

Adam UJMA
Politechnika Częstochowska

WARUNKI OŚWIETLENIA POMIESZCZEŃ I ICH ZWIĄZEK Z JAKOŚCIĄ ENERGETYCZNĄ BUDYNKU

Warunki oświetlenia pomieszczeń regulowane są przepisami budowlanymi, dotyczącymi projektowania i eksploatacji budynków, oraz przepisami w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy w pomieszczeniach, gdzie przebywają ludzie. Ostatnie zmiany przepisów mocno akcentują wymagania jakościowe odnośnie do efektywności energetycznej budynków, wyrażonej wskaźnikiem zapotrzebowania na energię nieodnawialną, pierwotną. Wskaźnik ten uwzględnia m.in. zapotrzebowanie na energię na potrzeby oświetlenia obiektów. W artykule omówiono podstawowe wymagania odnoszące się do oświetlenia pomieszczeń oraz zamieszczono wyniki analizy warunków świetlnych w wybranym pomieszczeniu biurowym.

Słowa kluczowe: oświetlenie pomieszczeń, oświetlenie dzienne i elektryczne, zalecenia projektowe oświetlenia

WPROWADZENIE

Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, wymagają zapewnienia odpowiedniego oświetlenia pomieszczeń. Pewne wymagania w tym zakresie sformułowane zostały w przepisach odnoszących się do bezpieczeństwa i higieny pracy. Przepisy podają również wymagania odnośnie do zapewnienia odpowiedniej efektywności energetycznej budynków, uwzględniającej zapotrzebowanie na energię na potrzeby ogrzewania, wentylacji, chłodzenia i oświetlenia obiektów. Odpowiedzią na te wymagania są różne zalecenia i wytyczne, jakie można znaleźć w literaturze technicznej, dotyczące efektywnego wykorzystania energii na oświetlenie w budynkach. Ze względu na rosnące wymogi w zakresie ograniczenia zużycia energii można zaobserwować tendencję poszukiwania rozwiązań technicznych, umożliwiających w optymalny sposób wykorzystywanie światła dziennego i sztucznego w pomieszczeniach, gdzie przebywają ludzie. W szczególności odnosi się to do miejsc pracy, w których należy spełniać odpowiednie wymagania w zakresie mikroklimatu świetlnego.

W zależności od wykonywanego rodzaju prac i czasu pobytu ludzi / pracowników, pomieszczenia dzieli się na:

- pomieszczenia do pracy stałej - pobyt dłuższy niż 4 godz./dzień;
- pomieszczenia do pracy tymczasowej - pobyt w przedziale 2÷4 godz./dzień;

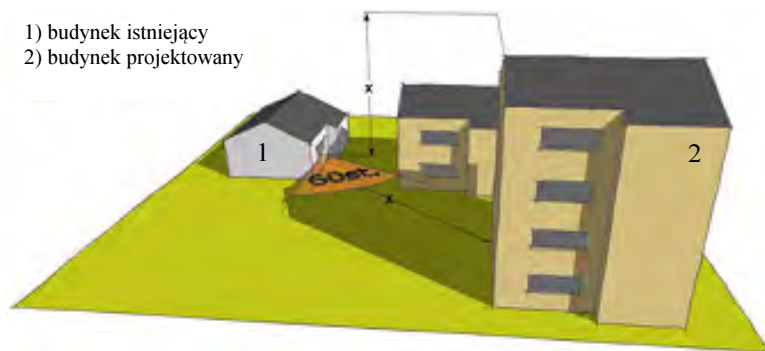
- pomieszczenia, w których nie jest wykonywana żadna stała praca i nie są one zaprojektowane tak, aby przebywali tam ludzie/pracownicy lub gdy praca trwa do 2 godzin dziennie.

1. PRZEPISY ODNOŚĄCE SIĘ DO OŚWIETLENIA POMIESZCZEŃ

Przepisy budowlane [1], w punktach dotyczących warunków oświetlenia pomieszczeń, w szczególności odnoszą się do zapewnienia odpowiedniej odległości pomiędzy budynkiem z pomieszczeniami przeznaczonymi dla ludzi a obiektami, które mogą ograniczać dopływ światła dziennego. Odległość x (rys. 1) powinna zapewnić naturalne oświetlenie pomieszczeń światłem dziennym. Warunek ten jest spełniony, gdy:

1. Między ramionami kąta 60° , wyznaczonego w płaszczyźnie poziomej, z wierzchołkiem na wewnętrznej powierzchni ściany, na osi okna przesłanianego pomieszczenia, nie znajduje się inny budynek lub obiekt w odległości nie mniejszej niż:
 - a) x - wysokość przesłaniania, dla obiektów o wysokości do 35 m,
 - b) 35 m - dla obiektów przesłaniających, o wysokości powyżej 35 m.

Wysokość obiektu przesłaniającego x wyznacza się od poziomu dolnej krawędzi najniższej umieszczonego okna budynku przesłanianego do najwyższej położonej krawędzi obiektu przesłaniającego, zazwyczaj krawędzi dachu.



Rys. 1. Zasada sytuowania budynków względem siebie mająca zapewnić dopływ światła do pomieszczeń budynku przesłanianego przez inny obiekt [3]

Dopuszcza się przesłanianie pomieszczenia przeznaczonego dla ludzi obiektem w postaci wieży, rury, słupa itp., bez ograniczenia jego wysokości, w odległości nie mniejszej niż 10 m od okna zacienianego pomieszczenia, ale pod warunkiem, że jego szerokość, mierzona równoległe do płaszczyzny okna, nie przekracza 3 m. Odległość x może być zmniejszona o połowę, gdy budynek znajduje się w centrum miasta. Spełnienie powyższych wymagań odległościowych pomiędzy budynkami na poziomie niezbędnego minimum, a tym samym wymagań dotyczących oświetlenia pomieszczeń, często okazuje się być bardzo

trudne. Dotyczy to w szczególności budynków z wykuszami i złamaniami elewacji i pomieszczeń znajdujących się w pobliżu wewnętrznych narożników budynków o rzucie w formie litery L lub U.

2. Pomieszczenia przeznaczone dla ludzi powinny charakteryzować się stosunkiem powierzchni okna, liczonej wzdłuż krawędzi przezroczystej części okna, do powierzchni podłogi co najmniej 1:8, a w innych pomieszczeniach, w których nie ma potrzeby korzystania ze światła naturalnego - co najmniej 1:12.

Wymaga się również, aby czas nasłonecznienia pomieszczeń przeznaczonych dla ludzi, w szczególności dla dzieci w żłobkach, przedszkolach i szkołach, z wyjątkiem pracowni: chemicznej, fizycznej, plastycznej itp., wynosił co najmniej 3 godziny w dni równonocy (21 marca i 21 września), w godzinach 8⁰⁰-16⁰⁰, a w pomieszczeniach mieszkalnych - w godzinach 7⁰⁰-17⁰⁰ [1]. Niestety, wymóg ten ze względu na stosowaną w kraju procedurę przejścia z czasu zimowego na letni i z letniego na zimowy nie zawsze udaje się zapewnić [3].

Pomieszczeniami przeznaczonymi do zamieszkania w mieszkaniu są wszystkie pokoje (salon, pokój dziecięcy, sypialnia), dlatego dla nich stosunek powierzchni okna do powierzchni podłogi powinien wynosić min. 1:8. Kuchnia, łazienka, przedpokój w budynku mieszkalnym są pomieszczeniami pomocniczymi. Zgodnie z powyższymi zasadami, tylko dla kuchni powinien być uwzględniony stosunek powierzchni okna do powierzchni podłogi 1:12. Pozostałe pomieszczenia mogą być pozbawione okien. W mieszkaniu kilkupokojowym dopuszcza się zastosowanie powyższego wymogu co najmniej do jednego pokoju. W gęstej zabudowie w centrum miasta dopuszcza się ograniczenie niezbędnego czasu nasłonecznienia do 1,5 godziny, a w odniesieniu do jednopokojowego mieszkania nie określono wymaganego czasu nasłonecznienia.

Wykorzystanie oświetlenia sztucznego jest dopuszczalne w pomieszczeniach przeznaczonych dla ludzi, jeżeli:

- a) nie ma potrzeby stosowania światła dziennego, czyli nie jest to konieczne ze względów technologicznych;
- b) wynika z faktu, iż pomieszczenie znajduje się w części podziemnej budynku lub w części, która uniemożliwiła dopływ światła dziennego.

W przypadku wymienionych powyżej pomieszczeń przeznaczonych do stałej pracy, na podstawie wymagań bezpieczeństwa i higieny pracy [3], dotyczących w szczególności pomieszczeń produkcyjnych, należy zapewnić dostęp naturalnego światła, a jeśli jest to niemożliwe lub niepraktyczne ze względu na technologię produkcji, należy zastosować oświetlenie elektryczne, przy czym pracodawca musi uzyskać zgodę właściwego wojewódzkiego inspektora sanitarnego w porozumieniu z inspektorem pracy.

Pomieszczenia przeznaczone na pobyt ludzi, jak również dla ogólnego ruchu (korytarze) muszą być wyposażone w oświetlenie sztuczne, odpowiednie do potrzeb użytkowników. Oświetlenie pomieszczeń połączonych, jak również do komunikacji (np. halle, korytarze) nie powinno stwarzać dużych różnic w natężeniu światła, wywołującego efekt nadmiernych odbłasków w przejściu między pomieszczeniami.

Stosunek średnich wartości luminancji w sąsiednich pomieszczeniach, przez które można przechodzić, nie powinien być większy niż 5:1. Po opuszczeniu pomieszczenia, w którym ze względów technologicznych pracuje się w ciemności (np. laboratoria fotograficzne), muszą być zapewnione warunki, pozwalające na stopniowe przystosowanie wzroku do nowych warunków świetlnych.

W pomieszczeniach oraz w miejscu pracy, w przypadku kiedy może dojść do wyłączenia oświetlenia, co może stanowić zagrożenie dla życia lub zdrowia przebywających tam osób, należy zapewnić oświetlenie awaryjne zgodnie z wymaganiami określonymi w odrębnych przepisach Polskich Norm. Sprzęt do oświetlenia miejsc pracy, w korytarzach powinien być zaprojektowany tak, aby nie stanowił zagrożenia dla pracowników podczas jego wykorzystywania.

Naturalne oświetlenie na poszczególnych stanowiskach pracy musi spełniać wymagania odpowiednie do rodzaju czynności i jej dokładności. Niezależnie od naturalnego oświetlenia w pomieszczeniach pracy należy zapewnić parametry oświetlenia sztucznego - elektrycznego, spełniające wymagania normowe.

Okna, świetliki rurowe itp. przegrody, stosowane w miejscach o dużej wilgotności powietrza, muszą być wykonane w taki sposób, aby można było zapobiegać kondensacji pary wodnej na powierzchni. W przypadku powstania obfitego kondensatu i możliwości spadania kropli wody na miejsce pracy należy zainstalować rynny lub inne urządzenia zbierające wodę. Szyby w oknach i świetlikach powinny być czyste, aby mogły dostarczyć światło o odpowiednim natężeniu. Należy również zapewnić dogodny i bezpieczny dostęp do czyszczenia okien i świetlików.

Ponadto okna i świetliki powinny być wyposażone w odpowiednie urządzenia do ograniczania nadmiernego dopływu światła słonecznego w miejsca pracy. Okna i świetliki przeznaczone do wentylacji pomieszczeń muszą być wyposażone w urządzenia umożliwiające łatwy i bezpieczny dostęp z powierzchni podłogi i stabilizowanie otwarcia w żądanej pozycji.

1.1. Podstawowe wymagania normy PN-EN 12464-1:2012

Norma PN-EN 12464-1:2012 [5] określa wymagania jakościowe i ilościowe oraz wskaźniki odnoszące się do oświetlenia pomieszczeń i obszaru zadań wzrokowych we wnętrzach budynków. Zawiera ona również zalecenia i kryteria projektowe oświetlenia w zakresie następujących parametrów otoczenia świetlnego, uwzględniającego światło naturalne i sztuczne: rozkład luminancji, natężenie oświetlenia, olśnienia w pomieszczeniu, kierunkowość światła, zmienność światła, oddawanie barw. Wprowadza parametry oświetlenia zalecane i wymagane, tj.: poziom eksploatacyjnego natężenia oświetlenia - E_m , równomierność oświetlenia - U_o w miejscu pracy, otoczeniu miejsca pracy i tła, poziom natężenia oświetlenia oraz równomierność na ścianach i suficie, współczynnik oddawania barw - R_a , temperatury barwowej - T_{CP} , ujednoliconą ocenę olśnienia - UGR_L .

Bardzo ważnym punktem, jaki znalazł się w ostatniej nowelizacji normy [5], jest zwrócenie uwagi na potrzebę poszukiwania rozwiązań zwiększających udział światła naturalnego w oświetleniu pomieszczeń. Rozkład strumienia świetlnego

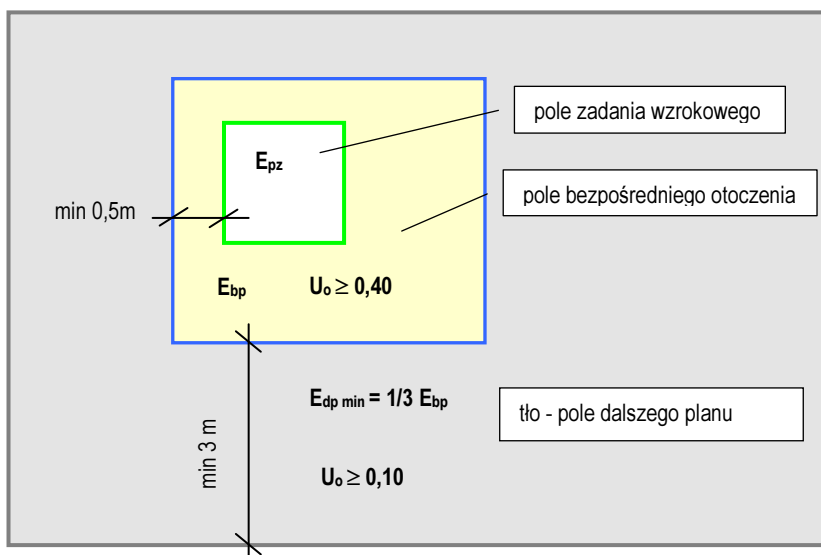
jest jednym z głównych parametrów charakteryzujących otoczenie świetlne w pomieszczeniu. Uzyskanie równomiernego rozkładu światła we wnętrzu wymaga uwzględnienia wpływu na przepływ strumienia świetlnego wszystkich powierzchni. Rozprzestrzenianie się światła musi być określone z uwzględnieniem współczynników odbicia (rozproszenia) światła. Zalecane wartości współczynnika rozproszenia światła dla dużych powierzchni wewnętrznych wynoszą odpowiednio: sufit - od 0,70 do 0,90; ściany - od 0,50 do 0,80; podłoga - od 0,20 do 0,40; duże powierzchnie, takie jak meble, urządzenia itp., od 0,20 do 0,70.

Wartości podane w normalnych warunkach oświetleniowych to wartości eksploatacyjnego natężenia oświetlenia w miejscu pracy, na płaszczyźnie, która może być pozioma, pionowa lub nachylona. Średnie natężenie światła dla każdego zadania nie powinno być niższe niż wartości podane w normie [5]. Wymagania te muszą być spełnione niezależnie od wieku źródeł światła i instalacji.

Zalecane poziomy natężenia oświetlenia: ściana $E_m > 50$ lx, przy równomierności oświetlenia $U_o \geq 0,10$; sufit $E_m > 30$ lx, przy równomierności oświetlenia $U_o \geq 0,10$. Równomierność oświetlenia na danej płaszczyźnie jest stosunkiem najmniejszej wartości natężenia oświetlenia do średniego natężenia oświetlenia.

Zalecane poziomy natężenia oświetlenia w pomieszczeniach zamkniętych, takich jak: biura, sale wykładowe, sale szpitalne, halle, korytarze, schody, przy założeniu, że powierzchnie ścian i sufitów są w jasnych barwach: ściana $E_m > 75$ lx, przy równomierności oświetlenia $U_o \geq 0,10$; sufit $E_m > 50$ lx, przy równomierności oświetlenia $U_o \geq 0,10$.

Norma [5] podaje również zakres wymagań dotyczących warunków oświetlenia nie tylko w miejscu wykonywania zadania wzrokowego, ale również w obszarze bezpośredniego otoczenia, które dzieli się na bliskie i dalsze - tzw. tło (rys. 2).



Rys. 2. Rozmieszczenie, minimalne wymiary i parametry oświetlenia obszaru zadania, bezpośredniego otoczenia i tła [6]

Przepis definiuje obszar, w którym wykonywane jest zadanie wzrokowe w polu widzenia bez określania wielkości pola. Na podstawie dotychczas obowiązujących przepisów można założyć, że pole w bezpośredniej bliskości pola zadania jest pasem o szerokości min. 0,5 m. Z kolei obszar dalszego planu, określane również jako pole tła, *background area*, jest pasem przylegającym do pola otaczającego pole zadania, o szerokości min. 3 m lub ograniczony jest gabarytami pomieszczenia.

W przypadku gdy wielkość pola zadania nie jest określona:

- cała powierzchnia traktowana jest jako pole zadania
- cała powierzchnia powinna charakteryzować się równomiernością oświetlenia ($U_o \geq 0,40$), a poziom natężenia oświetlenia określony jest przez projektanta.

1.2. Parametry charakteryzujące warunki oświetlenia pomieszczeń

Norma [5] rozróżnia pomieszczenia ze względu na ich funkcję użytkową, rodzaj i dokładność wykonywanych czynności i stanowisko pracy. Dla różnych przypadków definiuje minimalne wymagane poziomy, których należy przestrzegać podczas eksploatacji budynków. W tabeli 1 zamieszczono wartości natężenia oświetlenia dla pola zadania, pola bezpośredniego otoczenia pola zadania oraz pola tła.

Tabela 1. Wartości natężenia oświetlenia w obrębie pola zadania, pola bezpośredniego otoczenia pola zadania i w polu tła [5]

Natężenia oświetlenia ($E_{m\ pz}$) w polu zadania	Natężenia oświetlenia ($E_{m\ bp}$) w polu bezpośredniego otoczenia pola zadania	Natężenia oświetlenia ($E_{m\ dp}$) w polu dalszego planu - tła
lx		
≥ 750	500	150
500	300	100
300	200	75
200	150	75
150	$E_{m\ pz}$ w polu zadania	50
100	$E_{m\ pz}$ w polu zadania	30
≤ 50	$E_{m\ pz}$ w polu zadania	20
przy $U_o \geq 0,70/0,60/0,40$	przy $U_o \geq 0,40$	przy $U_o \geq 0,10$

Zapisy normy [5] nie ograniczają się jedynie do wskazania poziomów natężenia oświetlenia, jakie musi być uzyskane w polu zadania wzrokowego, ale również precyzują warunki oświetlenia w pozostałej części pomieszczenia, w którym wykonywana jest praca. O uzyskaniu odpowiednich warunków oświetlenia pomieszczenia świadczy osiągnięcie zalecanego poziomu średniego natężenia oświetlenia i jednorodności cylindrycznego natężenia oświetlenia. Odpowiednie wartości tych parametrów zapewniają dobry kontakt wzrokowy i prawidłową identyfikację obiektów w przestrzeni.

Przykładowo wybrane wymagania dotyczące warunków oświetlenia pomieszczeń administracyjnych zamieszczone zostały w tabeli 2. Wśród nich znajduje się ujednolicony wskaźnik olśnienia UGR_L - *Unified Glare Rating* - służący do oceny tzw. olśnienia przykrego, pochodzącego od opraw instalacji oświetleniowej. Olśnienie przykre może powodować rozdrażnienie, brak koncentracji, popełnianie błędów, zmęczenie, a nawet doprowadzać może do nieszczęśliwych wypadków, stąd wymagania w zakresie stosowania się do odpowiedniej wartości współczynnika UGR_L . W zależności od rodzaju czynności wzrokowej współczynnik ten przyjmuje odpowiednio wartości 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28.

Tabela 2. Wybrane wymagania dotyczące parametrów oświetlenia pomieszczeń biurowych [5]

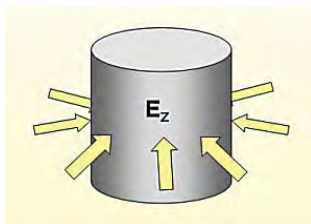
Rodzaj budynku, pomieszczenia, zadania lub czynności	E_m	$UGR_{L\ max}$	$U_{o\ min}$	$R_{a\ min}$	Dodatkowe wymagania
	lx	–	–	–	
Pokoje spotkań i konferencji	500	19	0,60	80	zalecane oświetlenie sterowe
Pisanie, obsługiwane klawiatury, czytanie, obróbka danych	500	19	0,60	80	
Segregowanie, kopiowanie	300	19	0,40	80	miejsce czynności wzrokowej z wykorzystaniem monitora - DSE
Rysowanie techniczne	750	16	0,70	80	
Stanowisko pracy CAD	500	19	0,60	80	
Miejsce recepcji	300	22	0,60	80	
Archiwa	200	25	0,40	80	

W zależności od wykonywanej czynności wzrokowej zaleca się stosowanie źródeł światła o odpowiednim wskaźniku oddawania barw R_a . Jest on miarą stopnia zgodności wrażenia barwy przedmiotu oświetlonego danym źródłem światła z wrażeniem barwy tego samego przedmiotu oświetlonego tzw. odniesieniowym źródłem światła. Maksymalna wartość wskaźnika wynosi 100 i odpowiada wrażeniu odbioru barwy przy świetle dziennym. Dla pomieszczeń, w których ludzie przebywają dłuższy czas, zaleca się, aby wskaźnik ten przyjmował wartość powyżej 80.

1.3. Warunki oświetlenia wewnątrz pomieszczeń

Pomimo wymagań dotyczących stwarzania odpowiednich warunków oświetlenia pola zadań wizualnych, konieczne jest zapewnienie odpowiednich warunków oświetlenia całej przestrzeni pomieszczenia, w której znajdują się ludzie. Jest to konieczne do właściwej identyfikacji kształtów przedmiotów, dobrej komunikacji wizualnej pomiędzy osobami w pomieszczeniu i in. Właściwości te charakteryzuje odpowiedni poziom średniego cylindrycznego natężenia oświetlenia (rys. 3).

Zalecany minimalny poziom cylindrycznego natężenia oświetlenia pomieszczeń wynosi $E_z \geq 50$ lx przy równomierności oświetlenia $U_o > 0,10$.



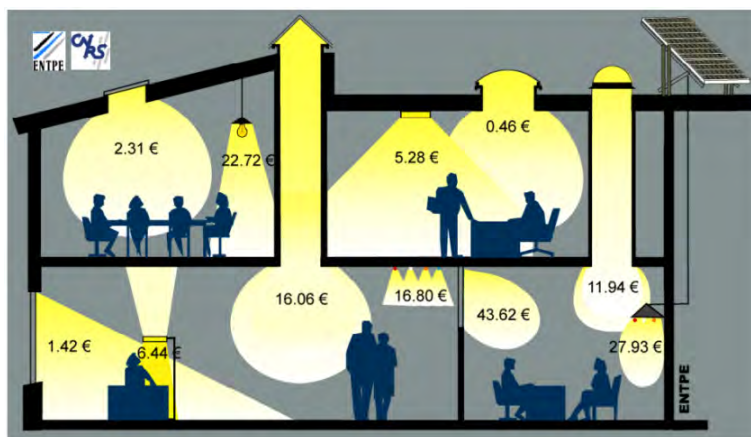
Rys. 3. Ilustracja zasady wyznaczania cylindrycznego natężenia oświetlenia [6]

Dla osób wykonujących pracę w pozycji siedzącej na wysokości 1,2 m, a dla pozycji stojącej na wysokości 1,6 m, w miejscach, gdzie należy zapewnić dobry kontakt wizualny, szczególnie w pomieszczeniach biurowych, szkolnych itp., należy zapewnić poziom $E_z \geq 150$ lx przy równomierności oświetlenia $U_o > 0,10$.

Oświetlenie wewnętrzne nie powinno dawać ostrych cieni i kontrastów. Należy dążyć do uzyskania optymalnej równowagi między światłem rozproszonym i kierunkowym. Zaleca się, aby stosunek wartości cylindrycznego do poziomego natężenia oświetlenia, E_z/E_h , mieścił się w przedziale pomiędzy 0,30 a 0,60.

2. EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA SYSTEMÓW OŚWIETLENIA

Ostatnio mocno podkreślana jest potrzeba jak najefektywniejszego wykorzystania tak światła dziennego, jak też sztucznego przy eksploatacji pomieszczeń. Porównanie szacunkowych kosztów oświetlenia pola zadania wzrokowego przy zastosowaniu różnych systemów (rys. 4) wskazuje na kilkanaście, a czasami nawet kilkadziesiąt razy niższe koszty w przypadku systemów wykorzystujących światło naturalne niż w przypadku systemów elektrycznych.



Rys. 4. Szacunkowy roczny koszt oświetlenia 1 m^2 pola zadania wzrokowego przy wykorzystaniu różnych systemów oświetleniowych, uwzględniający koszty montażu, eksploatacji i konserwacji, w ciągu założonego okresu życia technicznego budynku [7]

Zgodnie z zaleceniami [8], podwójne okna umieszczone na północnej elewacji powinny być charakteryzowane się współczynnikiem przepuszczalności światła L_T min. 75%. Przyjmuje się, iż efektywne wykorzystanie naturalnego światła możliwe jest przy głębokości pomieszczeń, z oknami na elewacji W, S i E, nie większej niż 5,5 m i nie większej niż 3,5 m na elewacji N. Współczynnik wykorzystania światła dziennego *Daylight* nie może być mniejszy niż 1,5%. Zalecane jest również, aby na elewacji S co najmniej 40% powierzchni stanowiły przegrody przezroczyste, z kolei na elewacji N nie więcej niż 25%, dla pozostałych nie więcej niż 30%. To ostatnie zalecenie związane jest z potrzebą racjonalizacji w bilansie cieplnym pomieszczeń strat ciepła z pomieszczenia i zysków energii promieniowania słonecznego.

Światło dzienne charakteryzuje się wysoką zmiennością intensywności oświetlenia, składu widmowego w zależności od pory dnia i warunków pogodowych. Stąd, szczególnie dla budynków użyteczności publicznej, zalecane jest stosowanie tzw. inteligentnych systemów sterowania oświetleniem, które uwzględniają zmienność dopływu światła dziennego. Zakłada się, że stosowanie inteligentnego oświetlenia LED pozwala na zmniejszenie zużycia energii i poprawę efektywności jej wykorzystania na poziomie nawet ponad 80% w porównaniu do tradycyjnych systemów oświetleniowych [9]. Lamy tego systemu są wyposażone w różnego rodzaju czujniki, które reagują na obecną sytuację, a także w pilota zdalnego sterowania oraz liczniki, co ułatwia konserwację i eksploatację całego systemu. Głównym kryterium wyboru systemu powinna być znacząca oszczędność energii, dzięki czemu możliwe staje się pokrycie wyższych kosztów realizacji takiego rozwiązania w początkowym okresie jego eksploatacji.

Wymagania dotyczące właściwości energetycznych systemów oświetlenia wbudowanego znaleźć można w rozporządzeniu [1] i normie [10]. W rozporządzeniu [1] podane są dopuszczalne poziomy mocy jednostkowej oświetlenia wbudowanego na jednostkowe pole powierzchni pomieszczenia (tab. 3). Rozporządzenie [1] podaje również cząstkowe maksymalne wartości wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną ΔEP_L na potrzeby oświetlenia wbudowanego, w budynkach użyteczności publicznej, gospodarczych, produkcyjnych i magazynowych. Wartość wskaźnika ΔEP_L wyznacza się według metodologii obliczania charakterystyki energetycznej [11].

W normie [10] występuje parametr służący do wyznaczania wydajności energetycznej oświetlenia w budynkach, tzw. liczbowy wskaźnik energii na oświetlenie LENI - *Lighting Energy Numeric Indicator*. Wskaźnik ten w metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynków odpowiada zapotrzebowaniu na energię końcową systemu oświetleniowego.

Zgodnie z wytycznymi [1], zapotrzebowanie na energię na potrzeby oświetlenia wyznacza się według normy [10]. Najważniejszym parametrem jest tutaj wskaźnik LENI, który oblicza się z zależności:

$$\text{LENI} = W/A_L \text{ [kWh/(m}^2 \text{ rok)]}$$

gdzie:

W - roczne zapotrzebowanie na prąd, do oświetlenie pomieszczenia [kWh/rok],

A_L - powierzchnia pomieszczenia [m²],

przy czym:

$$W = W_L + W_P$$

$$LENI = (W_L + W_P)/A_L$$

gdzie:

W_L - roczne zapotrzebowanie na prąd do oświetlenia w celu wypełnienia podstawowych funkcji, czyli na oświetlenie podstawowe [kWh/rok],

W_P - roczne zapotrzebowanie na prąd, tzw. pasożytniczą energię wymaganą do dostarczenia energii ładowania dla oświetlenia awaryjnego i energii czuwania dla sterowania oświetleniem budynku [kWh/rok].

Tabela 3. Dopuszczalne poziomy mocy jednostkowej oświetlenia wbudowanego na jednostkowe pole powierzchni pomieszczenia [1]

Rodzaj budynku	Dopuszczalne poziomy mocy jednostkowej oświetlenia wbudowanego [W/m ²]		
	Klasa kryteriów ^{*)}		
	A	B	C
Biurowe	15	20	25
Szkoły	15	20	25
Szpitala	15	25	35
Restauracje	10	25	35
Budynki sportowo-rekreacyjne	10	20	30
Budynki handlowo-usługowe	15	25	35
^{*)} klasy kryteriów: A - spełnienie kryteriów oświetlenia w stopniu podstawowym B - spełnienie kryteriów oświetlenia w stopniu rozszerzonym C - spełnienie kryteriów oświetlenia w stopniu pełnym z uwzględnieniem komunikacji wizualnej			

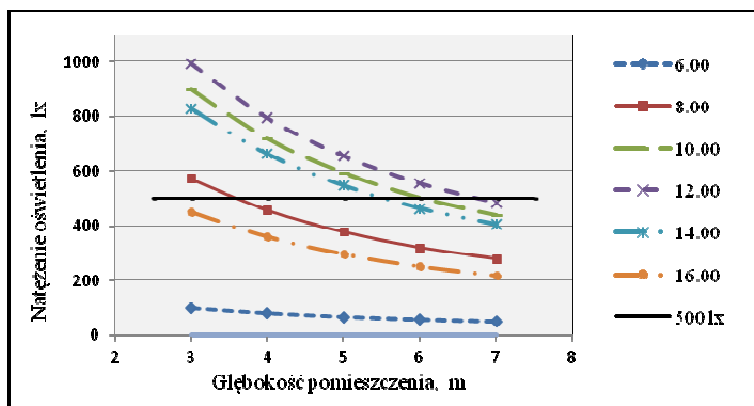
Roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczoną do budynku dla wbudowanej instalacji oświetlenia $Q_{k,L}$ wynosi:

$$Q_{k,L} = LENI \cdot A_L \text{ [kWh/rok]}$$

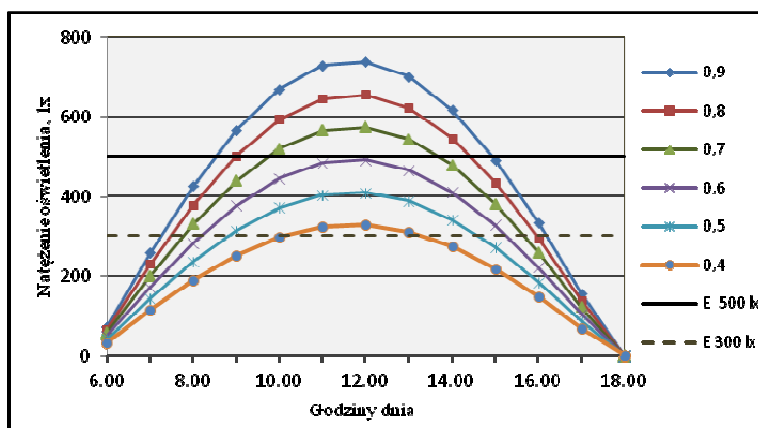
3. WARUNKI OŚWIETLENIA WYBRANEGO POMIESZCZENIA BIUROWEGO

Analizę warunków oświetleniowych przeprowadzono dla przykładowego pomieszczenia budynku zlokalizowanego w Warszawie, przyjmując zróżnicowane parametry przepuszczalności światła przez przegrody przezroczyste, różną głębokość pomieszczenia, różną orientację względem stron świata oraz różne pory roku oraz inne dane niezbędne do obliczeń. Obliczenia zostały wykonane za pomocą programu DIALux stosowanego przede wszystkim przy projektowaniu oświetlenia

sztucznego, ale z uwzględnieniem intensywności światła napływającego do pomieszczenia przez przegrody przezroczyste. Do obliczenia przyjęto minimalny poziom natężenia oświetlenia na płaszczyźnie roboczej $E_m = 500 \text{ lx}$, jaki wymagany jest przy pisaniu, obsłudze klawiatury, czytaniu, zgodnie z przepisami [5].



Rys. 5. Charakter zmiany średniego natężenia oświetlenia na płaszczyźnie roboczej w zależności od głębokości pomieszczenia o różnej porze dnia



Rys. 6. Charakter zmiany średniego natężenia oświetlenia na płaszczyźnie roboczej w ciągu dnia w zależności od współczynnika transmisji szkła okiennego

Wyniki obliczeń zmian oświetlenia na płaszczyźnie roboczej w pomieszczeniu (szerokość - 8 m, pole powierzchni okna - 12 m^2 , współczynnik przepuszczalności światła okna $L_T = 80\%$) przy różnej głębokości pomieszczenia (rys. 5, 6) pokazują, że wraz ze wzrostem głębokości gwałtownie pogarszają się średnie warunki oświetlenia. W wielu przypadkach nie można zapewnić wymaganego poziomu natężenia oświetlenia 500 lx czy nawet 300 lx , co prowadzi do konieczności włączania światła sztucznego. Obliczenia natężenia światła zostały wykonane dla powierzchni roboczej, tj. znajdującej się na wysokości 85 cm od powierzchni podłogi. Przyjęto

w nich 12-godzinny dzień eksploataowania pomieszczenia od godziny 7⁰⁰ do 19⁰⁰ oraz dzień równonocny - 23 marca. W obliczeniach nie uwzględniono zacinienia od otaczających obiektów. W okresach obniżonej intensywności oświetlenia należy korzystać ze światła sztucznego. W badaniach oceniono wpływ głębokości pomieszczenia i współczynnika transmisji światła na czas włączania oświetlenia w godzinach porannych i wyłączenia w godzinach popołudniowych.

Z rysunku 6 wynika, iż w przypadku wartości współczynników transmisji światła szyb okiennych poniżej 0,6, praktycznie w ciągu całego dnia należy wykorzystywać światło sztuczne. A zatem przy przepuszczalności światła okien poniżej 0,6 w analizowanym obiekcie czas włączenia oświetlenia sztucznego w okresie roku może kształtować się na poziomie 2500 h/rok, czyli podobnie jak to podane jest w rozporządzeniu (tab. 4), natomiast przy przepuszczalności dochodzącej do 0,9 czas może skrócić się do ok. 900 h/rok.

Tabela 4. Roczny uśredniony czas użytkowania oświetlenia sztucznego w budynkach [11]

Budynek	t_D	t_N	t_O
	h/rok		
Biuro	2250	250	2500
Szkoła	1800	200	2000
Szpital	3000	2000	5000
Budynek gastronomii i usług	1250	1250	2500
Budynki handlowe	3000	2000	5000
gdzie: t_D - czas użytkowania oświetlenia w porze dziennej, na rok, h/rok t_N - czas użytkowania oświetlenia w porze nocnej, na rok, h/rok t_O - czas łączny użytkowania oświetlenia, na rok, h/rok			

Jak wynika z zaprezentowanych wyników obliczeń, łączny czas wykorzystywania oświetlenia sztucznego w pomieszczeniach będzie w dużej mierze zależał od przyjętych rozwiązań przestrzennych pomieszczenia oraz parametrów technicznych i powierzchni przezroczystej części okna lub ściany szklanej. W związku z tym mają one istotny wpływ i na koszt wykorzystania oświetlenia elektrycznego, i na łączny koszt eksploatacji budynków. W porównaniu do wartości zalecanych do obliczeń (tab. 4) przy racjonalnym podejściu do rozwiązań przestrzennych pomieszczeń i technicznych przegród przezroczystych można będzie spodziewać się w rzeczywistości zaniżonego czasu użytkowania oświetlenia i niższych kosztów eksploatacyjnych.

PODSUMOWANIE

Obecnie obserwuje się coraz większe zainteresowanie systemami oświetleniowymi zapewniającymi nie tylko odpowiednie warunki świetlne, ale również racjonalnie niskie zużycie energii.

1. Aktualne przepisy budowlane stawiają przegrodom przezroczystym nowe wymagania, które mają za zadanie ograniczyć zużycie ciepła, ale również i prądu zużywanego w budynkach na ich potrzeby eksploatacyjne.
2. Przegrody przezroczyste mogą w istotnym stopniu wpływać na łączne koszty energetyczne eksploatacji pomieszczeń oraz wartość wskaźnika jakości energetycznej budynku. Decydujący wpływ mają w tym przypadku: współczynnik przenikania ciepła, współczynnik transmisji ciepła promieniowania słonecznego, współczynnik transmisji światła naturalnego. Przy rozpatrywaniu efektywności energetycznej pomieszczeń i całych budynków oraz poszukiwaniu optymalnych rozwiązań pod względem energetycznym należy brać pod uwagę cały kompleks czynników wpływających na koszty energii (prądu i ciepła).
3. Współczynnik transmisji światła naturalnego w znaczącym stopniu decyduje o czasie włączenia i wyłączenia oświetlenia sztucznego, co przekłada się bezpośrednio na koszty wykorzystania energii elektrycznej w układach oświetleniowych. Przy podwyższonym współczynniku transmisji światła czas użytkowania oświetlenia powinien być niższy niż to podają wytyczne w rozporządzeniu do wyznaczania charakterystyki energetycznej budynków.
4. Głębokość pomieszczenia oraz powierzchni przegrody przezroczystej również odgrywa istotną rolę w kształtowaniu warunków świetlnych w pomieszczeniach oraz czasie wykorzystania światła sztucznego, co wpływa na wysokość kosztów wykorzystania energii elektrycznej w układach oświetleniowych.
5. Wymienione wyżej czynniki wpływające na warunki oświetlenia pomieszczeń powinny być bardziej szczegółowo uwzględniane w obliczeniach charakterystyki energetycznej budynków.

LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, DzU Nr 75, poz. 690 z późn. zm.
- [2] <http://www.architekt.sosnowiec.pl/blog/?p=460>
- [3] Losse M., Nasłonecznienie mieszkań. Przepisy, praktyka i rzeczywistość, Cursiva 2015.
- [4] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, DzU z 2003 r., Nr 169, poz. 1650 z późn. zm.
- [5] PN-EN-12464-1:2012. Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.
- [6] Górczewska M., Efektywność energetyczna w oświetleniu. Nowe wymagania i możliwości, III Konferencja Naukowo-Techniczna Energooszczędność w oświetleniu, Poznań, 8.05.2012.
- [7] Fontoynt M., Long term assessment of the cost associated with lighting and daylighting techniques, 3th Velux Daylight Symposium in Rotterdam, 2009
- [8] Podpora E., Sasin T., Szymańska-Rzeźnik K., Zach J., Założenia projektowania bryły, elewacji i przegród zewnętrznych budynków w standardzie MBI2030, Warszawa 2010.
- [9] Pabjanczyk W., Inteligentne instalacje oświetlenia wewnątrz w kontekście zmian normy PN-EN 12464-1 (część 1), Elektro-info 1/2, 2014.

-
- [10] PN EN 15193:2010 Charakterystyka energetyczna budynków. Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia.
- [11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, DzU z 2015 r., poz. 376.

THE LIGHTING CONDITIONS OF ROOMS AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE ENERGY QUALITY OF BUILDING

The basic rules for the design and operation of buildings are requirements relating to room illumination. The rules also provide after-quality requirements relating to energy efficiency in buildings. These provisions are related to energy use for heating, ventilation and lighting objects. In addition to the requirements in the regulations and building norms, you can find a number of design recommendations that relate to the effective and efficient energy use for lighting in buildings.

Keywords: lighting, daylighting and electric lighting design recommendations