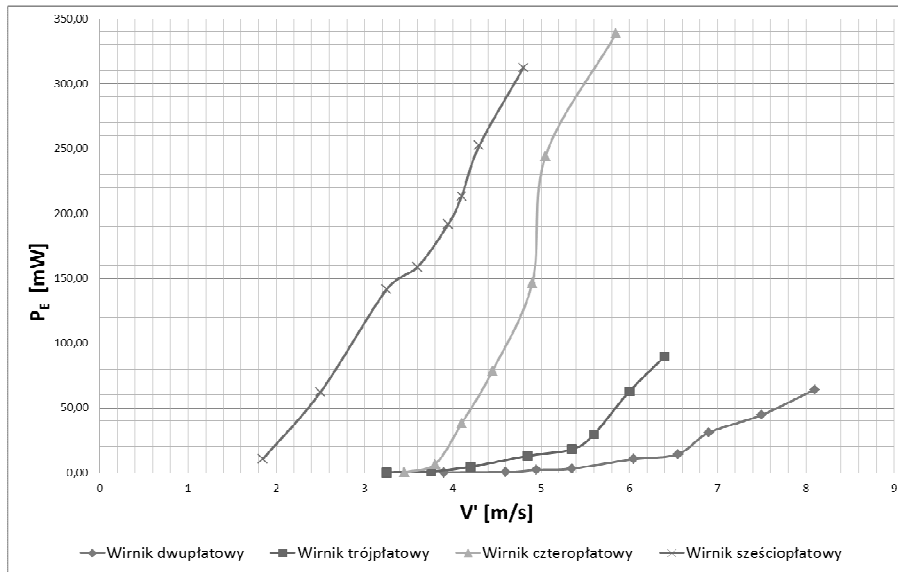
Rys. 6. Charakterystyka porównawcza dla kąta 30 stopni

Fig. 6. Comparative characteristics for 30 degrees angle



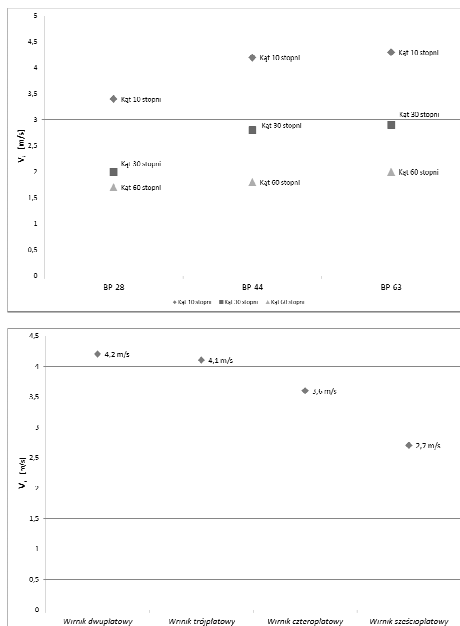
Rys. 7. Charakterystyka porównawcza dla kąta 60 stopni

Fig. 7. Comparative characteristics for 60 degrees angle



Rys. 8. Charakterystyka porównawcza dla różnych ilości łopatek zamontowanych w wirniku

Fig. 8. Comparative characteristics for different number of blades mounted on the rotor



Rys. 9. Charakterystyki startowe przeanalizowanych konfiguracji turbiny

Fig. 9. Startup characteristics of the analyzed turbine configuration

4. Wnioski

Charakterystyki przedstawione na rysunkach 2-7 pokazują jak istotny wpływ na pracę badanej turbiny wiatrowej mają zastosowane w wirniku profile łopat oraz kąt ich nachylenia (Pitch Control). Wraz z zwiększaniem kąta nachylenia łopat, moc generowana przez turbinę maleje. Własność tę wykorzystuje się w regulacji mocy oddawanej przez siłownię i dostosowywaniu jej pracy do panujących warunków wietrznych. W zależności od zastosowanego profilu i kąta nachylenia, spadek ten przy prędkości zbliżonej do maksymalnej mierzonej może być kilkukrotny, jak w przypadku analizowanego profilu BP-63, a nawet kilkunastokrotny, tak jak w przypadku modelu z łopatom BP-44. Optymalne właściwości wykazał profil BP-28. Moc generowana przez turbinę z łopatom o tym profilu osiągnęła stosunkowo wysoki poziom, w przybliżeniu 75% mocy dla łopat BP-44, a zwiększanie kąta nachylania dla tego profilu wpływa na zmniejszenie mocy wytwarzanej od kilku do kilkunastu razy. Poznanie zakresu pracy i charakterystyk regulacji mocy oddawanej przez siłownię wiatrową, jest kluczowe w fazie projektowania turbiny. Pozwala to osiągać wysoką sprawność wytwarzania i dużą niezawodność zastosowanych rozwiązań.

Analizując charakterystykę porównawczą przedstawioną na rysunku 8., zauważa się, iż spośród badanych wariantów rozbudowy rotora, wirnik trójpłatowy wykazuje własności najbardziej korzystne spośród badanych. Pomimo tego, że w badanym zakresie prędkości wiatru, wirnik trójpłatowy generuje znacznie niższą moc, w porównaniu do rozwiązań cztero- i sześciopłatowych, jego zaletą jest to, że możliwa jest jego dalsza praca w zakresie pracy znamionowej przy wyższych prędkościach wiatru. Dla wirników z czterema i sześcioma płatom dalsze zwiększanie prędkości wiatru, mogłoby spowodować uszkodzenie turbiny, ze względu na przekroczenie dopuszczalnej prędkości obrotowej wirnika. Dlatego też w rzeczywistych układach dużych mocy, turbina z wirnikiem trójpłatowym jest najczęściej stosowanym rozwiązaniem, ze względu na szeroki zakres prędkości wiatru, przy których może pracować efektywnie. Turbiny o większej ilości łopat (wolnobieżne) są mniej odporne na silne wiatry, a ich dodatkową wadą jest ich skomplikowana budowa i znacznie większy ciężar, który ma olbrzymie znaczenie w procesie projektowania. Mają one jednak cenną zaletę, jaką jest duży moment rozruchowy, znacznie większy niż dla silników o mniejszej ilości łopat. Model z zamontowanym wirnikiem dwupłatowym charakteryzuje się najszerszym z badanych zakresem pracy, co może być istotną zaletą turbin mających pracować na terenach o silnych i porywistych wiatrach.

Charakterystyki przedstawione na rysunku 9 obrazują przy jakiej prędkości wiatru turbina dla danej konfiguracji wirnika rozpoczyna swój płynny ruch obrotowy, a zatem zaczyna generować energię. Z charakterystyki dla wirnika trójpłatowego, w którym analizowano trzy typy profili zamontowanych łopat, dla trzech kątów ich ustawienia wynika, że dla każdego z badanych kątów natarcia

łopat najszybciej startuje, a więc charakteryzuje się najniższą prędkością startową V_s , turbina z zamontowanymi profilami BP-28. Dla każdego z analizowanych profili łopat, zauważyć można również, że wartości prędkości startowej dla danej konfiguracji, zależy od kąta natarcia łopat. Im kąt większy, tym prędkość startowa niższa. Analizując zmianę prędkości startowej dla wirników dwu-, trój, cztero-, sześćo-płatowych, można zauważyć, że im większa liczba łopat zamontowanych w rotorze, tym mniejszej prędkości wiatru potrzebuje on do rozpoczęcia pracy.

Każda z przeanalizowanych w artykule konfiguracji badanej turbiny WindPitch™ ma swoje cenne zalety i wyróżnia się jakimś parametrem w stosunku do pozostałych rozwiązań. Dla przykładu duży moment rozruchowy turbiny z wirnikiem o wielu łopatach jest jego ceną i często pożądaną zaletą, jednak, gdy potrzebujemy rozwiązania o szerokim zakresie pracy, z możliwością regulacji mocy oddawanej, słuszniej będzie zastosować wirnik trójpłatowy ze zmiennym kątem ustawienia łopat. Dlatego tak istotne jest poznanie parametrów pracy i charakterystyk turbin wiatrowych oraz metod ich badania, ponieważ są one, jak wspomniano we wstępie, korzystnym i atrakcyjnym źródłem energii, o szerokich możliwościach zastosowania i ogromnym potencjale energetycznym, zarówno w Polsce jak i na Świecie.

Literatura

- [1] Barzyk G.: Energetyka wiatrowa- podstawy, <http://barzyk.pl/teksty/wyklad1.pdf>
- [2] Dudziak A.: Badanie charakterystyk modelu turbiny wiatrowej, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2015.
- [3] Tytko R.: Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej, Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, Kraków 2013.
- [4] Wolańczyk F.: Elekrownie wiatrowe, Wydawnictwo KaBe Krosno 2009
- [5] Raport TPA Horwath: „Energetyka Wiatrowa w Polsce 2013”

TESTING BASIC CHARACTERISTICS OF WIND TURBINE MODEL

Summary

The article presents the process and research results, whose purpose was performance of the main characteristics of the wind turbine model WindPitch™. Construction of model from Horizon Fuel Cell company allows a comprehensive study of physical phenomena associated with the turbine and enables the measurement and calculation of technical parameters as well as determines the operating characteristic for different model configurations. Volatility of the most significant parameter of tested model, meaning generated output power as a function of wind speed, has been measured for different configurations of blades mounted in the rotor. Research analysis refers both to the shape of blades' profile, change of their angle of inclination and their variable number mounted in the rotor. Power generated by the model with installed triple vaned rotor has been studied for angles of 10, 30 and 60 degrees for each of researched profiles, BP-28, BP-44 and BP-63. Moreover, four variants of turbine rotor expansion as been analyzed. The power generated as a function of wind speed is determined for rotors having two,

three, four and six blades and the fixed angle of inclination equal to 10 degrees. For each configuration also was defined the starting speed, and its variation depending on the configuration is shown in the relevant diagrams. Measurements were carried out in the range of wind speed changes, for which the rating parameters of the model operation were not exceeded. Measurement of PE power generated by the turbine was made by indirect technical method, while the speed was determined by the direct method, using a tachometer. Speed of wind has been changed by set of fan and inverter and measured by cup manometers.

Keywords: wind, wind energy, wind turbine, power characteristics, WindPitch

DOI: 10.7862/re.2015.2

Tekst złożono w redakcji: luty 2015

Przyjęto do druku: marzec 2015

Wiesława MALSKA¹

KARTY KONTROLNE SHEWHARTA PRZY OCENIE LICZBOWEJ W PROGRAMIE STATISTICA

Programy statystyczne umożliwiają statystyczną analizę danych, a także stwarzają możliwości zastosowania zaawansowanych procedur, w tym możliwość zastosowania kart kontrolnych Shewharta w SPC (Statistical Process Control). Karty kontrolne są stosowane od lat trzydziestych XX wieku jako narzędzia statystycznego sterowania procesami. W artykule zaprezentowano zastosowanie karty kontrolnej Shewharta przy ocenie liczbowej. Zaprezentowano kartę kontrolną typu X – średnie (średnia arytmetyczna) i R (rozstęp). Jest to karta umożliwiająca kontrolę cechy mierzalnej produktu lub wyrobu. Na kartę nanoszone są wartości średnie wyników pomiaru elementów próbek, pobieranych w regularnych odstępach czasu z procesu poddawanego kontroli (kiedy jest to możliwe z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia). Analiza kart kontrolnych sprowadza się do tego, aby na podstawie otrzymanych wyników stwierdzić czy proces, który jest monitorowany przebiega prawidłowo, czy jest już rozregulowany. Karty kontrolne przy ocenie liczbowej można stosować wówczas, gdy dane pomiarowe mają rozkład normalny. W najbardziej standardowym ujęciu mamy do czynienia z dwiema kartami i dwoma histogramami. Jedną z kart nazywana jest kartą X - średnie, a druga nazywana jest kartą R. Na obu wykresach oś pozioma (odciętych) przedstawia kolejne próbki. W przypadku karty X-średnie, oś pionowa (rzędnych) przedstawia wartość średnią badanej zmiennej (badanej cechy), natomiast w przypadku karty R na tej osi wykreśla się rozstęp badanej zmiennej. Karta X - średnie i R jest najczęściej stosowaną kartą kontrolną przy ocenie liczbowej. Celem statystycznego sterowania procesem jest doprowadzenie go do stabilnego i akceptowalnego poziomu, utrzymania go na tym poziomie, oraz zapewnienie spełniania wyspecyfikowanych wymagań przez produkty (wyroby) lub usługi. Głównym narzędziem statystycznym używanym w tym celu jest karta kontrolna.

Słowa kluczowe: karty kontrolne, średnia arytmetyczna, rozstęp, histogram, statystyczne sterowanie procesem.

¹ Wiesława Malska, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, 17 865 1974, wmalaska@prz.edu.pl

1. Wstęp

Program STATISTICA jest pakietem przeznaczonym nie tylko do zastosowań dydaktycznych, ale także do zastosowań w statystycznym sterowaniu procesami (SPC - Statistical Process Control) z wykorzystaniem kart kontrolnych tzw. kart kontrolnych Shewharta [1, 2]. Każde przedsiębiorstwo produkcyjne, dąży do tego, aby produkty i wyroby, które wytwarza były jak najlepszej jakości. W dzisiejszych czasach, to właśnie dobra jakość pozwala utrzymać się na rynku, gdzie konkurencja jest bardzo duża. Jakość oznacza zarówno wydajność, niezawodność, trwałość, kompatybilność, czyli ogół właściwości produktu lub wyrobu wiążących się z jego zdolnością o zaspokojenia potrzeb i wymagań stwierdzonych lub oczekiwanych. W rzeczywistych warunkach żaden proces nie przebiega w warunkach idealnych, nie zakłócany przez żadne czynniki. Nigdy nie udaje się uzyskać dwóch identycznych wyników pomiarów, czy też wyprodukować dwóch wyrobów o identycznych parametrach. Wiąże się to z tym, że na każdy proces (pomiar) mogą oddziaływać dwa rodzaje zakłóceń – zakłócenia losowe i zakłócenia specjalne [1].

Zakłócenia losowe (przyczyny losowe) to zgodnie z normą PN-ISO 3534-2: „Czynniki, występujące zwykle w dużej liczbie, przy czym każda z nich ma względnie małe znaczenie, prowadzące do zmienności, które muszą być koniecznie zidentyfikowane”. W praktyce przedsiębiorstw produkcyjnych zakłócenia takie to np. drgania wrzeciona tokarki, zdolności percepcyjne człowieka przy odczytywaniu wyników pomiaru ze skali, itp. [1].

Zakłócenie specjalne to zgodnie z normą PN-ISO 3534-2: „Czynnik (zwykle systematyczny), który może być wykryty i zidentyfikowany jako powodujący zmiany właściwości jakościowej lub zmiany poziomu procesu”. Zakłóceniem tego typu może być np. uszkodzenie noża przy toczeniu, zbyt niska temperatura procesu, itp. [1].

Stosunkowo łatwo można wyeliminować zakłócenia specjalne, ale pod jednym warunkiem, że potrafimy je zidentyfikować i wiedzieć, kiedy i w jaki sposób wpływają na proces. Doskonałym narzędziem, które to umożliwia jest tzw. karta kontrolna (karta kontrolna Shewharta) [1].

Żaden proces ze względu na pojawiające się zakłócenia losowe i specjalne nie przebiega w sposób stabilny. Można jednak określić pewne granice, w których powinien się on mieścić. Dzięki określeniu „naturalnego” zachowania się procesu produkcyjnego można rozpocząć pracę nad likwidowaniem wpływających na niego zakłóceń specjalnych, powodujących rozregulowania. Do tego celu służy tzw. karta kontrolna. Polska nazwa tego narzędzia może być myląca, ponieważ karta ta nie służy do kontroli ale do sterowania, nadzorowania, panowania nad procesem (z j. ang. control chart). Historycznie rzecz ujmując pierwsze karty kontrolne zostały stworzone w 1924 roku przez W.A. Shewharta, w zakładach produkujących części elektroniczne Western Electric (USA) [1].

2. Karty kontrolne Shewharta

Karta kontrolna w najprostszej wersji to arkusz z tabelą na wpisywanie wyników i miejscem na narysowanie odpowiedniego wykresu (wyróżniamy tu tzw. „metkę” karty kontrolnej, dane z pomiarów i wyniki obliczeń, a także wykres (lub wykresy)) [1, 2]. W metce powinny być zawarte następujące informacje:

- numer karty kontrolnej,
- nazwa sterowanego procesu,
- nazwa (rodzaj) karty kontrolnej,
- okres czasu, jakiego karta dotyczy,
- wyniki podsumowujące kartę (najczęściej wartość średnią mierzonej cechy).

W tabeli z wynikami wpisywane są wyniki pomiarów dokonywanych podczas nadzorowania procesu. Należy tu uwzględnić licznosc próbek, wartości i opis pomiarów (kto i kiedy je wykonał). Wykres przebiegu procesu powinien odzwierciedlać zachowanie monitorowanego procesu produkcyjnego.

Na jego podstawie możemy ocenić, czy proces przebiega prawidłowo, czy może zakłócony zakłóceniami specjalnymi wymaga naszej interwencji.

Na wykresie powinny znajdować się 4 linie: górna granica kontrolna, linia centralna, wykres mierzonej wartości, dolna granica kontrolna. Linia centralna przedstawia wartość średnią ze wszystkich umieszczonych na karcie kontrolnej wyników.

Górna i dolna granica kontrolna jest obliczana ze specjalnie opracowanych wzorów. Pokazują one granice w jakich powinny się mieścić wartości obserwowanych charakterystyk (np. wartości średnich, rozstępu, czy też odchylenia standardowego) dla ustabilizowanego i poprawnie przebiegającego procesu produkcyjnego. Granice kontrolne powinny wyznaczać przedział $\pm 3\sigma$ (99,73%) wszystkich pomiarów [1, 2]. Wzory te uwzględniają liczebność próbek, stosowany rodzaj miary rozproszenia (zmiennosci, dyspersji, zróżnicowania) – czy stosujemy klasyczną miarę zmienności (odchylenie standardowe) czy pozycyjną miarę zmienności (rozstęp).

Natomiast wykres mierzonej cechy odwzorowuje mierzone wartości. Linia centralna wyznacza wartość średnią ze wszystkich zebranych pomiarów. Pokazuje zatem wartość, którą średnio przyjmuje mierzona właściwość produkowanych wyrobów. Sposób obliczenia linii centralnej zależy od tego jaki rodzaj karty kontrolnej jest zastosowany. W praktyce przedsiębiorstw można spotkać się z różnymi procesami. Każdy z tych procesów ma swoją specyfikę, którą należy uwzględnić przy wdrażaniu metod statystycznych do doskonalenia jakości. Karty kontrolne dzielą się na 2 zasadnicze grypy: karty kontrolne przy ocenie liczbowej i karty kontrolne przy ocenie alternatywnej [1].

Karty kontrolne przy ocenie liczbowej stosuje się wówczas, gdy mamy do dyspozycji liczbowe wyniki opisujące analizowany przez nas obszar (proces,

wyrób, itp.). Wyniki te pochodzą z bezpośrednich pomiarów pewnych własności, np. długości, średnicy, ciężaru, temperatury, itp.

Standardowe karty kontrolne stosowane przy ocenie liczbowej mają jedno podstawowe założenie – rozkład wyników powinien być rozkładem normalnym lub zbliżonym do normalnego.

Karty kontrolne przy ocenie alternatywnej wykorzystywane są w przypadku, gdy stosuje się ocenę alternatywną wyrobów, tzn. dzieli się je tylko na dwie grupy: dobre i złe (zmienna dychotomiczna). Wartością wykreślaną na karcie jest wtedy frakcja wyrobów niezgodnych, ilość wyrobów niezgodnych lub ilości niezgodności (wad) znalezionych w poddanej kontroli jednostce wyrobu. Przy kartach tego typu nie ma wymagań normalności rozkładu, ponieważ karty te zbudowane są w oparciu o rozkłady dyskretne (najczęściej rozkład Bernoulliego lub rozkład Poissona) [1, 2, 7]. Próbka, czyli 2 lub więcej wyrobów jest podstawą do oceny procesu. Większość kart kontrolnych zakłada, że próbka będzie miała stałą liczebność (liczność), czyli przez cały czas sterowania procesem próbka będzie składała się z takiej samej ilości wyrobów. Wielkość próbki należy dobrać zgodnie z wymaganiami norm branżowych i zwracając uwagę na następujące aspekty:

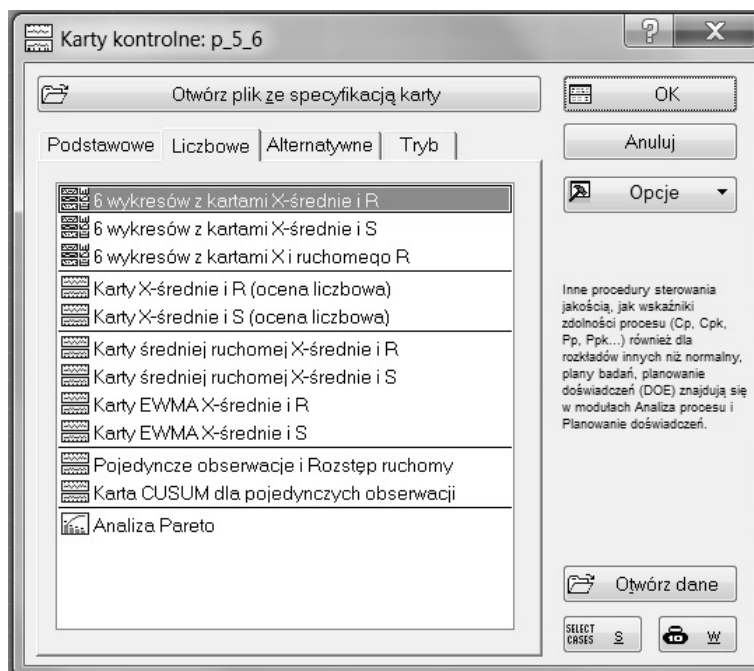
- koszty kontroli wyrobów,
- charakter procesu,
- możliwości techniczno-organizacyjne,
- rodzaj stosowanej karty kontrolnej.

Częstość pobierania próbek – uzależniona jest od tych samych warunków co liczebność próbki. Natomiast granice kontrolne i linię centralną obliczyć można tylko wtedy, gdy mamy dostateczną liczbę zebranych wyników. Analiza kart kontrolnych sprowadza się do stwierdzenia czy analizowany proces przebiega prawidłowo czy jest już w stanie rozregulowania.

3. Karty kontrolne przy ocenie liczbowej

Karty kontrolne przy ocenie liczbowej wykorzystywane są w przypadku, gdy mamy do dyspozycji konkretne liczbowe wyniki pochodzące z pomiarów interesujących nas właściwości produkowanych wyrobów. Jedynym wymogiem jest założenie, że zebrane dane dotyczące właściwości mają rozkład normalny lub zbliżony do normalnego.

Karty kontrolne do oceny liczbowej lub oceny alternatywnej dostępne w pakiecie STATISTICA v. 10.0 przedstawiono na rys. 1 [2].



Rys. 1. Karty kontrolne dostępne w pakiecie STATISTICA

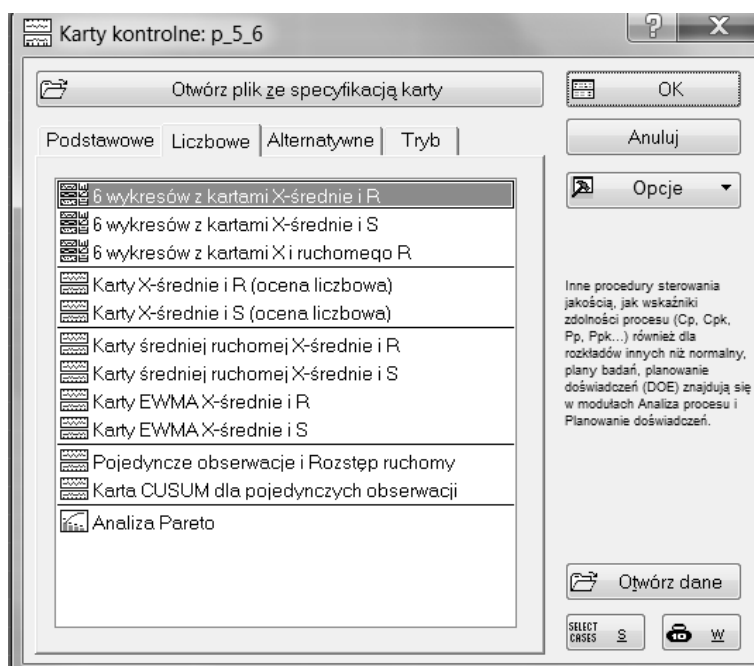
Fig.1. Control cards available in STATISTICA

Najczęściej wykorzystywanymi kartami są: karta X-średnie i R (ocena liczbowa) i karta X-średnie i S (ocena liczbowa) [2]. Karta X-średnie i R (ocena liczbowa) – jak sama nazwa wskazuje analizuje się tu dwie wartości: średnią i rozstęp wyników w poszczególnych próbkach. Na karcie tej prowadzi się (wykreśla się) dwa wykresy. Pierwszy z nich prezentuje wartości średnie w poszczególnych próbkach pobranych do badania. Położenie każdego wykreślonego punktu wynika z obliczonej wartości średniej w próbce. Drugi wykres pokazuje rozproszenie w poszczególnych próbkach, wyrażane obliczaną wartością rozstępu. Kartę X-średnie i R (ocena liczbowa) stosuje się w przypadkach, gdy dysponujemy liczbowymi wartościami z pomiarów wytwarzanych wyrobów (długość, średnica, itp.) oraz gdy możemy pozwolić sobie na badanie kilkuelementowych próbek (kiedy jest to możliwe z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia). Celem zaprezentowania wykorzystania karty kontrolnej na rys. 2 przedstawiono wyniki pomiaru (fragment arkusza pomiarowego) średnicy detalu produkowanego przez automat o nominalnej wartości 25 mm. W odstępach 1 godzinnych pobierano 4-elementową próbkę. Istotne jest aby średnica produkowanych detali była jak najbliższa wartości nominalnej. Rys. 3. przedstawia widok karty z możliwością wyboru kart kontrolnych (tu widok z możliwością wyboru kart kontrolnych liczbowych).

	1 I	2 II	3 III	4 IV	5 średnia	6 max	7 min	8 rozstęp
1	24,903	25,006	24,98	25,055	25,00675	25,055	24,903	0,152
2	24,927	25,04	25,013	25,041	25,02481	25,041	24,927	0,114
3	24,974	25,028	24,926	25,026	24,99212	25,028	24,926	0,102
4	25,056	24,978	24,917	25,019	24,97662	25,056	24,917	0,139
5	25,041	25,041	24,947	24,949	24,98288	25,041	24,947	0,094
6	25	24,998	25,046	24,938	24,99438	25,046	24,938	0,108
7	24,989	24,994	24,967	25,023	24,99431	25,023	24,967	0,056
8	25,007	24,936	24,883	25,018	24,9495	25,018	24,883	0,135
9	25,074	24,936	25,029	24,975	24,98588	25,074	24,936	0,138
10	25,012	24,927	25,031	24,985	24,98294	25,031	24,927	0,104

Rys. 2. Fragment arkusza z wynikami pomiarów i obliczeń

Fig. 2. A fragment of a sheet with the results of measurements and calculations



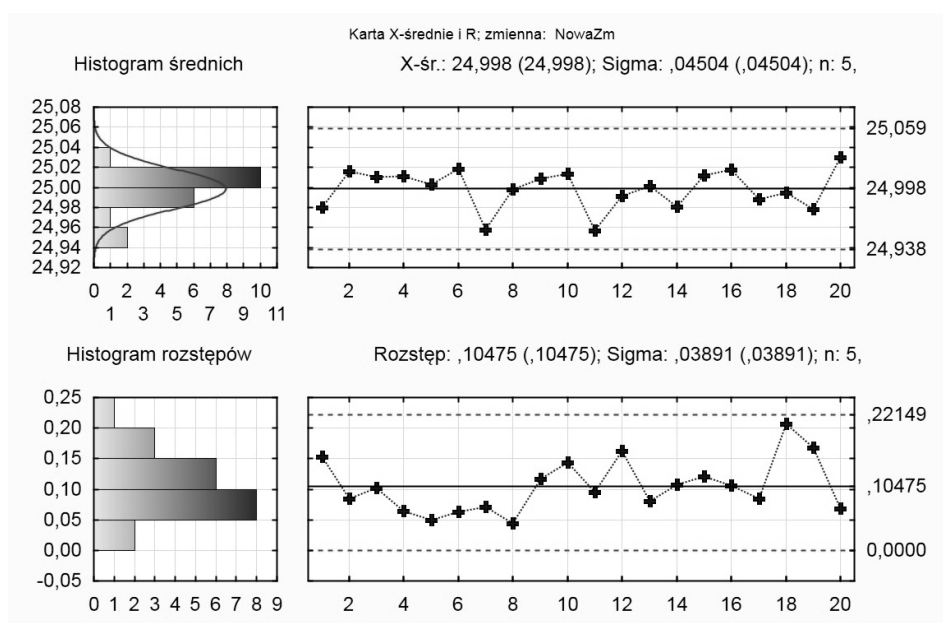
Rys. 3. Widok karty z możliwością wyboru kart kontrolnych (tu widok z możliwością wyboru kart kontrolnych liczbowych)

Fig. 3. View the card with a choice of control charts (in this view, with a choice of numerical control cards)

Pierwszym krokiem po wyborze odpowiedniej karty kontrolnej jest zdefiniowanie zmiennych, w których zapisane są dane z pomiarów. Dane te mogą mieć dwie postaci. Pierwsza postać to tzw. dane surowe. Są to pomiary zapisane w jednej kolumnie (w postaci 1 zmiennej). W takim przypadku do określenia, które dane pochodzą z których próbek tworzy się drugą zmienną z numerami

próbek lub uaktywnia się opcję *Stały rozmiar próbki*. Drugą możliwością jest wybór opcji *Dane zagregowane*.

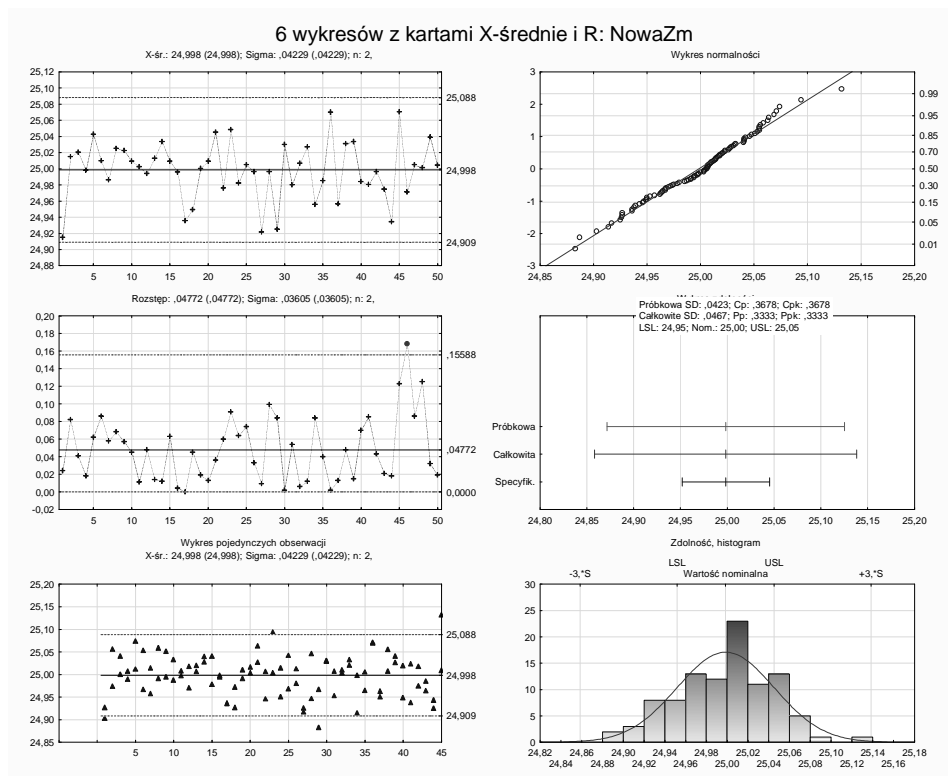
Po określeniu zmiennych następnym krokiem jest przejście do opcji kart *Specyf. X i Specyf. R/S*. Na tych kartach można znaleźć kilka narzędzi i ustawień, usprawniających i „u elastyczniających” prowadzenie analizy zachowania się procesu. Na karcie *Specyf. X* znajdują się opcje dotyczące karty wartości średnich. Granice kontrolne i linia centralna obliczane są z odpowiednich zależności i tablic statystycznych. Pakiet STATISTICA umożliwia ustawienie własnego położenia podstawowych linii. Jest to szczególnie przydatne w przypadku, gdy prowadzi się kartę kontrolną z tzw. wartościami zadanymi. Ustala się wtedy dopuszczalne odchylenie standardowe, zakładaną wartość średnią (linię centralną) oraz położenie granic kontrolnych (ich odległość od linii centralnej – standardowo 3σ). Monitorowanie procesu przy tak zaprojektowanej karcie polega na sprawdzaniu, czy jego parametry odpowiadają parametrom założonym. Możliwość ustalenia położenia granic kontrolnych i linii centralnej na zadanym stałym poziomie jest istotna. Na rys. 4 przedstawiono kartę kontrolną stworzoną w programie STATISTICA.



Rys. 4. Karta X-średnie i R

Fig. 4. Card X- average and R

Na rys 5. przedstawiono tzw. „6 wykresów”. Są to: wykres średniej, rozstępu, normalności, zdolności, pojedynczych obserwacji, histogramu zdolności.

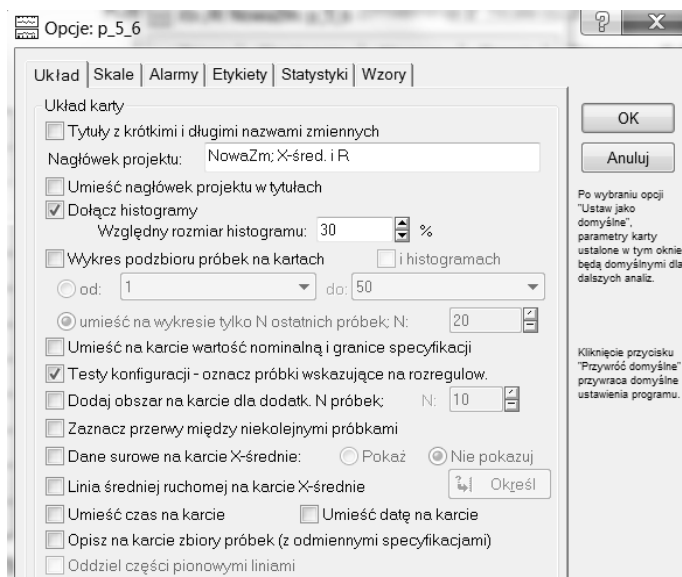


Rys. 5. Sześć wykresów z kartami X- średnie i R

Fig. 5. Six graphs with X cards average and R

Pakiet STATISTICA udostępnia narzędzia do analizowania wykresów otrzymanych na prowadzonych kartach kontrolnych. Jest możliwość ustawienia i przeprowadzenia testów wzorca przebiegów, a w szczególności oznaczenia próbek wskazujących na rozregulowanie (rys. 6).

Odpowiednio skonfigurowanie karty kontrolnej i odpowiednio przeprowadzone testy wzorca przebiegu procesu pozwalają na dokładną analizę zachowania się monitorowanego procesu, co przyczynia się do lepszego nim sterowania i jego doskonalenia.



Rys. 6. Widok karty wyboru testu konfiguracji wraz z możliwością oznaczenia próbek wskazujących na rozregulowanie

Fig. 6. View card configuration and test selection with samples markings indicating dysregulation

4. Podsumowanie

Odpowiednio skonfigurowanie karty kontrolnej i odpowiednio przeprowadzone testy wzorca przebiegu procesu pozwalają na dokładną analizę zachowania się monitorowanego procesu, co przyczynia się do lepszego nim sterowania i jego doskonalenia. Moduł „Karty kontrolne” dostępny w programie STATISTICA może być wykorzystywany w zakładach produkcyjnych w działach jakości. Można wykorzystać karty kontrolne do oceny liczbowej lub do oceny alternatywnej.

Karty kontrolne wykorzystano na potrzeby opracowania niniejszego artykułu, dzięki uprzejmości firmy Statsoft, która udostępniła moduł *Karty Kontrolne* (Statsoft Polska, Sp. z o. o., ul. Kraszewskiego 36, 30-110 Kraków).

Literatura

- [1] Greber T., Statystyczne sterowanie procesami – doskonalenie jakości z pakietem STATISTICA, Statsoft, Kraków, 2000
- [2] www.statsoft.pl
- [3] Luszniwicz A., Słaby T., Statystyka z pakietem komputerowym STATISTICA PL, Wydawnictwo Beck, Warszawa, 2008
- [4] Starzyńska W., Statystyka praktyczna, PWN, Warszawa, 2005

- [5] Stanisławek J., Podstawy statystyki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2010
- [6] Ostasiewicz W., Myślenie statystyczne, Oficyna a Wolters Kluwer business, Warszawa, 2012
- [7] Rabiej M., Statystyka z programem Statistica, Helion, 2012
- [8] Kot S., Jakubowski J., Sokołowski A., Statystyka, Wydawnictwo Difin, Warszawa, 2011
- [9] Sobczyk M., Statystyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002
- [10] Wieczorkowska G., Wierziński J., Statystyka od teorii do praktyki, Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Warszawa, 2013
- [11] Piłatowska M., Repetytorium ze statystyki, PWN, Warszawa, 2009

THE SHEWHART CONTROL CARDS IN THE ASSESSMENT IN STATISTICA

Summary

Available statistical programs allow statistical analysis of the data, and enables the use of advanced procedures, including the possibility of using Shewhart control charts in the SPC (Statistical Process Control). Control charts are basic and applied since the thirties of the twentieth century statistical process control tools. The article presents the use of Shewhart control chart when evaluating a number. Presents the X-type control card - the average (arithmetic mean) and R (deviation). It is a card that allows control of measurable characteristics of the product or article. Are applied to the card mean values of elements of the measurement results of samples taken at regular intervals from undergoing the process control (where possible from a technical and economic point of view). Analysis of control cards comes down to it, on the basis of the results determine whether the process that is monitored is going well, if it is already the correct time. Control cards with the numerical ratings can be used when the measurement data are normally distributed. In most standard approach we have to deal with two cards and two histograms. One of the cards is called a card X - average, and the second is called the card R. In both graphs the horizontal axis (abscissa) represents the next sample. If the card is X-bar, the vertical axis (ordinate) represents the average value of the test variable (test characteristics), while in the case of R on the card is deleted axis of the variable test interval. X card - minicomputers and R is the most common control card with a numerical evaluation. The purpose of statistical process control is to bring it to a stable and acceptable level, maintaining it at that level, and to ensure compliance with specified requirements for products (goods) or services. The main statistical tool used for this purpose is the control card.

Keywords: control charts, the arithmetic mean, range, histogram, statistical process

DOI: 10.7862/re.2015.3

Tekst złożono w redakcji: luty 2015

Przyjęto do druku: marzec 2015

Wiesława MALSKA¹
Henryk WACHTA²

ZASTOSOWANIE DEKOMPOZYCJI SEZONOWEJ (CENSUS 1) W ANALIZIE SZEREGÓW CZASOWYCH I PROGNOZOWANIA W ENERGETYCE

W artykule zaprezentowano zastosowanie jednej z metod służących do analizy szeregów czasowych z trendem i sezonowością. Szereg czasowy jest jednym z rodzajów szeregów statystycznych, który można zdefiniować jako ciąg obserwacji pewnego zjawiska w kolejnych jednostkach czasu (latach, miesiącach, dobach, itp.). Rozważane zjawisko może podlegać pewnym prawidłowościom, których wykrycie i opis jest głównym celem analizy szeregów czasowych. W wielu przypadkach modele szeregów czasowych wykorzystywane są w celu wnioskowania o przyszłości badanego zjawiska (do prognozowania). W artykule przedstawiono zastosowanie metody wskaźników do analizy szeregów czasowych i prognozowania w odniesieniu do zagadnień energetyki. Otrzymane wyniki obliczeń mogą być przydatne w podejmowaniu decyzji i monitorowaniu funkcjonowania systemu elektroenergetycznego Polski pod kątem relacji mocy dyspozycyjnej elektrowni krajowych w odniesieniu do maksymalnego zapotrzebowania na moc w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym Polski. Wyniki obliczeń zaprezentowano z wykorzystaniem pakietu STATISTICA v. 10.0, wspomagającego analizę i obliczenia.

Słowa kluczowe: szereg czasowy, metoda wskaźników, dekompozycja sezonowa, prognozowanie, model Census 1.

¹ Autor do korespondencji: Wiesława Malska, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, 17 865 1974, wmalska@prz.edu.pl

² Henryk Wachta, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, 17 865 1977, hwachta@prz.edu.pl

1. Wstęp

Pierwszym krokiem wykonywanym podczas analizy szeregu czasowego jest wizualizacja danych. Zazwyczaj już na tym poziomie jesteśmy w stanie wyróżnić trend, czy wahania sezonowe. Celem dekompozycji szeregu czasowego jest oszacowanie i wyróżnienie części składowych szeregu. Wyróżnia się dwa matematyczne modele szeregów czasowych: model addytywny oraz model multiplikatywny. Do analizy szeregów z trendem oraz sezonowością służy metoda wskaźników. Jednym z etapów tej metody jest dekompozycja sezonowa. Dekompozycja sezonowa polega na wyodrębnieniu składowych szeregu czasowego (trendu, składowej sezonowej, składowej cyklicznej oraz losowej). Odbywa się to za pomocą wykorzystania odpowiedniego algorytmu opartego na zastosowaniu filtra średnich ruchomych [6]. W metodzie Census 1, składowe cykliczne i sezonowe zostają połączone w składnik wahań długookresowych i trendu.

Dekompozycja sezonowa Census 1 przebiega w kilku etapach. Pierwszym etapem jest obliczenie średniej ruchomej o długości równej okresowi wahań. Następnym działaniem jest obliczenie wskaźników sezonowych. Oblicza się je jako średnią dla modelu addytywnego bądź średnią środkową dla modelu multiplikatywnego dla każdego punktu w sezonie [5, 7, 16]. W celu eliminacji wahań sezonowych należy od pierwotnego szeregu odjąć wskaźnik sezonowości (przy modelu addytywnym), lub podzielić przez wskaźnik sezonowości (przy modelu multiplikatywnym). Aby wyznaczyć składową długookresową i trend należy aproksymować pięciowyrzową ważoną średnią ruchomą. Ostatni składnik szeregu czasowego, składnik nieregularny zostaje wyznaczony po odjęciu lub podzieleniu składowej długookresowej oraz trendu z szeregu skorygowanego sezonowo.

2. Zastosowanie prognozowania w energetyce

Prognozowanie jest jednym z czynników wspomagających podejmowanie decyzji. Umiejętność budowy prognoz ma duże znaczenie dla zarządzania strategicznego i zarządzania operacyjnego w energetyce [1, 8].

W przypadku zarządzania strategicznego bardzo przydatne są prognozy długookresowe (o dużym horyzoncie czasowym). Natomiast w przypadku zarządzania operacyjnego duże znaczenie ma wiedza na temat najbliższej przyszłości. Specyficzną cechą zapotrzebowania na energię elektryczną jest duża zmienność jego poziomu w czasie. Zmienność ta jest charakteryzowana przez rytmy: roczny, miesięczny, tygodniowy i dobowy, w których wahania poziomu popytu zmieniają się w krótkim czasie o kilkadziesiąt procent. Te cechy wymuszają częsty pomiar wielkości zużycia energii elektrycznej, a także jej dokładną analizę i ocenę zapotrzebowania na energię elektryczną. Rynek energii elektrycznej jest dziedziną gospodarki, w której role badania i prognozowania wytwarzania i popytu

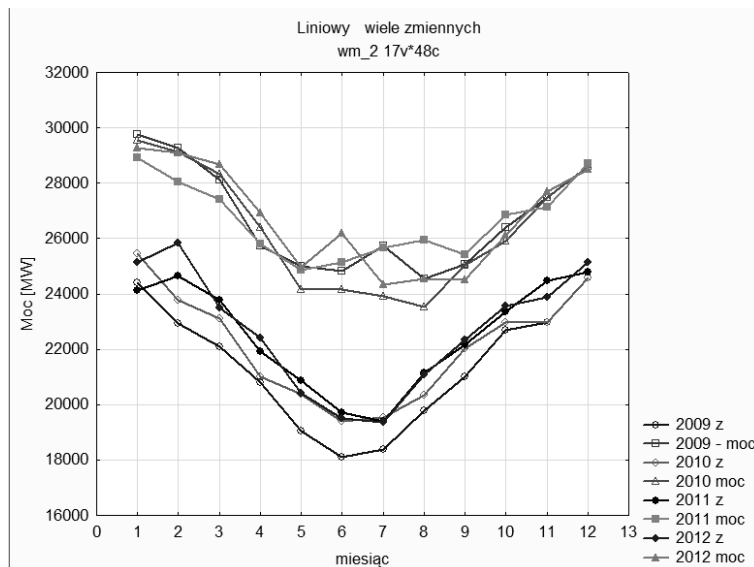
są duże, a jakość otrzymywanych wyników ma bezpośrednie przełożenie na realną sytuację firm zaangażowanych w produkcję, przesył lub obrót energią elektryczną. W tym kontekście nabierają znaczenia poszukiwania narzędzi prognostycznych (odpowiednich programów komputerowych), które mają wspomagać prognozowanie [13,14]. Bezpieczeństwo dostarczania paliw i energii stanowi podstawowy filar bezpieczeństwa energetycznego. Bezpieczeństwo to zostało zdefiniowane w dokumencie *Polityka energetyczna Polski do 2030 r.*, jako zapewnienie stabilnych dostaw paliw i energii na poziomie gwarantującym zaspokojenie potrzeb krajowych i po akceptowanych przez gospodarkę i społeczeństwo cenach, przy założeniu optymalnego wykorzystania krajowych zasobów surowców energetycznych oraz poprzez dywersyfikację źródeł i kierunków dostaw ropy naftowej, paliw ciekłych i gazowych. Poziom bezpieczeństwa energetycznego zależy od wielu czynników. Ich znaczenie dla zrównoważenia popytu i podaży na energię i paliwa zależy zarówno od wewnętrznych czynników danego kraju, jak i od sytuacji na rynkach światowych. Ważnym elementem jest zróżnicowanie struktury nośników energii tworzących bilans krajowy, stopień zdwersyfikowania źródeł dostaw, stan techniczny i sprawność urządzeń i instalacji systemów przesyłania oraz dystrybucji paliw i energii [10, 11].

Z oczywistych względów wszystkie tego rodzaju elementy stanowią przedmiot szeroko pojętego monitoringu bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej, warunkującego podjęcie stosownych działań o charakterze regulacyjnym. Monitorowanie bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej i gazu jest jednym z zadań Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki Rzeczypospolitej Polskiej.

3. Model Census 1 w programie STATISTICA

Przykładem wykorzystania metody wskaźników są dane zaczerpnięte z Raportu Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki dotyczące mocy dyspozycyjnej elektrowni krajowych i maksymalne zapotrzebowanie mocy w wieczornym szczycie na moc w wartościach średnich z dni roboczych w poszczególnych miesiącach w latach 2009-2012 [11]. Bezpieczeństwo elektroenergetyczne zależy od możliwości zaspokojenia zapotrzebowania szczytowego na energię elektryczną i jej moc, a także bieżącej i przyszłej struktury zużycia paliw w procesie wytwarzania energii elektrycznej. W toku monitorowania bezpieczeństwa szczególną rolę odgrywa adekwatność (wystarczalność) wytwarzania energii elektrycznej, bezpieczeństwo operacyjne systemu elektroenergetycznego i dyspozycyjność urządzeń. Zgodnie z wartością referencyjną zawartą w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej (zgodnie z ustawą „Prawo energetyczne” z 10 kwietnia 1997r. wraz z późniejszymi nowelizacjami i rozporządzeniami Ministra Gospodarki), ustalona jest rezerwa operacyjna na poziomie 9% (stosunek mocy dyspozycyjnej do zapotrzebowania na moc w godzinach szczytowych w dniach roboczych).

Na rys. 1. przedstawiono wykres mocy dyspozycyjnej elektrowni krajowych i maksymalnego zapotrzebowania mocy w wieczornym szczycie na moc w wartościach średnich z dni roboczych w miesiącu obejmujący lata 2009-2012 [11].

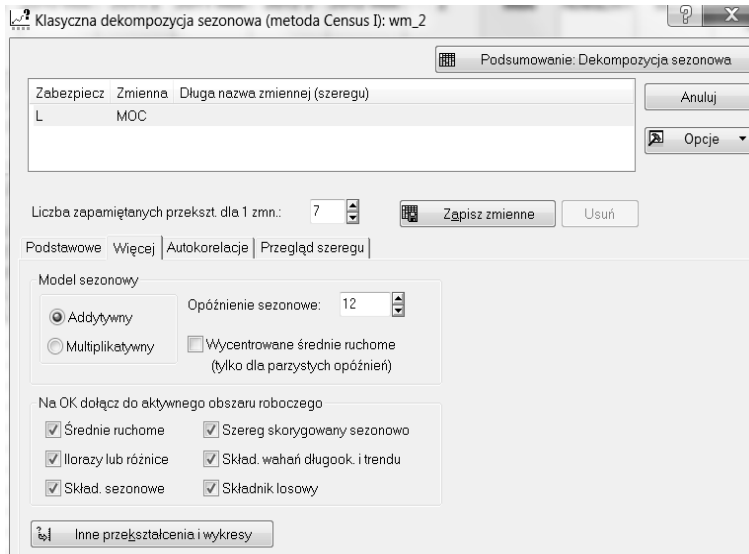


Rys. 1. Moc dyspozycyjna elektrowni krajowych i maksymalne zapotrzebowanie mocy w wieczornym szczycie na moc w wartościach średnich z dni roboczych w miesiącu w latach 2009-2012 [11] (skrót z- zapotrzebowanie)

Fig. 1. Available power of domestic power plants and the maximum power demand during the evening peak hours shown as average values from all working days of a month in the years 2009–2012

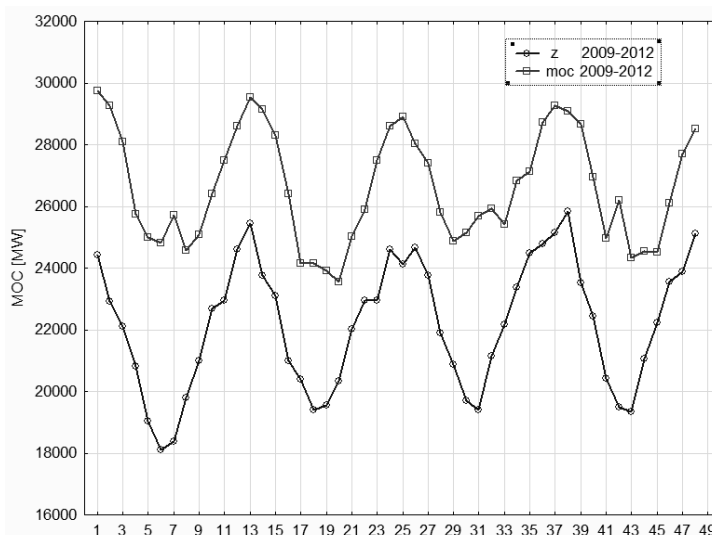
Na rys. 2 przedstawiono widok karty *Więcej/Klasyczna dekompozycja sezonowa (metoda Census 1)*, na której jest możliwość wykonania dekompozycji sezonowej (Census 1) dla wybranych zmiennych. Szereg empiryczny dla mocy dyspozycyjnej elektrowni krajowych i maksymalnego zapotrzebowania mocy w wieczornym szczycie na moc w wartościach średnich z dni roboczych w miesiącu w latach 2009 -2012 przedstawiono na rys. 3 [11].

Rysunek 4 przedstawia wykres wahań sezonowych mocy dyspozycyjnej elektrowni krajowych, a rysunek 5 szereg empiryczny i szereg skorygowany po usunięciu składnika sezonowości dla mocy dyspozycyjnej elektrowni krajowych.



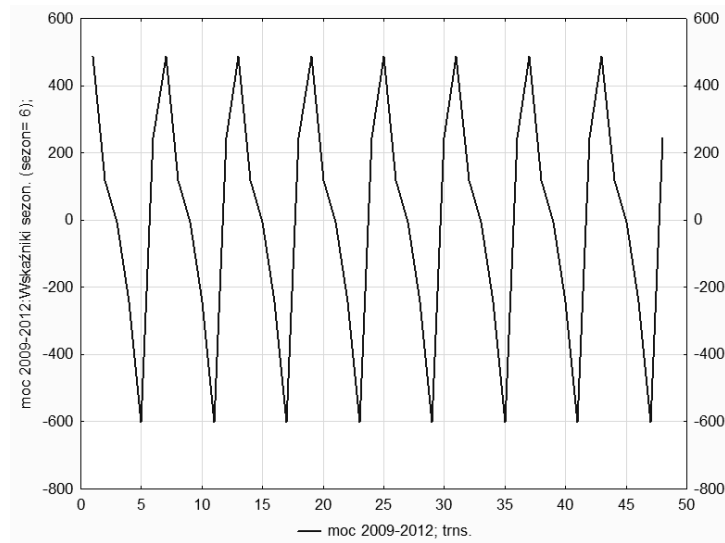
Rys. 2. Widok karty Więcej/Klasyczna dekompozycja sezonowa (metoda Census I)

Fig. 2. View of card More / Classical Seasonal Decomposition (Method Census 1)



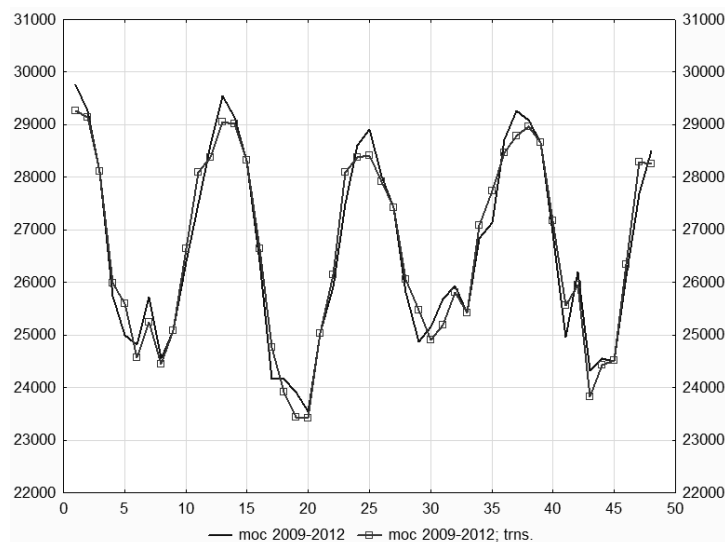
Rys. 3. Szereg empiryczny: moc dyspozycyjna elektrowni krajowych i maksymalne zapotrzebowanie mocy w wieczornym szczycie na moc w wartościach średnich z dni roboczych w miesiącu w latach 2009 -2012 [11]

Fig. 3. Empirical series: available power of domestic power plants and the maximum power demand during the evening peak hours shown as average values from all working days of a month in the years 2009–2012 [11]



Rys. 4. Wykres wahań sezonowych – moc dyspozycyjna elektrowni krajowych w latach 2009-2012

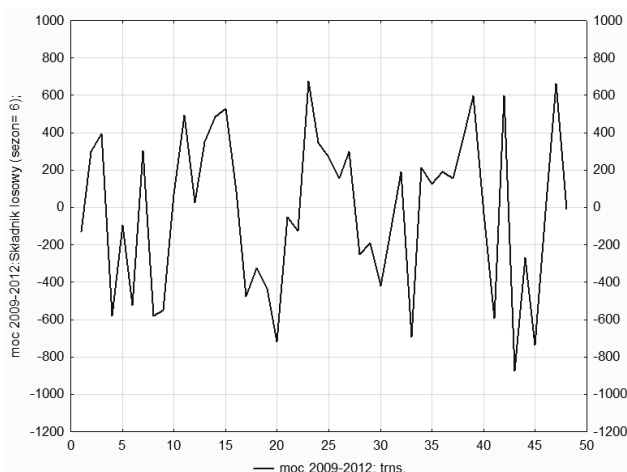
Fig. 4. A plot of seasonal fluctuations — available power of domestic power plants in the years 2009–2012



Rys. 5. Wykres szeregu empirycznego i szeregu skorygowanego po usunięciu składnika sezonowości – moc dyspozycyjna elektrowni krajowych

Fig. 5. A plot of the empirical series and the adjusted series after removing the seasonality component — available power of domestic power plants

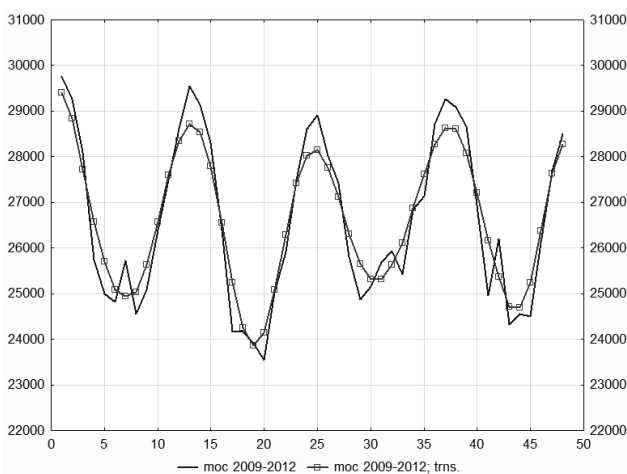
Na rysunku 6 przedstawiono składnik losowy dla mocy dyspozycyjnej elektrowni krajowych.



Rys. 6. Wykres składnika losowego – moc dyspozycyjna elektrowni krajowych

Fig. 6. A plot of the random component — available power of domestic power plants

Na rys. 7 przedstawiono szereg empiryczny i szereg wygładzony po usunięciu składnika sezonowości i składnika losowego - moc dyspozycyjna elektrowni krajowych.



Rys. 7. Szereg empiryczny i szereg wygładzony po usunięciu składnika sezonowości i składnika losowego - moc dyspozycyjna elektrowni krajowych

Fig. 7. The empirical series and the smoothed series after removing the seasonality component and the random component — available power of domestic power plants

W analogiczny sposób można przeprowadzić analizę dla maksymalnego krajowego zapotrzebowania mocy, wykorzystując w tym celu także środowisko pakietu STATISTICA.

Celem analizy dla wybranych wielkości jest konstrukcja i wykonanie prognozy dla następnego roku (dla kolejnych 12 miesięcy). W tabeli I przedstawiono prognozy dla maksymalnego krajowego zapotrzebowania mocy i mocy dyspozycyjnej elektrowni krajowych na kolejny rok kalendarzowy 2013.

TABELA I. Prognoza dla: a) maksymalnego krajowego zapotrzebowania mocy, b) mocy dyspozycyjnej elektrowni krajowych

TABLE I. A forecast for: (a) maximum domestic power demand, (b) available power of domestic power plants

	a)					b)			
	1 zap. sezon.-p	2 zap. wygladz.- p	3 zap. losowy-p	4 zap. prognoza		1 moc sezon -p.	2 moc wygladz. - p.	3 moc losowy - p.	4 moc - prognoza
1	-289,823	25047,490	377,933	25135,6	1	488,065	28621,77	157,166	29267
2	392,201	24522,901	929,599	25844,7	2	116,925	28602,55	360,822	29080,3
3	449,517	23412,633	-356,451	23505,7	3	-5,716	28069,96	596,457	28660,7
4	208,635	22183,943	32,622	22425,2	4	-242,437	27214,23	-36,294	26935,5
5	-371,799	21025,411	-243,811	20409,8	5	-602,121	26164,35	-595,526	24966,7
6	-388,730	20374,078	-496,348	19489	6	245,284	25365,01	595,408	26205,7
7	-289,823	20287,735	-648,611	19349,3	7	488,065	24704,99	-875,457	24317,6
8	392,201	20899,623	-224,123	21067,7	8	116,925	24696,91	-267,734	24546,1
9	449,517	21919,622	-135,439	22233,7	9	-5,716	25245,27	-736,954	24502,6
10	208,635	23142,010	203,755	23554,4	10	-242,437	26371,70	-23,160	26106,1
11	-371,799	24366,765	-124,366	23870,6	11	-602,121	27634,96	662,563	27695,4
12	-388,730	24979,142	532,988	25123,4	12	245,284	28266,59	-7,772	28504,1

4. Podsumowanie

Zaprezentowany w artykule przykład wykorzystania metody wskaźników Census 1 do analizy szeregów czasowych może być wykorzystany w energetyce (gospodarce elektroenergetycznej) do prognozowania. Konkretna wartość liczbowa, będąca wynikiem procesu prognozowania (predykcji) jest prognozą. Natomiast okres, na który prognozujemy tzw. horyzont prognozy zależy od zmiennej objaśnianej. Prognozowanie jest praktycznym wykorzystaniem metod i modeli, które dostępne są w narzędziach informatycznych wspomagających często procesy gospodarcze. Metoda wskaźników służy do analizy szeregów czasowych z trendem i sezonowością. Można tą metodę podzielić na dwa etapy. Etap 1, w którym następuje dekompozycja, czyli wyodrębnienie trendu, sezonowości i wahań losowych (wahań przypadkowych). W etapie 2 wyznacza się prognozę poprzez ekstrapolację tendencji (trendu) i korektę wskaźnikiem sezonowości. Konkretna wartość liczbowa, będąca wynikiem procesu prognozowa-

nia (predykcji) jest prognozą [7, 9]. Prognozowanie jest praktycznym wykorzystaniem metod i modeli, które dostępne są w narzędziach informatycznych (programach komputerowych) wspomagających często procesy gospodarcze. Prognozowanie z wykorzystaniem szeregów czasowych z wykorzystaniem metody wskaźników (modelu Census 1) – jest tylko przykładem na wykorzystanie modelu do zagadnień związanych z prognozowaniem. Dalsze prace powinny wiązać się z wyznaczaniem błędów prognoz *ex ante* (przed „faktem”) i *ex post* (po „fakcie”). Resumując znajomość przebiegu szeregu czasowego określonego zjawiska lub procesu służy dwóm celom: opisowi przeszłości i prognozowaniu.

Literatura

- [1] Luszniewicz A., Słaby T., Statystyka z pakietem komputerowym STATISTICA PL, Wydawnictwo Beck, Warszawa, 2008
- [2] Starzyńska W., Statystyka praktyczna, PWN, Warszawa, 2005
- [3] Stanisławek J., Podstawy statystyki, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2010
- [4] Ostasiewicz W., Myślenie statystyczne, Oficyna a Wolters Kluwer business, Warszawa, 2012
- [5] Nowak E., Prognozowanie gospodarcze, Agencja Wydawnicza PLACET, Warszawa, 1998
- [6] Rabiej M., Statystyka z programem Statistica, Helion, 2012
- [7] Kot S., Jakubowski J., Sokołowski A., Statystyka, Wydawnictwo Difin, Warszawa, 2011
- [8] Sokołowski A., Analiza szeregów czasowych i prognozowanie, Statistica w badaniach naukowych i nauczaniu statystyki, Statsoft, Kraków 2010
- [9] www.statsoft.pl
- [10] tge.pl/pl/155/raporty-miesieczne, Urząd Regulacji Energetyki, Raporty Roczne Prezesa URE
- [11] <http://www.ure.gov.pl/pl/publikacje/raporty-dla-komisji-eu/3343>,
- [12] Nowak E., Prognozowanie gospodarcze. Metody, modele, zastosowania, przykłady. Agencja wydawnicza Placet, Warszawa, 1998
- [13] Cieślak M., Prognozowanie gospodarcze, metody i zastosowania, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005
- [14] Snarska A., Statystyka, ekonometria, prognozowanie, Wydawnictwo Placet, Warszawa, 2005
- [15] Sobczyk M., Statystyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002
- [16] Box E. P., Jenkins G. M., Szeregi czasowe – analiza i prognozowanie, PWN, Warszawa, 1983
- [17] W. Malska: Zastosowanie metody wskaźników do analizy szeregów czasowych, „POSTĘPY W ELEKTROTECHNICE STOSOWANEJ”, Kościelisko, 16 -20 czerwca 2014r.
- [18] Wieczorkowska G., Wierziński J., Statystyka od teorii do praktyki, Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Warszawa, 2013
- [19] Piłatowska M., Repetytorium ze statystyki, PWN, Warszawa, 2009

APPLICATION THE FACTORS METHOD (CENSUS 1) IN TIME SERIES ANALYSIS AND FORECASTING IN THE POWER INDUSTRY

Summary

The article presents the use of a method for the analysis of time series with trend and seasonality. Time series is one of the types of statistical series, which can be defined as a series of observations of a phenomenon in the following units of time (years, months, days of, etc.). Considered phenomenon may be subject to certain regularities, which detect and description is the main objective of the analysis of time series. In many cases, time series models are used to apply for the future of the studied phenomenon (to predict). This paper presents an application of the method of indicators to time series analysis and forecasting in relation to the energy sector. The results of calculations can be useful in making decisions and monitoring the functioning of the Polish power system in terms of the relationship of the national power available capacity for the maximum power demand in the Polish National Power System. The calculation results are presented using STATISTICA v. 10.0, supporting the analysis and calculation.

Keywords: time series, the method of indicators Seasonal Decomposition, forecasting, model Census 1

DOI: 10.7862/re.2015.4

Tekst złożono w redakcji: luty 2015

Przyjęto do druku: marzec 2015

Karolina MICAŁ¹
Lúbobmir BEŇA²
Henryk WACHTA³

WPLÝW METOD OŚWIETLANIA WNĘTRZ NA POZIOM RÓWNOMIERNOŚCI OŚWIETLENIA PŁASZCZYZNY PRACY WZROKOWEJ

W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych przeprowadzonych w programie DIALux evo dotyczących wpływu metod oświetlenia wnętrza na poziom równomierności oświetlenia zdefiniowanej płaszczyzny pracy wzrokowej. Zrealizowano koncepcje oświetlenia bezpośredniego, pośredniego i mieszanego zamodelowanego w programie komputerowym pomieszczenia. W ramach każdej metody przeanalizowano dwa warianty oświetlenia, rozmieszczając oprawy równomiernie i nierównomiernie względem konturu pomieszczenia. W tabelach wyników przedstawiono uzyskane wartości równomierności oświetlenia na zdefiniowanych we wnętrzu płaszczyznach pracy wzrokowej i porównano je z wartościami zalecanymi przez normę oświetleniową. W przypadku każdej metody oświetlenia przeanalizowano skalę wpływu na rozkład natężenia na płaszczyźnie krzywych rozsyłu zastosowanych opraw, rozmieszczenia opraw oświetleniowych względem zdefiniowanego pola zadania wzrokowego oraz przeszkód występujących w pomieszczeniu. W wyniku przeprowadzonych badań ustalono iż w przypadku niewielkich pomieszczeń i zdefiniowanych w nich małych powierzchni obliczeniowych wybór metody oświetlenia nie ma istotnego wpływu na poziom równomierności. Każda z metod umożliwia uzyskiwanie zalecanych przez normę oświetleniową wartości równomierności niezależnie od sposobu rozmieszczenia opraw względem obrysu wnętrza. W przypadku małych gabarytowo pomieszczeń składowa odbiciowa ma istotne znaczenie w kształtowaniu rozkładu natężenia na zdefiniowanej powierzchni. Znaczący wpływ na otrzymywane wartości równomierności ma wielkość płaszczyzny pracy wzrokowej oraz jej kształt.

Słowa kluczowe: badania symulacyjne, projektowanie oświetlenia, oprawy oświetleniowe, rozsył strumienia świetlnego

¹ Karolina Micał, Politechnika Rzeszowska, absolwentka studiów I stopnia WEiI PRz, karolinamical@onet.eu.

² Lúbobmir Beňa, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, 17 865 1977, lbena@prz.edu.pl.

³ Autor do korespondencji: Henryk Wachta, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, 17 865 1977, hwachta@prz.edu.pl.

1. Wprowadzenie

Jedną z potrzeb ludzkich, jaką powinno zaspokajać oświetlenie elektryczne jest komfort widzenia. Występuje on wówczas, gdy obserwator posiada umiejętność rozróżniania szczegółów, nie odczuwa znużenia, niewygody, przykrości, a spostrzeżenie łączy się z przyjemnością i jest sprawne. Zapewnienie wygody widzenia jest związane ze stworzeniem pożądanego oświetlenia. Drugim co do znaczenia parametrem w ocenie jakości oświetlenia przed średnim natężeniem oświetlenia E_{sr} jest równomierność oświetlenia (d) definiowana jako iloraz minimalnego natężenia oświetlenia E_{min} i średniego natężenia oświetlenia E_{sr} [2,3].

$$d = \frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{sr}}} \quad (1)$$

gdzie: E_{min} – minimalne natężenie oświetlenia,
 E_{sr} – średnie natężenie oświetlenia.

W ocenie komfortu widzenia ważne jest aby płaszczyzna pracy była oświetlona równomiernie ponieważ ludzki narząd wzroku odbiera wrażenia świetlne powierzchniowo a nie punktowo. Zbyt duże zmiany rozkładu natężenia w polu zadania wzrokowego mogą wywoływać uczucie niewygody. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe zalecane przez normę *PN-EN 12464-1:2012 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach*, wartości minimalnych równomierności oświetlenia w wybranych wnętrzach.

Tabela 1. Zalecane wartości równomierności w przykładowych pomieszczeniach [6]

Table 1. Recommended values of uniformity in the sample areas [6]

Rodzaj wnętrza	Zalecana równomierność oświetlenia [-]
korytarz, stołówka, łazienka	0,4
zadaszony peron, hala dworcowa, kasa biletowa	0,5
pokój opieki medycznej, recepcja, kuchnia	0,6
pracownia rysunku technicznego, warsztat elektroniczny	0,7

Rozkład natężenia oświetlenia na powierzchni obliczeniowej uzależniony jest głównie od sposobu padania światła na płaszczyznę. Charakter oświetlenia zależy od podziału strumienia świetlnego wysyłanego w półprzestrzeń górną i dolną przez zastosowane oprawy oświetleniowe. Oświetlenie bezpośrednie realizowane jest za pomocą opraw wysyłających przynajmniej 90 % strumienia świetlnego bezpośrednio na płaszczyznę dlatego w przypadku tej metody oświetlenia istotne znaczenie w kształtowaniu rozkładu natężenia na płaszczyźnie ma składowa bezpośrednia. Wartości współczynników odbicia powierzchni pomieszczenia oraz wyposażenia nie mają znaczącego wpływu na stan oświetlenia,

ponieważ udział strumienia odbitego w całkowitym strumieniu emitowanym przez oprawę oświetleniową jest nieznaczny.

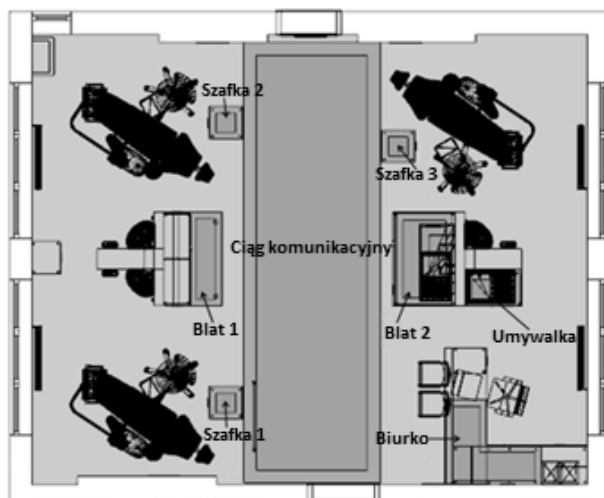
Oświetlenie pośrednie realizowane jest za pomocą opraw wysyłających przynajmniej 90 % strumienia świetlnego w półprzestrzeń górną. W przypadku tej metody oświetlenia istotny wpływ w kształtowaniu rozkładu natężenia na płaszczyźnie ma składowa pośrednia. Wytwarzane poziomy natężenia w znacznym stopniu zależą od współczynników odbicia powierzchni wnętrza (zwłaszcza sufitu) oraz elementów wyposażenia. Oświetlenie mieszane łączy cechy oświetlenia bezpośredniego i pośredniego [2].

W podjętej pracy zbadano skalę wpływu metod oświetlenia wnętrza na poziom równomierność oświetlenia płaszczyzny pracy wzrokowej [4,7].

2. Badania symulacyjne

2.1. Charakterystyka oświetlanego wnętrza

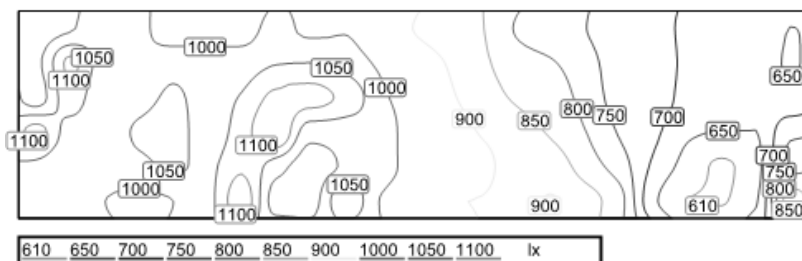
Badania przeprowadzono dla pomieszczenia o dużych wymaganiach oświetleniowych. Jest nim gabinet stomatologiczny. W opracowanym w programie DIALux evo wnętrzu wyodrębniono strefy o różnym przeznaczeniu, które powinny być oświetlone stosownie do wykonywanych w ich obszarze czynności. Dla każdego pola zdefiniowano płaszczyznę pracy wzrokowej, czyli miejsce wykonywania zadania wzrokowego. Wyznaczono osiem powierzchni obliczeniowych, które różnią się kształtem, wielkością oraz lokalizacją względem poziomu podłoża (rys. 1).



Rys. 1. Rzut poziomy pomieszczenia ze zdefiniowanymi płaszczyznami pracy wzrokowej [8]

Fig. 1. The plan of the room with the defined visual plane [8]

W programie komputerowym istnieje możliwość wizualizowania rozkładu natężenia na każdej zdefiniowanej płaszczyźnie. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy wykres izolinii jednej z analizowanych płaszczyzn pracy wzrokowej, czyli krzywych łączących punkty o tej samej wartości natężenia oświetlenia.



Rys. 2. Przykładowy wykres izolinii na płaszczyźnie roboczej [8]


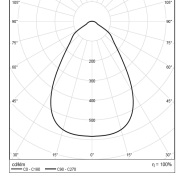
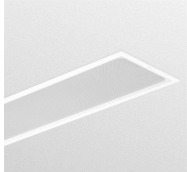
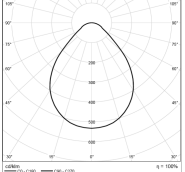
Fig. 2. Example of isoline graph on the calculating area [8]

2.2. Zastosowanie oświetlenia bezpośredniego

Zrealizowano dwa warianty oświetlenia bezpośredniego wykorzystując oprawy oświetleniowe, kierujące strumień świetlny w półprzestrzeń dolną, o krzywych rozsyłu światłości przedstawionych w tabeli 2. W pierwszej koncepcji oświetlenia rozmieszczono równomiernie względem obrysu wnętrza trzyczęści oprawy typu A1. Wykonując drugi wariant oświetlenia wykorzystano siedem opraw typu A1 oraz dziewięć opraw typu A2.

Tabela 2. Dane opraw oświetleniowych wykorzystanych przy realizacji wariantów oświetlenia bezpośredniego gabinetu stomatologicznego [9,10,11]

Table 2. The luminaires used for the implementation of direct lighting options in a dental surgery [9,10,11]

Typ	Nazwa	Moc oprawy	Zdjęcie oprawy	Krzywa światłości oprawy
A1	BBS494 1xLED-4000 C +ZBS490 SG-HR-FR	28 W		
A2	RC480B W30L120 PCV 1xLED42S/840 AC-MLO	45 W		

Po wykonaniu obliczeń programowych dla każdej zdefiniowanej płaszczyzny pracy wzrokowej uzyskano wartość średniego natężenia i równomierności oświetlenia. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 3. Niezależenie od sposobu rozmieszczenia opraw oświetleniowych względem konturu wnętrza na wyznaczonych powierzchniach obliczeniowych uzyskano zalecane przez normę oświetleniową [6] wartości średniego natężenia i równomierności oświetlenia.

Tabela 3. Wartości średniego natężenia i równomierności oświetlenia uzyskane na płaszczyznach pracy zdefiniowanych w gabinecie stomatologicznym przy zastosowaniu oświetlenia bezpośredniego [5]

Table 3. Mean value of intensity and uniformity ratio of illuminance levels of work defined in the dental surgery with the use of direct lighting [5]

Nazwa płaszczyzny	Wartości zalecane przez normę		Równomierne rozmieszczenie opraw jednego typu		Nierównomierne rozmieszczenie opraw różnego typu	
	E_{sr} [lx]	d [-]	E_{sr} [lx]	d [-]	E_{sr} [lx]	d [-]
Umywalka	500	0,6	789	0,900	501	0,924
Błat 1	500	0,6	1235	0,971	872	0,878
Błat 2	500	0,6	585	0,750	549	0,734
Szafka 1	1000	0,7	1118	0,897	1129	0,969
Szafka 2	1000	0,7	1318	0,992	1146	0,981
Szafka 3	1000	0,7	1265	0,991	1057	0,972
Ciąg komunikacyjny	500	0,4	1208	0,753	823	0,530
Biurko	500	0,6	961	0,777	501	0,810

Przy realizacji pierwszej koncepcji oświetlenia na każdej płaszczyźnie otrzymano wartość równomierności oświetlenia większą od 0,7. Jest to wynikiem zastosowania dużej ilości opraw oświetleniowych o średniej skali rozproszenia światłości, umieszczonych w małych odstępach od siebie. Prowadzi to do uzyskania małych różnic między minimalnym a średnim natężeniem oświetlenia na powierzchniach obliczeniowych.

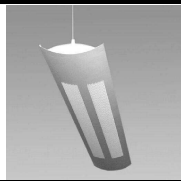
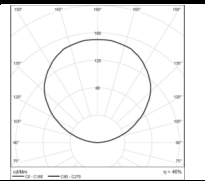

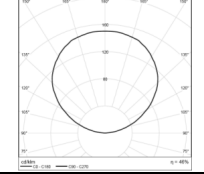
W przypadku drugiego wariantu oświetlenia także zastosowano oprawy oświetleniowe o średnim rozproszeniu światłości. Odpowiednie ich rozmieszczenie względem płaszczyzn pracy wzrokowej pozwoliło uzyskać wymagane wartości równomierności. Na ciągu komunikacyjnym osiągnięto jednak równomierność oświetlenia mniejszą niż na innych powierzchniach obliczeniowych. Jest to przypuszczalnie spowodowane występowaniem przeszkody (element wyposażenia wnętrza) w pobliżu płaszczyzny pracy wzrokowej, która pochłania dużą część promieniowania emitowanego przez jedną z zastosowanych opraw oświetleniowych. Można przyjąć, że im większe wymiary powierzchni obliczeniowej tym trudniej jest uzyskać na niej równomierny rozkład natężenia oświetlenia.

2.3. Zastosowanie oświetlenia pośredniego

Realizując koncepcje oświetlenia pośredniego zastosowano oprawy oświetleniowe emitujące promieniowanie świetlne w półprzestrzeń górną. Ich rozsył strumienia świetlnego w przestrzeni opisują krzywe światłości przedstawione w tabeli 4. W ramach pierwszego wariantu oświetlenia rozmieszczono równomiernie względem konturu pomieszczenia szesnaście opraw typu B1. Realizując drugą koncepcję zastosowano dziewięć opraw typu B1 i pięć opraw typu B2.

Tabela 4. Dane opraw wykorzystanych przy realizacji wariantów oświetlenia pośredniego gabinetu stomatologicznego [9,10,11]

Table 4. The luminaires used for the implementation of indirect lighting options in a dental surgery [9,10,11]

Typ	Nazwa	Moc oprawy	Zdjęcie oprawy	Krzywa światłości oprawy
B1	6595001 BERSO 254 1xT16 54/840, 1xT16 54/840	114 W		
B2	96 209 408 LINE XS CIRC 4X42W TCT HFI WH PF/BL L840 [STD]	188 W		

Obliczone w programie wartości średniego natężenia i równomierności dla każdej płaszczyzny pracy wzrokowej uzyskane przy realizacji dwóch wariantów oświetlenia przedstawiono w tabeli 5.

Na wszystkich płaszczyznach pracy wzrokowej otrzymano zalecane przez normę oświetleniową [6] wartości średniego natężenia oświetlenia. Zastosowanie pośredniej metody oświetlania pozwoliło uzyskać na zdefiniowanych powierzchniach obliczeniowych wymagane równomierności oświetlenia przy realizacji obu wariantów oświetlenia. Można wyprowadzić wniosek, iż w analizowanym środowisku oświetleniowym sposób rozmieszczenia opraw nie miał istotnego wpływu na poziom równomierności oświetlenia. Zdefiniowanie małych powierzchni, zastosowanie opraw o szerokim rozproszeniu światłości oraz pokrycie porowatego sufitu materiałem o dużym współczynniku odbicia (86%) wpływa na uzyskane wartości równomierności oświetlenia.

Tabela 5. Wartości średniego natężenia i równomierności oświetlenia uzyskane na płaszczyznach pracy zdefiniowanych w gabinecie stomatologicznym przy zastosowaniu oświetlenia pośredniego [5]

Table 5. Mean value of intensity and uniformity ratio of illuminance levels of work defined in the dental surgery with the use of indirect lighting [5]

Nazwa płaszczyzny	Wartości zalecane przez normę		Równomierne rozmieszczenie opraw jednego typu		Nierównomierne rozmieszczenie opraw różnego typu	
	E_{sr} [lx]	d [-]	E_{sr} [lx]	d [-]	E_{sr} [lx]	d [-]
Umywalka	500	0,6	884	0,890	502	0,932
Blat 1	500	0,6	1149	0,922	893	0,918
Blat 2	500	0,6	706	0,813	526	0,808
Szafka 1	1000	0,7	1132	0,973	1012	0,978
Szafka 2	1000	0,7	1357	0,999	1201	0,990
Szafka 3	1000	0,7	1306	0,999	1186	0,982
Ciąg komunikacyjny	500	0,4	1206	0,802	894	0,677
Biurko	500	0,6	1090	0,850	564	0,789

Można przypuszczać, iż w przypadku oświetlenia pośredniego przeszkody występujące w pomieszczeniu nie mają znaczącego wpływu na rozkład natężenia na płaszczyźnie pracy wzrokowej.

2.4. Zastosowanie oświetlenia mieszanego

Do realizacji koncepcji oświetlenia mieszanego wykorzystano oprawy oświetleniowe kierujące strumień świetlny w półprzestrzeń dolną i górną o krzywych rozsyłu światłości przedstawionych w tabeli 6. W pierwszym wariantcie oświetlenia rozmieszczono równomiernie względem obrysu wnętrza osiemnaście opraw typu C1. Wykonując drugą koncepcję oświetlenia wykorzystano trzynaście opraw typu C1 oraz jedną oprawę typu C2.

Na podstawie przeprowadzonych w programie obliczeń wyznaczono dla zdefiniowanych płaszczyzn pracy wzrokowej wartości średniego natężenia i równomierności oświetlenia (tab. 7). Dla każdej powierzchni obliczeniowej uzyskano zalecane przez normę oświetleniową [6] wartości średniego natężenia i równomierności oświetlenia. Można zauważyć, że przy zastosowaniu opraw o odpowiednio szerokim rozproszeniu światłości można osiągać zalecane wartości równomierności na płaszczyznach pracy zarówno przy równomiernym jak i nierównomiernym ich rozmieszczeniu względem konturu pomieszczenia.

Największą równomierność oświetlenia (w przybliżeniu równą 1), podobnie jak w przypadku bezpośredniej i pośredniej metody oświetlenia, uzyskano na powierzchniach obliczeniowych o nazwie Szafka. Wynika to z bardzo małych wymiarów tych płaszczyzn.

Tabela 6. Dane opraw wykorzystanych przy realizacji wariantów oświetlenia mieszanego gabinetu stomatologicznego [9,10,11]

Table 6. The luminaires used for the implementation of mixed lighting options in a dental surgery [9,10,11]


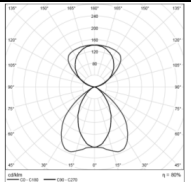

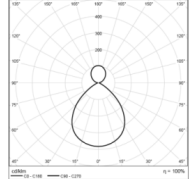
Typ	Nazwa	Moc oprawy	Zdjęcie oprawy	Krzywa światłości oprawy
C1	96 547 739 LINE XS TECH 2X28W LG3 WHI PF/BLU L840 [STD]	61,2 W		
C2	SP522P 2xLED20S/840	38 W		

Tabela 7. Wartości średniego natężenia i równomierności oświetlenia uzyskane na płaszczyznach pracy zdefiniowanych w gabinecie stomatologicznym przy zastosowaniu oświetlenia mieszanego [5]

Table 7. Mean value of intensity and uniformity ratio of illuminance levels of work defined in the dental surgery with the use of mixed lighting [5]

Nazwa płaszczyzny	Wartości zalecane przez normę		Równomierne rozmieszczenie opraw jednego typu		Nierównomierne rozmieszczenie opraw różnego typu	
	E_{gr} [lx]	d [-]	E_{gr} [lx]	d [-]	E_{gr} [lx]	d [-]
Umywalka	500	0,6	624	0,960	539	0,833
Blat 1	500	0,6	819	0,968	767	0,809
Blat 2	500	0,6	511	0,785	518	0,637
Szafka 1	1000	0,7	906	0,940	1057	0,957
Szafka 2	1000	0,7	1223	0,991	1095	0,970
Szafka 3	1000	0,7	1088	0,972	1036	0,961
Ciąg komunikacyjny	500	0,4	975	0,855	735	0,528
Biurko	500	0,6	856	0,701	598	0,667

Przy realizacji koncepcji oświetlenia za pomocą opraw rozmieszczonych nierównomiernie względem konturu wnętrza najmniejszą równomierność oświetlenia osiągnięto na płaszczyznach Blat 1 i Ciąg komunikacyjny. Jest to najprawdopodobniej spowodowane występowaniem przeszkód (elementów wyposażenia wnętrza) w pobliżu tych powierzchni obliczeniowych.

3. Podsumowanie

W niniejszym artykule przeanalizowano wpływ metod oświetlenia wewnątrz na poziom równomierności oświetlenia płaszczyzny pracy wzrokowej. Z przeprowadzonych badań wynika, że w analizowanym środowisku wybór metody oświetlenia nie ma istotnego wpływu na poziom równomierności oświetlenia. Każda z metod oświetlenia pozwala na uzyskiwanie zalecanych wartości równomierności na zdefiniowanych płaszczyznach, niezależnie od sposobu rozmieszczenia opraw względem obrysu pomieszczenia. Trudniej jest uzyskać równomierny rozkład natężenia oświetlenia na płaszczyznach o dużych wymiarach oraz na powierzchniach o nieregularny kształcie.

W przypadku metody bezpośredniej (rys. 3) równomierność oświetlenia na płaszczyźnie pracy w istotny sposób zależy od bryły fotometrycznej zastosowanych opraw. Im wyższy poziom rozproszenia rozsyłu światłości tym łatwiej uzyskać wymaganą równomierność. Przy odpowiednim doborze opraw można osiągać wymagane równomierności na płaszczyznach pracy zarówno przy równomiernym jak i nierównomiernym ich rozmieszczeniu na suficie. Duży wpływ na kształtowanie rozkładu natężenia na płaszczyźnie pracy wzrokowej mają przeszkody występujące w pomieszczeniach.



Rys. 3. Wizualizacja oświetlenia bezpośredniego gabinetu stomatologicznego [1]

Fig. 3. Direct lighting visualization of dental surgery [1]

Zastosowanie opraw świecących w górną półprzestrzeń (rys. 4) również umożliwia uzyskiwanie wymaganych równomierności oświetlenia na płaszczy-

znach pracy wzrokowej. Sposób rozmieszczenia opraw nie wpływa w istotny sposób na wartości równomierności. Stosując oświetlenie pośrednie przeszkody występujące w pomieszczeniach nie mają dużego wpływu na osiągnięte równomierności.



Rys. 4. Wizualizacja oświetlenia pośredniego gabinetu stomatologicznego [1]

Fig. 4. Indirect lighting visualization of dental surgery [1]



Rys. 5. Wizualizacja oświetlenia mieszanego gabinetu stomatologicznego [1]

Fig. 5. Mixed lighting visualization of dental surgery [1]

W metodzie pośredniej światło pada na płaszczyznę po odbiciu od ścian i sufitu, dlatego znaczący wpływ na równomierność ma ich współczynnik odbicia oraz chropowatość materiału. Pewne znaczenie w formowaniu wiązki odbitej może mieć forma geometryczna zarówno ścian jak i sufitu (np. dekoracyjne fragmenty sufitów podwieszanych).

W przypadku metody mieszanej (rys.5), łączącej cechy metody pośredniej i bezpośredniej, występuje kumulacja wszystkich cech tych dwóch metod. Odpowiednio do warunków szczegółowych możliwe są wzmocnienia cech warunków świetlnych bądź metody pośredniej bądź bezpośredniej.

Literatura

- [1] Autorskie wizualizacje oświetlonego wnętrza opracowane w programie DIALux evo
- [2] Bąk J., Pabjańczyk W.: Podstawy techniki świetlnej, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1994
- [3] Bąk J.: Technika oświetlania, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1981
- [4] Dybczyński W., Oleszyński T., Skonieczna M.: Projektowanie opraw oświetleniowych, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1996
- [5] Micał K.: Wpływ metod oświetlania wnętrz na poziom równomierności oświetlenia płaszczyzny pracy wzrokowej, praca dyplomowa, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2015
- [6] PN-EN 12464-1, Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach. Polski Komitet Normalizacyjny, grudzień 2012
- [7] Pracki P.: Projektowanie oświetlenia wnętrz, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011
- [8] www.dial.de (program DIALux evo 3.3)
- [9] www.essystem.pl (aktualizacja 12 luty 2015)
- [10] www.philips.pl (aktualizacja 12 luty 2015)
- [11] www.thornlighting.pl (aktualizacja 12 luty 2015)

THE INFLUENCE OF THE INTERIOR LIGHTING METHODS ON THE UNIFORMITY RATIO OF ILLUMINANCE ON THE WORK PLANE

Summary

The article presents the results of simulation studies carried out in DIALux evo software related to the effects of interior lighting methods on the level of uniformity ratio of illuminance on the defined work plane. Concepts of direct, indirect and mixed lighting of a room designed in a computer program were realized. Within each method two variants of lighting were analyzed, arranging them evenly and unequally with respect to the contour of the room. The tables show the results obtained for the uniformity ratio of illuminance values defined in the interior surfaces of work plane and compared with the values recommended by the standards of lighting. For each method of lighting the scale of the impact of the intensity distribution at the level of distribution curves of used fixtures, luminaire location of a defined work plane and barriers located in the room were analyzed. As a result of the study it has been

determined that in case of small room and defined in them small calculation fields the choice of the lighting method has no significant effect on the level of uniformity ratio. Each of these methods makes it possible to obtain the lighting standard recommended value, regardless of the luminaires location relative to the outline of the room. In the case of small dimensions of the room reflection component is important in shaping the intensity distribution of a defined area. A significant impact on the value of uniformity ratio also has the size of the work plane and its shape.

Keywords: simulation studies, lighting design, luminarie, light distribution

DOI: 10.7862/re.2015.5

Tekst złożono w redakcji: luty 2015

Przyjęto do druku: marzec 2015

Paulina RYDZ¹
Lubomír BEŇA²
Henryk WACHT³A

WSPOMAGANE KOMPUTEROWO PROJEKTOWANIE OŚWIETLENIA DROGOWEGO

W artykule przedstawiono projekt oświetlenia przykładowego odcinka drogi. Oświetlenie zrealizowano dla drogi o długości 1 kilometra znajdującej się w obszarze wiejskim. Rozpatrzono trzy warianty oświetlenia: pierwszy – z metalohalogenkowymi, drugi – z lampami sodowymi wysokoprężnymi, trzeci – z lampami LED. Dodatkowo dla wariantu oświetlenia drogowego z wykorzystaniem lamp LED zaproponowano zastosowanie systemu sterującego MINOS. Do obliczeń oświetleniowych wykorzystano programy komputerowe DIALux i Excel. Dzięki zgodności algorytmu obliczeniowego programu DIALux i wymagań stawianych przez normę oświetleniową PN-EN 12 301: 2007 wyniki przeprowadzonych obliczeń można wykorzystać w praktyce. Celem projektu był wybór najkorzystniejszego spośród zaproponowanych rozwiązań oświetlenia ze względu na zużycie energii elektrycznej i kosztów. Szacując zużycie energii elektrycznej uwzględniono czas pracy instalacji, ilość lamp oraz ich moc. Natomiast przeprowadzając analizę finansową uwzględniono koszty inwestycyjne instalacji, koszty energii elektrycznej oraz koszty eksploatacyjne. Po wykonaniu odpowiednich obliczeń stwierdzono, że instalacja oświetlenia drogowego z wykorzystaniem źródeł LED jest najkorzystniejsza zarówno pod względem energetycznym i finansowym. Dodatkowo dla wariantu z wykorzystaniem źródeł LED zaproponowano zastosowanie systemu sterującego, dzięki któremu zmniejszono zużycie energii elektrycznej przez instalację. Jednak dla badanego odcinka drogi zastosowanie systemu sterującego jest nieopłacalne pod kątem finansowym. Wyniki analiz w głównej mierze zależą od rodzaju oświetlanej drogi, sytuacji oświetleniowej oraz zastosowanych oprav.

Słowa kluczowe: lampy metalohalogenkowe, wysokoprężne lampy sodowe, lampy LED, system sterujący oświetleniem, DIALux

¹ Paulina Rydz, Politechnika Rzeszowska, absolwentka WEiI, paulinarydz28@gmail.com

² Lubomír Beňa, prof. PRz, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2,35-959 Rzeszów, 17 865 1977, lbena@prz.edu.pl

³ Autor do korespondencji: Henryk Wachta, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2,35-959 Rzeszów, 17 865 1977, hwachta@prz.edu.pl

1. Wstęp

Oświetlenie drogowe z uwagi na bezpieczeństwo komunikacji jest jednym z ważniejszych zagadnień w technice świetlnej. Poprawnie zaprojektowana oraz wykonana infrastruktura oświetleniowa gwarantuje bezpieczeństwo i wygodę ruchu pojazdów i pieszych, wpływa na zmniejszenie liczby wypadków oraz przyczynia do stworzenia właściwego komfortu postrzegania otoczenia świetlnego. Kluczowym etapem w projektowaniu oświetlenia drogowego jest dobór opraw i źródeł światła, które powinny łączyć w sobie energooszczędność i niskie koszty konserwacji. Wymagane jest, aby specyfikowane do celów oświetlenia dróg źródła światła charakteryzowały się dużą skutecznością świetlną. Natomiast współpracujący ze źródłem światła układ optyczny powinien zapewniać optymalny rozsył światła oraz wysoki poziom wykorzystania strumienia świetlnego źródła światła [8].

Projektowanie oświetlenia ulicznego jest zagadnieniem skomplikowanym i wymaga od projektanta odpowiedniego zakresu wiedzy. Dodatkowo niezbędna jest znajomość profesjonalnych programów komputerowych, które umożliwiają wykonanie symulacji oświetlanej drogi w określonych warunkach. Jednym z takich programów jest DIALux [1].

Oświetlenie drogowe należy zaprojektować zgodnie z wytycznymi stosowanej normy oświetleniowej. Aktualnie obowiązująca norma PN-EN 13 201: 2007 dzieli się na cztery części, w których zawarte są wytyczne dotyczące wyboru klasy oświetleniowej [2], wymagań oświetleniowych [3], zasad obliczania parametrów oświetleniowych [4] oraz metodyki ich pomiarów [5].

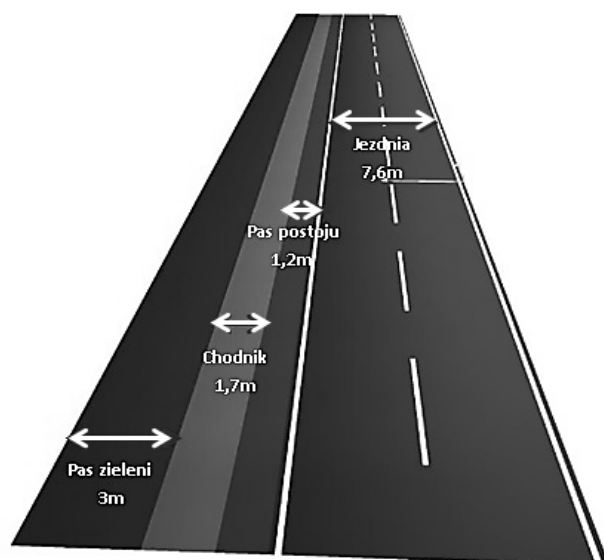
W artykule zaprezentowano trzy warianty oświetlenia przykładowego odcinka drogi z wykorzystaniem lamp metalohalogenkowych, wysokoprężnych lamp sodowych oraz lamp LED, zrealizowane z wykorzystaniem aplikacji komputerowej [7]. Przedstawiono wyniki analizy finansowej oraz oszacowania zużycia energii elektrycznej dla trzech zaproponowanych wariantów. Dodatkowo zaprezentowano wyniki rozważenia zastosowania systemu sterującego oświetleniem LED pod kątem finansowym i ekologicznym [6].

2. Projekt oświetlenia drogowego

2.1. Parametry rozpatrywanej drogi

Projekt oświetlenia zrealizowano dla drogi o długości 1 kilometra (rys. 1) znajdującej się w obszarze wiejskim, która składa się z następujących elementów: jezdni, pasa postoju, chodnika oraz pasa zieleni.

Istotne parametry określające sytuację ruchu drogowego dla jezdni i chodnika, które zostały przyjęte przedstawiono w tabelach 1 oraz 2.



Rys. 1. Geometria rozpatrywanej drogi

Fig. 1. The geometry of a design road

Tabela 1. Przyjęte parametry jezdni

Table 1. The parameters of road

Parametry	Wartości
Główny użytkownik	<i>Ruch samochodowy, Powoli poruszające się pojazdy</i>
Typowa prędkość głównego użytkownika	<i>Średnia (≥ 30 i ≤ 60 km/h)</i>
Inni dopuszczeni użytkownicy	<i>Rowerzyści, Piesi</i>
Połączenie do innych ulic	<i>Zwykłe skrzyżowanie</i>
Ilość skrzyżowań na 1 km	≥ 3
Natężenie strumienia pojazdów (na dobę)	≥ 7000 i ≤ 15000
Natężenie strumienia ruchu rowerzystów	<i>Normalne</i>
Zaparkowane pojazdy	<i>Brak</i>
Trudność nawigacji	<i>Normalna</i>
Kompleksowość pola widzenia	<i>Normalna</i>
Strefa konfliktowa	<i>Nie</i>
Środki uspokojenia ruchu	<i>Nie</i>
Główny typ pogody	<i>Sucho</i>

Tabela 2. Przyjęte parametry chodnika

Table 2. The parameters of sidewalk

Parametry	Wartości
Główny użytkownik	<i>Piesi</i>
Inni dopuszczeni użytkownicy	<i>Brak</i>
Typowa prędkość głównego użytkownika	<i>Prędkość kroczenia</i>
Strumień ruchu pieszych	<i>Wysoki</i>
Ryzyko przestępczości	<i>Wysokie</i>
Rozpoznawalność twarzy	<i>Konieczna</i>

Ponadto na powierzchni obliczeniowej *Jezdnia* dodano dwóch obserwatorów. Zdefiniowani zostali oni w taki sposób, aby uzyskać szeroki przedział widokowy. Dodatkowo w prowadzonej analizie kierowano się zaleceniami normy PN-EN 13 201:2007 (23 lata) oraz spadkiem wydolności wzrokowej kierowców (56 lat). W obliczeniach uwzględniono także współczynnik konserwacji, którego wartość ustalono na 0,9. Uwzględnia on przede wszystkim straty wynikające z naturalnego starzenia się źródeł światła oraz z brudzenia się opraw w rzeczywistych warunkach.

Kluczowym etapem w projektowaniu oświetlenia drogowego jest ustalenie klasy oświetleniowej powierzchni obliczeniowych. Dlatego ustalono klasę oświetleniową dla *jezdni ME4b*, natomiast dla *chodnika S2*. Optymalne parametry jakościowe i ilościowe oświetlenia, które zapewniają komfortowe warunki uczestnikom ruchu drogowego dla klasy ME (jezdni) określa się na podstawie średniej luminancji (L_m), natomiast dla klasy S (chodnik) na podstawie poziomego natężenia oświetlenia rozpatrywanej powierzchni (E).

W celu poprawnego wyznaczenia wszystkich wymaganych parametrów dla ustalonych klas oświetleniowych należy przeprowadzić szereg opisanych w normie [4] obliczeń. Pomocne okazuje się wykorzystanie specjalnego programu do projektowania oświetlenia – DIALux. Dzięki zgodności algorytmu obliczeniowego programu i wymagań stawianych przez normę oświetleniową, wyniki przeprowadzonych obliczeń są miarodajne i można je wykorzystać w praktyce.

W prowadzonych rozważaniach oświetlenia drogowego przedstawiono trzy warianty z wykorzystaniem różnych rodzajów źródeł światła: metalohalogenkowych, wysokoprężnych sodowych oraz LED. Dla wszystkich wariantów zastosowano *układ jednostronnego rozmieszczenia opraw* drogowych.

2.2. Oświetlenie jezdni i chodnika lampami metalohalogenkowymi

Dane techniczne wykorzystanych w obliczeniach lamp metalohalogenkowych przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Dane techniczne lampy metalohalogenkowej

Table 3. Technical specifications of metal-halide lamp

Parametry	Dane	
Strumień świetlny lampy	13500 lm	
Strumień świetlny oprawy	10800 lm	
Temperatura barwowa	2800 K	
Moc oprawy	169 W	
Skuteczność świetlna	65 lm/W	
Ra	87	
Cena oprawy ze źródłem	1 537,50 zł	

Zestawienie rzeczywistych wartości fotometrycznych uzyskanych dla jezdni i chodnika w wyniku przeprowadzonych obliczeń w programie DIALux pokazano w tabeli 4. Jak widać wszystkie wymagane parametry dla *Jezdni* i *Chodnika* zostały spełnione. W przypadku klasy ME do której przyporządkowano jezdnie są to: średnia luminancja powierzchni drogi (L_m), równomierność całkowita luminancji (U_o), równomierność wzdłużna luminancji (U_l), przyrost wartości progowej kontrastu (TI) oraz współczynnik oświetlenia poboczy (SR). Natomiast wielkościami opisującymi klasę S (chodnik) są średnie natężenie oświetlenia (E) oraz minimalne natężenie oświetlenia (E_{min})

Tabela 4. Zestawienie uzyskanych w programie DIALux wyników–lampy metalohalogenkowe

Table 4. Summary of the results of DIALux- metal-halide lamps

Wymagania fotometryczne	Jezdnia - klasa ME4b					Chodnik - klasa S2	
	L_m [cd/m ²]	U_o	U_l	TI [%]	SR	E [lx]	E_{min} [lx]
Norma	≥ 0,75	≥ 0,40	≥ 0,50	≤ 15	≥ 0,50	10	3
Wyniki	0,77	0,66	0,8	7	0,64	12,81	6,48

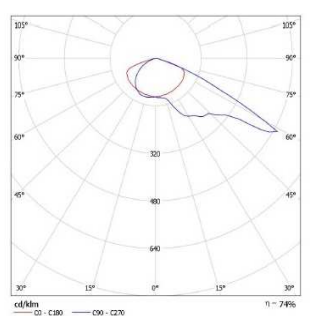
2.3. Oświetlenie jezdni i chodnika wysokoprężnymi lampami sodowymi

Zestawienie danych technicznych dla wysokoprężnych lamp sodowych uporządkowano w tabeli 5.

Tabela 5. Dane techniczne wysokoprężnej lampy sodowej

Table 5. Technical specifications of high-pressure sodium lamp

Parametry	Dane
Strumień świetlny lampy	15000 lm
Strumień świetlny oprawy	11100 lm
Temperatura barwowa	2000 K
Moc oprawy	169 W
Skuteczność świetlna	65 lm/W
Ra	20
Cena oprawy ze źródłem	1 254,60 zł



Wszystkie obliczone wartości spełniają wymagania stawiane przez klasę ME4b dla *Jezdni* oraz klasę S2 dla *Chodnika* (tab. 6).

Tabela 6. Zestawienie uzyskanych w programie DIALux wyników – wysokoprężne lampy sodowe

Table 6. Summary of the results of DIALux - high-pressure sodium lamps

Wymagania fotometryczne	Jezdnia - klasa ME4b					Chodnik - klasa S2	
	L_m [cd/m ²]	U_o	U_l	TI [%]	SR	E [lx]	E_{min} [lx]
Norma	≥ 0,75	≥ 0,40	≥ 0,50	≤ 15	≥ 0,50	10	3
Wyniki	0,76	0,67	0,76	11	0,74	13,48	7,49

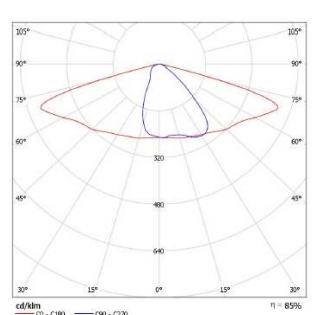
2.4. Oświetlenie jezdni i chodnika lampami LED

Danych techniczne dla użytych w analizie lam LED pokazano w tabeli 7.

Tabela 7. Dane techniczne lampy LED

Table 7. Technical specifications of LED lamp

Parametry	Dane
Strumień świetlny lampy	7500 lm
Strumień świetlny oprawy	6375 lm
Temperatura barwowa	4000 K
Moc oprawy	58 W
Skuteczność świetlna	110 lm/W
Ra	≤ 68
Cena oprawy ze źródłem	2 945,5 zł



Dla rozpatrywanych powierzchni obliczeniowych wyniki oświetleniowe z wykorzystaniem lamp LED zostały zestawione w tabeli 8. Jak widać wszystkie uzyskane wartości są zgodne z aktualnymi normami, dzięki temu można stwierdzić, że oprawy zostały dobrane prawidłowo.

Tabela 8. Zestawienie uzyskanych w programie DIALux wyników–lampy LED

Table 8. Summary of the results of DIALux-LED lamps

Wymagania fotometryczne	Jezdnia - klasa ME4b					Chodnik - klasa S2	
	L_m [cd/m ²]	U_o	U_l	TI [%]	SR	E [lx]	E_{min} [lx]
Norma	≥ 0,75	≥ 0,40	≥ 0,50	≤ 15	≥ 0,50	10	3
Wyniki	0,75	0,57	0,93	10	0,83	14,74	13,39

3. Analiza zaproponowanych wariantów oświetlenia drogowego

3.1. Oszacowanie zużycia energii elektrycznej

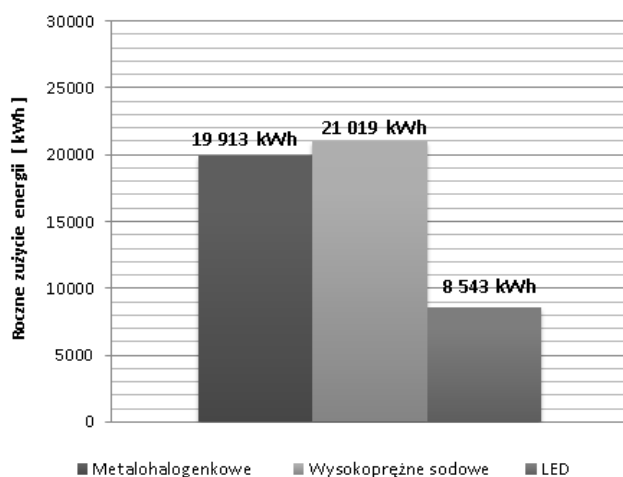
W celu oceny, który z trzech zaproponowanych wariantów oświetlenia drogowego jest najkorzystniejszy porównano je pod kątem zużycia energii i finansowym. Aby oszacować zapotrzebowanie zaprojektowanej instalacji oświetleniowej na energię elektryczną przeprowadzono odpowiednie obliczenia. W tabeli 9 przedstawiono uzyskane wyniki analizy zużycia energii, na podstawie której stworzono wykres przedstawiony na rysunku 2.

Tabela 9. Zestawienie wyników–zapotrzebowanie energetyczne instalacji oświetleniowej

Table 9. Summary of results - the energy consumption of the lighting system

	Instalacja oświetleniowa		
	<i>Metalohalogenkowe</i>	<i>Wysokoprężne sodowa</i>	<i>LED</i>
Ilość opraw	36 szt.	38 szt.	45 szt.
Moc oprawy	169 W	169 W	58 W
Roczny czas pracy	3273 h		
Moc systemu	6,084 kW	6,422 kW	2,61 kW
Roczne zużycie energii elektrycznej	19 913 kWh	21 019 kWh	8 543 kWh

Na podstawie utworzonego wykresu (rys. 2) stwierdzono, że oświetlenie z wykorzystaniem lamp LED ma blisko trzykrotnie mniejsze zużycie energii elektrycznej w skali roku niż pozostałe rozwiązania, a tym samym jest najkorzystniejszym wariantem.



Rys. 2. Porównanie rocznego zużycia energii proponowanych wariantów oświetlenia drogowego
 Fig. 2. Comparison of annual energy consumption of the proposed variants of road lighting

3.2. Analiza finansowa

Dzięki przeprowadzeniu analizy finansowej dokonano wyboru najbardziej ekonomicznego z zaproponowanych rozwiązań projektowych. Przyjęto 15-letni okres eksploatacji oświetlenia drogowego.

Tabela 10. Analiza ekonomiczna zaproponowanych wariantów instalacji oświetleniowych
 Table 10. Economic analysis of the proposed variants of lighting installations

	<i>Instalacja oświetleniowa</i>		
	<i>Metalohalogenkowe</i>	<i>Wysokoprężne sodowa</i>	<i>LED</i>
<i>Koszt opraw</i>	55 350 zł	47 672,80 zł	92 047,50 zł
<i>Koszt słupów i wysięgników</i>	153 000 zł	161 500 zł	191 250 zł
<i>Koszt montażu instalacji</i>	41 400 zł	43 700 zł	51 750 zł
<i>Koszt okablowania i montażu (całość)</i>	4 450 zł		
<i>Koszt rozdzielnic i montażu</i>	11 400 zł		
<i>Koszt energii elektrycznej</i>	150 811 zł	159 189 zł	64 697 zł
<i>Koszt wymiany źródeł światła</i>	9 886 zł	5 644 zł	0 zł
<i>SUMA (15 lat)</i>	426 297 zł	433 558 zł	<u>415 594 zł</u>

W tabeli 10 zestawiono wszystkie koszty związane z powstaniem instalacji oraz jej eksploatacją, a także koszty energii elektrycznej. Jak wynika z przeprowadzonej analizy w perspektywie najbardziej opłacalnym rozwiązaniem jest wariant z wykorzystaniem lamp LED.

4. Sterowanie źródłami LED

Ze względu na ekologię dla wariantu oświetleniowego z wykorzystaniem lamp LED rozważono zastosowanie systemu sterującego. Odpowiednio zaprogramowany system sterowania oświetleniem LED na podstawie zebranych informacji może: monitorować dany odcinek drogi, włączać/wyłączać lampy, zmniejszać ich strumień świetlny, a co za tym idzie redukować moc systemu.

Przyjęto dodatkowe założenia dla wariantu oświetlenia drogowego z lampami LED. Założono, że w godzinach nocnych (21.00-5.00) występuje zmniejszony dzienny strumień ruchu samochodowego (≤ 7000). Wprowadzając nowe dane do kreatora program DIALux ustalił nową klasę oświetleniową ME5, która spełnia wszystkie wymagania normatywne (tab. 11).

Tabela 11. Zestawienie uzyskanych w programie DIALux wyników – sterowanie lampami LED
Table 11. Summary of the results of DIALux – control system of LED lamps

Wymagania fotometryczne	Jezdnia - klasa ME4b					Chodnik - klasa S2	
	L_m [cd/m ²]	U_o	U_l	TI [%]	SR	E [lx]	E_{min} [lx]
Norma	$\geq 0,5$	$\geq 0,35$	$\geq 0,40$	≤ 15	$\geq 0,50$	10	3
Wyniki	0,51	0,57	0,93	9	0,83	10,01	9,09

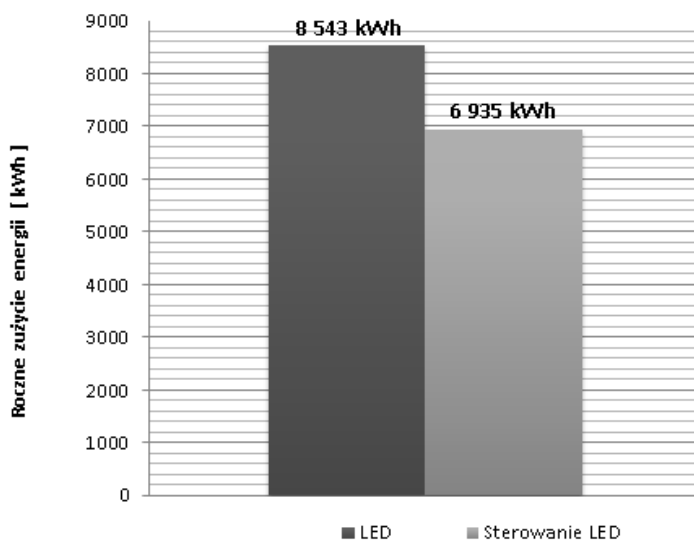
Oszacowano zapotrzebowanie na energię elektryczną uwzględniając redukcję mocy lampy z 58W do 44W w określonych godzinach. Zauważono, że zużycie energii zmalało blisko o 1 600 kWh (rys. 3).

Instalacja systemu sterującego jest bardzo kosztowna. W projekcie wybrano system MINOS, którego cena wyniosła 37 800 zł. Aby sprawdzić kiedy inwestycja się zwróci policzono współczynnik SPB, który wyniósł 47 lat.

$$SPB = \frac{\text{nakład inwestycyjny poniesiony w roku bazowym}}{\text{oszczędności wynikające ze zmniejszenia kosztów w cenach z b. roku}} \quad (1)$$

$$SPB = \frac{\text{koszt systemu sterującego MINOS}}{\text{różnica kosztów energii elektrycznej dla dwóch rozwiązań w pierwszym roku}} \quad (2)$$

To znaczy, że system sterujący jest nieopłacalny, gdyż koszt inwestycji zwróci się dopiero po 47 latach.



Rys. 3. Wykres rocznego zapotrzebowania na energię oświetlenia LED przed i po zaproponowaniu systemu sterującego

Fig. 3. A graph of the annual energy LED lighting before and after proposing a control system

5. Podsumowanie

Podsumowując, stworzono trzy warianty oświetlenia przykładowego odcinka drogi w programie DIALux. Aby określić, która z zaproponowanych w projekcie koncepcji jest najkorzystniejsza porównano je pod kątem energetycznym i finansowym.

Szacując zużycie energii elektrycznej przez zaproponowane warianty instalacji oświetleniowej uwzględniono liczbę opraw i ich moc. Po przeprowadzeniu odpowiednich obliczeń stwierdzono, że instalacja oświetlenia drogowego z wykorzystaniem źródeł LED jest najbardziej energooszczędna. Wykazuje ona blisko trzykrotnie mniejsze zużycie energii elektrycznej w skali roku niż pozostałe rozwiązania.

Przeprowadzając analizę finansową u koszty opraw, słupów, wysięgników, okablowania, rozdzielnic oraz ich montażu, a także koszt eksploatacyjne i energii elektrycznej. Najbardziej opłacalnym rozwiązaniem w perspektywie 15 lat okazało się zastosowanie źródeł LED. Kluczowy wpływ na taki wynik analizy miały oszczędności związane ze zmniejszeniem zużycia energii elektrycznej w przypadku lamp LED.

Oceniając całościowo projekt oświetlenia przykładowego odcinka drogi najkorzystniejszym jest wariant z wykorzystaniem lamp LED zarówno pod względem zużycia energii elektrycznej jak i kosztów.

Aktualnie kładzie się duży nacisk na maksymalne ograniczenie zużycia energii przez instalację oświetlenia drogowego. Dlatego dla wariantu oświetlenia z wykorzystaniem źródeł LED rozważono zastosowanie systemu sterującego MINOS. Po analizie otrzymanych wyników stwierdzono, że montując system sterujący zużycie energii elektrycznej przez instalację zmalało o około 1 600 kWh w skali roku. Jednak ta inwestycja jest nieopłacalna ze względu na wysoką cenę systemu MINOS (37 800 zł). Dla rozpatrywanego odcinka drogi zastosowanie systemu sterującego źródłami LED zwróci się dopiero po około 47 latach.

Literatura

- [1] <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download/polski.html>
(program DIALux)
- [2] PKN-CEN/TR 13201-1: 2007 *Oświetlenie dróg. Część 1 – Wybór klas oświetlenia*, ICS 93.080.40
- [3] PN-EN 13201-2: 2007 *Oświetlenie dróg. Część 2 – Wymagania oświetleniowe*, ICS 93.080.40
- [4] PN-EN 13201-3: 2007 *Oświetlenie dróg. Część 3 – Obliczenia oświetleniowe*, ICS 93.080.40
- [5] PN-EN 13201-4: 2007 *Oświetlenie dróg. Część 4 – Metody pomiarów parametrów oświetleniowych*, ICS 93.080.40
- [6] Rydz P.: *Projektowanie oświetlenia ulicznego – praca dyplomowa inżynierska*, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2015
- [7] Wiśniewski A.: „Elektryczne źródła światła”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010
- [8] Żagan W.: „Podstawy techniki świetlnej”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005

COMPUTER DESIGN OF STREET LIGHTING

Summary

The article presents the project of street lighting with the example of a section of road. Lighting was created for the road with length of 1 kilometer located in a rural area. Three versions of the lighting are considered: the first – with metal-halide lamps, the second – with high-pressure sodium lamps, the third – with LED lamps. In case of the LED lamps, the control system MINOS was introduced. For calculation of lighting the software DIALux and Excel were used. Compliance DIALux calculation algorithm with requirements of the lighting norm PN-EN 12 301: 2007 results of the calculations can be used in practice. The object of the project was to choose the best of the proposed variants of street lighting due to consumption of electricity and costs. Estimating the energy consumption considered the time of the installation, the number of lamps and their power. In contrast, conducting financial analysis considered: investment costs of the lighting installation, energy costs and operating costs. After making calculations in Excel it has been found that the installation of street lighting in case of the LED lamps is the most advantageous in terms of energy and economic. In case of the LED lamps, the control system MINOS was introduced by which energy consumption is reduced by the lighting installation. It is worth to mention that the example

of the section which uses the control system is financially unprofitable. The investment is a long-term investment and will give profits after 50 years. The results of analyzes mainly depend on the type of road, lighting situation and lamps used.

Keywords: metal-halide lamps, high-pressure lamps, LED lamps, control system of lighting, DIALux

DOI: 10.7862/re.2015.6

Tekst złożono w redakcji: luty 2015

Przyjęto do druku: marzec 2015

Informacje dodatkowe

1. Lista recenzentów współpracujących będzie opublikowana w numerze 292 Zeszytów Naukowych Politechniki Rzeszowskiej, Elektrotechnika z. 34 (4/2015) oraz zamieszczona na stronie internetowej:
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/elektrotechnika/>
2. Zasady recenzowania są udostępnione na stronie internetowej:
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/zasady-recenzowania/>
3. Informacje dla autorów artykułów są udostępnione na stronie internetowej:
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/informacje-dla-autorow/>
4. Formularz recenzji jest udostępniony na stronie internetowej:
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/elektrotechnika/>
5. Instrukcja dla autorów omawiająca szczegółowo strukturę artykułu, jego układ, sposób przygotowywania materiału ilustracyjnego i piśmiennictwa jest zamieszczona na stronach internetowych:
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/instrukcja-dla-autorow/>
oraz
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/elektrotechnika/>
w zakładce „Instrukcja dla autorów”.
6. Dane kontaktowe do redakcji czasopisma, adresy pocztowe i e-mail do przesłania artykułów oraz dane kontaktowe do wydawcy są podane na stronie internetowej (Komitet Redakcyjny):
<http://oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/elektrotechnika/>