

Analiza możliwości poprawy efektywności energetycznej systemów oświetleniowych w wybranym gabinecie lekarskim przy wykorzystaniu światła dziennego

Streszczenie. W budynkach użyteczności publicznej, ponad 15% energii elektrycznej, zużywane jest na potrzeby oświetlenia. W niniejszym artykule zaprezentowano kilka nowoczesnych systemów, które wykorzystując promieniowanie słoneczne oraz dostępne oprawy i urządzenia sterujące, umożliwiają minimalizowanie kosztów energii elektrycznej.

Abstract. In public buildings, more than 15% of electricity is consumed for lighting purposes. This article presents some modern systems that can minimize the cost of electricity, using solar radiation available luminaires and control elements. (Analysis of the possibilities of improving the energy efficiency of lighting systems in a selected doctor's office by using daylight).

Słowa kluczowe: oświetlenie wnętrz, światło dzienne, efektywność energetyczna, sterowanie oświetleniem

Keywords: interior lighting, daylight, energy efficiency, lighting control

Wstęp

Poprawa efektywności energetycznej oświetlenia jest od kilku lat jednym z priorytetowych działań Unii Europejskiej. Dowodem na to są liczne zmiany wprowadzane w rozporządzeniach i normach, które mają za zadanie nie tylko zachęcić, ale wręcz zmusić użytkowników do podjęcia próby ograniczenia zużycia energii elektrycznej.

Obecnie, wydajne energetycznie oświetlenie może być realizowane dzięki zastosowaniu systemów sterowania i regulacji, energooszczędnych źródeł światła, czy też ciągłej kontroli wartości i sterowania natężeniem oświetlenia. Niezwykle ważnym aspektem jest wykorzystanie jednego z podstawowych, niewyczerpalnych źródeł energii – promieniowania słonecznego.

W niniejszym artykule dokonano analizy wpływu światła słonecznego, systemu sterowania oraz dwóch różnych rodzajów opraw (krzywych światłości) na zmianę wartości liczbowego wskaźnika energii zużywanej na oświetlenie (LEN), a także obliczono całkowite roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną dla badanych konfiguracji.

Regulacje prawne w zakresie efektywności energetycznej i oświetlenia wnętrz światłem dziennym

Obecnie obowiązującą normą, dotyczącą projektowania oświetlenia wnętrz jest Polska Norma PN-EN 12464-1:2012 [1]. Wymagania, określone w normie [1], dotyczą między innymi minimalnego poziomu natężenia oświetlenia (E_m), jego równomierności (U_0), współczynnika oddawania barw (R_a) oraz dopuszczalnej wartości oślnienia (UGR_L). Przykładowe wartości parametrów oświetleniowych dla pomieszczeń szpitalnych podano w poniższej tabeli.

Tabela 1. Wymagania oświetleniowe dla wybranych pomieszczeń opieki zdrowotnej [1]

Typ obszaru, zadanie lub działalność	E_m [lx]	UGR_L	U_0	R_a
Poczekalnia	200	22	0,40	80
Biuro personelu	500	19	0,60	80
Łazienki i toalety dla pacjentów	200	22	0,40	80
Pokoje badań (oświetlenie ogólne)	500	19	0,60	90
Pokoje badań (badania i zabiegi)	1000	19	0,70	90
Pokoje przedoperacyjne i pooperacyjne	500	19	0,60	90
Sala operacyjna	1000	19	0,60	90

Nowelizacja normy [1] w sposób znaczący zaakcentowała konieczność poszukiwania rozwiązań, zwiększających wykorzystanie naturalnego światła w oświetleniu wnętrz. Poza oczywistymi zaletami korzystania z promieniowania słonecznego, zwrócono uwagę na preferowany przez pracowników kontakt wzrokowy ze światłem zewnętrznym, który zapewnić ma odpowiednią ilość i rozmieszczenie otworów okiennych.

Zadania, stawiane jednostkom sektora publicznego w zakresie efektywności energetycznej, określone zostały w Ustawie z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej [2] oraz w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3]. Według regulacji prawnych, przedstawionych w ustawie [2] przedstawiciele działu publicznego powinni podejmować czynności związane z kupnem, wymianą lub modernizacją urządzeń, bądź instalacji w taki sposób, aby stworzyć system wydajny energetycznie. W ustawie [2] modernizacja oświetlenia została wyróżniona, jako jedno z przedsięwzięć, które w znaczący sposób oddziałują na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej.

W rozporządzeniu [3] zaznaczono konieczność zapewnienia co najmniej trzygodzinnego czasu nasłonecznienia w pomieszczeniach zbiorowego przebywania dzieci oraz zdefiniowano wymagany stosunek powierzchni okien do powierzchni podłogi, który dla wnętrz przeznaczonych na pobyt ludzi wynosi 1:8, a dla pozostałych 1:12. Ponadto podano dopuszczalne wartości mocy jednostkowej oświetlenia w budynkach użyteczności publicznej (tab. 2) oraz maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_L , określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną na potrzeby oświetlenia (tab. 3).

Tabela 2. Maksymalna wartość mocy jednostkowej oświetlenia w wybranych budynkach użyteczności publicznej [3]

Typ budynku	Maksymalna wartość mocy jednostkowej [W/m^2]		
	Klasa kryteriów		
	A	B	C
Biura	15	20	25
Szkoły	15	20	25
Szpitale	15	25	35

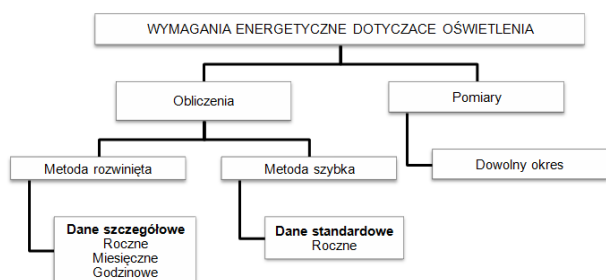
A – spełnienie kryteriów w stopniu podstawowym
B – spełnienie kryteriów w stopniu rozszerzonym
C – spełnienie kryteriów w stopniu pełnym

Tabela 3. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia w budynkach użyteczności publicznej [3]

Rodzaj budynku	Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia [$kWh/m^2 \cdot rok$] w zależności od czasu działania oświetlenia w ciągu roku t_0 [h/rok]		
	od 1 stycznia 2014 r.	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021 r.
Budynek użyteczności publicznej	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$	dla $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 25$ dla $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 50$

Metody obliczeniowe

Metodyka oszacowania wymagań energetycznych dla instalacji oświetleniowej została przedstawiona w Polskiej Normie PN-EN 15193: 2010. Charakterystyka energetyczna budynków. Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia [4]. Według normy w celu zdefiniowania ilości energii zużywanej na potrzeby oświetlenia, zastosować można dwie metody: pomiarową oraz obliczeniową (rys. 1).



Rys. 1 Drogi określenia zużycia energii [4]

Koncepcja metody obliczeniowej opiera się na trzech współczynnikach, opisujących techniki minimalizowania energii: F_C – współczynnik stałego poziomu natężenia oświetlenia, F_O – współczynnik zależny, wynikający ze sterowania i regulacji opraw oświetleniowych oraz F_D – współczynnik wykorzystania światła dziennego [5].

W normie [4] współczynnik zależny, wynikający z kontrolowania stałego poziomu natężenia oświetlenia, został opisany jako stosunek średniej mocy wykorzystywanej przez określony czas do mocy zainstalowanej opraw.

$$(1) \quad F_C = \frac{(1 + MF)}{2}$$

gdzie: MF – współczynnik utrzymania.

Współczynnik utrzymania MF zdefiniowano w Raporcie Technicznym CIE 97: 2005 [6].

Współczynnik pobytu F_O określany jest za pomocą poniższych wzorów, zależnie od wartości wskaźnika F_A , charakteryzującego stopień nieobecności.

gdzie $0 \leq F_A < 0,2$

$$(2) \quad F_O = 1 - [(1 - F_{OC}) \cdot F_A / 0,2]$$

gdzie $0,2 \leq F_A \leq 0,9$

$$(3) \quad F_O = F_{OC} + 0,2 - F_A$$

gdzie $0,9 \leq F_A \leq 1$

$$(4) \quad F_O = [7 - (10 \cdot F_{OC})] \cdot (F_A - 1)$$

gdzie: F_{OC} – wskaźnik regulacji oświetlenia.

Relację między wykorzystaniem mocy zainstalowanej opraw oświetleniowych w porze dziennej a dostępnością promieniowania słonecznego, opisuje współczynnik F_D :

$$(5) \quad F_D = 1 - (F_{DS} \cdot F_{DC})$$

gdzie: F_{DS} – wskaźnik dostępności światła dziennego, F_{DC} – wskaźnik regulacji oświetlenia sztucznego

Wskaźnik F_{DS} opisują współczynniki a i b , zależne od wartości natężenia oświetlenia oraz dostępności światła dziennego (tab. 4), a także kąt szerokości geograficznej położenia danego budynku (φ_{teremu}). Wartość F_{DC} określana jest na podstawie informacji o systemie sterowania oświetleniem sztucznym (tab. 6).

$$(6) \quad F_{DS} = a + b \cdot \varphi_{teremu}$$

Tabela 4. Wartości współczynników a i b w zależności od wartości natężenia oświetlenia oraz dostępności światła dziennego [4]

Utrzymywany poziom natężenia oświetlenia [lx]	Wnikanie światła dziennego	a	b
300	Słaba	1,2425	-0,0117
	Średnia	1,3097	-0,0106
	Silna	1,2904	-0,0088
500	Słaba	0,9432	-0,0094
	Średnia	1,2425	-0,0117
	Silna	1,3220	-0,0110
750	Słaba	0,6692	-0,0067
	Średnia	1,0054	-0,0098
	Silna	1,2812	-0,0121

W normie [4] przyjęto czterostopniową skalę dostępności światła dziennego, zależnie od wartości współczynnika D , inną dla okien i świetlików.

Tabela 5. Dostępność światła dziennego [4]

Okna	Świetliki	Dostępność światła dziennego
$D \geq 3\%$	$D \geq 7\%$	Silna
$3\% > D \geq 2\%$	$7\% > D \geq 4\%$	Średnia
$2\% > D \geq 1\%$	$4\% > D \geq 2\%$	Słaba
$1\% > D$	$2\% > D \geq 0\%$	Pomijalna

Tabela 6. Wartości współczynnika F_{DC} jako funkcja wnikania światła dziennego [4]

System sterowania sztucznym oświetleniem	F_{DC} jako funkcja wnikania światła dziennego		
	słaby	średni	silny
Ręczny	0,20	0,30	0,40
Automatyczny, zależny od światła dziennego	0,75	0,77	0,85

Oceny energii zużywanej na oświetlenie (W_t) dokonuje się sumując energię wykorzystywaną do wytworzenia wymaganego oświetlenia w pomieszczeniu ($W_{L,t}$) i energię pasywną wykorzystywaną do oświetlenia awaryjnego oraz podtrzymywania systemów sterowania ($W_{P,t}$):

$$(7) \quad W_t = W_{L,t} + W_{P,t}$$

$$(8) \quad W_{L,t} = \frac{1}{1000} \{ (P_n \cdot F_C) + [(t_D \cdot F_D \cdot F_O) + (t_N \cdot F_O)] \}$$

gdzie: P_n – moc wszystkich opraw oświetleniowych zasilanych normalnie, t_D – czas świecenia opraw oświetleniowych w porze dziennej, t_N – czas świecenia opraw oświetleniowych w porze poza dziennej.

$$(9) \quad W_{P,t} = \frac{1}{1000} \{ P_{pc} \cdot [t_y - (t_D + t_N)] + (P_{em} \cdot t_{em}) \}$$

gdzie: P_{pc} – moc podtrzymywania systemów kontroli oprav, P_{em} – moc ładowania baterii awaryjnych oprav oświetleniowych, t_{em} – czas ładowania baterii awaryjnych oprav oświetleniowych, t_y – czas standardowego roku.

Wydajność energetyczną oświetlenia definiuje tak zwany liczbowy wskaźnik energii zużywanej w roku na oświetlenie – $LENI$, który wyraża się poniższym wzorem:

$$(10) \quad LENI = \frac{W}{A}$$

gdzie: W – roczna energia, zużywana przez wszystkie oprawy oświetleniowe, A – całkowite, podłogowe pole użyteczne w budynku.

W Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej [7], zdefiniowano roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia:

$$(11) \quad Q_{p,L} = Q_{k,L} \cdot w_{el}$$

gdzie: $Q_{k,L}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub części budynku dla systemu wbudowanej instalacji oświetlenia, w_{el} – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie energii elektrycznej (tab. 7).

Tabela 7. Wartości współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii dla systemów technicznych [7]

Sposób zasilania budynku lub części budynku w energię	Rodzaj nośnika energii lub energii	w_i
Miejscowe wytwarzanie energii w budynku	Gaz ziemny	1,10
	Węgiel kopalny	
	Energia słoneczna	0,00
Sieć elektroenergetyczna systemowa	Energia elektryczna	3,00

Ponadto określono metodologię obliczania wskaźnika określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną na potrzeby oświetlenia – ΔEP_L [7]:

$$(12) \quad EP_L = \frac{Q_{p,L}}{A}$$

Poprawa efektywności energetycznej nowoczesnego systemu oświetleniowego przy wykorzystaniu światła dziennego

Analizę możliwości poprawy efektywności energetycznej systemu oświetleniowego, wykonano na przykładzie gabinetu lekarskiego, mieszczącego się w szpitalu zlokalizowanym geograficznie (53°07'59"N 23°09'51"E). Pomieszczenie posiada dwa okna od strony zachodniej (rys. 2) i wyposażone jest w instalację, składającą się z dziewięciu oprav rastrowych ze świetłówkami T5 o mocy 54 W każda. Oprawy załączane są ręcznie bez możliwości regulacji strumienia świetlnego.

Według normy [1] w badanym pomieszczeniu na płaszczyźnie roboczej, wymagane jest uzyskanie eksploatacyjnego natężenia oświetlenia na poziomie 500 lx o minimalnej równomierności 0,60. Wyniki symulacji, przeprowadzonych za pomocą oprogramowania DIALux dla stanu wyjściowego gabinetu, przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Wartości natężenia oświetlenia oraz równomierności na płaszczyźnie pracy

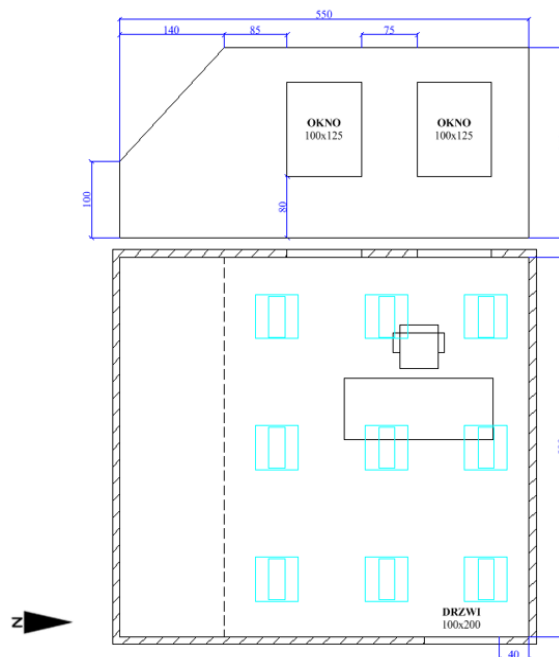
E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
688	437	905	0,636	0,483

W celu określenia energochłonności istniejącej instalacji oświetleniowej, wyznaczono wartości wskaźnika zużycia energii elektrycznej $LENI$ oraz wskaźnika ΔEP_L (tab. 9).

Tabela 9. Wyniki obliczeń wskaźników energetycznych istniejącej instalacji oświetleniowej

$LENI$ [kWh/m ² /rok]	$Q_{k,L}$ [kWh/rok]	$Q_{p,L}$ [kWh/rok]	ΔEP_L [kWh/rok]
64,05	1761,35	5284,06	192,15

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że wymagania określone w normie [1] zostały spełnione, natomiast wartość wskaźnika ΔEP_L znacząco przekracza maksymalną dopuszczalną wartość, określoną w rozporządzeniu [3] (tab. 3).



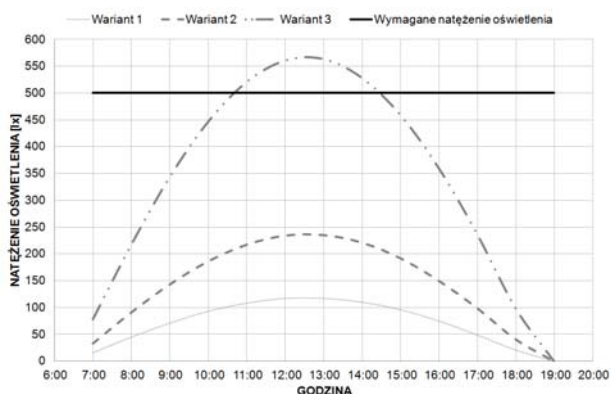
Rys. 2 Rzut analizowanego pomieszczenia

Poprawę efektywności energetycznej analizowanego gabinetu lekarskiego można osiągnąć poprzez modernizację istniejącej instalacji oświetleniowej oraz montaż dodatkowych otworów okiennych, bądź świetlików dachowych.

Dobór odpowiedniego systemu sterowania, jak również ewentualnego montażu dodatkowych okien, warto poprzedzić wnikliwą obserwacją rozkładu natężenia światła dziennego, występującego we wnętrzu w ciągu całego dnia pracy. Dostępność światła dziennego w gabinecie sprawdzono dla trzech konfiguracji (rys. 3):

- Wariant 1. dwa okna od strony zachodniej,
- Wariant 2. dwa okna od strony zachodniej, dwa okna od strony południowej,
- Wariant 3. dwa okna od strony zachodniej, dwa okna od strony południowej, dwa świetliki dachowe.

Symulacje wykonano z wykorzystaniem dostępnego oprogramowania DIALux, dla dnia 21 marca 2016r przy nieboskononie pochmurnym według CIE: Standard General Sky Guide [8].



Rys. 3 Rozkład natężenia oświetlenia światła dziennego w godzinach 7:00 – 19:00

Montaż dodatkowych otworów okiennych oraz świetlików, zapewnia wytworzenie wyższych poziomów natężenia oświetlenia w obrębie analizowanej płaszczyźnie odniesienia. Dzięki temu dla wariantu trzeciego w godzinach 10:30 – 14:30 w całym gabinecie jest zapewnione oświetlenie światłem dziennym, o średniej wartości natężenia wyższej niż 500 lx.



Rys. 4 Widok pomieszczenia po modernizacji

Wartości natężenia oświetlenia jakie pojawiają się w okolicy okien są wyższe o ponad 2,5 tysiąca luksów od wartości wymaganych. Aby temu zapobiec i jednocześnie uzyskać jak najlepszą jakość oświetlenia, w oknach znajdujących się po stronie zachodniej oraz południowej, zastosowano szkło o stopniu transmisji światła na poziomie 50%. Jest to pozornie zmiana ograniczająca możliwość dostania się do pomieszczenia promieniowania słonecznego. W rzeczywistości rozkład przestrzenny i powierzchniowy promieniowania słonecznego jest identyczny, niezależnie od stopnia przepuszczania, a zmianie ulega jedynie wartość średniego natężenia oświetlenia na powierzchni roboczej (mniejsze olśnienie od okien).

W celu zapewnienia jak najlepszej efektywności energetycznej dokonano modernizacji systemu oświetleniowego. Istniejące oprawy świetlówkowe zostały zastąpione nowoczesnymi, energooszczędnymi zamiennikami ze źródłami LED, LUGCLASSIC ECO LB LED o mocy 24 [W]. Wyniki eksploatacyjnego natężenia i równomierności oświetlenia na płaszczyźnie obliczeniowej, bez uwzględnienia światła dziennego, zestawiono w tabeli 10. Zastosowane oprawy posiadają funkcję regulacji strumienia świetlnego, co pozwala na precyzyjne dopasowanie poziomu natężenia oświetlenia we wnętrzu przy jednoczesnym wykorzystaniu promieniowania słonecznego. Uzyskane wyniki średniego natężenia oświetlenia, równomierności oraz możliwego poziomu ściemnienia opraw LED dla trzech wariantów przedstawiono w tabeli 11.

Tabela 10. Wartości natężenia oświetlenia oraz równomierności na płaszczyźnie pracy

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
644	482	745	0,749	0,646

Tabela 11. Zestawienie wyników po modernizacji oświetlenia

Godzina	Wariant 1 (dwa okna od strony zachodniej)			Wariant 2 (dwa okna od strony zachodniej, dwa od strony południowej)			Wariant 3 (dwa okna od strony zachodniej, dwa od strony południowej, dwa świetliki dachowe)		
	Poziom ściemnienia	E_m [lx]	U_0 [-]	Poziom ściemnienia	E_m [lx]	U_0 [-]	Poziom ściemnienia	E_m [lx]	U_0 [-]
7 ⁰⁰	75%	500	0,78	75%	512	0,81	70%	522	0,81
8 ⁰⁰	75%	528	0,75	65%	505	0,78	45%	500	0,77
9 ⁰⁰	70%	522	0,72	60%	524	0,73	30%	527	0,69
10 ⁰⁰	65%	510	0,70	50%	502	0,67	10%	501	0,60
11 ⁰⁰	65%	525	0,69	45%	500	0,63	0%	520	0,55
12 ⁰⁰	60%	501	0,67	45%	516	0,62	0%	560	0,55
13 ⁰⁰	60%	501	0,67	45%	517	0,62	0%	563	0,55
14 ⁰⁰	65%	527	0,69	45%	503	0,63	0%	528	0,55
15 ⁰⁰	70%	513	0,70	50%	507	0,67	10%	514	0,60
16 ⁰⁰	70%	525	0,72	55%	500	0,71	25%	512	0,67
17 ⁰⁰	70%	500	0,75	65%	513	0,78	45%	519	0,76
18 ⁰⁰	70%	504	0,78	75%	521	0,82	65%	511	0,82
19 ⁰⁰	80%	516	0,77	80%	512	0,76	80%	509	0,77
Średnia	69%	513	0,72	58%	510	0,71	29%	522	0,67

Na podstawie zaprezentowanych wyników symulacji można zauważyć znaczącą poprawę w jakości oświetlenia (równomierność na poziomie 0,749) po zastosowaniu opraw LED. Sterowanie oświetleniem umożliwiło zmniejszenie zużycia energii elektrycznej poprzez ściemnianie opraw. Warto zwrócić uwagę, iż z powodu niewielkiego przewymiarowania instalacji oświetleniowej, nawet w sytuacji, gdy brakuje światła słonecznego wykorzystuje się maksymalnie 80% mocy instalacji oświetleniowej.

W celu dokonania pełnej analizy efektywności energetycznej gabinetu wykonano obliczenia wskaźnika $LENI$, wskaźnika ΔEP_L , rocznego zapotrzebowania na energię końcową ($Q_{k,L}$) oraz na nieodnawialną energię pierwotną ($Q_{p,L}$) dla systemu instalacji oświetlenia dla wszystkich trzech konfiguracji i porównano rezultaty z wynikami stanu wyjściowego (tab. 12).

Tabela 12. Wyniki obliczeń wskaźników energetycznych istniejącej instalacji oświetleniowej oraz po modernizacji oświetlenia

Parametr	Stan wyjściowy	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
P_N [W/m ²]	17,67	7,85	7,85	7,85
$LENI$ [kWh/m ² rok]	64,05	25,00	20,15	18,16
$Q_{k,L}$ [kWh/rok]	1761,35	687,59	554,12	499,44
$Q_{p,L}$ [kWh/rok]	5284,06	2062,77	1662,36	1498,33
ΔEP_L [kWh/rok]	192,15	75,01	60,45	54,48

Poprzez modernizację instalacji oświetleniowej w badanym gabinecie lekarskim udało się osiągnąć bardzo dobre rezultaty energetyczne. Wymiana opraw świetlówkowych na LUGCLASSIC ECO LB LED doprowadziła do znacznego obniżenia wskaźnika ΔEP_L ,

dzięki czemu zostały spełnione warunki rozporządzenia [3] we wszystkich analizowanych wariantach. W stosunku do stanu wyjściowego wskaźniki energetyczne poprawiły się nawet o 60% – 70%, co w skali kilku lat i większej grupy modernizowanych pomieszczeń, w znaczącym stopniu wpływa na poprawę efektywności energetycznej całego budynku.

Podsumowanie

W niniejszym artykule omówiono najważniejsze regulacje prawne w zakresie efektywności energetycznej i oświetlenia wnętrz, zaprezentowano metodologię oszacowania wymagań energetycznych dla instalacji oświetleniowej oraz na przykładzie wybranego gabinetu lekarskiego dokonano analizy wpływu światła słonecznego, systemu sterowania oraz dwóch różnych rodzajów opraw na zmianę wartości wskaźników energetycznych.

Uzyskane wyniki świadczą o tym, iż nawet najprostsze rozwiązanie modernizacyjne, jakim jest wymiana opraw oświetleniowych, pozwala na uzyskanie bardzo dobrych efektów przy zmniejszeniu zużycia energii. Zastosowanie opraw LED spowodowało spadek wartości wskaźnika $LENI$ o około 60%, tym samym udało się osiągnąć wartość wskaźnika ΔEP_L na poziomie 75 [kWh/rok], co mieści się w granicach dopuszczalnych wartości, określonych w rozporządzeniu [3] (tab. 3).

Możliwość dopasowania wartości strumienia świetlnego do panujących warunków atmosferycznych, daje ogromne możliwości w zakresie poprawy efektywności energetycznej, umożliwia stałą regulację i dostosowanie wartości natężenia oświetlenia przy maksymalnym wykorzystaniu światła dziennego. Dodatkowo rozważając całkowite zapotrzebowania energetyczne budynku, z uwzględnieniem instalacji z OZE, można realizować ideę

"prawie zero energetycznych" budynków użyteczności publicznej.

Zaprezentowane wyniki mogą stanowić podstawę badań efektywności energetycznej oświetlenia w budynkach opieki zdrowotnej oraz budynkach użyteczności publicznej.

Artykuł został zrealizowany w Katedrze Zarządzania Produkcją Politechniki Białostockiej w ramach pracy statutowej S/WZ/1/2015

Autorzy: mgr inż. Magdalena Sielachowska, Politechnika Białostocka, Katedra Elektroenergetyki, Fotoniki i Techniki Świetlnej, E-mail: m.sielachowska@doktoranci.pb.edu.pl
dr hab. inż. Maciej Zajkowski, Politechnika Białostocka, Katedra Elektroenergetyki, Fotoniki i Techniki Świetlnej, E-mail: m.zajkowski@pb.edu.pl

LITERATURA

- [1] Polska Norma PN-EN 12464-1:2012. Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.
- [2] Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011r. o efektywności energetycznej Dz. U. z 2011r. Nr 94, poz. 551.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [4] Polska Norma PN-EN 15193:2010. Charakterystyka energetyczna budynków. Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia.
- [5] Bąk J., Wydajne energetycznie oświetlenie wnętrz, Wybrane zagadnienia., COSiW 2009.
- [6] CIE, Technical Report: Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems. CIE 97:2005 2nd Edition.
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.
- [8] CIE, Technical Report: Standard General Sky Guide. CIE 2014.