

Joachim KOZIOŁ
Uniwersytet Zielonogórski
kojo643@interia.pl

Tomasz SKOCZOWSKI
SBB ENERGY S.A., Opole
t.skoczowski@sbbenergy.pl

WPŁYW MONITOROWANIA NA ZUŻYCIE WODY I ENERGII ELEKTRYCZNEJ W OBIEKTACH KOMUNALNYCH

Streszczenie. Przeprowadzono długotrwałe pomiary zużycia energii elektrycznej i wody w wybranej szkole. Stwierdzono, że sama świadomość monitorowania obiektu powoduje znaczne zmniejszenie liczby stanów nieuzasadnionego zużycia czynników energetycznych. Oszczędność tego zużycia jest największa w pierwszym roku monitorowania. W kolejnych latach efekt ten ulega zmniejszeniu w sposób zbliżony do kolejnych wyrazów postępu geometrycznego o ilorazie mniejszym od jedności. W pracy przedstawiono wyniki analiz przeprowadzonych pomiarów dobowego zużycia wody i energii elektrycznej w kolejnych latach jego monitorowania (cztery lat dla energii elektrycznej i pięciu dla wody). Przeprowadzono próbę jakościowe i ilościowego uogólnienia uzyskanych wyników.

Słowa kluczowe: monitoring, zużycie wody i energii elektrycznej

MONITORING IMPACT ON CONSUMPTION OF WATER AND ELECTRICITY IN MUNICIPAL BUILDINGS

Abstract. Long-term measurements of electricity and water consumption in the selected school have been performed. It was found that the object monitoring consciousness causes a significant reduction in the number of unreasonable states energy consumption factors. The consumption saving is highest in the first year of monitoring. In the subsequent years, the effect is reducing in a similar manner to successive geometric progression with quotient less than one. In the paper the results of daily water and electricity consumption measurements analysis in the monitored years (four years for electricity and water for five) have been shown. The qualitative and quantitative analyses was generalized.

Keywords: monitoring, water and electricity consumption

1. Wstęp

W niniejszym opracowaniu pod pojęciem “monitorowanie” należy rozumieć prowadzenie ciągłej, pomiarowej kontroli zużycia czynników energetycznych (wody energii elektrycznej) w wybranym obiekcie komunalnym.

Sama świadomość kontrolowania zużycia czynników energetycznych aktywizuje osoby odpowiedzialne za jego stan do minimalizacji zużycia nieuzasadnionego. Należy spodziewać się, że w miarę upływu lat kontroli jej pozytywne oddziaływanie na obsługę będzie malało ze względu na jej asymilację do nowych warunków pracy.

Zasadniczym celem pracy jest określenie jakościowego i ilościowego wpływu czasu monitorowania i jego intensywności na oszczędność rocznych kosztów zużycia analizowanych czynników. O ile w literaturze można spotkać opracowania dotyczące jakościowej oceny powyższego wpływu¹, o tyle ilościowe analizy charakteru innowacyjnego.

2. Baza danych. Platforma informatyczna

Kontrolowanie, obok planowania, organizowania i kierowania, jest jedną z podstawowych i niezbędnych funkcji zarządzania². Nowoczesny i efektywny system zarządzania powinien być wyposażony w komputerowo wsparty system informatyczny, którego podstawowym elementem powinna być platforma informatyczna³. Na ogół jedna platforma obsługuje grupę wspólnie zarządzanych obiektów. Informacje o zużyciu poszczególnych czynników energetycznych może być przekazywana do platformy automatycznie lub manualnie. W drugim przypadku konieczne są okresowe odczyty liczników i przekazywanie uzyskanych danych do platformy informatycznej z wykorzystaniem internetu. Platforma informatyczna powinna, co najmniej, umożliwić realizację następujących zadań⁴:

- tworzenie bazy danych dotyczących stanu zużycia czynników energetycznych,
- archiwizację powyższych stanów,
- interpretacją uzyskanych danych,
- predykcją uzasadnionych stanów zużycia.

¹ Monitorowanie zużycia energii: moc informacji. White Paper. Schneider Electric, czerwiec 2011.

² Griffin R.W.: Podstawy zarządzania organizacjami. PWN, Warszawa 2002; Machaczka J.: Podstawy zarządzania. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Kraków 2001.

³ <https://pl.wikipedia.org/wiki/Platforma>, 10.04.2017.

⁴ Skoczowski T.: Optymalizacja procesu zarządzania energią i mediami w obiektach oświatowych. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 2013; Skoczowski T., Koziół J.: Proposal for identifying reasonable and unreasonable heat consumption in municipal buildings. Thermodynamics in Science and Technology. Poznań 2011.

System informatyczny o wyżej opisanych cechach, oparty o manualny monitoring dobowy, zastosowano w Rybniku⁵ do zarządzania zużyciem czynników energetycznych (zużycie energii elektrycznej, ciepła, gazu, zimnej i ciepłej wody) w czterdziestu obiektach oświatowych, administrowanych przez Urząd Miasta. Obsługę systemu zapewniają dwie grupy audytorów:

- wewnętrzni, którymi są pracownicy po odpowiednim przeszkoleniu obejmującym działanie przyrządów pomiarowych oraz podstawy racjonalnego użytkowania czynników energetycznych,
- zewnętrznych, którymi są specjaliści koordynujący działania koordynatorów wewnętrznych.

Audytorzy wewnętrzni są najczęściej odpowiedzialni za gospodarkę energetyczną w poszczególnych obiektach. Przedmiotem przeprowadzonej analizy było zużycie wody i zużycia energii elektrycznej w przykładowej szkole o średniej wielkości (kubaturze około 17 tys. m³). Dane wykorzystane w opracowaniu uzyskano z bazy danych, odpowiadającej wybranej szkole, a utworzonej w ramach działania platformy informatycznej w kolejnych okresach:

- dla wody: do roku szkolnego 2006/2007 do 2010/2011,
- dla energii elektrycznej: od roku szkolnego 2006/2007 do 2009/2010⁶.

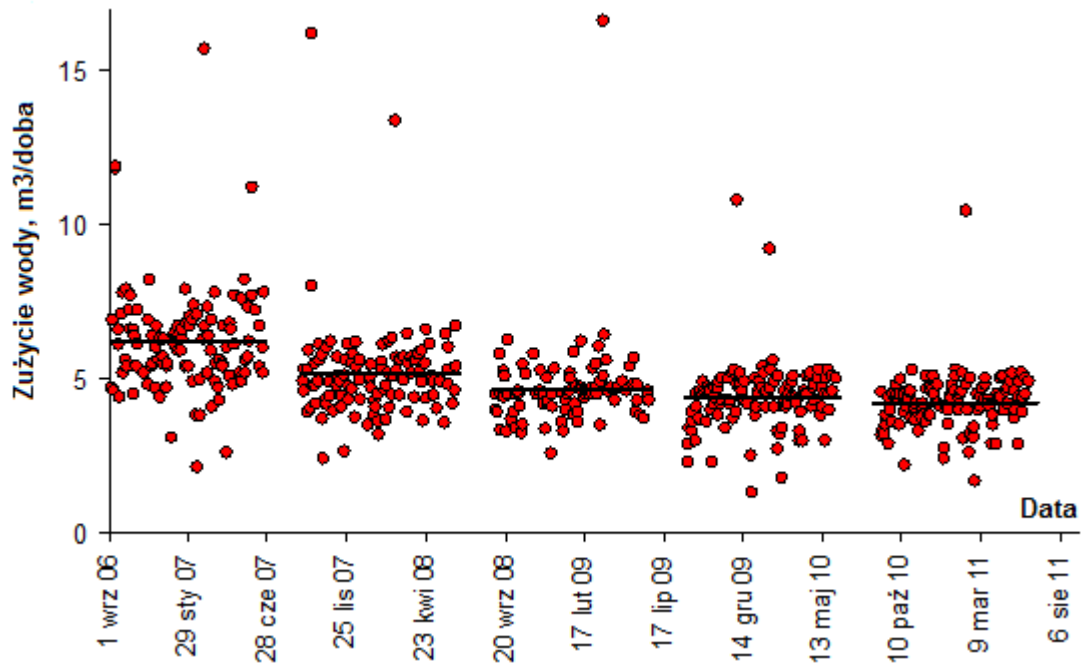
3. Ocena jakościowa wpływu monitorowania na zużycia wody i energii elektrycznej

Na rys. 1 i 2 przedstawiono wpływ kolejnych lat monitorowania na dobowe zużycia, odpowiednio, wody i energii elektrycznej. Z uzyskanych rezultatów wynikają następujące wnioski:

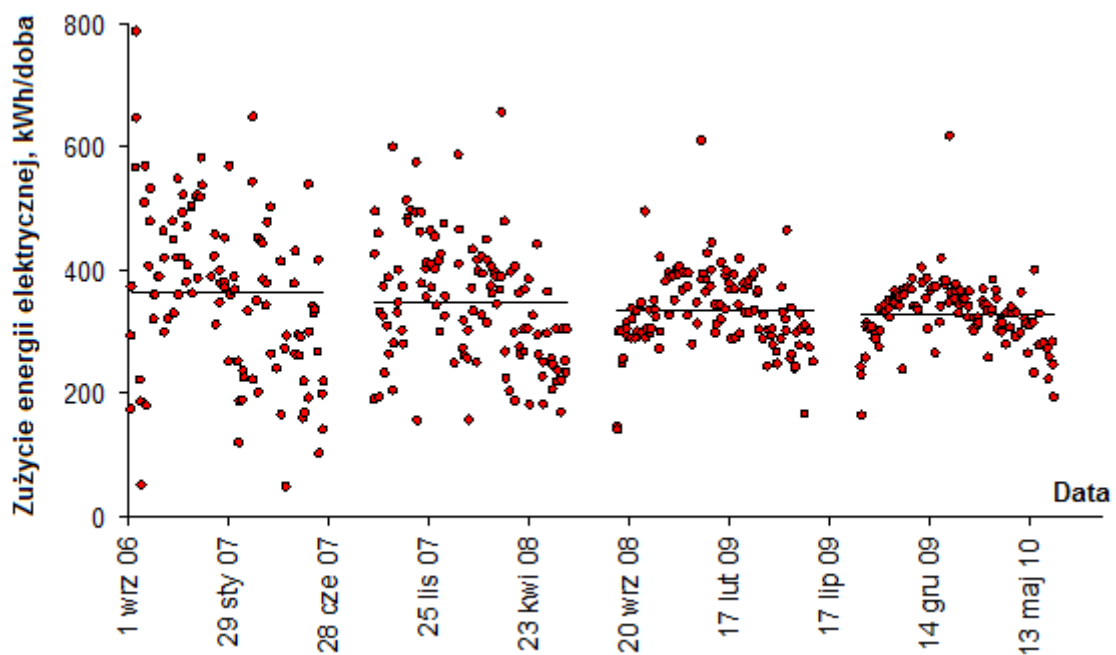
- największą oszczędność zużycia czynników energetycznych uzyskuje się w pierwszym roku monitorowania,
- w kolejnych latach zmniejszeniu ulega zarówno roczne, jak i średniodobowe zużycie czynników energetycznych,
- w kolejnych latach zmniejszeniu ulegają średnie standardowe odchylenia zużycia analizowanych czynników,
- oszczędności zużycia czynników energetycznych ulega zmniejszeniu w sposób zbliżony do kolejnych wyrazów ciągu geometrycznego.

⁵ Skoczowski T.: op.cit.; <http://media.ciri.pl/inne/index.php>, 5.04.2017.

⁶ Skoczowski T.: op.cit.



Rys. 1. Dobowe zużycia wody w kolejnych okresach od roku szkolnego 2006/2007 do 2010/2011 w przykładowej szkole
 Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2. Dobowe zużycia energii elektrycznej w kolejnych okresach od roku szkolnego 2006/2007 do 2009/2010 w przykładowej szkole
 Źródło: Opracowanie własne.

4. Ocena ilościowa wpływu monitorowania na zużycie wody i energii elektrycznej

Wykorzystując wnioski uzyskane z oceny jakościowej wpływu podjęto próbę analitycznego uogólnienia uzyskanych wyników. Obok zaobserwowanego wpływu, następujących po sobie okresów (lat) monitorowania na zużycie czynników energetycznych, przyjęto a priori występowanie wpływu częstości monitorowania na zużycie czynników energetycznych. Parametrem charakteryzującym częstość monitorowania może być okres między kolejnymi pomiarami. Oszczędność kosztów zużycia danego czynnika proponuje się opisać następującą zależnością:

$$\Delta K_{n,m} = \Delta K_1 \varphi(n) \psi(\tau_m), \quad (1)$$

gdzie:

ΔK_n – oszczędność kosztów czynnika w n -tym roku monitorowania, przy częstości monitorowania (okresie między pomiarami) τ_m ,

ΔK_1 – maksymalna oszczędność kosztów czynnika,

$\varphi(n)$, $\psi(\tau_m)$ – funkcje zależne odpowiednio od kolejnego roku monitorowania oraz od jego częstości,

n – kolejny rok monitorowania,

τ_m – częstość monitorowania (okres między kolejnymi pomiarami),

Maksymalna oszczędność ΔK_1 jest wielkością teoretyczną, której wartość może być określona w oparciu o wyniki pomiarów. Odpowiada ona oszczędności w pierwszym roku monitorowania przy ciągłym nadzorze systemu ($\tau_m = 0$).

Funkcje występujące w równaniu 1 opisują zależności:

$$\varphi(n) = q^{n-1}, \quad (2)$$

$$q = \frac{\Delta K_{2,m}}{\Delta K_{1,m}} \cong \frac{\Delta K_{3,m}}{\Delta K_{2,m}} \cong \frac{\Delta K_{n,m}}{\Delta K_{n-1,m}}, \quad (3)$$

lub

$$q = \left(\frac{\Delta K_{n,m}}{\Delta K_{1,m}} \right)^{\frac{1}{n-1}}, \quad (4)$$

oraz

$$\psi = \exp\left(-\frac{b \cdot \tau_m}{\tau_R - \tau_m}\right), \quad (5)$$

gdzie:

$\Delta K_{n,m}$ – oszczędność uzyskana w n -tym roku przy częstości monitorowania τ_m ,

$\Delta K_{1,m}$ – oszczędność uzyskana w pierwszym roku przy częstości monitorowania τ_m ,

τ_R – okres obserwacji systemu w poszczególnych latach monitorowania,
 b – współczynnik empiryczny.

Zależność (5) została dobrana intuicyjnie. Spełnia ona warunki graniczne:

- zmienia się w zakresie od 0 do 1,
- dla $\tau_m = 0$ (przy ciągłym nadzorze) $\psi = 1$,
- dla $\tau_m = \tau_R$ (przy braku nadzoru) $\psi = 0$.

Analityczny opis wpływu roku monitorowania n oraz jego częstości τ_m na uzyskiwaną oszczędność wymaga znajomości:

- co najmniej dwu oszczędności $\Delta K_{n-1,m}$ i $\Delta K_{n,m}$ uzyskiwanych w kolejnych latach monitorowania przy $\tau_m = \text{idem}$, przykładowo $\Delta K_{1,1}$ i $\Delta K_{2,1}$ przykładowo dla $\tau_m = \tau_l = 24\text{h}$,
- co najmniej jednej wartości oszczędności $\Delta K_{n,2}$ uzyskiwanej w określonym roku n przy $\tau_m \neq \tau_l$, przykładowo dla $\Delta K_{1,2}$ w roku $n = 1$ dla $\tau_m = \tau_2 = 48\text{h}$.

Należy zaznaczyć, że wyznaczenie oszczędności przy dwu różnych czasach τ_m , w tym samym roku monitorowania nie jest możliwe.

Poszukiwane, charakterystyczne wskaźniki wyznacza się z zależności:

$$q = \frac{\Delta K_{n,1}}{\Delta K_{n-1,1}}, \quad (6)$$

$$b = -\frac{(\tau_R - \tau_1) \cdot (\tau_R - \tau_2)}{\tau_R \cdot (\tau_1 - \tau_2)} \cdot \ln \alpha, \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{\Delta K_{n,1}}{\Delta K_{l,2}} \cdot q^{l-n}, \quad (8)$$

$$\Delta K_1 = \frac{\Delta K_{n,1} \cdot q^{l-n}}{\exp\left(-\frac{b \cdot \tau_1}{\tau_R - \tau_l}\right)}, \quad (9)$$

gdzie l – rok monitorowania, $l \neq n$.

W tabelicy 1 podano parametry charakteryzujące wpływ okresu monitorowania na zużycie wody w przykładowej szkole. W przeprowadzonych obliczeniach wykorzystano informacje podane na rys. 1 oraz uwzględniono łączny koszt wody i ścieków na poziomie $10\text{zł}/\text{m}^3$ ⁷.

Z kolei na rys. 3 przedstawiono szacunkowy wpływ monitorowania na roczną oszczędność kosztów związanych ze zmniejszeniem zużycia wody.

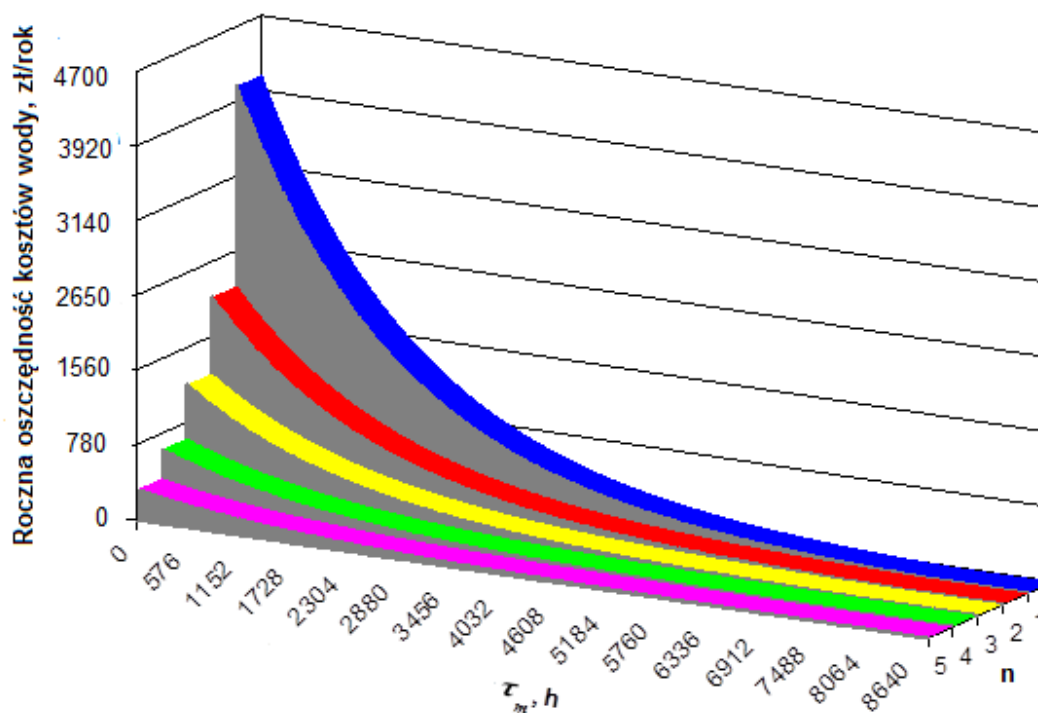
⁷ Machaczka J.: op.cit.

Tabela 1

Parametry charakteryzujące wpływ monitorowania na oszczędność zużycia wody w przykładowej szkole

Rok monitorowania, (n)	Odchylenie standardowe, m ³	Rok szkolny	Średnie dobowe zużycie w n-tym roku, m ³	$\Delta K_n = K_n - K_{n-1}$, zł/rok	$q = \Delta K_{n,m} / \Delta K_{n-1,m}$	$q = (\Delta K_{n,m} / \Delta K_{1,m})^{1/(n-1)}$
1, (0)	1,76	2006/2007	6,21	-	-	-
2, (1)	1,61	2007/2008	5,18	4037	-	-
3, (2)	1,46	2008/2009	4,68	1960	0,49	0,49
4, (3)	1,10	2009/2010	4,38	1176	0,60	0,54
5, (4)	0,93	2010/2011	4,22	657	0,52	0,53

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 3. Wpływ kolejnego roku n i częstości monitorowania τ_m na roczną oszczędność kosztów wody w przykładowej szkole

Źródło: Opracowanie własne.

Przedstawiona ocena ilościowa wpływu monitorowania na zmniejszenie zużycia wody ma orientacyjny charakter ze względu na hipotetyczny charakter postaci funkcji (1), (2), (3) i (5).

Jak wynika z tablicy 1 iloraz q nie jest wartością stałą. Może to wynikać, zarówno z braku słuszności hipotezy (3), jak również z błędów pomiarów. Charakterystyczne parametry b i q występujące w zależności (1) zależą od rodzaju analizowanego czynnika energetycznego oraz typu i rozmiaru obiektu. Należy dodać, że współczynnik b wykorzystany do porządzenia

rys. 3, wyznaczono z $\Delta K_{l,2}$ uzyskaną z liniowej aproksymacji wartości pochodzących z pomiaru.

5. Uwagi końcowe

Przedstawione rozważania mają charakter multidyscyplinarny ponieważ dotyczą: psychologii, socjologii, techniki, ekonomii itp. Ogólnie rzecz ujmując dotyczą zachowań ludzkich i jako takie powinny być prowadzone z wykorzystaniem metod statystycznych. Tylko wtedy możliwa byłaby ocena niepewności uzyskanych rezultatów współczynników oraz weryfikacja współczynników istotnych ze względu na ilościową ocenę badanego procesu.

Bibliografia

1. Monitorowanie zużycia energii: moc informacji. White Paper. Schneider Electric, czerwiec 2011.
2. Griffin R.W.: Podstawy zarządzania organizacjami. PWN, Warszawa 2002.
3. Machaczka J.: Podstawy zarządzania. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Kraków 2001.
4. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Platforma>, 10.04.2017.
5. Skoczowski T.: Optymalizacja procesu zarządzania energią i mediami w obiektach oświatowych. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 2013.
6. Skoczowski T., Kozioł J.: Proposal for identifying reasonable and unreasonable heat consumption in municipal buildings. Thermodynamics in Science and Technology. Poznań 2011.
7. <http://media.ciri.pl/inne/index.php>, 5.04.2017.